

Paris, le 25 AOUT 1997

Madame,

Nous vous remercions d'avoir accepté la présidence du groupe radioécologie dont nous avons décidé la mise en place à la suite des recommandations du "Comité scientifique pour une nouvelle étude épidémiologique dans le Nord Cotentin", qui a été présidé par le Professeur Charles SOULEAU à la demande de nos prédécesseurs.

Vos objectifs seront les suivants :

- dresser un inventaire des rejets radioactifs liquides et gazeux 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 naturelle et médicale ;
- estimer le risque associé aux doses reçues.

Nous avons bien conscience de l'importance du travail nécessaire pour mener à bien cette tâche mais nous tenons, en tout état de cause, à disposer d'un rapport d'étape de votre groupe dans les six mois.

**Madame Annie SUGIER**  
Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire  
B.P. 6  
**92265 FONTENAY aux ROSES Cedex**

De plus, conformément au rapport qui nous a été remis le 1er juillet par le "Comité scientifique pour une nouvelle étude épidémiologique dans le Nord Cotentin", nous vous demandons que vous réalisiez en premier lieu les travaux suivants :

- faire le point des connaissances sur le comportement des radionucléides dans l'environnement pour vérifier les estimations des exploitants ;
- établir les comparaisons nécessaires entre les résultats des mesures et les modèles de transfert dans l'environnement ;
- évaluer de la façon la plus réaliste possible la dose reçue par les personnes les plus exposées.

Nous souhaitons, sur ces trois points, disposer d'un document de votre groupe sous quatre mois.

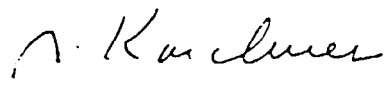
Vous maintiendrez la composition du groupe telle qu'elle a été initialement établie et vous pourrez auditionner toute personne ou organisme pouvant contribuer à vos travaux.

Si une évolution de la composition présente du groupe vous apparaissait nécessaire, vous voudrez bien nous la soumettre en temps opportun.

Nous vous prions d'agréer, Madame, l'expression de nos salutations les meilleures.



**Dominique VOYNET**



**Bernard KOUCHNER**

Paris, le **27 NOV. 1997**

**Objet** : Groupe radioécologie Nord-Cotentin

**P.J.** : 1

Madame la Directrice,

Dans votre lettre du 1<sup>er</sup> octobre, vous nous faites part de la méthode de travail que vous avez choisie afin de mener à bien la mission que nous avons confiée au groupe Radioécologie Nord-Cotentin dont vous assurez la présidence. De plus, vous soumettez à notre attention une proposition d'élargissement de la composition *du* groupe

Cette ouverture nous semble en effet souhaitable tout en veillant à maintenir la capacité du groupe à travailler de manière productive

Nous approuvons la proposition d'élargissement telle que vous la formulez (cf. Annexe I). Elle nous apparaît donner également satisfaction à la demande que nous avons reçue de Monsieur CAZENEUVE, Président de la Commission Spéciale et Permanente d'Information de La Hague. Nous notons aussi la présence de trois experts étrangers parmi les membres du groupe plénier, ce qui répond bien à notre souci d'ouverture sur la communauté scientifique européenne.

Nous vous rappelons enfin que les résultats de vos travaux devront être disponibles en temps utile pour être pris en compte dans les procédures de révision des textes régissant le fonctionnement de l'usine COGEMA de La Hague, en 1998.

Nous vous prions de croire, Madame la Directrice, à l'assurance de notre considération distinguée.

Dominique VOYNET



Bernard KOUCHNER



**Madame Annie SUGIER**  
**Directrice Déléguée à la Protection**  
**Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire**  
**B.P. 6**  
**92265 FONTENAY-AUX-ROSES Cedex**

IPSN -- 1.12.97 - 06720

# Membres du groupe plénier

## RADIOÉCOLOGIE Nord-Cotentin

La Présidente

**Mme Annie SUGIER**  
IPSN

Direction de la Protection  
BP 6  
92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX  
Tél. : 01.46.54.83.36 - Fax : 01.46.54.79.62  
E-mail : annie.sugier@ipsn.fr

**Mme AMIARD-TRIQUET**  
CNRS

Service d'Ecotoxicologie, EP 61 du CNRS  
Faculté de Pharmacie de l'Université de  
Nantes  
1, rue Gaston Veil - BP 53508  
44035 NANTES Cedex 1  
Tél. : 02.40.41.28.65 - Fax : 02.40.41.28.61  
E-mail : amiard@sante.univ-nantes.fr

**M. AUVERLOT**  
ANDRA

Parc de la Croix Blanche  
1/7, rue Jean Monnet  
92298 CHATENAY-MALABRY CEDEX  
Tél. 01.46.11.83.28 - Fax 01.46.11.82.36

**M. BARBEY**  
ACRO

138, rue de l'Eglise  
14200 HEROUVILLE St CLAIR  
Tél. 02.31.94.35.34 - Fax 02 31 56 64 28

**M. BARON**  
GEA

B.P. 34  
50115 CHERBOURG NAVAL  
Tél. 02.33.92.65.97 - Fax 02.33.94.24.00

**M. BEROUX**  
Electricité de France

Département Juridique-Sites-Environnement  
22/30, avenue de Wagram  
75382 PARIS Cedex 08  
Tél. 01.47.64.72.60 - Fax 01.47.64.74.90

**Mme BRETHEAU**  
IPSN

Département de Prévention et d'Etude des  
Accidents/SECRI  
BP 6  
92265 FONTENAY-aux-ROSES Cedex  
Tél. 01.46.54.90.81 - Fax 01.46.54.  
Tél. 01.46.54.80.30 - Fax 01.46.54.88.29

**M. BURKART**  
BFS

Head Institute for Radiation Hygiene  
BFS - Bundesamt für Strahlenschutz  
Institut für Strahlenhygiene  
Ingolstädter Landstrasse 1  
85764 Obersschleissheim - RFA  
Tél 00 49 89 31 60 32 00 -  
Fax 00 49 89 31 60 32 02

**M.CHAREYRON  
CRII-RAD,**

Immeuble « Le Cime »  
471, Av. Victor Hugo  
26000 VALENCE  
Tél 04 75 41 82 50 - Fax 04 75 81 26 48

**M. GERMAIN  
IPSN**

Département de Protection de  
l'Environnement/LERFA  
BP 10  
Rue Max Pol Fouchet  
50130 OCTEVILLE  
Tél. 02.33.01.41.02 - Fax 02.33.01.41.30

**M. GOUMONDY  
IPSN**

BP 6  
92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX  
Tél. : 01.46.54.80.76 - Fax : 01.42.53.91.24

**M. LAURENT  
COGEMA**

Direction Qualité-Sûreté-Environnement  
2, rue Paul Dautier  
BP 4  
78141 VELIZY Cedex  
Tél. 01.39.26.36.38 - Fax 01.39.26.27.30

**M. LE CORRE  
EDF**

Production transport  
Dépt Sécurité  
Cap Ampère  
1, place Pleyel  
93282 SAINT DENIS CEDEX  
Tél. 01.43.69.31.13 - Fax 01.43.69.45.70

**M. LEDENVIC  
Agence du Médicament**

143-147 boulevard Anatole France  
93285 SAINT DENIS CEDEX  
Tél. 01.48.13.24.83 - Fax 01.48.13.24.69

**M. LORTHIOIR  
IPSN**

Direction/Programmes  
BP 6  
92265 FONTENAY-aux-ROSES Cedex  
Tél. 01.46.54.85.91 - Fax 01.46.54.79.71

**M. MURITH  
OFSP**

Adjoint Scientifique, chef du groupe  
Surveillance des Installations Nucléaires  
Office Fédéral de la Santé Publique  
Ch. du Musée 3  
CH-1700 Fribourg - Suisse  
Tél 00 41 26 300 91 65  
Fax 00 41 26 300 97 43

**M. PASQUIER  
OPRI**

Directeur Scientifique  
BP 35  
78110 LE VESINET  
Tél. 01.30.15.52.00 - Fax 01.39.76.08.96

**Mme ROMMENS  
IPSN**

Département de Protection de la santé de  
l'Homme et de Dosimétrie/SAER  
BP 6  
92265 FONTENAY-aux-ROSES Cedex  
Tél. 01.46.54.72.58 - Fax 01.46.54.88.29

**Mme SARFATI  
COGEMA**

BCR/QS  
1 rue des Hérons,  
Montigny le Bretonneux  
78182 SAINT QUENTIN EN YVELINES CEDEX  
Tél. 01.39.48.50.86 - Fax 01.39.48.51.31

**Mme SENÉ  
CSPI**

2 rue François Villon  
91400 ORSAY  
Tél 01 60 10 03 49- Fax 01 60 14 34 96

**Mme VALENTIN-RANC  
ANDRA**

Service Biosphère Environnement  
Parc de la Croix Blanche  
1/7, rue Jean Monnet  
92298 CHATENAY-MALABRY Cedex  
Tél. 01.46.11.83.00 - Fax 01.46.11.82.22

**M. WRIXON  
NRPB**

National Radiological Protection Board  
Assistant Director  
Chilton, Didcot, Oxon OX11 ORQ  
Grande Bretagne  
Tél 00 44 12 35 822 634  
Fax 00 44 12 35 822 630

**M. ZERBIB  
CSPI**

CE-SACLAY  
UGSP-DIR  
91191 GIF SUR YVETTE CEDEX  
Tél. 01 69 08 57 16 - Fax 01 69 08 75 33

# SOMMAIRE

<b>PREFACE</b>	1
<b>NOTE MÉTHODOLOGIQUE SUR L'IMPACT DES REJETS DE L'USINE DE RETRAITEMENT DE LA HAGUE</b>	3
1. INTRODUCTION	3
2. TERME SOURCE	3
2.1 <i>Terme source à l'entrée de l'usine</i>	4
2.2 <i>Fonction de transfert</i>	4
2.3 <i>Exhaustivité ou liste restreinte</i>	7
2.4 <i>Evolution des procédés et de la gestion des combustibles</i>	7
2.5 <i>Conclusion</i>	7
3. TRANSFERT DANS L'ENVIRONNEMENT	8
3.1 <i>Modélisation de l'impact des rejets marins</i>	8
3.1.1 Dispersion des rejets marins : facteurs de dilution	8
3.1.2 Dépôts et transferts aux sédiments et aux espèces marines vivantes	10
3.2 <i>Modélisation de l'impact des rejets atmosphériques</i>	12
3.2.1 Dispersion des rejets atmosphériques	12
3.2.1.1 <i>Météorologie</i>	12
3.2.1.2 <i>CTA</i>	13
3.2.2 Dépôts et transferts dans les produits végétaux et animaux	14
3.2.2.1 <i>Carbone 14</i>	14
3.2.2.2 <i>Tritium</i>	15
3.2.2.3 <i>Autres radionucléides</i>	16
3.3 <i>Conclusion</i>	16
4. GROUPES DE POPULATION ET COMPORTEMENTS PARTICULIERS	17
4.1 <i>Remarques Générales</i>	17
4.2 <i>Identification des scénarios particuliers</i>	18
4.3 <i>Description des voies d'exposition associées à chaque scénario particulier</i>	18
4.4 <i>Renseignement des caractéristiques des populations concernées</i>	18
4.5 <i>Choix des paramètres de mode de vie spécifiques de chaque scénario</i>	18
4.6 <i>Choix des paramètres environnementaux associés à chaque scénario</i>	19
4.7 <i>Calcul des doses associées à chaque scénario</i>	19
4.8 <i>Conclusion</i>	19
5. CONCLUSION GENERALE	20

<b>ANNEXE I</b>	LISTE DES RADIONUCLEIDES SUSCEPTIBLES D'ETRE PRESENTS DANS LES EFFLUENTS DES USINES DE LA HAGUE	21
<b>ANNEXE II</b>	RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES REJETS DE RADIONUCLEIDES DANS LES EFFLUENTS LIQUIDES ET GAZEUX DE L'USINE DE LA HAGUE	22
<b>ANNEXE III</b>	VALEURS PROPOSEES POUR LES FACTEURS DE DILUTION DES REJETS LIQUIDES DE L'USINE DE LA HAGUE	23
<b>ANNEXE IV</b>	FACTEURS DE CONCENTRATION, FACTEURS CORRECTIFS ET VALEURS NON EXPLIQUEES POUR LES REJETS LIQUIDES DE L'USINE DE LA HAGUE	25
<b>ANNEXE V</b>	COEFFICIENTS DE TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES (CTA) POUR L'USINE DE LA HAGUE : EXEMPLE DE RESULTAT DE LA METHODE APPLIQUEE AUX CONDITIONS METEOROLOGIQUES MOYENNES EXPLOITEES SUR LES ANNEES 1992 A 1997	26
<b>ANNEXE VI</b>	CALCUL DE LA DOSE COLLECTIVE DUE A L'EXPOSITION AUX REJETS ATMOSPHERIQUES DE L'USINE COGEMA - LA HAGUE	27
<b>ANNEXE VII</b>	SCENARIOS PARTICULIERS ET VOIES D'ATTEINTE	84
<b>ANNEXE VIII</b>	COMPOSITION DES GROUPES DE TRAVAIL	88



## PREFACE

L'objectif du groupe de travail « Radioécologie Nord-Cotentin » est d'évaluer le niveau de l'exposition aux rayonnements reçue par la population du Nord-Cotentin du fait des sources nucléaire, médicales et naturelles au cours des vingt dernières années et d'en déduire si le risque de cancer, notamment de leucémie, encouru par cette population pourrait se traduire par un excès significatif du point de vue épidémiologique.

Les installations nucléaires considérées sont les usines de retraitement COGEMA de La Hague, le Centre de Stockage ANDRA de la Manche, la centrale EDF de Flamanville et les installations de la Marine Nationale.

Le groupe de travail, qui comprenait à l'origine principalement des experts appartenant aux organismes institutionnels français ainsi que des représentants des opérateurs nucléaires a été élargi, avec l'accord des Ministres, à des experts de la CSPI (Commission Spéciale et Permanente d'Information près l'Etablissement de La Hague) et à des experts étrangers.

De plus, quatre groupes spécialisés ont été créés afin de traiter les différents aspects de la mission du groupe plénier:

- le GT1 examine de façon critique les rejets déclarés par les exploitants des installations nucléaires du Nord-Cotentin et, si nécessaire, reconstitue les données manquantes ;
- le GT2 rassemble et interprète la totalité des mesures faites dans l'environnement par les différents intervenants (institutionnels et non institutionnels) depuis la mise en service des installations ;
- le GT3 compare entre eux les modèles traduisant les mécanismes de transfert de la radioactivité dans l'environnement et confronte les prévisions de ces modèles avec les mesures faites dans l'environnement ;
- le GT4 identifie les groupes de population du Nord-Cotentin pertinents du point de vue épidémiologique ou dont les habitudes de vie les conduisent à être plus exposés, afin d'évaluer le niveau des expositions auxquelles ils ont été ou sont soumis; il évalue également le niveau des expositions reçues du fait des autres sources de rayonnement (sources naturelles et médicales) et estime le risque correspondant à la somme de l'ensemble des expositions considérées.

L'accent a été mis à la fois sur la méthodologie adaptée à ces différents objectifs et sur le traitement des données et modèles disponibles :

- La méthodologie élaborée par le groupe de travail dans le cas des rejets de l'usine de retraitement de La Hague fait l'objet du présent document. Elle répond à la lettre des Ministres du 27 novembre dernier, demandant que les travaux du groupe soient produits en temps utile pour être pris en compte dans les procédures de révision des textes régissant le fonctionnement de l'usine de La Hague en 1998.

- Le traitement des données et modèles permettant d'évaluer effectivement les doses et les risques a donné lieu, par ailleurs, à l'élaboration de rapports d'étape.

Le premier, diffusé le 24 novembre 1997, relève d'une démarche préliminaire consistant à évaluer les doses délivrées à la population à partir des modèles des exploitants et limitait la comparaison des mesures dans l'environnement à quelques indicateurs.

Le deuxième rapport d'étape, diffusé le 5 juin 1998, adopte la démarche critique systématique décrite dans la note méthodologique et présente les premiers résultats obtenus.

Le rapport final accompagné des recommandations d'actions futures ne pourra être achevé avant la fin de l'année 1998, en raison du nombre considérable de mesures à traiter (près de 300 000).

La note méthodologique a été relue et corrigée en réunion plénière le 8 juillet 1998.

Elle a été réexaminée lors de la réunion plénière du 16 septembre 1998, afin de s'assurer que l'essentiel des remarques faites avait été pris en compte.

