

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE*Faire avancer la sûreté nucléaire*

Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011

**réseau national**

Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement

Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011



réseau national

Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement

SOMMAIRE

Chemins de lecture	.....	p. 3
Avant-propos	.....	p. 5
Rappel des missions de l'IRSN	.....	p. 6
I La surveillance radiologique de l'environnement	.....	p. 8
I.1	La radioactivité naturelle et artificielle en France	p. 10
I.2	Pourquoi surveiller la radioactivité dans l'environnement ?	p. 15
I.3	Quels sont les objectifs de la surveillance radiologique de l'environnement ?	p. 16
I.4	Comment surveille-t-on la radioactivité ?	p. 17
I.5	Éléments méthodologiques pour le choix des stations de surveillance	p. 18
I.6	Plans d'analyses	p. 22
I.7	De la préparation à la mesure physique des échantillons	p. 25
II Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement et les acteurs de la surveillance en France	.....	p. 28
II.1	Le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM)	p. 30
II.2	Qui surveille la radioactivité en France ?	p. 35
III Événements et expertises ponctuelles	.....	p. 42
III.1	Suivi de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et Drom-Com)	p. 44
III.2	Pollution accidentelle par du tritium à Saint-Maur-des-Fossés (Val-de-Marne) et Bondoufle (Essonne)	p. 53
III.3	Expertises réalisées par l'IRSN sur le site de la société Orflam-Plast à Pargny-sur-Saulx (Marne)	p. 55
III.4	Rejets radioactifs liés à des événements naturels	p. 57
IV La surveillance du territoire français métropolitain et outre-mer	.....	p. 60
IV.1	Le compartiment atmosphérique	p. 62
IV.2	Le milieu continental	p. 70
IV.3	Le milieu marin et littoral	p. 75
IV.4	Les constats radiologiques régionaux	p. 100
IV.5	La surveillance radiologique outre-mer	p. 106
V La surveillance des sites du cycle du combustible nucléaire	.....	p. 110
V.1	La surveillance de l'environnement à proximité des sites nucléaires	p. 112
V.2	La surveillance de l'environnement autour des anciens sites miniers	p. 113
V.3	La surveillance de l'environnement des industries situées en amont du cycle du combustible nucléaire	p. 121
V.4	La surveillance de l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité	p. 139
V.5	La surveillance des industries situées en aval dans le cycle du combustible nucléaire	p. 184
V.6	La surveillance des centres de stockage des déchets	p. 200
VI La surveillance des centres de recherche et des bases navales nucléaires	.....	p. 210
VI.1	Les centres de recherche du CEA et le centre de recherche international de l'ILL	p. 212
VI.2	Les bases navales nucléaires	p. 250
VII La surveillance des installations utilisant des sources de radioactivité naturelle ou artificielle	.....	p. 256
VII.1	Usine Rhodia Electronics & Catalysis de La Rochelle	p. 259
VII.2	Les installations industrielles d'ionisation	p. 261
VIII Exposition de la population en France aux rayonnements ionisants	.....	p. 264
VIII.1	Exposition moyenne de la population en France	p. 266
VIII.2	Comment évaluer les effets biologiques de la radioactivité sur les organismes vivants ?	p. 268
VIII.3	Les doses reçues par la population du fait des activités nucléaires	p. 268
VIII.4	Évaluation de la qualité radiologique des eaux potables en France	p. 274
VIII.5	Évaluation dosimétrique pour la Polynésie française	p. 275
VIII.6	Bilan de l'impact dosimétrique de l'accident de Fukushima sur la population française	p. 276
IX Les sources d'informations sur la surveillance de la radioactivité et la diffusion de données	.....	p. 280
IX.1	Sites Internet et supports d'information du public	p. 282
IX.2	Diffusion d'information dans le cadre de traités ou conventions internationales	p. 289
X Comprendre la radioactivité	.....	p. 292
X.1	L'atome et les rayonnements	p. 294
X.2	La mesure de la radioactivité	p. 295
X.3	Les effets biologiques des rayonnements et les différents modes d'exposition	p. 298
XI Annexes	.....	p. 300
XI.1	Présentation et exploitation des résultats	p. 302
XI.2	Glossaire	p. 303
XI.3	Références	p. 307
XI.4	Crédits et remerciements	p. 308



