

Sommaire

Volume 2 – Tome 1

Rapport final

Avant-propos	3
I. Introduction.....	3-4
II. Composition.....	4
III. Problèmes d'homogénéité et de variabilité.....	5
IV. Inventaire des prélèvements et des types de mesures	6-8
• IV.1 Méthodologie générale	
• IV.2 Descriptif des méthodes de prélèvement, de traitement et de mesure des échantillons	
• IV.3 Remarques sur l'inventaire des prélèvements et des types de mesures	
V. Revue critique des résultats	8-22
• V.1 Méthodologie générale	
• V.2 Discussion des résultats	
- V.2.1 Première phase : principaux émetteurs γ (^{137}Cs , ^{125}Sb , $^{106}\text{RuRh}$, ^{60}Co , ^{40}K – divers indicateurs marins et terrestres)	
- V.2.2 Deuxième phase : émetteurs α , β , isotopes de l'iode et rayonnement γ ambiant (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{131}I , $^{238,239-240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm , ^{210}Po – milieux marin et terrestre)	
- V.2.3 Troisième phase : autres émetteurs γ (^{54}Mn , ^{58}Co , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , $^{144}\text{CePr}$, ^{154}Eu - Patelles)	
- V.2.4 Quatrième phase : autres émetteurs γ (suite troisième phase) (divers indicateurs marins et terrestres)	
- V.2.5 Cinquième phase : principaux émetteurs γ , comptages α total, β total et tritium (cours d'eau)	
- V.2.6 Sixième phase : émetteurs γ , ^{90}Sr , ^3H , β total au cours des incidents (chez divers indicateurs)	
VI. Conclusions.....	23-24

Annexe I

Composition du groupe de travail n°2 et intitulé des sigles	25-26
-------------------------------------------------------------------	-------

Annexe II : inventaires

Annexe II.1 : Description des méthodes de prélèvement, de traitement et de mesure des échantillons.....	27-72
Annexe II.2 : Inventaire des prélèvements et des types de mesures	73-160

Annexe III : revue critique des résultats

Avertissement.....	161
--------------------	-----

Première phase (principaux émetteurs γ chez divers indicateurs)

¹³⁷Cs, ¹²⁵Sb, ¹⁰⁶RuRh, ⁶⁰Co, ⁴⁰K chez divers indicateurs. (§ V.2.1 du rapport d'étape)

Annexe III.1 : Eau de mer	162-190
Annexe III.2 : Sédiments marins.....	191-245
Annexe III.3 : Fucus.....	246-270
Annexe III.4 : Patelles.....	271-310
Annexe III.5 : Moules.....	311-328
Annexe III.6 : Huîtres.....	329-342
Annexe III.7 : Crustacés	343-370
Annexe III.8 : Poissons.....	371-397
Annexe III.9 : Eaux de boissons	398-406
Annexe III.10 : Sédiments des cours d'eau	407-428
Annexe III.11 : Herbes	429-447
Annexe III.12 : Légumes.....	448-464
Annexe III.13 : Lait.....	465-498

Pour des raisons de taille et de maniabilité, la suite du volume 2 (suite de l'annexe III et annexe IV) a été rassemblée dans un tome 2 au début duquel se trouve un nouveau sommaire. Les cartes dont il est fait mention dans le rapport final constituent l'annexe IV (atlas) présentée dans le tome 2.

Rapport final

Avant propos

Au début de ses travaux, en octobre 1997, le GT2 (Groupe de Travail n°2) a décidé de ne prendre en compte, dans le temps imparti, que :

- les données informatisées pour l'inventaire de l'ensemble des prélèvements et des types de mesures du début du fonctionnement des installations à la fin 1997, et pour la revue critique des résultats de 1978 à 1997;
- les données relatives à l'environnement situé à l'extérieur des sites nucléaires.

Les données qui n'ont pas été collectées dans le cadre de l'action du GT2 peuvent être demandées en s'adressant aux laboratoires ou organismes concernés.

I. Introduction

L'objectif poursuivi est de rassembler et d'interpréter les résultats des mesures faites dans l'environnement par les différents intervenants. L'approche adoptée consiste successivement à :

- établir un inventaire de l'ensemble des prélèvements et des types de mesures qui ont été réalisés depuis le début des installations;
- normaliser la présentation des résultats des mesures et les rassembler sous forme de tableaux et de courbes ;
- interpréter les résultats ainsi rassemblés.

Le collationnement des informations n'est en effet pas suffisant, il convient d'analyser la variabilité des mesures au sein d'un même laboratoire, et également, entre les différents laboratoires. Ensuite il y a lieu de définir les paramètres qui influencent les niveaux de radioactivité dans l'environnement et qui pourraient expliquer les différences constatées.

Ce travail permet de valider les valeurs qui sont utilisées pour la comparaison avec les résultats des modèles de transfert dans l'environnement (action du GT3), et/ou utilisés directement pour la reconstitution dosimétrique (action du GT4).

Les données ont été fournies à une équipe d'animation par les laboratoires ayant assuré des mesures de radioactivité dans le Nord Cotentin. Celle-ci a réalisé des documents de synthèse, lesquels ont été corrigés par l'ensemble des membres du groupe, et discutés lors de réunions du GT2. Entre octobre 1997 et janvier 1999, neuf réunions ont eu lieu.

Le GT2 s'est efforcé d'être exhaustif pour l'inventaire des prélèvements et des types de mesures (données informatisées). En revanche, concernant les résultats des mesures, compte-tenu du nombre considérable de données à rassembler et à vérifier en un temps limité, il a été décidé de donner la priorité aux informations indispensables au GT3 (confrontation modèles/mesures) et au GT4 (estimation des doses aux populations). Les critères de sélection suivants ont donc été appliqués :

- traiter en priorité des résultats pour lesquels plusieurs organismes ont effectué des prélèvements au même endroit et au même moment afin de pouvoir les comparer entre eux;
- privilégier les indicateurs¹ pour lesquels on dispose de longues séries de mesures afin de suivre l'évolution temporelle de la radioactivité, et pour lesquels des stations de prélèvement existantes permettent de couvrir au mieux la zone du Nord Cotentin;
- mettre l'accent au cas par cas sur des points qui présentent un intérêt particulier comme certains maillons de la chaîne alimentaire (lait) ou encore l'impact d'un incident localisé dans le temps et l'espace.
- Donner la priorité aux résultats disponibles sous forme informatique pour pouvoir les traiter rapidement
- Seuls, les résultats obtenus à partir de 1978 sont pris en compte. En effet, à partir de la fin des années 70, non seulement de nombreuses données ont été informatisées, mais en outre les mesures ont gagné en qualité, notamment grâce à l'utilisation en spectrométrie gamma de détecteurs GeLi à la place des détecteurs NaI permettant une meilleure exploitation. Enfin l'étude porte jusqu'en 1997, sous réserve de la disponibilité des résultats de mesures de l'année 1997.

Enfin la séquence de travail adoptée par le GT2 a été suivie de manière à satisfaire les priorités formulées par le GT3 et le GT4. Cette hiérarchie est conservée dans la présentation des résultats.

II. Composition

Les représentants des laboratoires ayant assuré des prélèvements et des mesurages de radioactivité dans le Nord Cotentin appartiennent au GT2.

Ces organismes sont : ACRO (Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest), ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets RADIOactifs), COGEMA (Compagnie Générale des Matières Nucléaires), CRIL-RAD (Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la Radioactivité), EDF (Electricité de France), IPSN/LERFA (Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire / Laboratoire d'Etudes Radioécologiques de la Façade Atlantique), LDA (Laboratoire Départemental d'Analyses), Marine Nationale-GEA (Groupe d'Etudes Atomiques), OPRl (Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants).

De plus, des personnalités reconnues pour leur compétence en matière d'études de la radioactivité dans l'environnement complètent la composition de ce groupe . La liste détaillée ainsi que les adresses des personnes composant ce groupe figurent dans l'annexe I.

¹ NB : Le terme " indicateur " est utilisé ici au sens d'un type d'échantillon (eau de mer, sédiment, un animal, un végétal...) pour lequel un mesurage de radioactivité a été effectué.

III. Problèmes d'homogénéité et de variabilité

Le présent travail correspond à un nombre considérable de données (plus de 500 000 déterminations de radionucléides - cf l'annexe II, inventaire). Ces données sont hétérogènes. Leur interprétation implique des comparaisons entre les résultats fournis par les différents laboratoires, à savoir les concentrations des radionucléides dans les divers indicateurs. Or, les indicateurs traités ne sont pas nécessairement identiques entre les laboratoires; il en est de même en ce qui concerne les lieux et les fréquences des prélèvements.

De plus, les principes des prélèvements, des traitements d'échantillons, des mesurages varient d'un laboratoire à l'autre, entraînant des résultats différents entre laboratoires pour un même indicateur prélevé en un même lieu au même moment (*en particulier, un résultat peut être inférieur à la limite de détection pour un laboratoire, alors qu'il est supérieur à la limite de détection pour un autre laboratoire*).