Le texte a été approuvé par l'ensemble des membres, à l'exception de M. CHAREYRON (CRII-RAD) qui n'a pas pu participer aux dernières réunions du groupe plénier et qui confirmera ultérieurement ses remarques ou réserves.

Le rapport d'étape n° 1 a été élaboré par le groupe, avant l'élargissement de sa composition.

## **Note méthodologique sur l'impact des rejets de l'usine de retraitement de La Hague**

### **1. INTRODUCTION**

Le travail réalisé dans le cadre du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin a principalement un caractère *rétrospectif* et consiste, conformément à la lettre de mission du 25 août 1997, à évaluer les expositions reçues par la population du Nord-Cotentin et le risque qui pourrait en résulter du fait des sources nucléaires, médicales et naturelles.

Cependant l'accent doit également être mis sur certains aspects méthodologiques qui peuvent concerner les rejets à *venir* des installations nucléaires. En effet, dans leur lettre du 27 novembre 1997 les ministres ont demandé au Groupe que les résultats de ses travaux soient disponibles en temps utile pour être pris en compte dans les procédures de révision des textes régissant le fonctionnement de l'usine COGEMA de La Hague, en 1998.

La présente note a pour objectif de répondre à ce souci, sans anticiper sur le rapport final du Groupe qui ne pourra être achevé avant la fin de l'année. Les éléments méthodologiques développés sont extraits du rapport d'étape n°2 complétés par les plus récentes réflexions du Groupe qui seront intégrées dans le rapport d'étape n°3. Ils portent sur les points suivants :

- *terme source*: identification des radionucléides à considérer dans les rejets liquides et gazeux et calculs des activités correspondantes ;
- *transfert dans l'environnement*: évaluation des transferts des contaminants dans l'environnement à partir des modèles validés par des résultats de mesures ;
- *groupes de population*: identification des comportements susceptibles d'entraîner des niveaux d'exposition plus élevés que ceux reçus en moyenne par la population locale.

### **2. TERME SOURCE**

Le mode d'approche qui a été retenu par le Groupe de travail dans le cas de COGEMA-La Hague pour reconstituer de la façon la plus exhaustive possible l'historique des rejets, qu'il s'agisse des radionucléides présents dans les combustibles et des activités dans les rejets liquides et gazeux, peut parfaitement être appliqué à l'estimation des rejets prévisibles pour les prochaines années de fonctionnement de l'usine, en tenant compte de l'évolution des caractéristiques des combustibles à retraiter dans le futur, de l'augmentation des capacités de traitement envisagée par COGEMA et du temps de refroidissement envisagé pour les combustibles.

## 2.1 Terme source à l'entrée de l'usine

L'évaluation du terme source doit se faire à partir de la connaissance des quantités et caractéristiques des combustibles que l'exploitant envisage de retraiter (type UOX\*, MOX\*, RNR\*, MTR\*,... taux d'irradiation, temps de refroidissement) pendant la période de temps pour laquelle une autorisation de rejet est sollicitée. Cette évaluation sera aussi réaliste que possible, sans sous-estimer la valeur recherchée. Elle doit viser à couvrir tous les cas de figures envisagés par la procédure de révision des autorisations de fonctionnement de l'usine.

Sur ces bases, les versions les plus récentes des codes existants (comme CESAR 4.2), se référant aux conditions d'irradiation dans les réacteurs, permettent d'établir la liste et l'activité des différents radionucléides présents dans les combustibles au moment de leur retraitement (« terme source »), en tenant compte de leur décroissance radioactive pendant la durée de refroidissement retenue. Certains de ces codes pourront nécessiter une nouvelle validation ou simplement une adaptation suivant le caractère plus ou moins novateur des futurs combustibles.

Les trois familles de radioéléments à considérer sont :

les produits de fission, les actinides (uranium et éléments transuraniens) et les produits d'activation, ces derniers dépendant directement de la connaissance de la nature et de la quantité des impuretés présentes dans le combustible neuf et qui peuvent donc être différentes suivant le fabricant (cas des combustibles étrangers).

## 2.2 Fonction de transfert

L'activité minimale prévisible dans les rejets peut être calculée à partir de l'estimation du terme source et de son évolution dans le temps ainsi que des connaissances acquises quant aux performances les plus récentes et donc les meilleures en termes de limitation de rejets. Une marge de sécurité par rapport à cette évaluation permet de prendre en considération d'éventuels dysfonctionnements de durée limitée entraînant une augmentation temporaire des rejets.

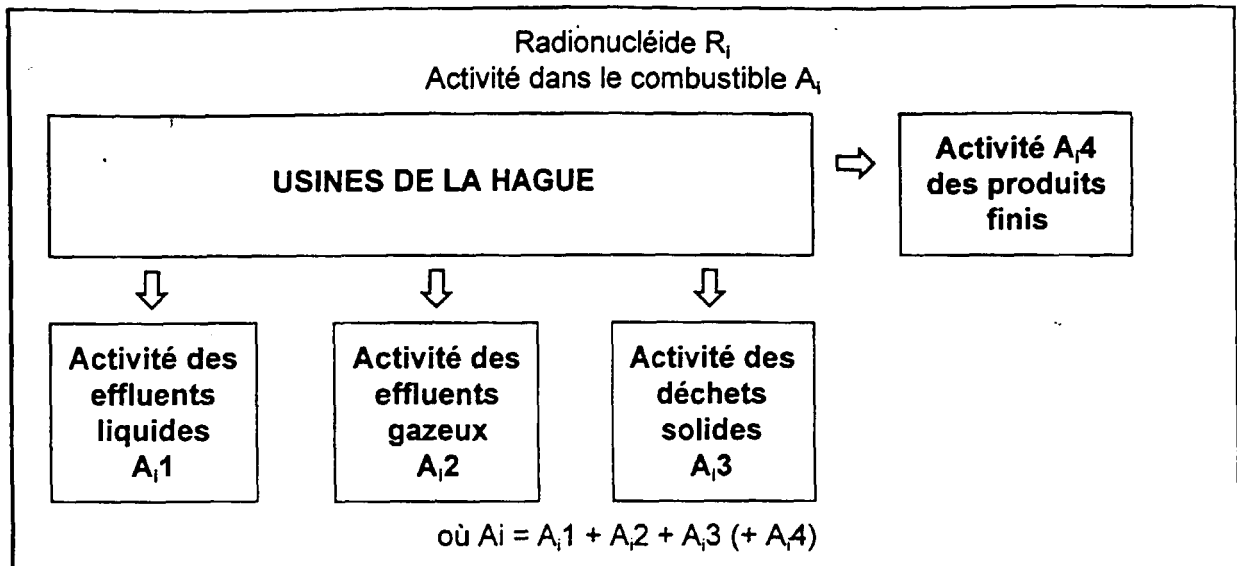
Les performances de l'usine auxquelles il est fait référence dans le paragraphe précédent ont été décrites pour chaque radionucléide dans le rapport d'étape n° 2 du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. L'approche retenue a consisté à apprécier la cohérence entre l'évolution dans le temps des activités calculées dans les combustibles et des activités rejetées mesurées dans les effluents et les déchets, ainsi que des fonctions de transfert correspondantes.

Le fonctionnement des usines de La Hague peut, en effet, être schématisé comme suit :

- une « entrée » (activité du radionucléide présent dans le combustible au moment du retraitement),
- trois « sorties » au niveau des effluents et des déchets (effluents liquides, effluents gazeux et déchets solides relatifs au radionucléide considéré),
- une « sortie » vers les produits finis.

---

\* Combustibles à l'oxyde d'uranium (UOX), mélange d'oxyde d'uranium et de plutonium (MOX), combustible des réacteurs à neutrons rapides (RNR) et des réacteurs de recherche (MTR).



Entre « l'entrée » et chacune des « sorties » peut être établie pour chaque radionucléide  $R_i$ , une « fonction de transfert » définie comme suit :

$$FR_i = \frac{\text{Activité dans les rejets}}{\text{Activité dans le combustible}} \quad (1)$$

avec :

$$FR_{i,1} + FR_{i,2} + FR_{i,3} (+ FR_{i,4}) = \frac{A_{i,1}}{A_i} + \frac{A_{i,2}}{A_i} + \frac{A_{i,3}}{A_i} + \left( \frac{A_{i,4}}{A_i} \right) \quad (2)$$

Cette somme étant sensiblement égale à 1\*

Les remarques et exemples suivants illustrent l'utilisation de cette fonction comme élément d'appréciation des activités rejetées :

- Dans le cas simple du krypton 85, par exemple, les produits finis comme les effluents liquides et les déchets solides, ne contiennent pratiquement pas de ce gaz rare et la totalité de l'activité du krypton 85 présent dans le combustible est évacuée avec les effluents gazeux. La seule fonction de transfert à considérer concerne le terme source et les effluents gazeux. Elle doit être constante et égale à l'unité.

Or, la comparaison entre valeurs calculées dans les combustibles et mesurées dans les effluents gazeux montre des divergences. Il apparaît préférable de retenir comme activité rejetée, celle obtenue par le code de calcul donnant les quantités de krypton 85 contenues dans les combustibles plutôt que les résultats des mesures qui apparaissent systématiquement inférieures au terme source (difficultés reconnues d'une mesure représentative en raison des volumes en jeu, d'une précise évaluation des rejets cumulés du fait de la fluctuation des rejets gazeux et des concentrations de krypton 85 dans le temps).

- Dans d'autres cas, la valeur de la fonction de transfert n'est pas aussi aisément prédite. C'est alors la forme générale de l'évolution des activités calculées dans le combustible, des activités mesurées dans les rejets et de l'évolution correspondante de la fonction de transfert qui permet d'apprécier la cohérence entre ces différents résultats.

\* En première approximation pour un fonctionnement continu de l'usine.

Ainsi, s'agissant du césium 137 dans les effluents liquides, les résultats des mesures sont considérés comme valides en raison de la cohérence observée entre les différents résultats obtenus au cours du temps (l'activité dans le combustible croît avec l'augmentation de la capacité de traitement de l'usine ; les rejets diminuent régulièrement du fait de l'amélioration du traitement des effluents -exception faite des premières années de fonctionnement- ; il en va de même pour la fonction de transfert).

- Une vérification complémentaire est appliquée lorsque le radioélément considéré comprend un ou plusieurs isotopes. C'est le cas du césium 134 vis-à-vis du césium 137. Comme les comportements physico-chimiques de deux isotopes d'un même élément sont strictement identiques, une différence notable observée entre leurs fonctions de transfert ne peut résulter que d'une erreur dans l'évaluation de la source ou de l'activité évacuée (sous réserve cependant que les temps de transit, entre la dissolution et les rejets, soient faibles devant les périodes les plus courtes de radionucléides considérés). Ainsi, les rejets de certains radionucléides à courte période comme le strontium 89 (isotope du strontium 90) et l'antimoine 124 (isotope de l'antimoine 125) ont été recalculés. Dans les tableaux fournis par COGEMA, les valeurs sont obtenues par le produit du volume de rejet par la limite analytique de mesure d'activité alors que l'activité volumique réelle était très inférieure du fait du temps de refroidissement  $\geq 5$  ans.
- Si des données relatives aux rejets liquides ou gazeux manquent partiellement ou totalement, un homologue, du point de vue des comportements chimiques, dans la classification périodique des éléments peut être recherché. La fonction de transfert de cet homologue sera appliquée.

Citons les exemples suivants pour les calculs des activités dans les effluents liquides et gazeux: le chlore 36, à partir de la fonction de transfert de l'iode 129 (halogènes) ; le calcium 41, à partir de la fonction de transfert du strontium 90.

- On notera deux propriétés des fonctions de transfert (cf. équations (1) et (2), page précédente), dans l'hypothèse d'un fonctionnement en continu de l'usine :
  - la fonction de transfert est toujours inférieure ou égale à 1 (car l'activité rejetée est au plus égale à l'activité présente dans le combustible) ;
  - la somme des fonctions de transfert (F gaz, F liquide et F solide) à laquelle il faut ajouter celle qui correspond aux produits finis est égale à l'unité. En effet, si les usines ne retiennent pas une fraction significative de l'activité retraitée, cette dernière se retrouve dans les effluents liquides, les effluents gazeux, dans les déchets solides et dans les produits finis. Cependant, cette caractéristique n'a pas été utilisée pour le calcul.
- Enfin, la somme des activités des différents radionucléides présents dans les rejets doit être cohérente avec les mesures d'activités  $\alpha$  et  $\beta$  totales.

*Dans le cadre de la présente note qui porte sur les activités futures de l'usine et les procédures de révision des autorisations de fonctionnement de l'usine, les fonctions de transfert les plus pertinentes à considérer sont naturellement les plus récentes. Il convient cependant de souligner que les fonctions de transfert établies par le Groupe sont une image de l'expérience passée de l'usine et peuvent évoluer, du fait du traitement de nouveaux combustibles, des modifications des procédés, de la mise en place de nouvelles techniques d'épuration et du vieillissement des installations.*

### 2.3 Exhaustivité ou liste restreinte

Une question importante qu'il convient de se poser est celle de l'exhaustivité du terme source et des rejets correspondants considérés. Le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin a fait le choix d'identifier et de quantifier le maximum de radionucléides, même s'ils n'étaient pas tous mesurés ou mesurables. Les limites à ce souci d'exhaustivité ont été simplement de ne pas retenir les radionucléides dont l'activité dans le combustible est inférieure à 37 MBq/t (1 mCi/t) après trois ans de refroidissement. En pratique, cela conduit à ne pas retenir (sauf exception) les radionucléides de période inférieure à 6 mois et les isotopes mineurs des éléments transuraniens (comme, par exemple, le curium 245 et le curium 246) du fait des taux d'irradiation limités ( $\leq 30 \text{ GWj.t}^{-1}$ ) ; cela pourrait ne pas être vrai pour les futurs combustibles dont les taux d'irradiation pourraient dépasser  $60 \text{ GWj.t}^{-1}$  que COGEMA envisage de retraiter dans les quinze prochaines années. La liste établie par le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin devra donc être modifiée en conséquence (cf. Annexe I). Cependant, il peut être envisagé de retenir une « liste restreinte » de radionucléides qui sont, a priori, les contributeurs majeurs en terme de dose. Si tel est le cas, des justifications devront être apportées.

### 2.4 Evolution des procédés et de la gestion des combustibles

Les rejets des usines sont fortement dépendants des procédés et de certaines conditions opératoires. Des évolutions à ces niveaux peuvent être des sources d'optimisation dans l'avenir, qu'il s'agisse :

- des dispositions permettant d'améliorer les performances des installations vis-à-vis de l'efficacité d'épuration des rejets radioactifs. Cela a été le cas dans le passé avec la mise en service d'UP3 et d'UP2800 et d'une nouvelle stratégie de gestion et de traitement des effluents liquides (nouvelle gestion correspondant au recyclage dans l'usine des effluents, à l'aide d'évaporateurs couplés permettant de renvoyer l'activité en tête d'usine vers la vitrification) et gazeux (par exemple, par la mise en place de pièges solides pour l'épuration en iode 129) ;
- des modifications des conditions opératoires. Ainsi, l'exploitant peut décider l'augmentation du temps de refroidissement des combustibles avant retraitement (par exemple, cela peut jouer sur les activités rejetées de krypton 85 dont la période est de 10,8 ans) ou la limitation de la quantité annuelle de combustibles retraités en fonction des différents taux d'irradiation de ces combustibles (cas des rejets d'émetteurs alpha dans les effluents liquides pour les combustibles à haut taux d'irradiation).

### 2.5 Conclusion

En conclusion, la méthodologie définie dans le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin permet une meilleure appréciation des rejets futurs d'activité dans les effluents liquides et gazeux, et une meilleure compréhension de la pertinence de la liste restreinte de radionucléides qui serait proposée par l'exploitant dans son étude d'évaluation d'impact pour les populations concernées (groupes de référence). Les graphiques auxquels il est fait référence en Annexe II, sont inclus dans les rapports d'étape n° 2 et 3 ; ils représentent *une analyse critique du retour d'expérience* sur les rejets passés de l'installation, pouvant servir à apprécier les rejets futurs.

### 3. TRANSFERT DANS L'ENVIRONNEMENT

Dans une analyse *a priori* de l'impact des rejets d'une installation nucléaire, la seule méthode utilisable pour évaluer cet impact, connaissant le terme source, fait appel à des modèles de transfert de la radioactivité dans l'environnement<sup>1</sup>, puis nécessite l'évaluation de l'impact de cette contamination de l'environnement sur les différents groupes de population vivant autour de l'installation. En effet, lorsqu'une installation n'a pas encore démarré ou lorsqu'elle est sur le point de modifier les caractéristiques de ses rejets (quantité ou physico-chimie des radionucléides rejetés), les mesures qui peuvent être réalisées dans l'environnement ne sont que le reflet du bruit de fond ou de la contamination due aux rejets passés.