CHEMINS DE LECTURE

Une des ambitions de ce bilan radiologique étant de faciliter l'accès à l'information, il a été conçu pour permettre un accès rapide à toutes les informations relatives aux acteurs de la surveillance de la radioactivité en France ainsi qu'aux résultats d'analyses. Il propose également une rubrique pédagogique dédiée à l'explication du phénomène de la radioactivité, sa mesure, ses effets biologiques, etc.

En complément, des chemins de lecture adaptés à chaque typologie de lecteurs (néophyte, public averti ou spécialiste) sont proposés ci-dessous.

ACCÈS PAR TYPOLOGIE DE LECTEUR

PUBLIC NON AVERTI

- Chapitre X Comprendre la radioactivité
- Chapitre I La surveillance radiologique de l'environnement
- Chapitre IV La surveillance du territoire français métropolitain et outre-mer
- Chapitre VIII Exposition de la population en France aux rayonnements ionisants
- Chapitre IX Les sources d'informations sur la surveillance de la radioactivité et la diffusion des données

PUBLIC AVERTI

- Chapitre I La surveillance radiologique de l'environnement
- Chapitre II Le RNM et les acteurs de la surveillance en France
- Chapitre IV La surveillance du territoire français métropolitain et outre-mer
- Chapitre V La surveillance des sites du cycle du combustible nucléaire
- Chapitre VI La surveillance des centres de recherche et des bases navales nucléaires
- Chapitre VII La surveillance des installations utilisant des sources de radioactivité naturelle ou artificielle
- Chapitre VIII Exposition de la population en France aux rayonnements ionisants

PUBLIC SPÉCIALISTE ET PROFESSIONNEL

- Accès à tous les chapitres en privilégiant ceux présentant directement les résultats de la surveillance (chapitres III à VII) et l'évaluation des doses reçues par la population (chapitre VIII).
- Pour faciliter l'accès direct aux résultats, un sommaire cartographique est proposé en page suivante.

ACCÈS PAR SITE : SOMMAIRE CARTOGRAPHIQUE

Ce sommaire cartographique est destiné aux lecteurs avertis ou professionnels souhaitant accéder directement aux informations et aux résultats des principaux sites nucléaires en France (chapitres V, VI et VII).

- Conversion de l'uranium
- Enrichissement de l'uranium
- Fabrication des assemblages combustibles
- Traitement du combustible usé et recyclage
- Stockage en surface des déchets radioactifs
- Centres nucléaires de production d'électricité
- Atelier de maintenance nucléaire
- Centres de recherche
- Bases navales nucléaires
- Traitement de minerais
- Centres d'ionisation



Carte des zones minières françaises : p. 113

ACCÈS PAR THÉMATIQUE À LA SURVEILLANCE GÉNÉRALE DU TERRITOIRE FRANÇAIS



Le compartiment atmosphérique (air, aérosols, eau de pluie) p. 62



Le milieu continental (lait, céréales, champignons, eaux de surface) p. 70



Le milieu marin et littoral (eau, sédiments, algues, faune aquatique) p. 75



Les constats radiologiques régionaux p. 100



La surveillance radiologique outre-mer p. 106

À savoir : Les résultats de la surveillance du compartiment marin et littoral (eaux de mer, sédiments, faune et flore aquatiques) à proximité des installations nucléaires sont présentés dans le chapitre IV.3 (Le milieu marin et littoral) afin de permettre une exploitation de toutes les données disponibles par façade maritime. De même, dans le compartiment atmosphérique, les résultats de mesures de dosimétrie environnementale passive et active sont traités au chapitre IV.