Ces différences sont en majeure partie liées à la finalité des mesures selon les intervenants :

- certains laboratoires ont pour mission la surveillance radiologique; ils ont donc pour but de vérifier le respect des exigences réglementaires, c'est à dire que les rejets ne dépassent pas les limites des autorisations; ils effectuent ainsi des prélèvements et des mesures dans le cadre de cette mission de contrôle, et ceci explique les limites de détection suffisamment basses vis à vis des autorisations, mais relativement élevées si l'on considère les possibilités techniques actuelles;
- d'autres laboratoires ont pour objectif des travaux de recherche visant à expliquer les mécanismes de transfert, et à prévoir le plus finement possible le devenir des radionucléides. Cela implique des investigations plus poussées de la distribution des radionucléides, nécessitant des limites de détection les plus basses possibles;
- des associations effectuent des mesures plus ponctuelles.

Aussi, la comparaison des données doit être menée avec prudence du fait d'un manque d'homogénéité dans les manières d'agir des laboratoires.

D'autres sources de variabilité doivent être considérées en complément des précédentes, qui peuvent avoir une influence sur les concentrations des radionucléides dans les indicateurs et dont il convient de tenir compte pour une interprétation radioécologique correcte. Les principaux facteurs ayant fait l'objet de travaux par les radioécologistes (en dehors du cadre du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin) sont énumérés ci-après :

- temps de " réponse " (mise à l'équilibre) des indicateurs aux fluctuations des rejets;
- physico-chimie et biodisponibilité des radionucléides;
- cycles physiologiques saisonniers (croissance, reproduction...);
- écologie des espèces animales et végétales (temps d'immersion...);
- voies de transfert (rôle des sédiments, des embruns...);
- granulométrie et minéralogie des sédiments;
- sources autres qu'industrielles (bruit de fond dû aux retombées...)

IV. Inventaire des prélèvements et des types de mesures

IV.1 Méthodologie générale

Le GT2 a établi une stratégie selon laquelle chaque organisme participant fournit :

- d'une part un recueil des méthodes (de prélèvement, de traitement et de mesure)
- d'autre part un inventaire des prélèvements et des types de mesures qu'il a effectués, sous forme d'un tableau, précisant :
 - l'espèce ou le type d'échantillon (eau de mer, sédiment, espèce vivante, etc...) ;
 - le lieu de prélèvement ;
 - le mode de prélèvement ;
 - le mode de traitement de l'échantillon et la fraction concernée par la mesure ;
 - le type de mesure ;
 - l'année de la mesure, la fréquence, la date de début et la date de fin lorsqu'il s'agit d'une mesure périodique.

Afin d'aider à la consultation du tableau, les colonnes suivantes ont été ajoutées :

- un code Milieu (MARin, TERrestre, Aquatique Continental),
- un code Nature correspondant aux catégories de types d'échantillons,
- le nom du laboratoire responsable (le propriétaire du prélèvement et du résultat de la mesure),
- le nom du laboratoire qui a réalisé la mesure.

La première difficulté rencontrée résultait des différences dans les libellés utilisés par les organismes pour renseigner les rubriques non codifiées comme " l'espèce ou le type d'échantillon ", " le lieu de prélèvement ", etc.... Une première tâche considérable a donc consisté, tout d'abord, à s'efforcer au mieux d'harmoniser ces libellés, en prenant soin de vérifier leur interprétation auprès de chacun des organismes. Une deuxième tâche a consisté ensuite à répertorier ces libellés et à établir des listes. Ces listes sont jointes au tableau de l'inventaire proprement dit.

La deuxième difficulté était de choisir un mode de présentation qui permette d'accéder rapidement à l'information contenue dans cet inventaire. En effet, le tableau représente des centaines de milliers de mesures et bien qu'il soit présenté en annexe II.2 sous forme de listing papier, sa consultation n'est guère aisée sous cette forme. Afin de permettre une meilleure exploitation de l'inventaire, les données ont été stockées dans un classeur Microsoft EXCEL version 5.0. Ce classeur est composé de plusieurs feuilles de calcul, avec une interface rudimentaire qui facilite la consultation des données. Un outil de présélection permet d'extraire des données selon les critères " code Milieu ", " code Nature ", " Laboratoire Responsable " et " Type de mesure ". Les données sont disponibles sous forme de tableaux et peuvent être importées par des programmes de gestion de base de données. Enfin ce fichier n'est pas compatible avec Microsoft EXCEL 97 et un fichier spécifique est prévu pour cette version.

La page de garde du classeur EXCEL est présentée dans l'annexe II.2

La troisième difficulté était l'évaluation du nombre de mesures répertoriées dans l'inventaire. Il faut préciser que cet inventaire répertorie aussi bien des mesures de radionucléides clairement identifiés, que des mesures d'activité totale, comme l'activité alpha ou bêta, ou encore des analyses complètes comme une spectrométrie gamma, laquelle permet la détermination de plusieurs radioéléments. Il a donc été convenu de tenter d'évaluer le nombre de " déterminations de concentration en radionucléide ou d'activité totale ". Pour satisfaire à cette définition, il convient de connaître le nombre de radioéléments mesurés lors des mesures par spectrométrie

gamma. Or ce nombre est variable dans une très large gamme puisqu'il dépend de chaque spectre analysé. De surcroît, il a évolué au cours des années avec la sensibilité des appareils de détection et les niveaux de radioactivité existant dans l'environnement. Pour contourner ce problème, il a été considéré qu'une spectrométrie gamma équivaut en moyenne à 5 déterminations de radionucléides. Ce chiffre arbitraire et discutable conduit vraisemblablement à une sous-estimation mais cette approximation est indispensable pour effectuer une comptabilisation. Enfin les mesures effectuées en continu (ex : rayonnement gamma ambiant) ont été comptabilisées comme des mesures journalières, ce qui conduit, là aussi, à une sous-estimation.

IV.2 Descriptif des méthodes de prélèvement, de traitement et de mesure des échantillons

Les descriptions des méthodes de prélèvement, de traitement et de mesure des échantillons fournies par les laboratoires sont regroupées dans l'annexe II.1, selon la présentation adoptée par chacun des laboratoires.

IV.3 Remarques sur l'inventaire (annexe II.2)

Il est essentiel de rappeler comme cela a été souligné en introduction, que dans les délais impartis, les organismes participants n'ont répertorié que les prélèvements archivés sous forme informatique. Un certain nombre de données ne figurent pas dans cet inventaire, ainsi :

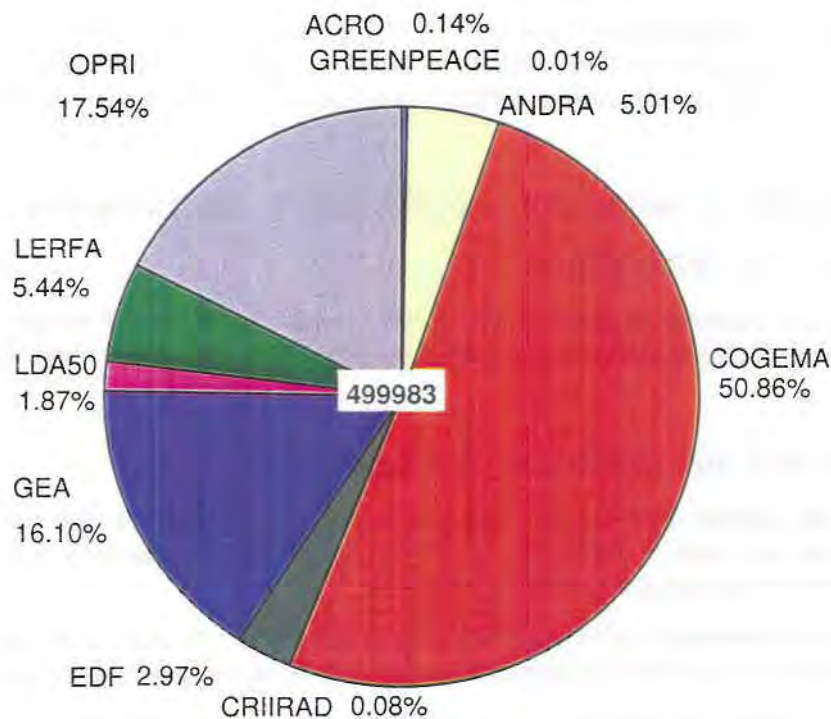
- de nombreux prélèvements ont été effectués dans le cadre de la surveillance de l'environnement et n'ont pas été archivés sous une forme informatique compatible avec le format du présent inventaire.
- de nombreux travaux scientifiques sur des problèmes spécifiques réalisés par l'IPSN ont fait l'objet de publications. Les données ne sont pas archivées sous forme informatique. Leur emprise dépasse généralement le cadre géographique du Nord Cotentin et il n'est guère aisé d'extraire une partie des données d'un contexte d'étude plus général.

Sur la base des calculs effectués selon la méthode décrite en IV.1, le nombre total de " déterminations de concentration en radionucléide ou d'activité totale ", ainsi que la contribution de chaque organisme ont été déterminés.