La démarche du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin, visant à évaluer *a posteriori* le plus finement possible et de façon réaliste la contamination passée de l'environnement et les expositions des populations qui en découlent, a notamment consisté à évaluer la validité des modèles environnementaux couramment utilisés dans ce contexte spécifique de l'écosystème du Nord-Cotentin, en confrontant leurs prédictions à l'ensemble des mesures de radioactivité réalisées dans l'environnement du site. Ces résultats de mesure ont été exploités après une analyse critique de leur pertinence et de leur cohérence d'ensemble et dans la mesure où la confrontation avec les modèles était effectivement possible. Cette dernière condition sera précisée au cas par cas dans la suite de cette note.

Naturellement, les conclusions qui découlent de cette analyse des modèles sont aussi bien exploitables pour des rejets futurs.

Que ce soit pour les rejets marins ou atmosphériques, cette démarche a consisté à décomposer les modèles en différents modules couplés entre eux : un module dynamique permettant d'évaluer la dilution des rejets dans l'eau ou dans l'air à partir du point où ils sont rejetés, un module de calcul de dépôts et transferts, permettant d'évaluer :

- de quelle façon et en quelles proportions la radioactivité présente dans l'eau ou dans l'air se dépose respectivement sur le fond des mers ou sur le sol ;
- de quelle façon cette radioactivité est progressivement intégrée aux chaînes alimentaires.

La démarche correspondante est développée dans les paragraphes qui suivent.

#### 3.1 Modélisation de l'impact des rejets marins

##### 3.1.1 Dispersion des rejets marins : facteurs de dilution

Les mouvements des masses d'eau sont régies par les phénomènes de marée. A l'échelle d'une marée, ces mouvements peuvent être relativement importants, particulièrement dans le cas d'une mer comme la Manche. Cependant, il convient de considérer à la fois les flux et les reflux; dans ces conditions, la dynamique résultante peut être représentée par un ensemble de courants dits « résiduels » qui dépendent des conditions météorologiques. A l'échelle de l'année, on choisit de les considérer comme constants. Ainsi, contrairement à ce qui sera mentionné pour la dynamique des masses d'air, celle des masses d'eau fonctionne en régime semi-permanent.

---

<sup>1</sup> Ces modèles ont donné lieu à des publications référencées dans le rapport d'étape n° 2.



En première approche, il est donc possible de modéliser la dispersion des rejets marins de l'usine COGEMA par des *facteurs de dilution* de ces rejets en chaque point considéré du littoral du Nord-Cotentin, indépendants du temps. Ces facteurs correspondent au ratio entre l'activité de l'eau de mer et le flux de radioactivité rejeté par l'usine pour les radionucléides n'inter-agissant pas avec les particules. Ainsi, ils ne sont représentatifs que du transport des radionucléides par les masses d'eau. L'impact spécifique de chaque radionucléide pour chaque espèce marine est pris en compte selon la méthode décrite plus loin. Certains facteurs de dilution ont pu être calculés grâce à des résultats de mesures d'eau de mer réalisées sur une longue série temporelle à certains points de prélèvements (plus de 400 mesures sur quelques points). Pour les autres points du littoral, ce sont les valeurs fournies par un modèle hydrodynamique qui ont été utilisées, après confrontation des résultats de ce modèle, à la fois aux résultats calculés sur ces stations et à ceux fournis par des campagnes de mesures plus ponctuelles.

Ainsi, il est estimé que **pour tout le littoral du canton de Beaumont-Hague - à l'exception de la plage de Querqueville - le facteur de dilution des rejets marins de l'usine COGEMA devait être pris égal à 0,76 Bq/m<sup>3</sup> d'eau de mer par TBq rejeté par an par l'usine\***. Cette conclusion fait l'hypothèse simplificatrice implicite que le rejet se fait à flux constant tout au long de l'année. Cette hypothèse est toutefois réaliste pour les zones du littoral, du fait que l'activité mesurée dans l'eau de mer au littoral est le résultat d'une homogénéisation des flux de radionucléides rejetés sur plusieurs jours. Toutefois, pour quantifier l'impact de cette hypothèse simplificatrice, **le Groupe a estimé la variabilité potentielle de cette valeur au cours de l'année à 20 %**, sur la base des résultats de mesure d'eau de mer disponibles.

Dans les autres cas, ce facteur de dilution doit être modifié comme indiqué ci-dessous :

- pour les zones du littoral du Nord-Cotentin (incluant Querqueville) autres que celles du canton de Beaumont-Hague, la dilution des rejets est plus importante, puisque ces zones sont plus éloignées du point de rejet : le facteur de dilution est donc réduit d'un facteur évalué par le Groupe à partir de la confrontation modèles/mesures décrite précédemment (cf. annexe III) ;
- pour les zones situées au large, les résultats de mesure disponibles permettent d'évaluer des facteurs de dilution moyens similaires. Toutefois, les zones à proximité du point de rejet -qui rappelons-le est au large, à environ 2 km de la côte- les zones considérées sont plus directement sous l'influence des rejets de l'usine. Par conséquent, pour celles-ci la fluctuation des facteurs de dilution autour des valeurs moyennes évoquées plus haut est susceptible d'être notablement plus importante. **En l'absence de données précises sur la dilution en champ très proche du point de rejet, le Groupe n'a pas encore déterminé les caractéristiques de cette dilution et sa variabilité potentielle.** Cependant, pour ce qui concerne l'évaluation de l'exposition par ingestion de produits de la mer par les populations, la confrontation modèles/mesures sur ces différents produits n'a amené le Groupe à remettre en cause les facteurs de dilution que dans un seul cas : **la zone de pêche de poissons et de crustacés des Huquets**. Située au large, cette zone est cependant plus directement exposée aux rejets marins de l'usine de La Hague. La confrontation modèles/mesures pour les poissons et les crustacés pêchés dans cette zone a mis en évidence **la nécessité de considérer un facteur de dilution spécifique 2 à 7 fois supérieur à celui évoqué pour le littoral du canton de Beaumont-Hague**. On doit noter que cette zone est la seule zone de pêche au large, sur laquelle cette confrontation a pu être effectuée. Il s'agit en effet de la principale zone de pêche située

---

\* Le détail du raisonnement et des mesures conduisant au choix de cette valeur est présenté dans le rapport d'étape n° 2.

dans le champ proche du point de rejet, ce qui explique le fait qu'un nombre significatif de mesures dans l'environnement y étaient disponibles.

### 3.1.2 Dépôts et transferts aux sédiments et aux espèces marines vivantes

Dès lors que la dilution des rejets peut être appréhendée de cette façon, il est possible d'estimer l'activité des espèces marines (sédiments, poissons, crustacés, mollusques, algues) qui en découle, toujours en faisant l'hypothèse d'un régime permanent. **En effet, en régime permanent, il est possible de supposer que l'activité massique des espèces vivantes est proportionnelle à l'activité volumique de l'eau de mer à l'endroit où elles sont pêchées**, celle-ci étant égale à l'activité apportée par le rejet de l'installation, ajoutée à celle provenant du « bruit de fond » radioactif (tellurique et retombées des essais nucléaires atmosphériques). Les facteurs de proportionnalité correspondants sont couramment appelés *facteurs de concentration*.

Cette hypothèse de proportionnalité peut toutefois être partiellement mise en défaut pour les radionucléides qui ont tendance à se fixer sur les particules présentes dans l'eau de mer. Dans ce cas, la contamination des espèces marines, et plus encore des sédiments, peut ne pas être proportionnelle à celle de l'eau de mer prélevée au même endroit : en effet, pour certains radionucléides à vie moyenne à longue, les sédiments de fond stockent ces radionucléides avant de les relarguer partiellement, parfois plusieurs années après le dépôt de ces particules sur le fond et leur déplacement au fond de la mer. Ainsi, la radioactivité, stockée au cours d'années où les rejets ont été importants, et déplacée selon une dynamique différente de celle des courants marins, peut être encore relativement importante à une époque où les rejets ont notablement diminué.

C'est la raison pour laquelle il a été décidé de prendre en compte l'impact de ce stockage sédimentaire, **en découplant l'analyse de la contamination des espèces vivantes et celle des sédiments** :

- pour les *espèces vivantes*, on retiendra **les valeurs de facteurs de concentration préconisées par l'IPSN, du fait que ces valeurs reflètent plus particulièrement le comportement des radionucléides dans les espèces vivantes en Manche, ou par défaut lorsque l'IPSN n'en préconise pas, celles de l'AIEA. Dans le cas du carbone 14, la fourchette de valeur retenue par COGEMA et l'AIEA a été conservée en l'attente de la confrontation modèles/mesures pour ce radionucléide, à partir des valeurs disponibles sur le Nord-Cotentin.**

En outre, grâce aux résultats de la confrontation modèles/mesures effectuée pour chaque espèce, le Groupe a proposé d'**appliquer à ces facteurs de concentrations des facteurs correctifs** permettant de prendre en compte à la fois les caractéristiques des différents radionucléides, et notamment leur affinité pour les particules, mais également les interactions spécifiques pouvant exister entre un radionucléide et une espèce donnée (par exemple, certains types de mollusques concentrent plus certains radionucléides que d'autres types de mollusques). Indirectement, de tels facteurs correctifs permettent de prendre en compte « l'effet retard » du relargage des radionucléides par les sédiments.

De plus, il faut souligner la variabilité des facteurs de concentration pour une même espèce pouvant s'échelonner dans un rapport de 1 à 10. Les confrontations modèles/mesures ont permis de tenir compte de cette variabilité au moyen de facteurs correctifs présentés **sous une forme permettant d'évaluer, en chaque lieu de pêche, la contamination moyenne des différents produits marins, l'écart type sur cette évaluation ainsi que leur contamination maximale.**

Enfin, un nombre très limité (quelques unités) de mesures réalisées dans l'environnement n'ont pu être expliquées par la modélisation développée ci-dessus. Dès lors qu'elles sont apparues comme potentiellement représentatives d'un phénomène exceptionnel - notamment dès lors qu'elles ne peuvent pas être expliquées par un prélèvement ou une analyse défectueux -, il a été proposé qu'elles ne soient prises en compte que dans le cadre d'un scénario d'exposition spécifique.

Les facteurs de concentration et les facteurs correctifs validés par le Groupe pour les mollusques, les poissons et les crustacés, pour ce qui concerne l'antimoine 125, le ruthénium 106, le césium 137 et le cobalt 60, ainsi que les quelques mesures présentant le caractère exceptionnel évoqué dans le paragraphe précédent, sont compilés en Annexe IV. La confrontation modèles/mesures concernant les autres radionucléides et, pour tous les radionucléides concernant les algues, sera prochainement réalisée dès lors que l'analyse des mesures correspondantes réalisées dans l'environnement marin sera terminée.

pour les *sédiments*, la méthode envisagée par le Groupe consiste à évaluer des **facteurs de transferts avec intégration** : ces facteurs représentent le ratio de l'activité massique des sédiments par l'activité volumique intégrée de l'eau de mer sur N années. Cette activité intégrée est calculée, pour une année donnée, en sommant les activités de l'eau de mer, résultant des rejets de chacune des N années écoulées jusqu'à cette année-là, corrigées de la décroissance radioactive considérée cette même année.

Activité intégrée sur N années à l'année X =

activité de l'eau de mer correspondant aux rejets de l'année X

+ activité de l'eau de mer correspondant au rejet de l'année (X-1) ayant décru pendant une année +

+ activité de l'eau de mer correspondant au rejet de l'année (X-2) ayant décru pendant 2 ans

+ activité de l'eau de mer correspondant au rejet de l'année (X-N) ayant décru pendant N années.

La valeur de N dépend uniquement du radionucléide considéré : elle prend en compte sa période radioactive et elle est représentative de la période pendant laquelle il reste stocké dans les sédiments de fond. Par contre, les facteurs de transfert avec intégration ainsi déterminés sont également dépendants des zones considérées : en effet, ces facteurs de transfert dépendent étroitement des caractéristiques physico-chimiques des sédiments (taille, composition chimique). En outre de cette forte variabilité, de nature spatiale - dépendant de la cartographie sous-marine des sédiments -, le Groupe a pu constater que ces facteurs pouvaient présenter une importante variabilité temporelle. C'est pourquoi, **il convient non seulement d'évaluer la valeur de N pour les radionucléides pour lesquels des mesures sont disponibles, mais également celle des facteurs de transfert avec intégration pour chaque type de sédiments répartis autour du Nord-Cotentin**. Trois zones sont considérées comme représentatives : l'Anse des Moulinets considérée individuellement ; pour les sédiments de plage, toutes les autres plages du canton de Beaumont-Hague, prises dans leur ensemble ; pour les sédiments de fond, toutes les zones situées au large de ce canton, prises dans leur ensemble.

Cette méthode empirique n'est qu'un pis-aller, en l'absence d'une modélisation dynamique et physico-chimique complète de la contamination des sédiments. On doit toutefois noter que le CEFAS du Ministère britannique de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation a utilisé une méthode similaire pour évaluer la contamination par les rejets de l'usine de Sellafield des espèces vivantes en mer d'Irlande. En effet, les phénomènes

de rétention par les sédiments des radionucléides rejetés par cette installation y sont encore beaucoup plus importants qu'en Manche.

La détermination de ces différents facteurs est en cours. En attendant de leur obtention, il paraît possible *a priori* d'exploiter directement les résultats de mesures réalisés sur les sédiments de plage et de fonds d'ores et déjà analysés par le Groupe.

De façon générale, s'agissant des radionucléides pour lesquels on ne dispose pas de mesures, il a été retenu l'idée d'assimiler leur comportement à des analogues physico-chimiques.

## 3.2 Modélisation de l'impact des rejets atmosphériques

### 3.2.1 Dispersion des rejets atmosphériques

La première difficulté que le Groupe a eu à surmonter concerne la dispersion des rejets atmosphériques. En effet, celle-ci repose sur deux ensembles de paramètres, dont il est apparu nécessaire de disposer en priorité :

- un recensement des conditions météorologiques détaillées et représentatives du site ;
- les coefficients de transfert atmosphérique (CTA\* ), représentatifs de la dilution dans l'air en un point donné des rejets atmosphériques d'une installation. La principale différence entre les CTA et les facteurs de dilution des rejets marins tient à l'échelle de temps sur lesquels ils peuvent être utilisés. Les conditions météorologiques étant par nature variables, les CTA ne peuvent être représentatifs que d'une dilution correspondant à une condition météorologique donnée. Les modélisations traditionnellement utilisées consistent, pour obtenir la concentration de l'air en radionucléides en un point donné soumis au rejet chronique d'une installation nucléaire, à multiplier le rejet annuel de cette installation par un CTA pondéré, tenant compte de la variation des conditions météorologiques sur l'année en ce point.

Le *CTA pondéré* correspond au CTA moyen sur l'année, compte tenu des conditions météorologiques pour un village donné et le *CTA doublement pondéré* correspond au CTA moyen sur le canton de Beaumont-Hague, incluant une pondération supplémentaire tenant compte des populations des différents villages.

#### 3.2.1.1 Météorologie

**L'utilisation des modèles de calculs nécessite que l'on dispose *a minima*, sur un nombre d'années suffisamment représentatif, des fréquences de conditions météorologiques correspondant à des gammes de vent exhaustives, par temps sec ou par temps de pluie, de façon à pouvoir non seulement évaluer des CTA pondérés, mais également des débits de dépôt sec ou humide pondérés. Pour ce qui concerne les paramètres représentatifs de la stabilité de l'atmosphère, il est considéré, en première approximation et sous réserve de la validation d'une note préparée par COGEMA (en cours de discussion), que les situations où les vitesses de vent sont inférieures à 5 mis corresponderaient à des situations de diffusion stable. A l'inverse, pour des vitesses de vent supérieures, il est considéré que la diffusion était normale.**

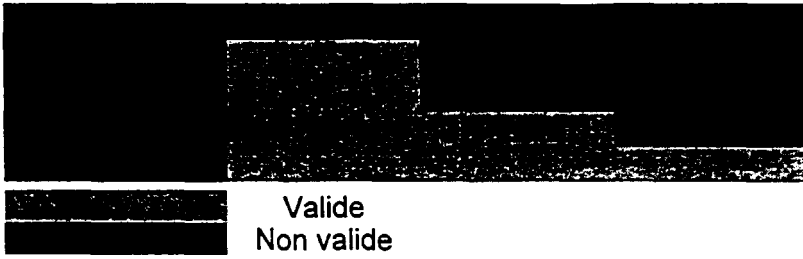
---

\* Les CTA s'expriment en activité présente dans un volume d'air, rapportée à l'activité rejetée par l'usine par unité de temps ( $\text{Bq.m}^{-3}$  par  $\text{Bq. s}^{-1}$ ).