AVANT-PROPOS

Depuis 2004, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) publie annuellement un bilan de l'état radiologique de l'environnement français. La surveillance radiologique de l'environnement français est, en effet, une mission permanente de l'IRSN dans le cadre des politiques publiques de sûreté nucléaire et de radioprotection, participant ainsi à garantir au mieux la protection des populations. Cette mission a pour objectif de contribuer à :

- **vérifier** que les activités nucléaires sont menées dans le respect des règles de rejet qui s'imposent à elles ;
- **s'assurer** que l'environnement, dans toutes ses composantes, reste dans un état radiologique satisfaisant qui n'induit pas une exposition excessive des personnes ou des écosystèmes ;
- **détecter** aussi rapidement que possible toute élévation anormale de la radioactivité pouvant résulter d'un accident radiologique ou nucléaire survenu en France ou à l'étranger.

Cette année, comme annoncé lors de l'édition précédente, une nouvelle version de ce rapport, intégrant l'ensemble des données du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM), voit le jour. Depuis 2003, l'IRSN a pour mission le développement et la gestion du RNM institué par les articles R.1333-11 et R.1333-11-1 du Code de la santé publique.

Ce réseau, dont la description fait l'objet du chapitre 2 du présent rapport, a notamment pour objectif de rassembler et de mettre à disposition du public les informations sur l'état radiologique des différentes composantes de l'environnement, détenues par les autorités publiques. Conformément à la réglementation, l'IRSN doit désormais établir un rapport de synthèse sur l'état radiologique de l'environnement à partir des données du RNM, complété par des estimations des impacts radiologiques des principales activités nucléaires.

La publication de ce rapport constitue donc un événement majeur dans le cadre de la politique de transparence dans le domaine du nucléaire en France puisqu'il exploite pour la première fois l'ensemble des données acquises par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance du territoire ainsi que celles déclarées au RNM par les acteurs du nucléaire participant à ce réseau. Il permet ainsi de disposer d'une vision la plus globale possible sur l'ensemble des mesures de radioactivité réalisées dans l'environnement (plus de 300 000 résultats de mesures exploités) par les différents acteurs impliqués.

Afin d'intégrer les résultats liés à l'événement de Fukushima, ce rapport présente les données acquises entre le 1^{er} janvier 2010 et le 30 juin 2011 sur l'ensemble du territoire national ; les résultats de la surveillance de la Polynésie française faisant l'objet d'un rapport spécifique publié annuellement par l'IRSN et disponible sur Internet.

La présentation des résultats se décline selon un découpage thématique :

- **par type d'installation à l'origine de rejets radioactifs** (centre nucléaire de production d'électricité, centre de traitement de combustible usé, centre d'études nucléaires...) pour les résultats relatifs à la surveillance de ces sites ;
- **par compartiment environnemental** (atmosphérique, continental, marin et littoral) pour les résultats de la surveillance générale du territoire.

Chaque chapitre du rapport peut être consulté indépendamment des autres. Pour restituer les mesures de radioactivité dans l'environnement de manière plus synthétique et représentative, l'IRSN a choisi d'exprimer les résultats sous la forme d'un estimateur unique qui tient compte de toutes les valeurs

acquises en un point, y compris les valeurs inférieures aux seuils de décision. Cette présentation évite ainsi de délivrer l'ensemble des résultats individuels dans des tableaux ou graphiques de manière trop répétitive, tout en restant scientifiquement rigoureuse.

Pour des sites de même nature, des différences peuvent apparaître dans les plans de surveillance, ou pour des raisons géographiques, historiques ou à titre d'étude spécifique. Pour retrouver les résultats ou accéder à ceux qui ne sont pas repris dans ce bilan, je vous invite à vous reporter au site Internet du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (<http://www.mesure-radioactivite.fr>), ou encore au portail environnement Internet de l'IRSN (<http://environnement.irs-n.fr>).