Environ* 500 000 " déterminations de concentration en radionucléide ou d'activité totale, comme les comptages alpha ou bêta " ont été recensées :

Organismes	ACRO	ANDRA	COGEMA	CRIIRAD	EDF	GEA	GREENPEACE	LDA50	IPSN	OPRI
Nbre de déterminations	703	25058	254285	376	14828	80480	35	9334	27200	87684
%	0.14	5.01	50.86	0.08	2.97	16.10	0.01	1.87	5.44	17.54

* L'évaluation de ce nombre à partir de l'inventaire est approximatif. Il est sous-estimé en particulier pour les analyses par spectrométrie gamma.



Inventaire des prélèvements et types de mesures par organismes

V. Revue critique des résultats :

V.1 Méthodologie générale

La moyenne arithmétique annuelle a été retenue comme grandeur représentant les niveaux de radioactivité dans l'environnement. Cependant, pour bon nombre de mesures, le résultat obtenu est inférieur à la limite de détection. Aussi, le principe de prendre en compte la moyenne sur une année comme "valeur de référence" a été jugé insuffisant. Il a donc été décidé de fournir pour un radionucléide, pour une année, pour un indicateur en un lieu, l'ensemble des informations suivantes :

- la moyenne arithmétique annuelle : lorsque la série de résultats comporte des valeurs inférieures à la limite de détection (<LD), ces valeurs sont remplacées par la valeur de la LD, et la moyenne est dès lors précédée du caractère <. Ce choix du calcul de la moyenne a été fait après d'importantes discussions. Au contraire, si toutes les valeurs dépassent la LD, la moyenne est précédée du caractère = ou d'un caractère blanc.
- l'écart-type : il s'agit de l'écart-type s de la moyenne annuelle "estimé à partir d'un échantillon de la population", $s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$ (lorsque $n > 1$)
- la valeur minimale et la valeur maximale des niveaux d'activité enregistrés dans l'année : lorsque la valeur maximale correspond à une mesure dont le résultat est inférieur à la LD, cette dernière est affichée, précédée du caractère <. Dans le cas contraire, elle est précédée du caractère = ou d'un caractère blanc.
- le nombre annuel de mesures et le nombre de résultats supérieurs à la limite de détection ;

- les résultats sont exprimés en Bq.kg⁻¹ frais pour les espèces vivantes, en Bq.kg⁻¹ sec pour les sols et les sédiments, en mBq.l⁻¹ pour l'eau de mer et l'eau douce et en Bq.l⁻¹ pour le lait ;

Des tableaux récapitulatifs par indicateur ou par radionucléide ont été réalisés par l'équipe d'animation, précisant pour chaque organisme et chaque lieu :

- la moyenne annuelle;
- l'écart-type s;
- la valeur maximale enregistrée dans l'année;
- > LD/N : le nombre de résultats de mesures supérieurs à la LD par rapport au nombre total de mesures N dans l'année.

Exemple : ¹³⁷Cs dans les patelles de l'anse St Martin, dosé par le GEA

Organisme : GEA Anse St-Martin				
Année	=	moy.	s	= max. >LD/N
1978				
1979				
1980	=	0.38	0.12	= 0.51 6/6
1981	=	0.71	0.32	= 1.28 12/12
1982	=	0.74	0.48	= 1.94 12/12
1983	=	0.80	0.43	= 1.48 12/12
1984	=	0.61	0.33	= 1.38 12/12
1985	=	0.67	0.38	= 1.43 12/12
1986	=	0.40	0.30	= 0.95 12/12
1987	<	0.39	0.19	= 0.79 10/12
1988	=	0.42	0.27	= 1.13 12/12
1989	<	0.37	0.16	= 0.66 10/11
1990	<	0.29	0.07	= 0.44 10/12
1991	<	0.20	0.15	= 0.60 7/10
1992	<	0.16	0.05	= 0.24 9/12
1993	<	0.18	0.08	= 0.37 11/12
1994	<	0.16	0.06	= 0.31 8/12
1995	<	0.17	0.03	= 0.21 6/11
1996	<	0.13	0.05	= 0.24 11/12
1997				

A ces tableaux récapitulatifs sont joints, dans la plupart des cas, des graphiques présentant pour un radionucléide, un indicateur, un lieu ou une zone de prélèvements : l'évolution au cours du temps des moyennes annuelles obtenues par les différents organismes ; les maximums sont aussi placés sur les graphiques afin d'avoir sur ces derniers une indication complémentaire, étant entendu que les maximums doivent être utilisés avec précaution puisqu'ils ne correspondent qu'à une seule mesure. Suivant la charge des graphiques, les

valeurs maximales sont portées sur les mêmes graphiques que les moyennes, avec des signes distinctifs, ou sur un autre graphique.

Un commentaire, portant sur les tableaux et les graphiques, est ensuite rédigé selon un format standard comprenant quatre rubriques :

- **prélèvement/traitement/mesure** : cette rubrique résume les informations sur les procédures de prélèvement, de traitement et de mesure par les différents organismes, pouvant conduire à des résultats différents;
- **représentativité (valeurs < LD)** : cette rubrique attire l'attention sur le nombre de mesures réalisées dans l'année ainsi que le nombre de résultats inférieurs à la LD. Cette observation est très importante. En effet, les graphiques présentent sans distinction des moyennes annuelles calculées à partir de mesures mensuelles supérieures à la LD, des moyennes annuelles calculées à partir de mesures inférieures à la LD, ou bien encore, une seule mesure annuelle. Il est évident que de tels résultats n'ont pas le même poids statistique et **l'interprétation des graphiques doit impérativement être faite avec le support des tableaux regroupant toutes ces informations;**
- **dispersion (écarts-types, maximum)** : cette rubrique permet de donner une idée quantifiée, non seulement de la dispersion des résultats autour de la valeur moyenne, mais également de la limite supérieure de la gamme des valeurs observées. Pour des raisons de lisibilité, les écarts-types ne sont pas portés sur les graphiques;
- **remarques spécifiques** : cette rubrique donne des détails sur chaque radionucléide et sur la distribution spatiale et temporelle des concentrations;
- **conclusion** : cette rubrique résume en quelques phrases les informations principales à retenir.

Pour la grande majorité des indicateurs, une carte des stations de prélèvement est jointe au dossier. Enfin la conclusion, qui résume les informations principales à retenir, est reportée dans le corps du présent rapport, tandis que les tableaux des résultats, les graphiques et les commentaires détaillés sont regroupés dans l'annexe III.

La méthode de traitement des données par le GT2 a fait l'objet d'une réflexion par un groupe de travail dirigé par Mme Sené, qui a donné lieu à des recommandations dans le rapport du groupe plénier. Les membres de ce groupe se sont penchés en particulier sur les aspects statistiques. Les conclusions sont en accord avec la démarche entreprise par le GT2.

V.2 Discussion des résultats

Comme il a été expliqué en introduction, la chronologie du traitement des résultats de mesures en six phases traduit les impératifs des besoins des groupes de travail 3 et 4.

PHASE	RADIONUCLÉIDES ET INDICATEURS
1 ^{ère} phase	<ul style="list-style-type: none"> Principaux émetteurs gamma : ^{137}Cs, ^{125}Sb, $^{106}\text{RuRh}$, ^{60}Co, ^{40}K. Milieu marin et milieu terrestre.
2 ^{ème} phase	<ul style="list-style-type: none"> Émetteurs alpha, bêta, isotopes de l'iode et rayonnement gamma ambiant : ^3H, ^{14}C, ^{90}Sr, ^{99}Tc, ^{131}I, ^{129}I, ^{238}Pu, $^{239\&240}\text{Pu}$, ^{241}Am, ^{244}Cm, ^{210}Po. Milieu marin et milieu terrestre selon la disponibilité des résultats par radionucléide.
3 ^{ème} phase	<ul style="list-style-type: none"> Autres émetteurs gamma : ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{65}Zn, ^{95}Zr, ^{95}Nb, ^{103}Ru, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs, ^{144}Ce, ^{154}Eu. Patelles (uniquement).
4 ^{ème} phase	<ul style="list-style-type: none"> Autres émetteurs gamma (idem 3^{ème} phase). Divers indicateurs marins et terrestres.
5 ^{ème} phase	<ul style="list-style-type: none"> Principaux émetteurs gamma, comptage, alpha total, bêta total et tritium. Cours d'eau.
6 ^{ème} phase	<ul style="list-style-type: none"> Principaux émetteurs gamma, ^{90}Sr, tritium, bêta total. Incidents. Divers indicateurs.

Ainsi, la première phase porte sur les cinq émetteurs gamma pour lesquels l'information est la plus riche, c'est à dire qui donnent lieu à des résultats pour les principaux indicateurs des milieux marin et terrestre.

Il est cependant également important, pour la validation de la modélisation, de prendre en considération les résultats de mesures portant sur les autres émetteurs alpha, bêta, notamment (2^{ème} phase), et les "autres émetteurs gamma" (patelles : 3^{ème} phase; autres indicateurs marins et terrestres : 4^{ème} phase).