### 3.2.1.2 CTA

**Une méthode spécifique**, appelée dans la suite de cette note « méthode alternative » doit être définie pour évaluer des CTA applicables aux rejets atmosphériques de l'installation COGEMA. En effet, les rejets de cette installation sont effectués à 100 mètres de hauteur. Or, pour certaines conditions météorologiques, les modèles traditionnellement utilisés ne sont pas valides à certaines distances du point de rejet.

C'est pourquoi, pour une évaluation d'impact sur le canton de Beaumont-Hague, le Groupe de travail a choisi d'utiliser le modèle développé par l'IPSN, basé sur le modèle de Doury\*, dans le domaine de validité défini ci-dessous :

	Diffusion faible Vent $\leq$ 5 m/s	Diffusion normale 5 m/s $<$ $<$ ou = 8 m/s	Diffusion normale 8 m/s $<$ $<$ ou = 11 m/s	Diffusion normale Vent $>$ 11 m/s
D $\leq$ 1500 mètres				
1500 m $<$ $<$ ou = 2000 m				
2000 m $<$ $<$ ou = 2500 m				
2500 m $<$ $<$ ou = 3000 m				
D $>$ 3000 mètres				

En dehors du domaine de validité ainsi défini, le Groupe a retenu, en l'état actuel des connaissances, la méthode d'évaluation des CTA, dite « **méthode du maximum** » : elle consiste, pour des conditions météorologiques données, pour tous les villages situés à une distance inférieure à celle pour laquelle le modèle atteint un maximum, à prendre comme CTA la valeur de ce maximum.

Les données utilisables pour une confrontation modèles/mesures étaient en nombre extrêmement limité. C'est la raison pour laquelle **il apparaît souhaitable que des campagnes de mesures de krypton 85 plus complètes soient réalisées dans les prochaines années, avec pour objectif de proposer une méthode alternative validée par des mesures de terrain, hors du domaine de validité du modèle de Doury\*, au besoin en s'appuyant sur des modèles maillés à trois dimensions.** Si, à cette occasion, les conditions de certaines mesures correspondent au domaine de validité du modèle, leurs résultats pourraient être utilisés pour confirmer cette validité.

Cependant et sur la base des seules mesures disponibles, il est considéré que le résultat obtenu par la « méthode du maximum » est susceptible de **sous-estimer le résultat réel dans un rapport de 1 à 4**, valeur compatible à la fois avec les résultats des CTA évalués grossièrement à partir des résultats de mesures de « campagnes krypton » et avec les incertitudes inhérentes au modèle de Doury. **Cette sous-estimation est d'autant plus probable que la zone exposée est proche du point de rejet**, puisque la « méthode du maximum » s'applique alors sur une période de l'année d'autant plus importante (100 % du temps, pour les villages situés à moins de 1500 mètres du point de rejet). Aussi, paraît-il prudent, dans l'évaluation du CTA pondéré correspondant à un village spécifique, ou de façon encore plus précise, à un Groupe de référence spécifique, de fournir systématiquement le résultat de l'application de cette méthode alternative, mais également la valeur supérieure de la fourchette d'incertitude mentionnée ci-dessus. *A titre d'exemple, le*

\* Cf. note sur les modèles, p. 6. Ces modèles ont donné lieu à des publications référencées dans le rapport d'étape n° 2.

tableau fournissant de telles valeurs pour des conditions météorologiques moyennes considérées entre les années 1992 et 1997 est joint en Annexe V.

Ces CTA sont directement utilisables pour évaluer l'exposition externe au panache et l'exposition interne par inhalation du panache

### 3.2.2 Dépôts et transferts dans les produits végétaux et animaux

La seconde difficulté rencontrée par le Groupe est le faible nombre de mesures exploitables pour la confrontation modèles/mesures pour les paramètres représentatifs des dépôts des aérosols atmosphériques et de l'iode ainsi que du transfert des radionucléides dans les produits végétaux et animaux. Cette situation s'explique principalement par :

- l'absence de mesures disponibles pour certains radionucléides ;
- l'absence de mesures significatives, c'est-à-dire supérieures aux seuils de détection pour d'autres radionucléides. Dans ce cas, la seule confrontation possible consiste à vérifier que les résultats des modèles restent à des niveaux inférieurs à ceux pouvant être détectés par les moyens de mesure utilisés ;
- l'absence de mesures supérieures au « bruit de fond » pour un troisième type de radionucléides. Ce bruit de fond est essentiellement dû à la contamination provenant de retombées atmosphériques (essais nucléaires et accident de Tchernobyl) ;
- l'impossibilité, dans certaines situations, de réaliser une confrontation directe des prévisions des modèles et des résultats des mesures, dans le cas où un marquage de l'environnement est clairement imputable aux rejets, comme par exemple, lorsqu'il y a contamination d'un végétal: celle-ci est souvent principalement due à des dépôts qui se sont produits pendant les mois, voire les semaines qui précèdent les mesures ; il faudrait alors pouvoir prendre en compte les conditions météorologiques réellement rencontrées pendant cette période pour rendre compte des phénomènes ayant influencé ces dépôts ; or, les données météorologiques utilisées sont des données moyennes annuelles.

En conséquence, une double démarche a été adoptée :

- *analytique*, visant, par le choix de bio-indicateurs adaptés, à effectuer le maximum de confrontations modèles/mesures possible sur des sous-ensembles élémentaires de la modélisation des transferts ; c'est notamment ce que le Groupe a fait pour ce qui concerne les transferts de tritium et de carbone 14 ; il n'a par contre pas pu le faire pour les dépôts d'aérosols et d'iode ;
- *globale*, visant à l'inverse à identifier pour chaque radionucléide les voies d'exposition qui, avec certitude, peuvent être négligées, de façon à pouvoir se consacrer à celles qui sont pertinentes. Pour celles-ci, on s'attachera à confronter les rares mesures exploitables aux seules voies d'exposition des modèles susceptibles d'expliquer la contamination ainsi détectée.

#### 3.2.2.1 Carbone 14

Il existe un nombre très limité de mesures de carbone 14 dans des échantillons de l'environnement de l'installation COGEMA. La réalisation et l'interprétation des mesures de carbone 14 dans les échantillons de l'environnement est délicate et donne lieu actuellement à de nombreux développements. Comme pour le krypton 85, **le Groupe a souhaité que ce radionucléide fasse l'objet à l'avenir de mesures plus systématiques**, à la fois du fait que, comme l'ont démontré les seules mesures disponibles, les rejets de l'usine entraînent un marquage clair de l'environnement proche du site et que l'incertitude sur les transferts de  $^{14}\text{C}$  dans l'environnement reste importante.

Le modèle adopté considère que le rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  dans les produits animaux et végétaux est identique au rapport correspondant dans l'air : ainsi, **l'activité de carbone 14 dans les végétaux peut être obtenue par une multiplication du CTA pondéré, évalué à l'endroit où ce végétal est prélevé, par le débit de rejet et par un facteur constant pris égal à 4200 m<sup>3</sup>/kg de carbone stable\*** (valeur correspondant à une fraction de 80 % de carbone sous forme de CO<sub>2</sub> dans les rejets (valeur uniquement applicable aux rejets de COGEMA). Pour obtenir la valeur de l'activité massique du végétal, il suffit ensuite de multiplier ce résultat par la fraction de la masse du carbone stable dans le végétal par rapport à sa masse totale.

La confrontation modèles/mesures réalisée n'a pas remis en cause ce facteur de concentration. Toutefois, compte tenu de la fluctuation des rejets au sein d'une même année et, en conséquence, de la variabilité induite sur la contamination d'espèces végétales intégrant la radioactivité sur des durées différentes (par exemple, l'herbe n'intègre la radioactivité ne correspondant qu'aux rejets des semaines précédentes, alors que d'autres bio-indicateurs végétaux intègrent la radioactivité rejetée sur plusieurs mois), **le Groupe estime prudent de calculer la concentration exprimée en Bq par kilogramme de carbone stable :**

- en utilisant la méthode d'évaluation des CTA décrite ci-dessus,
- en multipliant le résultat par le facteur de concentration évoqué ci-dessus,
- en encadrant la variabilité et l'incertitude sur le résultat obtenu par un facteur multiplicatif dépendant de la distance : :
  - 4 pour les zones situées à moins de 1500 mètres du point de rejet,
  - 2 pour les zones situées entre 1500 et 2500 mètres du point de rejet,
  - 1 pour les zones situées au delà de 2500 mètres.

Comme dans le cas des mesures, des développements sont en cours en matière de modélisation, qu'il conviendra de suivre avec attention.

### 3.2.2.2 Tritium

Il existe un nombre très limité de mesures de tritium dans des échantillons de l'environnement terrestre de l'installation COGEMA. **Le Groupe a également souhaité que ce radionucléide fasse dans l'avenir l'objet de mesures plus systématiques dans l'environnement terrestre** pour les mêmes raisons que celles invoquées pour le carbone 14.

De même que pour le carbone 14, le modèle adopté par le Groupe consiste à faire l'hypothèse de la **proportionnalité entre l'activité tritium de l'air, évaluée à l'aide des CTA pondérés, et celle des produits animaux et végétaux. Ce facteur de proportionnalité, appelé également facteur de concentration, varie, selon les produits entre 115 et 135 m<sup>3</sup>/kg\***.

Une rapide confrontation des résultats des modèles au faible nombre de mesures réalisées dans l'environnement a mis en évidence que les valeurs calculées sont dans l'ensemble d'un ordre de grandeur supérieures à celles réellement mesurées, et ceci, sans prise en compte du bruit de fond. En tout état de cause, et en l'état des mesures disponibles, la valeur fournie par le modèle paraît majorante par rapport aux valeurs mesurées dans l'environnement. **Le Groupe propose néanmoins, à défaut d'autres informations plus pertinentes, d'utiliser ces facteurs de concentration, en signalant toutefois que le résultat obtenu sera très probablement majorant pour ce radionucléide.**

---

\* Ce point est développé dans le rapport d'étape n° 3 en cours d'élaboration.

### 3.2.2.3 Autres radionucléides

Pour les autres radionucléides, l'approche analytique s'est avérée impossible. En effet, la vitesse de dépôt par temps sec et le taux de lavage du panache par temps de pluie sont les deux maillons des modèles indispensables pour évaluer l'impact de ces autres radionucléides. Or, malgré quelques auditions, il est apparu qu'il n'existait aucun bio-indicateur, pour lequel on dispose d'un nombre suffisant de résultats de mesures, qui auraient permis spécifiquement de valider les valeurs de ces paramètres.

Le Groupe a en conséquence estimé qu'il **serait nécessaire d'effectuer, à l'avenir et dans la durée, des campagnes de mesures sur des bio-indicateurs bien choisis, destinées à mieux connaître les caractéristiques des dépôts dans une région présentant des conditions météorologiques particulières (brouillards et embruns fréquents)**. C'est la raison pour laquelle, le Groupe s'est orienté vers une approche globale.

Cette approche a été décrite dans une note approuvée par le Groupe, jointe en Annexe VI. En préalable à la mise en application de cette méthode, le Groupe a décidé de faire un choix de paramètres pour modéliser l'impact des rejets atmosphériques. Le choix s'est finalement porté sur les paramètres utilisés dans le code FOCON 96 de l'IPSN. En effet, c'est ce modèle qui prend en compte l'échantillon de radionucléides le plus important.

Il reste au Groupe à identifier et sélectionner, pour chaque radionucléide, les voies de contamination des produits végétaux et animaux les plus significatives en utilisant ces paramètres ainsi choisis, conformément à la démarche décrite dans l'Annexe VI, et à effectuer la confrontation des résultats calculés par le modèle ainsi obtenu -CTA évalués conformément au 3.2.1, voies de contamination sélectionnées comme indiqué ci-dessus- avec les quelques séries de mesures disponibles, notamment dans le lait et dans l'herbe.

C'est par l'intermédiaire de cette démarche qu'il sera également possible de déterminer plus précisément la contribution de phénomènes probablement secondaires, comme la remise en suspension des dépôts et le dépôt d'embruns sur les sols : en effet, s'il n'existe à l'heure actuelle aucun résultat de recherche permettant d'évaluer l'exposition interne par inhalation d'embruns, le Groupe a pu constater, sur la base de quelques études réalisées dans la région du Nord-Cotentin, qu'il **pouvait exister pour certains radionucléides (cobalt 60, par exemple) un marquage par des dépôts d'embruns, mais que ce marquage n'est détectable que dans une frange de 300 mètres du bord de mer**.

## 3.3 Conclusion

Il y a lieu de noter que, dans le cadre d'une analyse portant sur une sélection de radionucléides susceptibles - *a priori* - de contribuer le plus à la dose, effectuée par le Groupe à l'aide des modèles disponibles, les quatre radionucléides ayant la contribution la plus significative, s'agissant des rejets atmosphériques, sont le carbone 14, le krypton 85, le tritium et l'iode 129. L'impact des trois premiers radionucléides peut être évalué ou majoré grâce à la démarche développée aux paragraphes 3.2.1, 3.2.2.1 et 3.2.2.2. Le Groupe s'attachera toutefois à valider cette première sélection.

Par conséquent, **la priorité du travail à venir doit porter sur l'analyse de la validité des modèles utilisés, pour évaluer les transferts d'iode 129 dans les espèces végétales et animales**. Ce point spécifique a déjà fait l'objet d'une audition par le Groupe : à l'occasion de cette audition, il est apparu que tant les résultats de travaux *in situ* que d'expériences en milieu contrôlé permettaient d'évaluer les modalités de dépôt humide de l'iode. Ce point permet ainsi d'avoir une certaine confiance dans les taux de lavage utilisés dans les modèles pour ce radionucléide. Le Groupe a toutefois tenu à préciser que ces paramètres



pouvaient ne pas être représentatifs de situations couramment rencontrées dans le Nord-Cotentin (brouillards et embruns, notamment).

## 4. GROUPES DE POPULATION ET COMPORTEMENTS PARTICULIERS

### 4.1 Remarques Générales

Dans un cadre réglementaire, les exploitants doivent évaluer l'impact dosimétrique des rejets radioactifs de leurs installations sur la population. Cette évaluation est réalisée pour des groupes de référence de la population définis comme des groupes « comprenant des individus dont l'exposition à une source est assez uniforme et représentative de celle des individus qui, parmi la population, sont plus particulièrement exposés à ladite source » (définition de la Directive 96/29/Euratom du 13 mai 1996).

Le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin a une mission différente, comme cela est rappelé en introduction, qui concerne principalement les expositions dues aux rejets passés ainsi que les expositions dues aux sources médicales et naturelles. Pour répondre à cette mission, sa démarche est double : évaluer la dose moyenne reçue par la population locale sur la base de l'étude d'une cohorte, estimer la variabilité autour de la dose moyenne par l'étude de « scénarios particuliers » illustrant des comportements particuliers susceptibles de conduire à des expositions plus importantes. La variabilité autour de la dose moyenne peut être liée à :

- des concentrations en radionucléides dans l'environnement supérieures aux valeurs moyennes utilisées pour la cohorte, ces concentrations étant associées à des lieux précis,
- des habitudes de vie particulières qui s'écartent de la moyenne,
- une vulnérabilité aux rayonnements ionisants plus importante de certains groupes présents au sein de la population.

La notion de scénario particulier exploite ces trois sources de variabilité.

L'approche retenue ne permet donc pas de répondre directement à la question complémentaire posée par les Ministres dans leur lettre du 27 novembre 1997 concernant les rejets futurs de COGEMA-La Hague. Il faut souligner que l'étude des scénarios particuliers apporte des éléments utiles à la recherche des groupes de référence. En effet, elle nécessite l'identification systématique des comportements et situations conduisant à des expositions plus importantes, *ce qui contribue à une analyse de sensibilité autour de l'exposition des groupes de référence*. Ceux-ci combinent toutes les voies d'exposition, alors que les scénarios peuvent n'en considérer qu'un.