Enfin, il convenait également de distinguer le cas particulier des cours d'eau (5^{ème} phase) et celui des résultats de mesures dans différents indicateurs suite à des incidents (6^{ème} phase).

On examinera successivement ces différentes phases.

Un certain nombre de mesures concernant par exemple, les gaz, l'eau de pluie, etc... sont répertoriées dans l'inventaire. Les résultats correspondants n'ont pas été discutés par le GT2 dans le temps imparti, en raison des impératifs précédemment cités.

Avertissements

Les commentaires relatifs à la **représentativité des résultats** sont à considérer avec prudence. L'absence de données dans une cellule des tableaux de résultat reçus par l'équipe d'animation peut être due soit :

- au fait qu'un (des) radionucléide(s) n'a (ont) pas été pris en compte lors du dépouillement d'un spectre,
- au fait que le résultat est inférieur à la limite de détection, et que cette limite de détection n'a pas été répertoriée.

La méthodologie utilisée par le GT2 est présentée au paragraphe V.1. Elle précise l'usage de la limite de détection (LD) pour les calculs de moyennes annuelles. Néanmoins tous les laboratoires n'archivent pas la LD pour chaque résultat de mesure, certains archivent le seuil de décision (SD) et non la LD.

En conséquence, pour des raisons pratiques, le terme LD utilisé dans les travaux du GT2 recouvre les trois notions suivantes :

- La limite de détection (LD) *stricto sensu* (calculée à chaque mesure)
- Le seuil de décision (= LD/2)
- Une limite de détection moyenne calculée pour l'ensemble de la période concernée (1978-1997).

Les données de ruthénium 106 sont exprimées par la somme $^{106}\text{RuRh}$ (= 2 fois ^{106}Ru).

Les données de cérium 144 sont exprimées par la somme $^{144}\text{CePr}$ (= 2 fois ^{144}Ce).

La mesure BETOX (Bêta total du précipité des oxalates) correspond à au moins deux fois le ^{90}Sr (en fait ^{90}Sr + ^{90}Y + éventuellement Barium et autres terres rares).

Des résultats sont arrivés au groupe d'animation depuis septembre 1998. Ils n'ont donc pas pu être analysés avec les autres et sont ajoutés aux annexes tels quels .

V.2.1. Première phase (^{137}Cs , ^{125}Sb , $^{106}\text{RuRh}$, ^{60}Co , ^{40}K chez divers indicateurs)

Le choix s'est porté dans un premier temps sur les principaux radionucléides émetteurs gamma suivants : ^{137}Cs , ^{125}Sb , $^{106}\text{RuRh}$, ^{60}Co et l'élément naturel ^{40}K . Ces radionucléides représentent un nombre de données important, concernant des indicateurs ayant fait l'objet de longues séries de prélèvements, les résultats étant très souvent supérieurs aux LD. Leurs caractéristiques physico-chimiques sont différentes (celles-ci influencent les processus de dispersion et la biodisponibilité), permettant au GT3 d'avoir un spectre d'éléments en nombre réduit, mais riche d'enseignements pour envisager les divers types de transfert dans le cadre de la comparaison des résultats de mesures aux estimations des modèles . En fonction des besoins des autres groupes (n°3 et n°4), les indicateurs examinés en priorité ont été :

- pour le milieu marin : l'eau de mer, les sédiments marins, les algues fucus, les mollusques, les patelles, les moules, les huîtres, les crustacés, les poissons.
- pour le milieu terrestre : l'eau de boisson (consommation humaine), le lait de vache, les légumes, l'herbe, les sédiments de cours d'eau.

Les résultats de cette première phase ont été regroupés par indicateur.

MILIEU MARIN

Les lieux de prélèvement, dans la mesure du possible, ont été regroupés au sein de zones, tout spécialement pour les espèces mobiles telles les crustacés et les poissons. Ces zones sont définies grâce aux études radioécologiques menées dans la région concernée, et qui ont montré une distribution spatiale des radionucléides chez les indicateurs fonction des conditions hydrodynamiques particulières régnant autour du nord ouest Cotentin, ainsi que dans le golfe normand/breton et à proximité de Barfleur (présence de tourbillons).

Ces zones (carte 1/cf.annexe IV) sont du sud-ouest vers l'est : côte Ouest (golfe normand/breton jusqu'au Cap du Rozel); la Hague (Cap du Rozel à l'Anse St Martin); côte Nord (de l'Anse St Martin à Barfleur); côte Est (sud de Barfleur). Il convient cependant de préciser que les résultats fournis par la COGEMA concernant les poissons et les crustacés indiqués comme provenant de la zone côte ouest correspondent en réalité à des espèces pouvant provenir des zones côte ouest ou La Hague, telles qu'elles sont définies ci-dessus.

Eau de mer (annexe III-1)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'OPRI, le GEA, l'IPSN/LERFA, la CRIIRAD. De l'eau de mer a été prélevée au large, stations de Le Rozel, Nez de Jobourg, Cap de la Hague, Pointe de Jardeheu, et à la côte, stations de Granville, Barneville, l'Anse de Sénival, Goury, Querqueville, Rade de Cherbourg, l'Anse du Brick, Barfleur (carte 2).

- A proximité du point de rejet de la Hague, la répartition des radionucléides dans la masse d'eau n'est pas encore homogène.
- Pour le $^{106}\text{RuRh}$ et le ^{60}Co , une plus grande dispersion des mesures est à mettre en rapport, en particulier, avec les propriétés physico-chimiques complexes de ces éléments.
- Certains résultats provenant de plusieurs laboratoires montrent pour un même lieu des écarts importants comme par exemple, le $^{106}\text{RuRh}$ en 1987 au large de Jobourg :
- COGEMA : moyenne 1590 mBq/L, maximum 4400 mBq/L GEA : moyenne 199 mBq/L, maximum 227 mBq/L
- Néanmoins, globalement les mesures fournies par les différents laboratoires sont cohérentes et leur évolution dans le temps présente une diminution des niveaux depuis les années 80-85, ce qui est en accord avec l'évolution des rejets de l'usine de la COGEMA.
- La technique de coprécipitation à partir de grands volumes d'eau de mer, avec une longue durée de comptage, fournit des valeurs supérieures aux limites de détection pour un plus grand nombre de mesures. Aussi, il est proposé de retenir les résultats du GEA et de l'IPSN pour les objectifs des groupes 3 et 4, tout en considérant ceux obtenus par les autres laboratoires en particulier pour la période précédant l'année 1982 où il n'y a pas de résultats GEA ou IPSN.

Sédiments marins (annexe III-2)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'OPRI, le GEA, la CRIIRAD. Les stations sont : Bameville-Carteret, Sciotot, Flamanville, Vauville, Anse des Moulins, Baie d'Ecalgrain, Goury, Nez de Voidries, Anse St Martin, Querqueville, Rade de Cherbourg, Anse du Brick, (carte 3).

- L'absence de données sur la granulométrie, la minéralogie et la fraction organique des sédiments limite considérablement l'interprétation des différences pouvant être observées.
- Cependant, en général, il y a une bonne cohérence entre les résultats des différents laboratoires.
- Lorsque les prélèvements sont effectués à la côte et au large, les niveaux d'activité sont plus élevés au large.
- En ce qui concerne le ^{60}Co , il n'apparaît pas de relation entre l'évolution des concentrations et les quantités rejetées par l'usine de la Hague. Les causes sont sans doute imputables à divers facteurs dont les formes physico-chimiques variables et les interactions mal connues avec les particules.
- Les résultats en ^{137}Cs , $^{106}\text{RuRh}$ et ^{125}Sb , des prélèvements de 1980 à l'Anse des Moulins par la COGEMA, s'écartent très nettement des autres mesures. Ces niveaux exceptionnels sont dus à un percement de la conduite de rejet, ayant eu lieu, entre début septembre et fin novembre 1979. Ce percement a modifié les règles de dispersion par rapport au rejet normal et s'est traduit par une augmentation des niveaux de radioactivité à la côte.
- Les résultats sont exprimés en $\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$, or dans la réalité le sédiment est humide, ce fait peut avoir une incidence sur les calculs d'irradiation externe pour le GT4. Concernant ce dernier point, le GEA a déterminé les rapports poids sec/poids frais (en %) de sédiments d'estran prélevés sur plusieurs plages du nord Cotentin : à Cherbourg (Lucifer) $72,8 \pm 1,3$ (n=5), à Querqueville $79,7 \pm 0,7$ (n=5), à Urville $77,7 \pm 0,6$ (n=5), à Anse St Martin $82,7 \pm 1,1$ (n=5), à Goury $84,3 \pm 2,4$ (n=5). Pour l'ensemble des échantillons, la moyenne du rapport poids sec/ poids frais est de $79,4 \pm 4,5$ %.

Une extension de ce chapitre est consacrée à des résultats de mesure de radionucléides émetteurs gamma fixés sur des sédiments localisés en un point constamment immergé et situé à l'abri de la digue de Querqueville, dans la grande rade de Cherbourg ($49^{\circ}40.15$ N; $1^{\circ}40.40$ W). Les niveaux maximums de marquage des sédiments marins sont détectés en ce lieu. Les données de ce point complètent celles présentées ci-dessus concernant les sédiments marins en rade de Cherbourg.