La méthodologie du Groupe se structure en différentes étapes :

- l'identification des scénarios particuliers,
- la description des voies d'exposition associées à chaque scénario particulier,
- le renseignement des caractéristiques des populations concernées,
- le choix des paramètres de mode de vie spécifiques de chaque scénario,
- le choix des paramètres environnementaux associés à chaque scénario,
- le calcul des doses associées à chaque scénario.

## **4.2 Identification des scénarios particuliers**

Cette étape, réalisée a priori, nécessite une bonne connaissance générale des modes de vie locaux et de certaines habitudes de vie spécifiques.

Le Groupe a dressé une liste aussi exhaustive que possible de l'ensemble des scénarios particuliers existants ou ayant existé dans la population locale du Nord-Cotentin. Ainsi, la consommation directe des algues n'a pas été retenue comme scénario particulier puisqu'aucune trace de cette pratique n'a été retrouvée (ce point doit cependant encore être débattu au sein du groupe). Par contre l'utilisation des algues comme amendement des sols a été prise en compte même si elle n'est aujourd'hui quasiment plus pratiquée. Les scénarios particuliers identifiés sont illustrés par les figures en Annexe VII, ainsi que les voies d'exposition.

Il faut souligner que cette étape n'a pas pour but de hiérarchiser les scénarios sur des critères dosimétriques ou sur des critères de fréquence d'occurrence mais plutôt d'identifier l'ensemble des comportements ou habitudes locales.

Enfin, on notera que seuls les scénarios existants (habitudes actuelles) et non les scénarios ayant existé (habitudes passées) sont à considérer dans le cas des rejets futurs des installations.

## **4.3 Description des voies d'exposition associées à chaque scénario particulier**

Cette deuxième étape est très liée à la première puisqu'elle décrit précisément les voies d'exposition prises en compte pour chacun des scénarios. La distinction est subtile car certains scénarios ne mettent en oeuvre qu'une voie d'exposition. Par exemple le scénario « Fréquentation des abords du site » ne fait intervenir que la voie d'exposition par irradiation directe due à l'installation. D'autres scénarios particuliers conduisent à considérer plusieurs voies d'exposition difficilement dissociables dans la réalité. Par exemple, le scénario « Agriculteurs » prend en compte l'utilisation des algues comme engrais, l'utilisation de l'eau des ruisseaux pour l'irrigation, la consommation de produits locaux, etc.

## **4.4 Renseignement des caractéristiques des populations concernées**

Au sein de la population générale, certains groupes d'individus sont plus vulnérables que d'autres aux expositions aux rayonnements ionisants, comme par exemple les enfants vis à vis de l'exposition de la thyroïde à l'iode radioactif. Il est donc important de calculer les doses reçues par ces groupes de population.

Certains scénarios particuliers ne s'appliquent pas à tous les groupes de population, par exemple le scénario particulier « Pêcheurs » (sous-entendu pêcheurs professionnels) ne s'applique pas aux enfants. En outre, certains scénarios particuliers peuvent conduire à une dose différente selon les caractéristiques du groupe de population considéré (enfants, adolescents, homme, femme), par exemple l'exposition par inhalation dépend de la capacité respiratoire. Un même scénario peut donc être étudié pour différents groupes de population.

## **4.5 Choix des paramètres de mode de vie spécifiques de chaque scénario**

Contrairement à l'identification des scénarios où l'on peut se contenter d'une connaissance qualitative des modes de vie locaux, cette quatrième étape nécessite la connaissance quantitative des différents paramètres de mode de vie impliqués dans chacun des scénarios. Ces paramètres relèvent de différents domaines : alimentation (régime alimentaire, taux

d'autoconsommation), budgets temps (temps passés à certaines activités, durées de présence en certains lieux), pratiques agricoles (productions agricoles, taux d'irrigation des cultures, taux d'épandage des algues), taux de remise en suspension lors du labour,... Ils sont dépendants de la région considérée et peuvent être précisés à l'aide d'études et d'enquêtes locales s'intéressant aux différents groupes de population qui les pratiquent. Par exemple, pour connaître les taux d'irrigation locaux, l'enquête doit s'adresser aux agriculteurs et non à l'ensemble de la population.

Lorsqu'on ne dispose pas d'enquêtes locales, on peut se baser sur une recherche bibliographique des données utilisées dans d'autres études principalement étrangères, l'analyse des statistiques nationales (recherche des individus extrêmes, percentiles ) et sur des avis d'experts.

#### **4.6 Choix des paramètres environnementaux associés à chaque scénario**

De même qu'une utilisation importante des ressources environnementales (gros mangeurs de certains produits, fréquentation élevée de certains lieux) peut être à l'origine d'une exposition plus importante, une utilisation moyenne d'un environnement plus contaminé que la moyenne peut conduire à des expositions plus importantes. En effet, les concentrations dans l'environnement sont susceptibles de varier dans l'espace et le temps en fonction des rejets et des dynamiques de l'écosystème. En particulier, il peut être pertinent d'étudier plusieurs localisations pour un même scénario.

Cette étape ne peut être réalisée qu'après avoir décrit les niveaux des concentrations dans les différents compartiments de l'environnement du Nord-Cotentin. A partir de l'identification des zones concernées, il convient de définir des scénarios particuliers aussi réalistes que possible, localisés sur ces zones. Le réalisme des scénarios particuliers localisés en ces points est à évaluer.

#### **4.7 Calcul des doses associées à chaque scénario**

L'impact dosimétrique recouvre de multiples indicateurs : doses à l'organe, dose efficace, doses engagées sur différentes périodes de temps,... L'étape du calcul de dose est donc fonction du résultat pertinent à obtenir pour chaque étude du scénario particulier.

Pour les dossiers réglementaires, l'indicateur utilisé est la dose efficace engagée. En outre, en fonction des radionucléides du terme source, il peut être pertinent de calculer des doses à certains organes.

#### **4.8 Conclusion**

La démarche conduisant à identifier systématiquement des scénarios d'exposition particuliers susceptibles de conduire à des expositions plus importantes que la dose moyenne reçue par la population locale est différente de celle adoptée dans le cadre des procédures réglementaires. Elle peut cependant, comme on vient de le souligner, apporter des éléments utiles à cette dernière approche si l'on considère qu'il s'agit d'une analyse de sensibilité autour des niveaux d'exposition estimés pour les groupes de référence.

## 5. CONCLUSION GENERALE

Bien que le travail effectué dans le cadre du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin n'ait pas pour objectif d'évaluer l'impact futur des installations nucléaires du Nord-Cotentin qui doit notamment prendre en compte l'ensemble des installations et des sources d'expositions, le mode d'approche retenu peut éclairer la démarche qui pourra être suivie dans le cadre de la révision des textes régissant le fonctionnement de l'usine COGEMA-La Hague :

- *pour le terme source*, en permettant une meilleure appréciation des rejets futurs à partir d'une formalisation du retour d'expérience et une meilleure compréhension de la pertinence des radionucléides à considérer dans l'étude d'impact sur les populations concernées ;
- *pour le transfert dans l'environnement*, en évaluant la validité des modèles environnementaux couramment utilisés dans le contexte spécifique de l'écosystème du Nord-Cotentin et en confrontant leurs prédictions à l'ensemble des mesures de radioactivité réalisées dans l'environnement du site ;
- *pour les groupes de population*, en identifiant systématiquement des scénarios d'exposition particuliers susceptibles de conduire à des expositions plus importantes que la dose moyenne reçue par la population locale.

Il convient cependant de souligner le fait que le traitement de l'ensemble des données nécessaires à la validation des modèles n'est pas terminé. De même, la réflexion sur le choix des scénarios d'exposition particuliers se poursuit; on pourra ainsi considérer d'autres scénarios que ceux identifiés jusqu'à présent. A ce stade, c'est le mode d'approche qui est déterminé et non le résultat final de la réflexion.

# LISTE DES RADIONUCLÉIDES SUSCEPTIBLES D'ÊTRE PRÉSENTS DANS LES EFFLUENTS DES USINES DE LA HAGUE

## Effluents liquides :

PRODUIT DE FISSION	
<b>Ternaire</b>	
	Tritium
	Béryllium
<b>Binaire</b>	
	Sélénium 79
	Rubidium
	Strontium 89
	Strontium 90
	Yttrium 90
	Yttrium 91
	Zirconium 93
	Zirconium 95
	Niobium 95
	Technétium 99
	Ruthénium 103
	Ruthénium 106
	Rhodium 103
	Rhodium 106
	Palladium 107
	Argent 110 m
	Cadmium 113 m
	Etain 121 m
	Etain 121
	Etain 123
	Etain 126
	Antimoine 124
	Antimoine 125
	Antimoine 126
	Tellure 123 m
	Tellure 125 m
	Tellure 127 m
	Tellure 127 g
	Iode 129
	Césium 134
	Césium 135
	Césium 137
	Cérium 144
	Praséodyme 144
	Prométhéum 147
	Samarium 151
	Europium 152
	Europium 154
	Europium 155
	Terbium 160

ISOTOPES DE L'URANIUM ET DES TRANSURANIENS
Uranium 232
Uranium 233
Uranium 234
Uranium 235
Uranium 236
Uranium 238
Neptunium 237
Plutonium 236
Plutonium 238
Plutonium 239
Plutonium 240
Plutonium 241
Plutonium 242
Américium 241
Américium 242
Américium 243
Curium 242
Curium 243
Curium 244
Curium 245
Curium 246

Produits d'activation, de période supérieure à deux ans, liés aux impuretés présentes dans l'oxyde d'uranium

CIBLE	TENEUR** EN IMPURETE (ppm)	RADIONUCLÉIDE FORME
Carbone Azote Oxygène	100	$^{13}\text{C}(n,\gamma)^{14}\text{C}$
	10	$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$
		$^{17}\text{O}(n,\gamma)^{14}\text{C}$
Chlore	25	$^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$
Calcium	300	$^{40}\text{Ca}(n,\gamma)^{41}\text{Ca}$
Fer	500	$^{54}\text{Fe}(n,\gamma)^{55}\text{Fe}$
Nickel	300	$^{58}\text{Ni}(n,\gamma)^{59}\text{Ni}$
		$^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$
Niobium	20	$^{93}\text{Nb}(n,\gamma)^{94}\text{Nb}$
Molybdène	300	$^{92}\text{Mo}(n,\gamma)^{93}\text{Mo}$
Samarium	0,6	$^{150}\text{S}(n,\gamma)^{151}\text{Sm}$

\*\* Les teneurs en impureté retenues sont celles mesurées par les fabricants de combustibles.

## Effluents Gazeux\* :

PRODUITS DE FISSION		
Tritium	$^{60}\text{Co}$	$^{85}\text{Kr}$
$^{87}\text{Rb}$	$^{106}\text{RuRh}$	$^{125\text{m}}\text{Te}$
$^{125}\text{Sb}$	$^{129}\text{I}$	$^{131}\text{I}$
$^{133}\text{I}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$
$^{144}\text{CePr}$		

ISOTOPES DES TRANSURANIENS
$^{238}\text{Pu}$
$^{239}\text{Pu}$
$^{241}\text{Am}$

Produits d'activation, de période supérieure à deux ans, liés aux impuretés présentes dans l'oxyde d'uranium

$^{14}\text{C}$
$^{36}\text{Cl}$

\* Les réflexions du Groupe sont encore en cours.

**RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES REJETS DE RADIONUCLEIDES DANS LES EFFLUENTS LIQUIDES ET GAZEUX DE L'USINE DE LA HAGUE**

Les graphiques correspondant aux effluents liquides sont inclus dans le rapport d'étape n° 2 et ceux correspondant aux effluents gazeux seront inclus dans le rapport d'étape n° 3 en cours d'élaboration.

Ces graphiques comprennent pour chaque radionucléide :

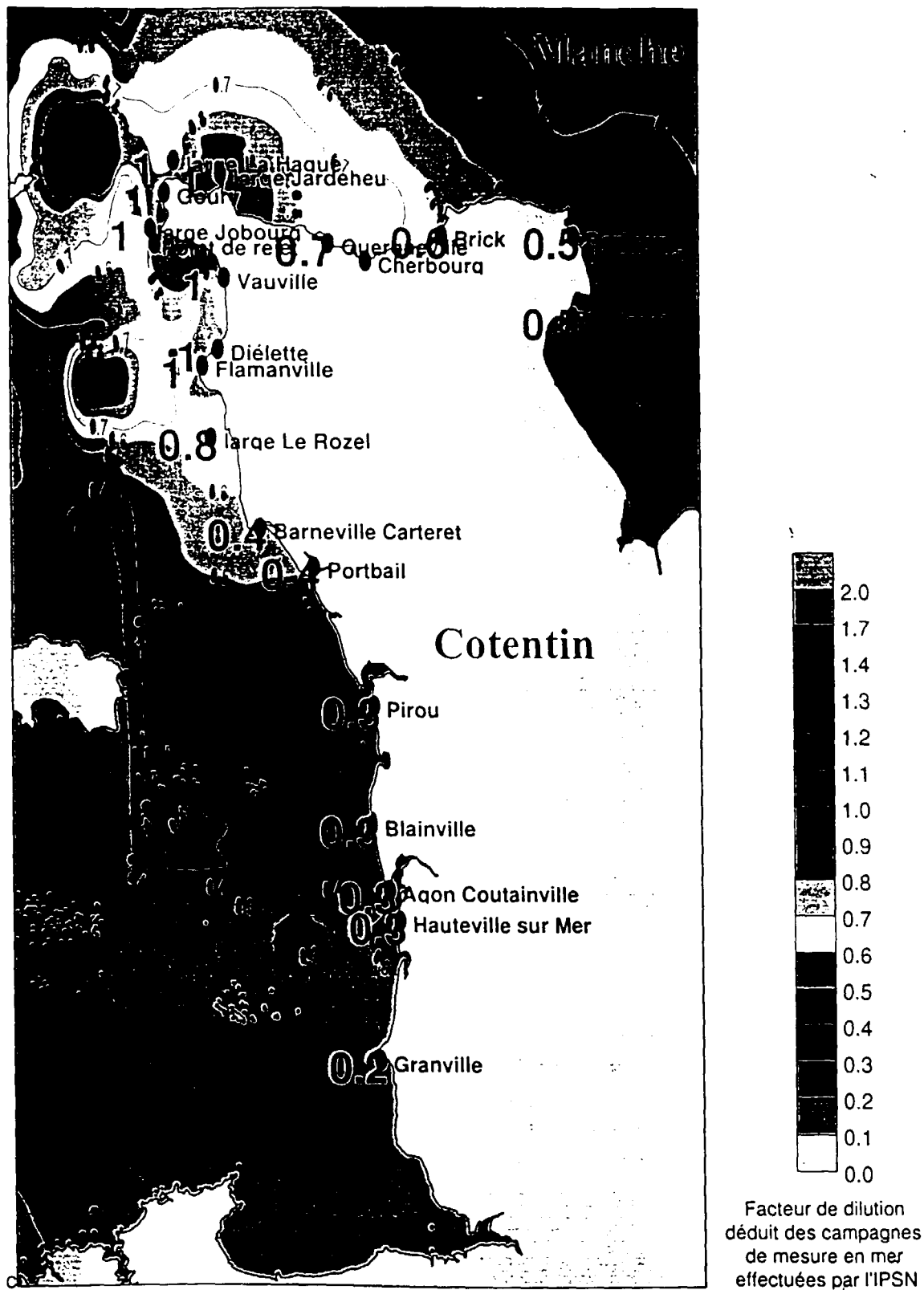
- l'évolution de l'activité calculée dans le combustible,
- l'évolution de l'activité mesurée dans les rejets (lorsqu'elle existe) ou « reconstituée » à partir de la fonction de transfert,
- l'évolution de la fonction de transfert.

**VALEURS PROPOSEES POUR LES FACTEURS DE DILUTION  
DES REJETS LIQUIDES DE L'USINE DE LA HAGUE**

	<b>Bq/m3 / TBq/an</b>	<b>Facteur de dilution par rapport à Goury</b>
<b>Jobourg</b>	<b>0,76</b>	<b>1</b>
<b>Goury</b>	<b>0,76</b>	<b>1</b>
<b>La Hague</b>	<b>0,76</b>	<b>1</b>
<b>Jardeheu</b>	<b>0,76</b>	<b>1</b>
<b>Querqueville</b>	<b>0,53</b>	<b>0,7</b>
<b>Brick</b>	<b>0,46</b>	<b>0,6</b>
<b>Barfleur</b>	<b>0,38</b>	<b>0,5</b>
<b>Le Rozel</b>	<b>0,61</b>	<b>0,8</b>
<b>Barneville</b>	<b>0,31</b>	<b>0,4</b>
<b>Granville</b>	<b>0,15</b>	<b>0,2</b>

# FACTEURS DE DILUTION DES REJETS DE L'USINE DE RETRAITEMENT DE LA HAGUE POUR UN ELEMENT STRICTEMENT SOLUBLE

Confrontation avec les résultats des campagnes en mer effectuées par l'IPSN



La valeur de référence (1 à Goury), correspond à 0,76 Bq/m<sup>3</sup> pour 1 TBq rejeté par an.  
Les chiffres en noir indiquent le facteur de dilution retenu pour les lieux de prélèvement réguliers.



**FACTEURS DE CONCENTRATION, FACTEURS CORRECTIFS  
ET VALEURS NON EXPLIQUÉES POUR LES REJETS LIQUIDES  
DE L'USINE DE LA HAGUE**

**Facteurs de concentration retenus**

Espèces	<sup>125</sup> Sb	<sup>106</sup> Ru	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Mollusques filtreurs	20	600	50	2000
Mollusques non filtreurs	20	600	50	2000
Poissons	20	2	400	200
Crustacés	10	300	100	5000

**Facteurs correctifs des moyennes**

Espèces	<sup>125</sup> Sb	<sup>106</sup> Ru		<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	
		⇒ 1990	1991 ⇒		⇒ 1990	1991 ⇒
Mollusques filtreurs	1,2	0,4	0,4	0,8	0,5	1,2
Mollusques non filtreurs	0,5	0,2	1	0,7	0,5	2
Poissons	4	4	4	0,3	0,8	2
Crustacés	1,4	0,5	0,5	0,5	0,5	1,3

**Ecart types autour de la valeur moyenne**

Espèces	<sup>125</sup> Sb	<sup>106</sup> Ru	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Mollusques filtreurs	35 %	35 %	50 %	35 %
Mollusques non filtreurs	50 %	50 %	50 %	50 %
Poissons	50 %	50 %	50 %	50 %
Crustacés	50 %	50 %	50 %	50 %

**Facteurs correctifs des valeurs maximales**

Espèces	<sup>125</sup> Sb		<sup>106</sup> Ru		<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co	
	⇒ 1990	1991 ⇒	⇒ 1990	1991 ⇒		⇒ 1990	1991 ⇒
Mollusques filtreurs	7	7	5	5	7	7	7
Mollusques non filtreurs	2	6	0,8	3,5	9	2	6
Poissons	8	8	28	28	5	10	10
Crustacés	12	12	4	4	8	6	6

**Valeurs non expliquées à prendre en compte dans des scénarios spécifiques**

		Facteur multiplicatif	
<b>Patelles</b>			
Anse des Moulinets	1985	césium 137	55
Anse Saint-Martin	1992	césium 137	75
<b>Poissons</b>			
Les Huquets	1982	ruthénium 106	64
Les Huquets	1993	ruthénium 106	275

**COEFFICIENTS DE TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES (CTA) POUR L'USINE DE LA HAGUE :  
EXEMPLE DE RESULTAT DE LA METHODE APPLIQUEE AUX CONDITIONS METEOROLOGIQUES MOYENNES  
EXPLOITEES SUR LES ANNEES 1992 A 1997**

Communes	Points de calcul		secteurs	CTA (s.m <sup>-3</sup> )		CTA (s.m <sup>-3</sup> )		Population tous âges 1986
	distances en km			pondéré total	pondéré par la population	max	max	
Herqueville	1,1	170°-190°		méthode	max	méthode	max	67
Jobourg	2,0	270°-290°		3,95E-08	1,58E-07	3,49E-10	1,40E-09	366
Omonville-la-Petite	2,5	350°-10°		4,66E-08	1,13E-07	2,25E-09	5,47E-09	118
Digulleville	2,6	10°-30°		1,04E-07	2,85E-07	1,62E-09	4,44E-09	185
		30°-50°		8,52E-08	1,81E-07	2,08E-09	4,42E-09	185
Beaumont-la-Hague	3,3	110°-130°		8,01E-08	1,70E-07	1,96E-09	4,16E-09	1381
Omonville-la-Rogue	3,6	30°-50°		5,72E-08	6,12E-08	1,04E-08	1,12E-08	334
Eculleville	4,3	70°-90°		7,15E-08	7,53E-08	3,15E-09	3,32E-09	55
St Germain des Vaux	4,7	310°-330°		9,16E-08	9,53E-08	6,65E-10	6,92E-10	273
Vauville	5,2	150°-170°		1,88E-08	2,12E-08	6,78E-10	7,66E-10	343
Auderville	5,4	310°-330°		2,90E-08	3,28E-08	1,31E-09	1,49E-09	218
Greville-Hague	5,5	90°-110°		1,75E-08	1,99E-08	5,03E-10	5,73E-10	432
Branville	7,1	110°-130°		6,69E-08	7,08E-08	3,82E-09	4,04E-09	98
Bliville	8,2	150°-170°		3,89E-08	4,29E-08	5,03E-10	5,55E-10	245
Ste Croix-Hague	8,7	110°-130°		1,92E-08	2,30E-08	6,21E-10	7,45E-10	477
Urville-Nacqueville	9,9	90°-110°		3,14E-08	3,54E-08	1,98E-09	2,23E-09	1280
Vasteville	11,9	130°-150°		3,68E-08	4,07E-08	6,22E-09	6,88E-09	527
Acqueville	11,9	110°-130°		1,53E-08	1,92E-08	1,07E-09	1,33E-09	411
		110°-130°		2,14E-08	2,54E-08	1,16E-09	1,38E-09	411
Tonneville	12,4	130°-150°		1,53E-08	1,92E-08	8,32E-10	1,04E-09	347
Flottemanville-Hague	12,8	90°-110°		2,75E-08	3,14E-08	1,26E-09	1,44E-09	415
		110°-130°		1,95E-08	2,35E-08	1,07E-09	1,29E-09	
				4,08E-08	5,36E-08	CTA doublement pondéré		

La valeur du CTA pondéré total figurant dans la première colonne est calculé conformément à la méthode décrite dans la note méthodologique  
La valeur de la seconde colonne correspond à la valeur haute de la fourchette d'incertitude retenue pour l'application de cette méthode

**CALCUL DE LA DOSE COLLECTIVE DUE A L'EXPOSITION  
AUX REJETS ATMOSPHERIQUES DE L'USINE COGEMA-LA HAGUE**

Hypothèses simplificatrices pour le calcul

Soit Dose (n) la dose collective<sup>2</sup> pour l'année n.

Par définition :

$$\text{Dose (n)} = \sum_{\text{population du canton}} \text{dose (i,k,n)},$$

où d(i,k,n) est la dose individuelle annuelle reçue l'année n par un individu de la classe d'âge i, habitant le village k du canton.

Pour ce calcul de dose collective, on propose de faire les premières hypothèses simplificatrices suivantes :

- 1) **on peut considérer que lorsqu'un paramètre ne dépend que de données géographiques, on le considère constant sur un même village → il ne dépend donc que de k.**
- 2) **il paraît irréaliste (pour la réalisation d'un tel calcul) de faire varier les conditions météorologiques d'une année sur l'autre. L'exploitation des données météorologiques en cours doit permettre d'accéder à des conditions météorologiques moyennes, utilisables pour toutes les années.**

Conséquence : les CTA dépendent uniquement de la situation de l'individu considéré par rapport à l'usine, ainsi que des conditions météorologiques. Or, ceci est indépendant de la classe d'âge auquel l'individu appartient. Par ailleurs, l'hypothèse faite sur les conditions météorologiques rend possible le calcul d'un CTA pondéré par les conditions météorologiques moyennes, indépendant de l'année n. Une analyse de sensibilité sur les cinq années pour lesquelles ces conditions météorologiques seront disponibles permettra d'évaluer l'erreur commise sur les CTA - et plus bas, sur les dépôts - en faisant une telle hypothèse. Enfin, la dimension des villages étant assez petite, la proposition 1) consiste à poser que les CTA à utiliser pour deux individus d'un même village sont les mêmes.

Si on appelle CTA(i,k,n) le CTA à utiliser pour calculer la dose individuelle reçue l'année n par un individu de la classe d'âge i, habitant le village k, il ressort du raisonnement précédent que :

$$\text{CTA (i,k,n)} \approx \text{CTA (k)}$$

c'est-à-dire qu'en bonne approximation pour le calcul de dose collective, c'est-à-dire pour un calcul moyen, le CTA ne dépend en fait que du village où habite l'individu.

- 3) **par la nature même du calcul de dose collective, on peut considérer que les modes de vie (ration alimentaire, budget temps) utilisés pour le calcul, si ils peuvent dépendre de la classe d'âge à laquelle cet individu appartient, ainsi que de l'année n considérée pour le calcul (Cf. problème des rations alimentaires), ils ne dépendent pas de la localisation de l'individu.** En effet, c'est le calcul de l'impact au groupe de référence qui nécessite de prendre en compte la localisation des personnes.

<sup>2</sup> Approche valable pour les doses engagées ou pour les doses équivalentes

Compte tenu de ces trois hypothèses simplificatrices, sans lesquelles un calcul de dose collective sur une période de temps aussi longue à considérer serait totalement irréaliste, le calcul de la dose collective peut être décomposé pour chaque voie d'exposition de la façon suivante.

### I. VOIES D'EXPOSITION DEPENDANTES DES SEULS CTA

On inclut dans ces voies l'exposition externe au panache et l'exposition interne par inhalation du panache, ainsi que toutes les voies d'exposition au carbone 14 et au tritium.

Dans tous ces cas, pour chaque radionucléide :

$$\text{Dose (i,k,n)} = Q(n) \times \text{CTA}(k) \times K(i,n)$$

- où  $Q(n)$  est le rejet atmosphérique de l'année  $n$  du radionucléide considéré,
- où  $\text{CTA}(k)$  est le CTA pondéré par les conditions météorologiques moyennes annuelles pour le village  $k$  (temps sec/temps de pluie, conditions de diffusion, vitesses de vent) pour les seuls moments où les vents soufflent en direction de ce village,
- où  $K(i,n)$  est une fonction de transfert uniquement dépendante de la classe d'âge de l'individu et de l'année  $n$  considérée : en effet, elle inclut essentiellement des facteurs de doses (transformation de l'activité en dose), des temps passés au contact du panache, ou plus spécifiquement pour ce qui concerne le carbone 14 et le tritium, des rations alimentaires et des facteurs de transfert aux aliments végétaux ou animaux, tous facteurs indépendants du village considéré, du fait de l'hypothèse 3.

Dans ces conditions, le calcul de la dose collective, pour l'année  $n$ , pour le rejet de ce radionucléide, devient :

$$\text{Dose (n)} = \sum_{\text{population du canton}} Q(n) \times \text{CTA}(k) \times K(i,n)$$

Si on considère tous les habitants d'un village  $k$  du canton, de la classe d'âge  $i$ , leur dose individuelle est identique. Si on appelle  $\text{pop}(i,k,n)$  leur population pour l'année  $n$ , on peut noter que le nombre de fois où cette dose individuelle intervient dans la sommation vaut  $\text{pop}(i,k,n)$ . De ce fait, la dose collective pour l'année  $n$  devient :

$$\text{Dose (n)} = Q(n) \times \sum_i K(i,n) \times [\sum_k \text{pop}(i,k,n) \times \text{CTA}(k)]$$

**4) Pour s'affranchir de la variabilité géographique du CTA, on propose de considérer le CTA pondéré suivant :**

$$\underline{\text{CTA}}(i,n) = [\sum_k \text{pop}(i,k,n) \times \text{CTA}(k)] / \text{pop}(i,n)$$

De la sorte, la dose collective  $D(n)$  peut s'écrire plus simplement :

$$\text{Dose (n)} = Q(n) \times \sum_i ( K(i,n) \times \text{pop}(i,n) \times \underline{\text{CTA}}(i,n) )$$

Il ressort d'une évaluation\* que, dans un cas particulier de diffusion,  $\underline{CTA}(i,n)$  dépendait peu de la classe d'âge  $i$  et également peu des fluctuations de populations et donc, peu de l'année  $n$ . En effet, les fluctuations de population du canton sur les trente années considérées sont finalement très limitées : seule la population d'Urville a beaucoup évolué, mais son éloignement par rapport à l'usine limite l'impact de cette fluctuation sur la valeur de  $\underline{CTA}(i,n)$ . De même, ces fluctuations ne sont pas significativement différentes selon les classes d'âge considérées. Dans l'exemple pratique considéré, la variation entre les différentes valeurs de  $\underline{CTA}(i,n)$  étaient au maximum de l'ordre de 10 %.

**Une dernière simplification pour le calcul consiste donc à poser :**

$$\underline{CTA}(i,n) \approx \underline{CTA}$$

On peut noter que  $\underline{CTA}$  correspond alors à un CTA doublement pondéré : par les conditions météorologiques moyennes annuelles et par les populations de chaque village du canton pour lesquels il est possible de calculer un CTA.

La dose collective devient alors :

$$\text{Dose}(n) = Q(n) \times \underline{CTA} \times \sum_i (K(i,n) \times \text{pop}(i,n))$$

Il suffit alors de remarquer que ceci équivaut à :

$$\text{Dose}(n) = \sum_{\text{population du canton}} Q(n) \times \underline{CTA} \times K(i,n)$$

où  $Q(n) \times \underline{CTA} \times K(i,n)$  est une dose individuelle calculée pour un individu de la classe d'âge  $i$ , en supposant que l'air auquel il est exposé a une activité calculée à l'aide du CTA doublement pondéré comme explicité ci-dessus.

En effet, le nombre de fois où le facteur  $Q(n) \times \underline{CTA} \times K(i,n)$  intervient dans la sommation correspond exactement au nombre d'habitants du canton de la classe d'âge  $i$  pour l'année  $n$ .

**Par conséquent, pour toutes les voies d'exposition et radionucléides considérés dans cette partie, on peut considérer que le calcul de la dose collective peut être réalisé en bonne approximation comme si toutes les populations étaient exposées à de l'air dont l'activité serait calculée à l'aide d'un seul CTA, indépendant de l'individu considéré (et par conséquent de sa position géographique ou de sa classe d'âge) ainsi que de l'année considérée.**

C'est ce CTA doublement pondéré qui servira au calcul des doses.

## II. EXPOSITION DUE AUX DEPOTS DE L'ANNEE n

La plupart des autres voies d'exposition sont liées aux dépôts de radionucléides, principalement attachés à des aérosols (sauf l'iode).

Dans le cas le plus simple, les seuls dépôts qui sont à prendre en compte sont ceux de l'année  $n$ . Ceci concerne en particulier l'ingestion d'aliments contaminés par le rejet atmosphérique de certains radionucléides, essentiellement par transfert foliaire. Notamment, on peut considérer que c'est une hypothèse valable, dans une certaine mesure, pour la

---

\* Cf. dans le cadre du groupe spécialisé GT4, le calcul de C. ROMMENS.

plupart des actinides (plutonium et américium, notamment) pour lesquels le transfert sol-plante peut être considéré comme faible. Par contre, ce ne sera pas le cas pour les radionucléides pour lesquels ce transfert est potentiellement important, ou pour lesquels existe une autre source de dépôts (embruns).

Pour ce cas simple, on notera que les facteurs homologues au CTA sont  $D_s$  et  $D_h$ , c'est à dire les dépôts moyens annuels par temps sec et par temps humide. Ces dépôts pondérés sur l'année ne sont pas rigoureusement proportionnels aux CTA pondérés sur l'année, dans la mesure où l'influence du mode de dépôt peut apparaître prépondérante.

Par contre, il va de soi que :

5) *le raisonnement développé ci-dessus pour leur prise en compte dans le calcul de la dose collective est exactement le même : en bonne approximation, on peut donc considérer qu'on aura une bonne évaluation de la dose collective due aux voies d'exposition uniquement dépendantes des dépôts de l'année n en retenant dans ce calcul des valeurs  $D_s$ ,  $D_h$  et leur addition  $D$  doublement pondérées par les conditions météorologiques moyennes sur l'année et par les populations des villages du canton.*

### III. TRI PREALABLE A LA REALISATION DES CALCULS

Malgré les simplifications évoquées ci-dessus, le calcul de la dose collective peut encore apparaître extrêmement complexe et donner l'impression d'une précision illusoire, alors qu'il semble possible dans une approche rigoureuse *a priori* d'éliminer certaines voies d'exposition pour certains radionucléides. Cette approche ne tient pas compte de la filiation radioactive, qui doit être prise en compte pour certains radionucléides spécifiques (américium 241).