Dans la zone côtière du Nord cotentin, en rade de Cherbourg, ce point de prélèvement de sédiments s'avère le plus marqué car il s'agit d'une zone de sédimentation de particules fines. Les éléments de longue période, bien fixés par les particules, s'accumulent au sein de la masse sédimentaire au cours du temps (cobalt, américium).

La diminution des concentrations est liée à l'évolution des rejets, à l'évacuation partielle du stock sédimentaire, et à la modification de la composition du sédiment; les formes physico-chimiques variables et leurs interactions avec les particules (ex : le cobalt) peuvent agir sur l'évolution des niveaux de radioactivité. L'évolution des maximums est très proche de celle des moyennes annuelles, à quelques exceptions près, ^{137}Cs en 1996, ^{134}Cs en 1996, ^{154}Eu en 1992, ^{214}Pb en 1993, sans qu'il y ait une explication pour ces exceptions.

Fucus (algues) (annexe III-3)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'OPRI, le GEA, l'EDF, le LDA50, l'IPSN/ LERFA. Les stations sont : Barneville-Carteret, Sciotot, Flamanville, Diélette, Anse des Moulinets, Goury, Barfleur, Gatteville (carte 4).

- L'algue fucus est le bioindicateur végétal pour lequel les données sont les plus nombreuses.
- Les résultats de mesure des radionucléides artificiels sont en général proches entre les divers organismes.
- Nous considérons que pour les stations où des prélèvements ont été réalisés par un seul organisme (par ex.: Sciotot, Gatteville), les résultats peuvent être pris en compte par le GT3 dans la perspective de la comparaison entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées.

Patelles (mollusques) (annexe III-4)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'OPRI, le GEA, le LDA50, la CRIIRAD, l'IPSN/ LERFA.

Les stations sont : Barneville-Carteret, Sciotot, Flamanville, Diélette, Anse des Moulinets, Anse de Sénival, Baie d'Ecalgrain, Goury, La Crecque, Anse St-Martin, Urville, Querqueville, Barfleur (carte 5).

- Les patelles (mollusque gastéropode) correspondent au bioindicateur animal le plus suivi par les laboratoires. Les résultats concernent les parties molles.
- Lorsqu'il y a des mesures par plusieurs laboratoires au même endroit et en même temps, les résultats sont proches.
- Les concentrations ont diminué au cours des années 80, et pour ^{137}Cs , $^{106}\text{RuRh}$, ^{125}Sb , depuis 1990, elles sont très souvent inférieures à la LD. Les valeurs maximales excèdent rarement 2 fois la valeur de la moyenne.
- Pour ^{137}Cs , $^{106}\text{RuRh}$, ^{125}Sb , des teneurs plus importantes sont observées en 1979 et 1980 dans l'anse des Moulinets, dues au percement de la conduite de rejet ayant entraîné une dispersion des radionucléides vers la côte.

Moules (annexe III-5)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, le GEA, l'IPSN/ LERFA. Il n'y a pas de moules entre Carteret et Barfleur. Les moulières sont situées sur la côte ouest et sur la côte Est du Cotentin. Les prélèvements effectués en Rade de Cherbourg correspondent à une population implantée artificiellement et temporairement dans un but expérimental (carte 6).

- Pour la côte Ouest, le nombre de mesures est faible et les écart-types sont tels que les différences entre les laboratoires ne sont pas significatives. Pour la côte Est on constate que les valeurs obtenues par la COGEMA et l'IPSN sont très proches. Les valeurs maximales atteignent 3 à 4 fois la valeur moyenne.
- On observe des différences concernant les résultats de l'élément naturel ^{40}K , qui sont imputables à la variabilité naturelle, et sans doute aux modalités de prélèvement et de traitement des échantillons.
- Pour l'ensemble des radionucléides artificiels, on observe un marquage plus fort sur la côte Est que sur la côte Ouest en accord avec les caractéristiques hydrodynamiques de la région.

Huîtres (annexe III-6)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, le GEA, l'OPRI. Les stations ostréicoles sont situées sur la côte Est (Saint-Vaast) et sur la côte Ouest (Blainville et Pirou) (carte 7).

- Le nombre de mesures est réduit.
- Lorsqu'il y a des mesures réalisées par plusieurs laboratoires au même endroit et en même temps, les résultats sont proches.
- D'une manière générale, on constate une tendance à la diminution des niveaux depuis les années 80.

Crustacés (annexe III-7)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'OPRI, le GEA, l'EDF, la CRIIRAD, GREENPEACE. Les prélèvements ont été classés par zones (carte 8) : côte ouest, La Hague (Herqueville, Anse des Moulinets, Conduite de rejet, Les Huquets, Pointe du Houpret, Auderville-Goury, Flamanville), côte nord (Cherbourg, Cap Lévy-Fermanville, Cosqueville). Il convient cependant de préciser que les résultats fournis par la COGEMA concernant les crustacés indiqués comme provenant de la zone côte ouest correspondent en réalité à des espèces pouvant provenir des zones côte ouest ou La Hague, telles qu'elles sont définies ci-dessus.

- Les résultats concernent le tourteau ou l'araignée, la chair, les parties molles sans les branchies, ou l'animal entier. Il n'apparaît pas de différence nette entre les concentrations dans les tourteaux et dans les araignées.
- L'évolution dans le temps des concentrations en ^{137}Cs , $^{106}\text{RuRh}$, ^{125}Sb et ^{60}Co correspond à une diminution depuis les années 90.
- Les résultats de mesure des radionucléides artificiels sont en général proches entre les divers laboratoires. Les maximums excèdent rarement 2 fois la valeur de la moyenne.
- En septembre 1997, quelques prélèvements réalisés à l'extrémité de la conduite de l'usine la COGEMA donnent des valeurs plus élevées (x100) que les moyennes enregistrées à la fin des années 90 dans des zones proches où la pêche des crustacés au casier est autorisée (ex: Les Huquets).

Poissons (annexe III-8)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'OPRI, le GEA, l'EDF, la CRIIRAD. Les zones de pêches sont (carte 9) : côte ouest, La Hague (Anse des Moulinets, La Schôle, Les Huquets, Flamanville), côte nord (Cherbourg, Cap Lévy- Fermanville). Il convient cependant de préciser que les résultats fournis par la COGEMA concernant les poissons indiqués comme provenant de la zone côte ouest correspondent en réalité à des espèces pouvant provenir des zones côte ouest ou La Hague, telles qu'elles sont définies ci-dessus.

- Les espèces sont variées, leur nature n'est pas toujours connue, et les résultats concernent les poissons entiers éviscérés ou bien les chairs. Pour le ^{40}K (élément naturel), les concentrations sont en général voisines de 100 Bq.kg^{-1} frais. Cependant, des différences d'un facteur 5 sont observées entre les minimums et les maximums.
- Malgré cette variabilité, les résultats de mesures des radionucléides artificiels sont en général proches entre les divers laboratoires.
- La présence du ^{137}Cs est fréquente ; les concentrations les plus élevées se trouvent dans la zone des Huquets ; les teneurs diminuent depuis les années 1985-1987.
- Les radionucléides ^{125}Sb , $^{106}\text{RuRh}$ et ^{60}Co sont soit occasionnels, soit présents à des concentrations généralement inférieures aux limites de détection.
- Les valeurs maximales atteignent très exceptionnellement 3 fois la valeur de la moyenne.

MILIEU TERRESTRE

Eaux de boisson (annexe III-9)

Des prélèvements ont été réalisés par la COGEMA, l'EDF, le LDA50. Il s'agit de l'eau susceptible d'être consommée par la population. Ces prélèvements sont effectués au niveau du réseau d'eau potable (robinet) ou de forages dans la nappe phréatique qui servent à alimenter les stations de traitement du réseau d'eau potable (carte 10).

- Depuis 1988, la quasi totalité des résultats obtenus (spectrométrie gamma, tritium, Bétot, Bétox, Altot) indique que les niveaux de radioactivité artificielle dans le réseau d'eau potable, ainsi que dans les nappes phréatiques qui alimentent les stations du réseau, sont inférieurs aux limites de détection.

Sédiments des cours d'eau (annexe III-10)

Des prélèvements ont été réalisés par l'IPSN, l'OPRI, l'ANDRA, le LDA50, l'ACRO, la CRIIRAD. Les résultats concernent les ruisseaux Rivière du Moulin, Sainte-Hélène, Grand-Bel (carte 11).

- Le manque de données sur la granulométrie, la minéralogie et la concentration en matières organiques des sédiments limite l'interprétation des différences observées. La position précise du prélèvement (ex : fond du lit du ruisseau ou berge) influence considérablement le résultat.
- Cependant, lorsque des mesures sont effectuées par différents organismes avec les mêmes techniques de préparation des échantillons prélevés dans des stations très voisines, on constate une bonne cohérence des résultats.
- Les maximums concernent le ^{137}Cs et sont observés dans la Ste-Hélène dans les années 1986-1987.
- Globalement on note une diminution des niveaux depuis les années 1980 et une diminution des concentrations de l'amont vers l'aval du ruisseau.
- Les rapports isotopiques $^{238}\text{Pu}/^{239-240}\text{Pu}$ sont supérieurs à celui des retombées liées aux essais atmosphériques d'armes nucléaires (0,05), et confirment par conséquent une source industrielle (CSM-ANDRA).