#### III.1 Exposition externe au dépôt

Il est clair qu'elle concerne principalement les émetteurs  $\gamma$ , les concentrations des autres émetteurs étant beaucoup trop faibles pour présenter un impact significatif sur la dose, par nature des autres types de rayonnement.

On aura, pour tous les radionucléides  $i$  :

$$\begin{aligned} \text{Dépôt cumulé (n)} &= \sum_{t = \text{année } 0 \rightarrow \text{année } n} Q(t) \times \underline{\underline{D}} \times e^{-\lambda_i (n-t)} \\ &= \underline{\underline{D}} \times e^{-n \times \lambda_i} \sum_{t = \text{année } 0 \rightarrow \text{année } n} Q(t) \times e^{t \times \lambda_i} \end{aligned}$$

où  $\lambda_i$  représente la somme des constantes de décroissance radioactive et de migration dans le sol du radionucléide considéré.

Ce calcul ne paraît pas excessivement complexe, dès lors qu'on le limite aux émetteurs  $\gamma$  rejetés par COGEMA ou à ceux qui peuvent apparaître lors de la désintégration radioactive des radionucléides rejetés - naturellement moyennement un ajustement de la formule ci-dessus. On pourra utiliser la même formule de calcul pour déterminer la contamination moyenne de sol ingérée : dans ce cas, ce sont les émetteurs alpha dont l'impact sera probablement le plus important.

### III.2 Exposition interne par inhalation indirecte

#### III.2.1 aux radionucléides remis en suspension

Ce calcul est sans doute plus complexe. On peut proposer, avant de l'effectuer, de déterminer les radionucléides pour lesquels l'activité des aérosols ainsi remis en suspension peut apparaître non négligeable par rapport à l'activité de l'air due aux rejets de l'année n. Appelons dépôt maximal à l'équilibre (DME) le dépôt théorique du radionucléide considéré, en supposant les dépôts de ce radionucléide constants sur une durée infinie et égaux au dépôt annuel maximal depuis le début du fonctionnement de l'installation. A aucun moment dans le passé, les activités surfaciques de ce radionucléide n'ont pu être supérieures à ce dépôt maximal à l'équilibre. Sur la base de la formule ci-dessus, on a :

$$DME = \underline{D} \times Q_{max} \times (1 - e^{-40 \times \lambda^i}) / (1 - e^{-\lambda^i})$$

**Test proposé :** comparaison de

$$DME \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$$

avec

$$Q(n) \times \underline{CTA}$$

en prenant comme hypothèse moyenne de facteur de remise en suspension la valeur de  $10^{-7} \text{ m}^{-1}$ \*. S'il apparaît, dans cette confrontation, que le premier terme est négligeable par rapport au second, on pourra admettre que l'exposition due à la remise en suspension de ce radionucléide déposé est négligeable. A l'inverse, il faudra déterminer une approche spécifique pour les seuls radionucléides concernés.

#### III.2.2 aux radionucléides transportés par les embruns

Il n'existe à l'heure actuelle aucun modèle ni aucune étude permettant d'aborder cette voie d'exposition pour l'inhalation.

### III.3 exposition par ingestion d'aliments (cas général)

Les aliments terrestres peuvent être contaminés par deux voies :

- transfert foliaire ;
- transfert racinaire.

Chacune de ces voies peut provenir de deux sources additionnelles :

- transfert foliaire : dépôts atmosphériques des rejets de l'année n ou embruns rabattant l'eau de mer présentant une activité résultant des rejets liquide de cette même année ; les questions de l'arrosage par des eaux d'irrigation et de l'abreuvement des animaux par des eaux "contaminées" (nappe où eaux de rivière) fera l'objet d'un calcul spécifique, cette contamination s'ajoutant à celle apportée par voie atmosphérique ;
- transfert racinaire : dépôt cumulé l'année n depuis le début des rejets atmosphériques ; l'apport annuel d'algues comme engrais.

On peut essayer de déterminer si certaines voies peuvent apparaître prépondérantes pour certains radionucléides et, en conséquence, se limiter au calcul de la dose due à la voie prépondérante de contamination.

---

\* Valeur extraite de "Comportement à long terme d'un stockage de déchets radioactifs de faible et moyenne activité", P. Agaledes, J.M. Peres, Comité scientifique IPSN, 4 février 1997.

*III.3.1 part des embruns dans les dépôts*

On tiendra compte pour cette voie d'exposition, d'éléments\*, basés à la fois sur l'exploitation des résultats de A. Fraizier (1977, 1982 et 1983) et sur ceux des récentes campagnes "ajoncs" réalisées par l'IPSN qui semblent confirmer ces premiers travaux.

*III.3.2 part du transfert racinaire dans la contamination des végétaux*

Dans le même esprit que les alinéas précédents, on pourra dans un premier temps se limiter à comparer l'apport maximal de contamination, des sols aux végétaux considérés, par transfert racinaire, à l'apport de contamination l'année n des rejets atmosphériques.

**Test proposé** : comparaison de :

**DME x Facteur de transfert racinaire**

avec

**$Q(n) \times \underline{D} \times FT$ , quelle que soit l'année considérée**

où FT est le facteur représentatif de la translocation, pour tous les radionucléides et végétaux à prendre en compte.

S'il apparaît, dans cette confrontation, que le premier terme est négligeable par rapport au second, on pourra admettre en première approche que l'apport de contamination par transfert racinaire est négligeable. On doit noter toutefois dans ce cas que, pour ce test, on fait deux hypothèses simplificatrices : on ne tient pas compte de l'exportation de la radioactivité par les récoltes - on majore le dépôt cumulé ; à l'inverse, on ne tient pas compte des apports de contamination par amendements.

*III.3.3 part de la contamination due aux épandages d'algues*

Toujours dans le même esprit, on peut dans un premier temps essayer de comparer la contamination maximale apportée par de tels épandages l'année n au dépôt cumulé la même année

**Test proposé** : comparaison de

**Dépôt cumulé (n)**

avec

**Apport de contamination par m<sup>2</sup> sur la base des rejets liquides de l'année n**

S'il apparaît, dans cette confrontation, que le second terme est négligeable par rapport au premier, on pourra admettre en première approche que l'apport de contamination par les épandages d'algues sont négligeables. Dans la négative, on pourra faire un croisement avec les résultats du test précédent pour déterminer, au moins qualitativement, si le transfert sol-plante dû à ces seuls amendements peut contribuer de façon suffisante par rapport au transfert foliaire.

*III.3.4 Cas particuliers des produits animaux*

La contamination des aliments d'origine animale (viande, lait,...) dépendent peu de la localisation géographique des populations. A l'inverse, ils sont plutôt liés aux surfaces agricoles, susceptibles d'être consacrées au pâturage. Par conséquent, pour ces produits ainsi que pour l'herbe, par un raisonnement identique à celui développé au 1), on propose

---

\* Réunion du groupe spécialisé GT3 du 14 mai.



plutôt de s'intéresser à des dépôts pondérés par les surfaces agricoles de chaque commune, plutôt que par les populations. Les tests proposés plus haut sont transposables à ce cas de figure, pour ce qui concerne la question de la contamination des fourrages et de l'herbe.

### III.3.5 Synthèse

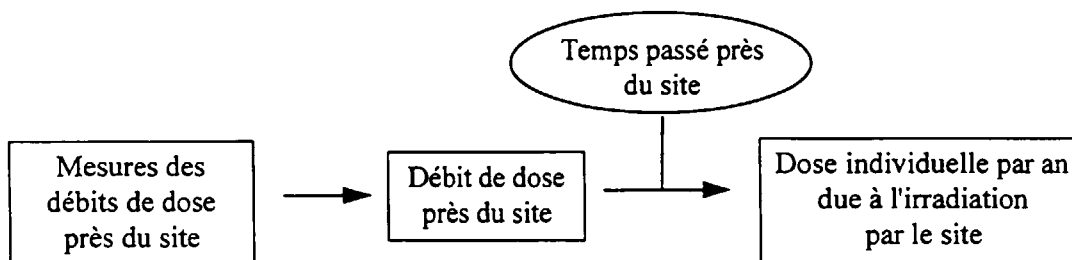
L'objectif de l'approche développée ci-dessus est de permettre de limiter le nombre de calculs à réaliser, c'est-à-dire de ne retenir pour chaque radionucléide que la (ou les) voie(s) d'exposition qui apparaîtra(ont) prépondérante(s) dans la contamination des aliments.

Pour tous les radionucléides pour lesquels il aura été démontré de cette façon que l'apport de contamination par transfert foliaire dû aux rejets atmosphériques de l'année n est prépondérant par rapport à tous les autres apports, il sera possible de se limiter, pour l'évaluation de la contamination des aliments à une approche telle que celle développée au II.

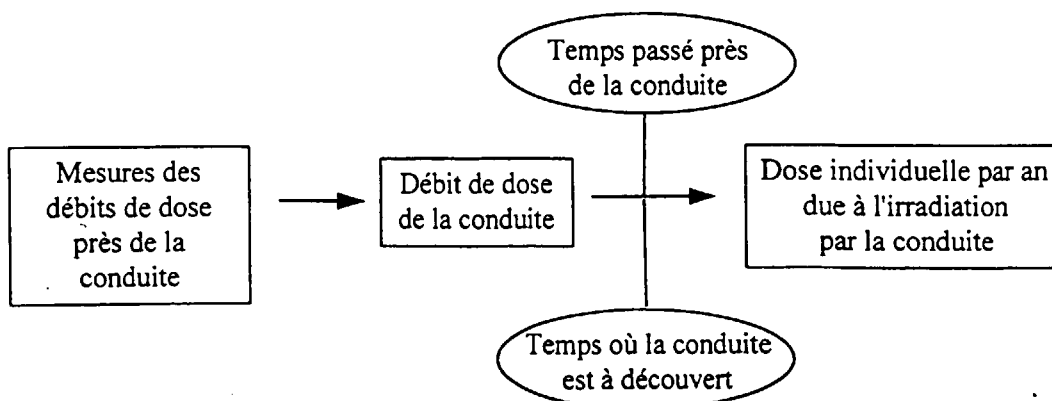
Dans tous les autres cas - dont on peut penser qu'ils concerneront un nombre limité de radionucléides pour chaque voie de contamination -, il sera nécessaire d'adopter une approche différente : si possible, sur la base de mesures existantes, significatives sur des séries temporelles suffisamment longues (Cf. mesures de strontium dans le lait), en les transposant aux autres radionucléides problématiques, ou à défaut et en l'absence de toute autre solution par une méthode de calcul restant encore à déterminer.

## SCENARIOS PARTICULIERS ET VOIES D'ATTEINTE

## Scénario particulier "Fréquentation des abords du site"



## Scénario particulier "Conduite de rejet"



### **Scénario particulier "Agriculteurs"**

Les voies d'exposition par l'air, le sol et les aliments terrestres considérées pour ce scénario particulier sont décrites par les figures suivantes. Ce sont les mêmes que pour la cohorte des 0-24 ans.

Par contre, les valeurs pour certains paramètres seront différentes :

- taux d'autoconsommation des productions agricoles des champs plus importants,
- taux de remise en suspension plus important durant le labour,
- volume inhalé plus important lors des travaux agricoles, ...

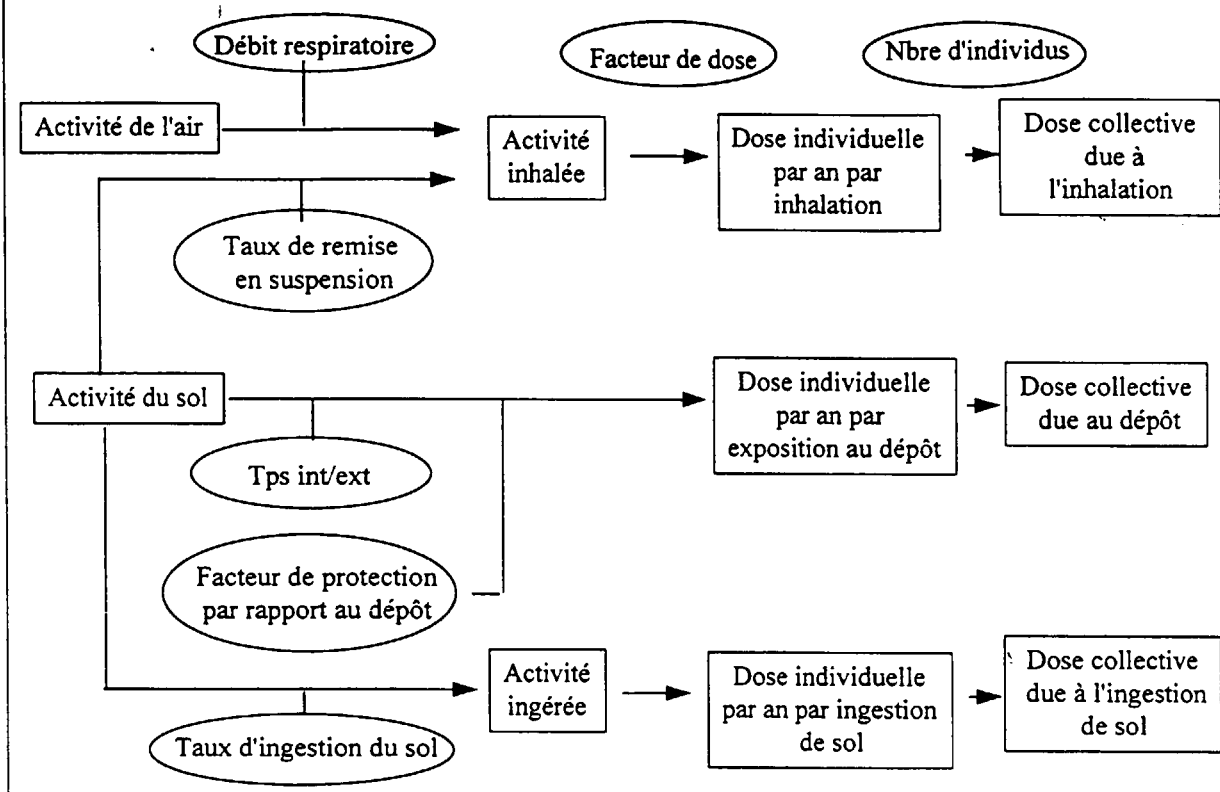
### **Scénario particulier "Pêcheurs"**

Les voies d'exposition par les aliments marins et les embruns considérées pour ce scénario particulier sont les mêmes que pour la cohorte des 0-24 ans. S'y ajoute l'exposition aux sédiments de fond. (cf. figures suivantes)

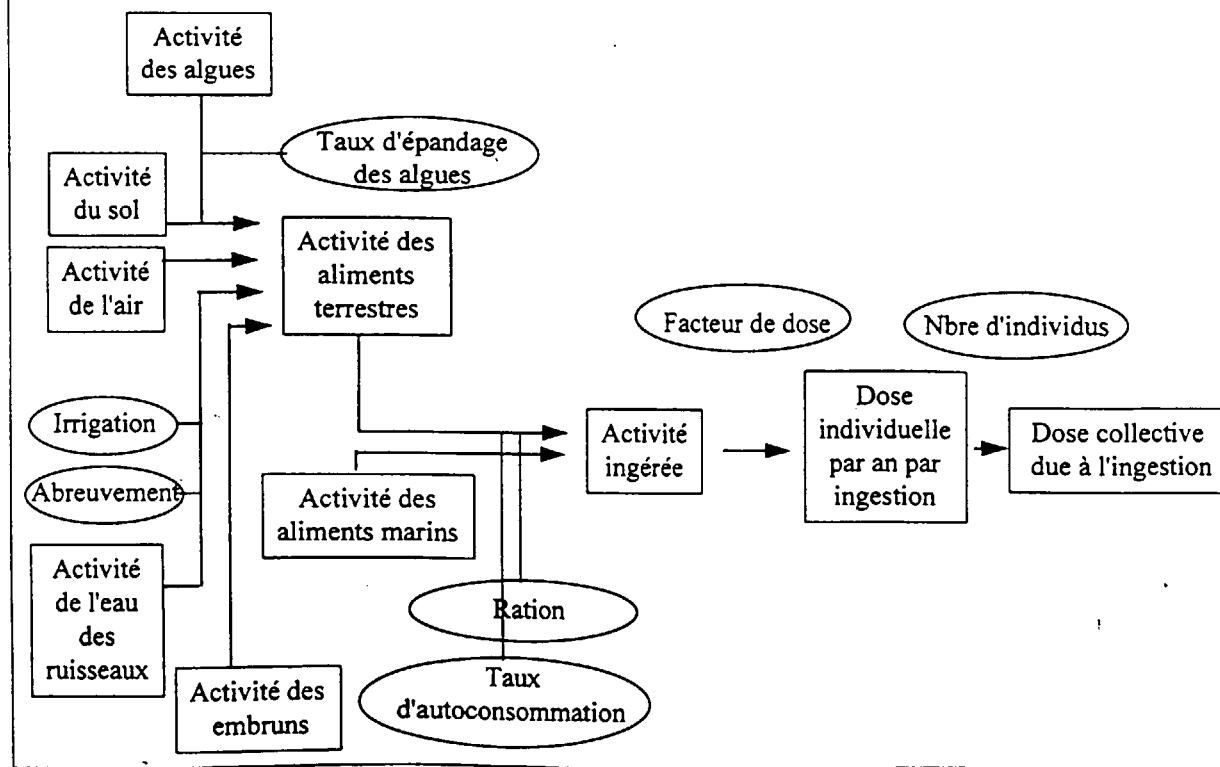
Par contre, les valeurs pour certains paramètres seront différentes :