Herbes (annexe III-11)

Des prélèvements d'herbe ont été réalisés par l'OPRI, la COGEMA, le GEA, l'EDF. Les prélèvements ont été regroupés en quatre zones : Le cap de la Hague (Omonville, Beaumont, Herqueville), le pourtour immédiat de l'établissement COGEMA (Points A1 à A18, cf carte COGEMA), une zone relativement large autour de Flamanville (Les Pieux, Diélette, Point J8 COGEMA) et enfin une station située dans la Communauté Urbaine de Cherbourg à La Glacière (carte 12).

- Parmi les quatre radionucléides artificiels présentés dans les tableaux (^{137}Cs , $^{106}\text{RuRh}$, ^{125}Sb et ^{60}Co), et en dehors du pourtour de l'usine de la COGEMA, seul le ^{137}Cs est parfois détecté dans le Nord Cotentin.
- Les valeurs maximales de ^{137}Cs légèrement plus élevées en 1986 sont à mettre en relation avec l'accident de Tchernobyl.
- Au voisinage immédiat de l'usine de retraitement COGEMA, deux remarques peuvent être faites :
 - Les radionucléides ^{137}Cs , $^{106}\text{RuRh}$, ^{60}Co et ^{125}Sb sont détectés à des niveaux variables jusqu'en 1987, depuis 1988, exceptées quelques valeurs de ^{137}Cs , ils ne sont plus détectés.
 - L'incendie du silo survenu le 6 janvier 1981 s'est traduit par un marquage net autour de l'usine pour ces quatre radionucléides. En 1982, les concentrations de ces radionucléides ont en général retrouvé leur niveau précédant l'incendie.

Légumes (annexe III-12)

Des prélèvements de légumes et céréales ont été réalisés par l'OPRI, la COGEMA, le GEA, l'EDF. Les stations sont : Surtainville, Herqueville, Beaumont, Digulleville, Omonville la petite, Gréville, Val de Saire (carte 13). Les espèces sont : poireaux, carottes, laitues, pommes de terre, persil, blé, radis, navets.

- En spectrométrie gamma seuls le ^{137}Cs et le ^{40}K naturel ont des concentrations qui dépassent les LD.
- Les résultats de mesure sont en général proches entre les divers laboratoires.
- En plus des trois sources de radionucléides artificiels (rejets atmosphériques des usines, retombées des tirs anciens, embruns marins), il faut prendre en compte pour les légumes la voie amendement des sols à l'aide d'algues marines.

Lait (annexe III-13)

Des prélèvements de lait ont été réalisés par l'OPRI, la COGEMA, le GEA, l'EDF, le LDA50 chez une vingtaine de producteurs situés dans le quart nord ouest du Cotentin (carte 14).

- Le lait est l'indicateur terrestre le plus suivi et les échantillons analysés proviennent de fermes locales bien identifiées.
- Les spectrométries gamma fournissent des résultats presque exclusivement pour le ^{137}Cs et l'élément naturel ^{40}K .
- L'évolution dans le temps correspond à une diminution des niveaux de ^{137}Cs et ^{90}Sr depuis les années 80, sauf dans quelques échantillons en 1981 à Jobourg, après l'incendie du silo le 6/01/81 à l'usine de la COGEMA, et en 1986 pour le ^{137}Cs (accident de Tchernobyl).
- Les résultats de mesure des radionucléides artificiels sont en général proches entre les divers laboratoires.

V.2.2. Deuxième phase (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{131}I , ^{129}I , $^{238,239-240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm , ^{210}Po)

Dans une deuxième phase, la liste des radioéléments concernés a été étendue aux autres émetteurs gamma, alpha et bêta suivants : ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{129}I , ^{131}I , ^{210}Po , ^{238}Pu , $^{239-240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm , ainsi qu'au rayonnement gamma ambiant. Les résultats de cette deuxième série ont été regroupés par radionucléide relatif à plusieurs indicateurs (pour la localisation des lieux de prélèvement, il faut se reporter aux cartes présentées précédemment et regroupées dans l'annexe IV – tome 2).

^{238}Pu , $^{239-240}\text{Pu}$ (annexe III-14)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, l'OPRI, l'IPSN/LERFA, l'EDF.

- Pour l'eau de mer, la majorité des données est inférieure à des LD élevées, il est recommandé au GT3 et au GT4 de prendre en compte les valeurs de l'IPSN/LERFA.
- Pour les fucus et les patelles, les résultats des divers laboratoires sont assez proches. On note une diminution des concentrations dans le temps.
- Pour les autres échantillons le nombre de résultats assez faible et l'hétérogénéité des stations et des natures d'échantillons ne permettent pas de comparer les données.
- Le rapport isotopique $^{238}\text{Pu}/^{239-240}\text{Pu}$, calculé avec les moyennes annuelles des concentrations, est compris entre 0,25 et 1,9. Il témoigne de l'origine industrielle des rejets, le rapport isotopique des retombées des tirs anciens étant voisin de 0,05.

²⁴¹Am, ²⁴⁴Cm (annexe III-15)

Des résultats ont été fournis par l'IPSN/LERFA, l'OPRI, la COGEMA, le GEA.

- Les données ne sont pas assez nombreuses pour évaluer la représentativité et la dispersion des valeurs.
- Pour ²⁴¹Am, il convient d'apporter plus de crédit aux mesures par spectrométrie alpha mais celles-ci sont beaucoup moins nombreuses que les mesures par spectrométrie gamma.

²¹⁰Po (annexe III-16)

Les résultats concernent des échantillons de fucus, de moules, de crevettes, de poissons, de sédiments, d'eau de mer prélevés en plusieurs stations des côtes de la Manche.

- Seuls deux laboratoires, l'IPSN/LERFA et l'OPRI, ont fourni des résultats concernant diverses natures d'échantillons en plusieurs stations des côtes de la Manche pour les années 90. Ces données sont les seules disponibles pour ce radionucléide émetteur alpha naturel.

¹⁴C (annexe III-17)

Les résultats ont été fournis par l'OPRI, la COGEMA, l'IPSN. Les résultats concernent des patelles, des fucus, des tourteaux, des poissons, du lait, de l'herbe, des ajoncs pour les années 1996-97 en diverses stations.

- Il n'y a pas assez de données pour statuer sur la représentativité et la dispersion des résultats.
- Tous les résultats supérieurs à 250 Bq.kg⁻¹ de carbone, en milieu marin ou terrestre, témoignent d'apports anthropogéniques récents.

³H (annexe III-18)

Les résultats ont été fournis par la COGEMA, l'OPRI, l'IPSN/LERFA et l'EDF. Les résultats concernent essentiellement l'eau de mer, l'eau de boisson et le lait.

- Exceptées 5 valeurs mensuelles entre 1980 et 1982, les niveaux dans l'eau de boisson sont inférieurs à la LD (soit < 10 Bq.L⁻¹ depuis les années 90).
- Pour le lait, les niveaux les plus élevés sont enregistrés entre 1980 et 1982. Depuis la fin des années 80, peu de niveaux atteignent la LD (soit < 11 à 30 Bq.L⁻¹).
- Quelques valeurs ponctuelles concernent le tritium d'échantillons de fromage, de cidre, de carottes, de patelles, de homards, de fucus.
- Les niveaux mesurés dans l'eau de mer se situent entre 1 200 mBq.L⁻¹ (1,2 Bq.L⁻¹) enregistrés au large de Flamanville en période de faibles rejets et environ 17 800 mBq.L⁻¹ (17,8 Bq.L⁻¹) enregistrés à Goury en 1997.

D'autres résultats de mesures de ³H dans les cours d'eau ont été fournis par l'ANDRA, la COGEMA, l'OPRI, l'IPSN/LERFA, le LDA50, la CRIIRAD, l'ACRO, et sont discutés dans la section V.2.5 (annexe III-44).

¹²⁹I, ¹³¹I (annexe III-19)

Des résultats ont été fournis par l'IPSN, l'OPRI, la COGEMA, la CRIIRAD, dans de l'eau de mer, des sédiments marins, des fucus, des patelles, des tourteaux, des homards, des araignées de mer, des plies, des sédiments de cours d'eau, de l'herbe et du lait.

- Les données ne sont pas assez nombreuses pour évaluer la représentativité et la dispersion des valeurs.
- De plus l'hétérogénéité des natures des échantillons, des stations de prélèvements et des limites de détection ne permettent pas de réaliser des comparaisons entre les résultats des différents laboratoires, sauf pour quelques données en ¹²⁹I dans les fucus qui sont homogènes.
- Pour le lait on note l'impact de l'¹³¹I des retombées de Tchernobyl en 1986.