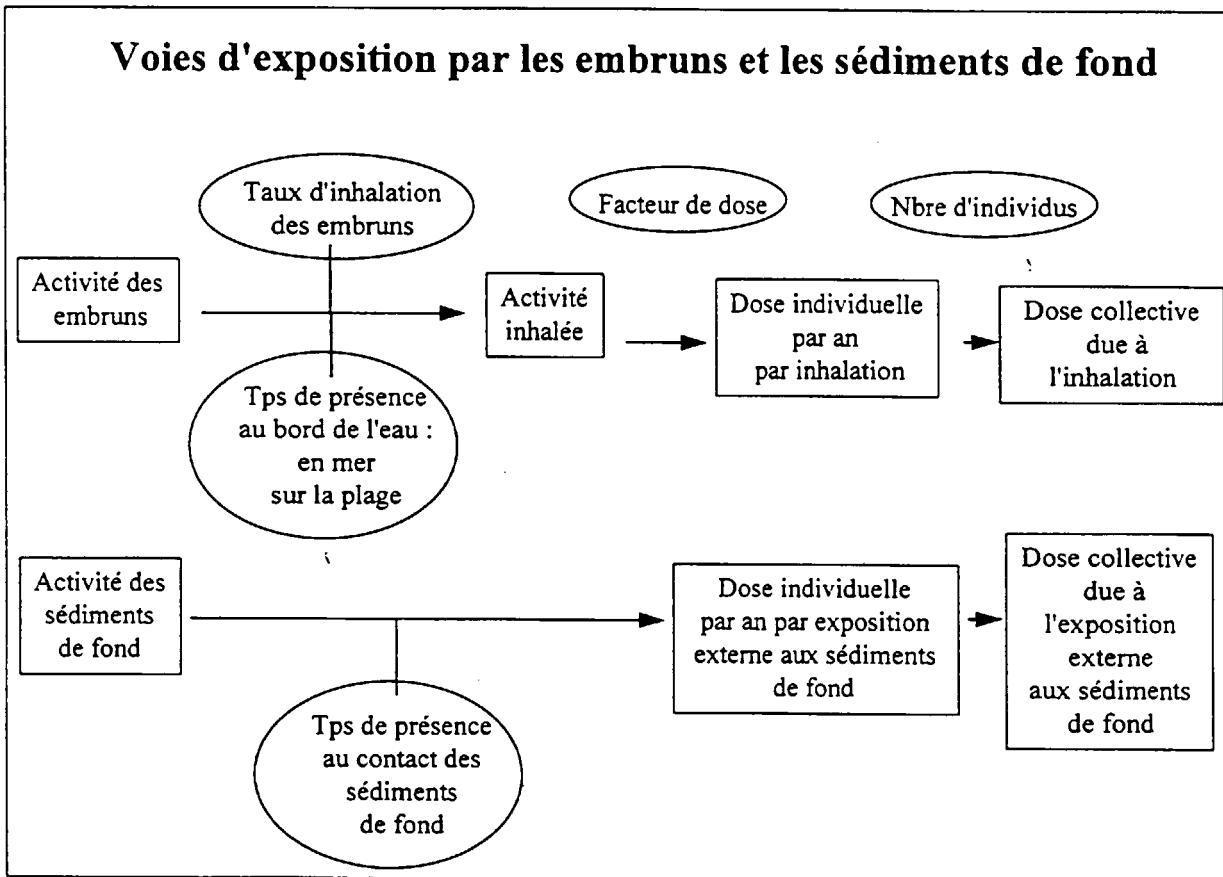
- taux d'autoconsommation des produits alimentaires marins plus importants,
- temps de présence en mer plus important, ...

### Voies d'exposition par l'air et le sol



### Voies d'exposition par les aliments marins et terrestres





## GROUPE RADIOÉCOLOGIE NORD-COTENTIN

## Membres du groupe de travail n° 1 « Historique des rejets »

**Monsieur ZERBIB (animateur)**

Direction CEA/Saclay  
Unité de Gestion Sécurité Protection  
Centre d'Etudes de Saclay  
91191 GIF-SUR-YVETTE  
Tél. : 01 69 08 57 16 - Fax : 01 69 08 75 33

**Monsieur BARBEY**

ACRO  
138 rue de l'Eglise  
14200 HEROUVILLE-ST-CLAIR  
Tél. : 02 31 56 54 17 - Fax : 02 31 94 35 34

**Madame BAGANZ**

COGEMA  
Branche Retraitement Direction Technique  
1 rue des Hérons  
Montigny-Le-Bretonneux  
78182 ST-QUENTIN-EN-YVELINES CEDEX  
Tél. : 01 39 48 52 09 - Fax : 01 39 48 51 31

**Monsieur BOURCIER**

EDF Production Transport  
DSRE  
6 rue Ampère  
BP 114  
92203 SAINT-DENIS CEDEX 1  
Tél. : 01 43 69 81 27 - Fax : 01 43 69 81 25

**Monsieur DIANA**

OPRI  
BP 35  
78110 LE VESINET  
Tél. : 01 30 15 52 00 - Fax : 01 39 76 08 96

**Monsieur DURET**

ANDRA  
Centre de la Manche  
BP 807  
50448 BEAUMONT-HAGUE CEDEX  
Tél. : 02 33 01 69 01 - Fax : 02 33 52 74 34

**Monsieur GOUMONDY (secrétaire)**

IPSN/DES  
BP 6  
92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX  
Tél. : 01 46 54 80 76 - Fax : 01 42 53 91 24

**Monsieur LE BAR**  
COGEMA - La Hague  
50444 BEAUMONT-HAGUE CEDEX  
Tél. : 02 33 02 62 98 - Fax : 02 33 02 62 05

**Madame ROMMENS**  
IPSN/DPHD/SAER  
BP 6  
92265 FONTENAY-AUX-ROSES  
Tél. : 01 46 54 72 58 - Fax : 01 46 54 88 29

**Mme SENÉ**  
CSPI  
2 rue François Villon  
91400 ORSAY  
Tél. : 01 60 10 03 49 - Fax : 01 60 14 34 96

## GROUPE RADIOÉCOLOGIE NORD-COTENTIN

## Membres du groupe de travail n° 2 « Revue critique de l'ensemble des mesures de l'environnement »

**Monsieur P. GERMAIN (animateur-secrétaire)**

IPSN/LERFA

BP 10

50130 OCTEVILLE

Tél. : 02.33.01.41.02 - Fax : 02.33.01.41.30

**Madame C. AMIARD-TRIQUET**

CNRS

Service d'Ecotoxicologie

Faculté de Pharmacie de l'Université de Nantes

1 rue Gaston Veil

44035 NANTES CEDEX

Tél. : 02 40 41 28 65 - Fax : 02 40 41 28 61

**Monsieur Y. BARON**

MARINE NATIONALE - G.E.A.

BP 34

50115 CHERBOURG-NAVAL

Tél. : 02 33 92 65 97 - Fax : 02 33 94 24 00

**Monsieur D. BEUTIER**

NUSYS

9 rue Christophe Colomb

75008 PARIS

Tél. : 01 40 69 76 00 - Fax : 01 47 20 85 96

**Monsieur B. CHAREYRON**

CRII-RAD

Immeuble Le Cime

471 avenue Victor Hugo

26000 VALENCE

Tél. : 04 75 41 82 50 - Fax : 04 75 81 26 48

**Monsieur CLAREBOUT**

ACRO

138 rue de l'Eglise

14200 HEROUVILLE-ST-CLAIR

Tél./Fax : 02 31 94 35 34

**Monsieur F. DURET**

ANDRA

Centre de la Manche

BP 807

50448 BEAUMONT-HAGUE CEDEX

Tél. : 02 33 01 69 01 - Fax : 02 33 52 74 34



**Monsieur B. FIEVET**

IPSN/ /LERFA

BP 10

50130 OCTEVILLE

Tél. : 02.33.01.41.01 - Fax : 02.33.01.41.30

**Monsieur J.C. GUARY**

CSPI

CNAM - INTECHMER

BP 324

50130 CHERBOURG CEDEX

Tél. : 02 33 20 37 65 - Fax : 02 33 20 56 08

**Madame J. HERBELET**

OPRI

BP 35

78110 LE VESINET

Tél. : 01 30 15 52 26 - Fax : 01 30 15 52 44

**Monsieur J. KALIMBADJIAN**

COGEMA - La Hague

50444 BEAUMONT-HAGUE CEDEX

Tél. : 02 33 02 62 01 - Fax : 02 33 02 62 05

**Monsieur D. KLEIN**

Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement

Pôle Universitaire du Pays de Montbéliard

BP 427

25211 MONTBELIARD CEDEX

Tél. : 03 81 99 46 92 - Fax : 03 81 99 46 85

**Monsieur A. LE CORRE**

EDF - DSRE

6 rue Ampère

BP 114

93203 SAINT-DENIS CEDEX 1

Tél. : 01 43 69 31 13 - Fax : 01 43 69 45 70

**Monsieur M. MASSON**

IPSN/ /LERFA

BP 10

50130 OCTEVILLE

Tél. : 02.33.01.41.03 - Fax : 02.33.01.41.30

**Monsieur PETRON**

L.D.A. (Laboratoire Départemental d'Analyses de la Manche)

Route de Bayeux

50000 SAINT-LÔ

Tél. : 02 33 75 63 00 - Fax : 02 33 75 63 01

**Monsieur PIGREE**

ACRO

138 rue de l'Eglise

14200 HEROUVILLE-ST-CLAIR

Tél./Fax : 02 31 94 35 34

**Madame C. ROMMENS**

IPSN/DPHD

CEN/FAR

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01 46 54 72 58 - Fax : 01 46 54 88 29

**Madame F. SICLET**

EDF - DER

6 quai Watier

BP 49

78401 CHATOU CEDEX

Tél. : 01 30 87 78 47 - Fax : 01 30 87 73 36

## GROUPE RADIOÉCOLOGIE NORD-COTENTIN

## Membres du groupe de travail n°3

## « Modèles environnementaux et confrontation avec les mesures de l'environnement »

**M. LEDENVIC (animateur-secrétaire)**

IPSN/DPRE

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01.46.54.85.14 - Fax : 01.46.54.72.90

**Mme C. AMIARD-TRIQUET**

CNRS

Service d'Ecotoxicologie

Faculté de Pharmacie de l'Université de Nantes

1 rue Gaston Veil

44035 NANTES CEDEX

Tél. : 02.40.41.28.65 - Fax : 02.40.41.28.61

**M. BAILLY DU BOIS**

IPSN/DPRE/LERFA

Rue Max Pol Fouchet

BP 10

50130 CHERBOURG

Tél. : 02.33.01.41.05 - Fax : 02.33.01.41.30

**M. D. BOILLEY**

ACRO

138 rue de l'Eglise

14200 HEROUVILLE-ST-CLAIR

Tél. : 02.31.56.54.17 - Tél./Fax : 02.31.93.06.34

**M. BORDIER**

COGEMA

50448 BEAUMONT-HAGUE CEDEX

Tél. : 02.33.02.88.22 - Fax : 02.33.02.60.13

**Mme BRETHEAU**

IPSN - DPHD

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01.46.54.80.30 - Fax : 01.46.54.88.29

**Monsieur R. DESBORDES**

CRII-RAD

Immeuble Le Cime

471 avenue Victor Hugo

26000 VALENCE

Tél. : 04 75 41 82 50 - Fax : 04 75 81 26 48

**M. DUBOIS**

COGEMA

2 rue Paul Dautier

BP 4

78141 VELIZY-VILLACOUBLAY CEDEX

Tél. : 01.39.48.52.49 - Fax : 01.39.48.51.31

**M. LE CORRE**

EDF - Production Transport

DSRE

6 rue Ampère

BP 114

93203 SAINT-DENIS CEDEX 01

Tél. : 01.43.69.31.13 - Fax : 01.43.69.45.70

**Mme LECLERC-CESSAC**

ANDRA

Parc de la Croix Blanche

1/7 rue Jean Monnet

92298 CHATENAY-MALABRY

Tél. : 01.46.11.82.86 - Fax : 01.46.11.82.22

**Mme LISSORGUES**

EDF - JSE

22/30 avenue de Wagram

75382 PARIS CEDEX 08

Tél. : 01.47.64.83.14 - Fax : 01.47.64.75.01

**Mme MERLE-SZEREMETA**

IPSN/DPHD

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01.46.54.82.85 - Fax : 01.46.54.88.29

**Mme ROMMENS**

IPSN/- DPHD

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01.46.54.72.58 - Fax : 01.46.54.88.29

**Mme SICLET**

EDF - DER

6 quai Watier

BP 49

78401 CHATOUX CEDEX

Tél. : 01.30.87.78.47 - Fax : 01.30.87.73.36

## GROUPE RADIOÉCOLOGIE NORD-COTENTIN

## Membres du groupe de travail n°4 « Evaluation des doses aux populations »

**Mme BRETHEAU Françoise (animatrice-secrétaire)**

IPSN/DPHD/SEGR/SAER  
 BP 6  
 92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX  
 Tél. : 01.46.54.80.30 - Fax : 01.46.54.88.29

**Mme BAGANZ**

COGEMA - BR/DT  
 1 rue des Hérons  
 Montigny-Le- Bretonneux  
 78182 ST-QUENTIN-EN- YVELINES  
 Tél. : 01.39.48.52.09 - Fax : 01.39.48.51.31

**M. BARBEY**

ACRO  
 138 rue de l'Eglise  
 14200 HEROUVILLE-ST-CLAIR  
 Tél./Fax : 02.31.95.35.34

**M. BARON**

GEA/EMM  
 BP 34  
 50115 CHERBOURG NAVAL  
 Tél. : 02.33.92.65.97 - Fax : 02.33.94.24.00

**M. HARTMANN**

EDF  
 Service de Radioprotection  
 3 rue de Messine  
 75384 Paris Cedex 08  
 Tél. : 01.44.95.17.81 - Fax : 01.44.95.17.90

**Mme HUBERT Dominique**

EDF  
 Présidence et Direction Générale  
 Service de Radioprotection  
 3 rue de Messine  
 75384 PARIS CEDEX 8  
 Tél. : 01.44.95.17.91 - Fax : 01.44.95.17.90

**M. LAURIER Dominique**

IPSN/DPHD/SEGR/LEADS  
 BP 6  
 92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX  
 Tél. : 01.46.54.89.99 - Fax : 01.46.57.03.86

**Mme LECLERC-CESSAC**

ANDRA

Parc de la Croix Blanche

1/7 rue Jean Monnet

92298 CHATENAY-MALABRY CEDEX

Tél. : 01.46.11.83.00 - Fax : 01.46.11.82.22

**M. LEDENVIC Philippe**

IPSN/DPRE

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01.46.54.85.14 - Fax : 01.46.54.72.90

**Mme LISSORGUES**

EDF/JSE

22-30 avenue de Wagram

75382 PARIS CEDEX 08

Tél. : 01.47.64.83.14 - Fax : 01.47.64.74.90

**Mme ROMMENS Catherine**

IPSN/DPHD/SEGR/SAER

BP 6

92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX

Tél. : 01.46.54.72.58 - Fax : 01.46.54.88.29

**Mme SARFATI**

COGEMA - BR/QS

1 rue des Hérons

Montigny-Le-Bretonneux

78182 ST-QUENTIN-EN-YVELINES

Tél. : 01.39.48.50.86 - Fax : 01.39.48.51.31