- Pour le fucus on note une augmentation des concentrations en ^{129}I depuis 1988.

^{90}Sr (annexe III-20)

Les résultats ont été fournis par l'EDF, la COGEMA, le LDA50, l'OPRI; ils concernent du lait, de l'eau de mer, des sédiments marins, des mollusques, des poissons, des crustacés, des algues

- Pour le lait, les résultats sont en général proches entre les divers laboratoires.
- Pour les autres natures d'échantillons, il n'y a pas assez de données pour réaliser des comparaisons.
- Globalement on observe une diminution des valeurs des années 80 aux années 90.
- L'évolution des moyennes annuelles ne met pas en évidence une répercussion de l'incident du silo du 6 janvier 1981 sur le niveau de ^{90}Sr dans le lait (cf V.2.6.).

^{99}Tc (annexe III-21)

Les résultats concernent essentiellement une longue série de fucus à Goury et quelques données pour des patelles, homards, poissons. Ces résultats ont été obtenus par l'IPSN/LERFA.

- Les données proviennent d'un seul laboratoire.
- Le ^{99}Tc est surtout concentré par les algues brunes. Une longue série de résultats concerne les fucus à Goury.
- On observe une augmentation des concentrations de 1976 à 1985, puis une diminution.

Gamma ambient (annexe III-22)

Des mesures de gamma ambient en débit de dose sont effectuées par la COGEMA à Vauville, Jobourg, Herqueville, Beaumont, Digulleville et Gréville, par EDF à Flamanville et Dielette et par l'OPRI.

- Les données fournies par les laboratoires ne sont pas toujours comparables du fait des caractéristiques des appareillages de mesure qui ont évolué dans le temps.
- En 1981 une cartographie des débits de doses a été réalisée dans la région de Flamanville-La Hague. Les niveaux varient entre 0,053 et 0,33 $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Les résultats fournis au GT2 par l'OPRI en septembre 1998 sont joints à l'annexe III-22 tels quels.

V.2.3. Troisième phase " autres gamma " chez les patelles (^{54}Mn , ^{58}Co , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , $^{144}\text{CePr}$, ^{154}Eu)

La patelle est le bioindicateur animal pour lequel les données sont les plus nombreuses. Les résultats de cette série concernent uniquement les parties molles de ce mollusque et sont également présentés par radionucléide.

^{54}Mn dans les patelles (annexe III-23)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, OPRI, GEA, EDF, IPSN/LERFA. Les stations sont les suivantes : Bameville, Sciotot, Dielette, Anse des Moulins, Ecalgrain, Goury, Anse St Martin, Querqueville, Anse du Brick, Barfleur.

- On observe une bonne concordance des valeurs entre les laboratoires.
- Globalement les concentrations moyennes ont diminué au cours des années 1980 - 90, avec cependant des valeurs individuelles maximales observées en 1991.

⁵⁸Co dans les patelles (annexe III-24)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, OPRI, GEA, IPSN/LERFA, EDF. Les stations sont les suivantes : Bameville/Carteret, Sciotot, Dielette, Siouville, Herquemoulin, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Goury, Anse St Martin, Querqueville, Anse du Brick, Barfleur.

- Les concentrations supérieures aux LD concernent la région de Flamanville pour les années 1986 à 1991.

⁶⁵Zn dans les patelles (annexe III-25)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, GEA, OPRI, IPSN/LERFA. Les stations sont les suivantes : Bameville, Sciotot, Diélette, Siouville, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Herquemoulin, Goury, Anse St Martin, Querqueville.

- Ce radionucléide est détecté au cours de la période 1978 - 1990.
- On observe une bonne concordance des valeurs entre les différents laboratoires.

⁹⁵Zr dans les patelles (annexe III-26)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, GEA. Les stations sont les suivantes : Bameville, Siouville, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Herquemoulin, Goury, Anse St Martin.

- Ce radionucléide est détecté au cours de la période 1978 - 1987.
- Le nombre de données est relativement faible.

¹⁰³Ru dans les patelles (annexe III-27)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, GEA. Les stations sont les suivantes : Sciotot, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Goury, Anse St Martin.

- Le nombre de données est très faible et concerne les années 1978 à 1986.

^{110m}Ag dans les patelles (annexe III-28)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, OPRI, GEA, IPSN, EDF. Les stations sont les suivantes : Bameville/Carteret, Sciotot, Flamanville, Diélette, Siouville, Herquemoulin, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Goury, Anse St Martin, Querqueville, Anse du Brick, Barfleur.

- On observe une bonne concordance des valeurs entre les différents laboratoires.
- Dans la région nord/nord-est du Cotentin les concentrations diminuent des années 1978 à maintenant.
- Autour de Flamanville les concentrations diminuent au cours des années 1990.

¹³⁴Cs dans les patelles (annexe III-29)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, GEA, OPRI, EDF. Les stations sont les suivantes : Bameville, Sciotot, Flamanville, Diélette, Siouville, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Herquemoulin, Goury, Anse St Martin, Querqueville, Anse du Brick, Barfleur.

- Ce radionucléide est essentiellement détecté au cours de la période 1978 - 1988.
- On observe à quelques exceptions près une bonne concordance des valeurs entre les différents laboratoires.

¹⁴⁴CePr dans les patelles (annexe III-30)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, GEA, IPSN/LERFA. Les stations sont les suivantes : Bameville, Sciotot, Diélette, Siouville, Anse des Moulinets, Herquemoulin, Ecalgrain, Goury, Anse St Martin, Querqueville.

- Ces radionucléides sont détectés uniquement au cours de la période 1978 - 1988.
- On observe une bonne concordance des valeurs entre les différents laboratoires.

¹⁵⁴Eu dans les patelles (annexe III-31)

Des résultats ont été fournis par la COGEMA, GEA. Les stations sont les suivantes : Sciottot, Siouville, Herquemoulin, Anse des Moulinets, Ecalgrain, Goury, St Martin.

- Le nombre de données est très faible.

V.2.4. Quatrième phase : “ Autres émetteurs gamma chez divers indicateurs ”

Les radionucléides suivants, ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹⁰³Ru, ^{110m}Ag, ¹³⁴Cs, ¹⁴⁴CePr, ¹⁵⁴Eu, ont été décelés plus ou moins sporadiquement chez divers indicateurs du milieu marin et du milieu terrestre. Généralement, seules les valeurs supérieures aux LD ont été reportées par les laboratoires fournisseurs de données. Le nombre de données pour chaque indicateur et chaque radionucléide est très faible et ne permet pas de statuer sur la représentativité et la dispersion des résultats.

Les données les plus abondantes concernent le ^{110m}Ag, le ⁵⁸Co chez les algues Fucus, les crustacés.

Dans l'anse des moulinets en 1979-80, du fait du percement de la conduite de rejets, les moyennes et les valeurs maximales s'écartent des niveaux enregistrés ailleurs pour ¹⁴⁴CePr, ^{110m}Ag, ⁵⁴Mn, ⁶⁵Zn chez le Fucus, pour ¹⁴⁴CePr, ¹⁵⁴Eu, ¹³⁴Cs dans les sédiments.

Les données sont répertoriées par indicateur et par radionucléide dans les annexes III-32 à III-43 dans l'ordre suivant :

- l'eau de mer (¹⁴⁴CePr, ¹³⁴Cs, ⁵⁴Mn) Annexe III-32,
- les poissons (¹³⁴Cs, ⁶⁵Zn, ^{110m}Ag, ⁵⁴Mn) Annexe III-33,
- les moules (¹⁴⁴CePr, ¹⁰³Ru, ^{110m}Ag) Annexe III-34,
- les sédiments marins (¹⁴⁴CePr, ⁵⁴Mn, ¹⁵⁵Eu, ^{110m}Ag, ¹³⁴Cs) Annexe III-35,
- les fucus (^{110m}Ag, ¹³⁴Cs, ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁵Zn, ¹⁴⁴CePr) Annexe III-36,
- les crustacés (^{110m}Ag, ⁶⁵Zn, ¹⁴⁴CePr, ⁵⁴Mn, ¹³⁴Cs) Annexe III-37,
- les sédiments des cours d'eau (⁵⁸Co, ^{110m}Ag, ⁵⁴Mn, ¹³⁴Cs, ¹⁵⁵Eu) Annexe III-38,
- l'eau des cours d'eau (¹⁵⁵Eu, ¹³⁴Cs) Annexe III-39,
- l'herbe (¹⁴⁴CePr, ¹⁰³Ru, ¹³⁴Cs, ⁹⁵Nb) Annexe III-40,
- le lait (¹³⁴Cs) Annexe III-41,
- les légumes (¹³⁴Cs) Annexe III-42,
- les huîtres (^{110m}Ag, ⁶⁵Zn, ¹³⁴Cs) Annexe III-43.

V.2.5. Cinquième phase “ Principaux émetteurs γ , comptages α total, β total et tritium dans des cours d'eau ”

Il s'agit des eaux de cours d'eau, de leurs sources et autres résurgences alimentant abreuvoirs ou lavoirs, des eaux de puits et des eaux de la nappe phréatique (carte 15). Cette eau n'est pas directement consommée par l'homme.

Des résultats ont été fournis par l'ANDRA, la COGEMA, l'OPRI, l'IPSN/LERFA, le LDA50, la CRIIRAD, l'ACRO

Des données concernent les principaux émetteurs γ , le comptage α total, le comptage β total et le tritium, Annexe III-44.

L'influence considérable des conditions pluviométriques du moment sur les résultats des mesures dans les eaux de la St-Hélène nécessite un très grand nombre de mesures périodiques pour suivre les niveaux avec précision.

L'essentiel des données concernent le tritium.

Globalement les résultats des différents organismes sont proches, malgré les différences de traitement des échantillons.

L'évolution des concentrations mesurées dans la Ste-Hélène témoigne des modifications techniques apportées aux réseaux de collecte des eaux du CSM - ANDRA. On constate une diminution globale des concentrations depuis les années 1980.

V.2.6. Sixième phase “ Emetteurs γ , ^{90}Sr , tritium, β total, au cours des incidents chez divers indicateurs ”

Cinq incidents ont été répertoriés par le GT1. A la lecture des données fournies par le GT2, deux d'entre eux présentent des moyennes annuelles des niveaux de radioactivité nettement supérieures aux moyennes des périodes précédant et suivant l'incident. Il s'agit :

- du percement de la conduite de rejet en mer des effluents de l'établissement COGEMA La Hague entre septembre et novembre 1979.
- de l'incendie d'un silo le 6 janvier 1981 à l'établissement COGEMA La Hague.

Un examen de données individuelles fournies par la COGEMA, l'OPRI et EDF des périodes incriminées a été réalisé, Annexe III-45 (carte 16). Bien que le point de prélèvement d'herbe A15 soit situé sur le site COGEMA, et contrairement à la règle fixée par le GT2 de ne considérer que les mesures à l'extérieur des sites, les résultats de mesures au point A15 fournis par la COGEMA ont été pris en compte en raison de l'aspect très localisé de l'étude des conséquences de l'incendie du silo.

D'une manière générale, on peut considérer que l'impact de l'incident du percement de la conduite en septembre-novembre 1979 à l'anse des Moulinets se limite géographiquement entre Ecalgrain et Herquemoulin et n'est plus perçu en 1981.

L'incendie du silo survenu le 6 janvier 1981 a, quant à lui, provoqué un marquage de l'herbe par plusieurs émetteurs gamma aux alentours immédiats de l'établissement COGEMA La Hague qui s'estompe en fin d'année 1981. Les secteurs les plus marqués sont le Nord-Ouest et le Sud-Est du site. Un marquage de l'herbe des stations de Diélette, Les Pieux et Vasteville est également observé pour plusieurs émetteurs gamma (Cs, CePr, RuRh, Nb, Zr), ainsi que pour le Sr. Concernant le lait provenant des fermes de la région de La Hague, on ne peut pas exclure un marquage par les isotopes du Cs et le Sr. Il faut signaler le cas particulier d'Herqueville (ferme S2454 localisée au Sud-Est du site) où un net marquage par les isotopes du Cs et le Sr a été observé. Les concentrations dans le lait retrouvent des niveaux proches de ceux qui précédaient l'incendie en fin d'année 1981.

VI. Conclusions

Le travail du GT2 a permis de rassembler et d'étudier dans le cadre du Groupe Radioécologie Nord Cotentin plusieurs milliers de résultats de concentration de radionucléides (environ 500 000 « déterminations de concentration en radionucléide ou d'activité totale alpha ou bêta » ont été recensées). Neuf laboratoires ont fourni ces données. Un travail de cette ampleur effectué par les représentants des industriels, d'associations, d'organismes publics, n'avait jamais été réalisé dans la région.

Ce groupe de travail s'est efforcé d'être exhaustif pour l'inventaire des prélèvements et des types de mesures (données informatisées). En revanche, concernant les résultats des mesures, compte-tenu du nombre considérable de données à rassembler et à vérifier en un temps limité, il a été décidé de donner la priorité aux informations indispensables au GT3 (confrontation modèles/mesures) et au GT4 (estimation des doses aux populations). Les critères de sélection suivants ont donc été appliqués :

- traiter en priorité les résultats pour lesquels plusieurs organismes ont effectué des prélèvements au même endroit et au même moment afin de pouvoir les comparer entre eux;
- privilégier les indicateurs pour lesquels on dispose de longues séries de mesures afin de suivre l'évolution temporelle de la radioactivité, et pour lesquels des stations de prélèvement existantes permettent de couvrir au mieux la zone du Nord Cotentin;
- mettre l'accent au cas par cas sur des points qui présentent un intérêt particulier comme certains maillons de la chaîne alimentaire (lait) ou encore l'impact d'un incident localisé dans le temps et l'espace;
- donner la priorité aux résultats disponibles sous forme informatique pour pouvoir les traiter rapidement;
- traiter les données relatives à l'environnement situé à l'extérieur des sites nucléaires;

Seuls, les résultats obtenus à partir de 1978 sont pris en compte. En effet, à partir de la fin des années 70, non seulement de nombreuses données ont été informatisées, mais en outre les mesures ont gagné en qualité. Enfin l'étude porte jusqu'en 1997, sous réserve de la disponibilité des résultats de mesures de l'année 1997.

Ce travail a permis au GT3 d'assurer la comparaison modèles- valeurs mesurées, en particulier en milieu marin où, pour plusieurs indicateurs, de longues séries ont été réalisées par plusieurs laboratoires en un même lieu. Les résultats exploités apportent également des informations pertinentes au GT4 pour la réalisation éventuelle de calculs de doses à partir des valeurs mesurées.

Le rassemblement des données par le GT2 s'est concrétisé par :

- la publication d'un inventaire des prélèvements et des types de mesure de radioactivité. Il devrait devenir un outil très utile pour répondre à la demande sociale sur la distribution et l'évolution de la radioactivité artificielle dans le Nord Cotentin. Il concerne :
 - une zone s'étendant du golfe Normand-Breton à l'ouest jusqu'à la côte est au sud de Barfleur;
 - des types d'échantillons variés (eau de mer, sédiments, algues, mollusques, crustacés, poissons; eaux de boisson, eaux superficielles, eaux souterraines, sédiments des cours d'eau, herbes, légumes, lait, gaz ...);
 - de nombreux radionucléides naturels et artificiels, émetteurs gamma (^{40}K naturel, ^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{60}Co , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$...), émetteurs bêta (^3H , ^{90}Sr , ^{99}Tc ...), émetteurs alpha ($^{238,239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{210}Po naturel...)
- une revue critique des résultats. Au commencement du travail, une difficulté notable est apparue du fait d'un manque d'homogénéité entre les modes opératoires des laboratoires. Ce manque d'homogénéité est dû à la finalité des mesures, variable selon les missions des intervenants. En définitive, la moyenne annuelle a été retenue comme grandeur représentant les niveaux de radioactivité dans l'environnement, accompagnée de

l'écart-type, de la valeur maximale des niveaux d'activité dans l'année, du nombre de résultats d'activité supérieurs à la limite de détection par rapport au nombre total de mesures dans l'année. Il a été nécessaire de prendre en compte toutes ces données, afin d'interpréter au mieux les résultats de radioactivité, surtout :

- dans les cas où les limites de détection varient d'un laboratoire à l'autre, ou au cours du temps pour un même laboratoire;
- en fonction du nombre de résultats annuels pour un radionucléide, un indicateur, en un lieu donné;
- lorsque des moyennes annuelles s'écartent de la tendance générale, accompagnées d'un écart-type élevé, dû à un ou quelques résultats " particuliers " dont l'explication n'était pas fournie (problèmes de prélèvement, de traitement, de mesure, de saisie de résultats ...)

Malgré ce manque d'homogénéité, et une comparaison parfois difficile des résultats (notamment, par exemple, en raison des différences entre les limites de détection des laboratoires), **le GT2 constate**, tous les éléments d'appréciation étant pris en compte, **la cohérence de l'ensemble des résultats**, et un consensus de la part des participants sur l'analyse des niveaux de radioactivité fournis.

Compte-tenu du nombre considérable de données à traiter dans le temps imparti, tous les résultats n'ont donc pas pu être analysés (notamment ceux des niveaux de radioactivité relatifs à toutes les espèces d'algues et d'animaux, des sédiments en champ proche, du gamma ambiant, des gaz...). Les données non traitées, mais qui font partie de l'inventaire ou qui n'ont pas été collectées dans le cadre de l'action du GT2, **peuvent être demandées en s'adressant aux laboratoires ou organismes concernés**. Le GT2 a relevé des lacunes comme l'absence de mesures de certains radionucléides dans l'environnement. Pour le futur, la hiérarchisation des radionucléides et des compartiments environnementaux à étudier sera définie par le groupe plénier à la lumière des résultats du GT4. Mais de toute évidence, **les objectifs fixés au GT2, conformes à l'esprit de la note de mission du gouvernement, ont été atteints**.