Le premier semestre de l'année 2011 aura été marqué par un événement majeur, l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi, survenu à la suite du séisme et du tsunami du 11 mars 2011. Une synthèse du bilan publié début 2012 par l'IRSN sur l'impact de cet accident en France (métropole et Drom-Com) est présentée dans ce rapport. Plus de 5 700 résultats de mesures obtenus par l'IRSN et 3 000 résultats transmis par les exploitants et l'Acro ont été pris en compte dans cette analyse scientifique. Plus globalement, l'intégration de ces résultats a donné lieu à une gestion spécifique en termes d'analyse et de restitution des données, une distinction ayant été faite entre les valeurs « habituellement » mesurées dans l'environnement et celles obtenues pendant la période suivant l'accident.

Outre cet événement dont les traces auront été détectées pendant plusieurs semaines, les résultats présentés dans ce rapport mettent en évidence un marquage de l'environnement par des radionucléides artificiels à proximité de sources de rejets connues (activités de l'industrie nucléaire, hospitalières) et également hors des zones d'influence, en raison de l'apport des retombées passées sur l'ensemble du territoire (essais atmosphériques d'armes nucléaires entre 1945 et 1980, accident de Tchernobyl en 1986...) ou en raison d'activités industrielles anciennes insuffisamment maîtrisées (sites pollués). D'une manière générale, ce marquage est plus particulièrement observable dans les sols et dans les milieux aquatiques continentaux et marins (sédiments, faune et flore). D'un point de vue qualitatif, les niveaux de radioactivité mesurés en 2010 et 2011 restent faibles et dans le domaine des valeurs habituellement observées ces dernières années.

Comme chaque année, l'IRSN a poursuivi ses travaux sur l'amélioration des contenus ainsi que sur l'ergonomie de lecture du rapport. La nouvelle édition de ce bilan annuel s'accompagne d'évolutions liées, d'une part, à l'intégration des données des acteurs du RNM et, d'autre part, à la mise en œuvre des inflexions opérées depuis 2008 par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance radiologique du territoire (constats radiologiques territoriaux, redéploiement de la surveillance du littoral et des denrées alimentaires...).

Enfin, parmi les nouveautés de cette édition, la parole a été donnée aux acteurs du RNM, ainsi qu'à l'Agence fédérale belge de contrôle nucléaire (AFCN), dans des focus permettant de mettre en avant une thématique particulière ou un événement marquant lié à la surveillance de la radioactivité dans l'environnement.

Je vous souhaite une agréable lecture du bilan radiologique 2010-2011, en espérant qu'il réponde à vos attentes.

Jacques Repussard
Directeur Général

RAPPEL DES MISSIONS DE L'IRSN

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire a été créé par la loi 2001-398 du 9 mai 2001. Expert public des risques, l'IRSN concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire et de protection de la santé et de l'environnement au regard des rayonnements ionisants. Il interagit avec tous les acteurs concernés par ces politiques.

En France, la prévention des risques nucléaires repose sur quatre piliers complémentaires :

- **Les exploitants** sont responsables de la sûreté de leurs installations nucléaires. Ils doivent démontrer la pertinence des moyens techniques et organisationnels mis en œuvre à cet effet (dossiers de sûreté, études d'impact des rejets).
- **Les autorités publiques** déterminent les politiques de sûreté nucléaire et de radioprotection. Elles organisent et mettent en œuvre le contrôle.
- **L'IRSN, pôle public d'expertise** sur les risques nucléaires, évalue, pour les différentes autorités compétentes, les dossiers fournis par les exploitants. Il analyse en permanence le retour d'expérience du fonctionnement des installations et l'exposition des hommes et de l'environnement aux rayonnements. L'expertise de l'IRSN repose sur ses activités de recherche, conçues le plus souvent dans un cadre international, qui lui assurent les moyens d'investigation les plus performants.
- **Les Commissions locales d'information (Cli)** rassemblent les parties prenantes concernées par une installation nucléaire donnée et forment un organe d'accès à l'information et de vigilance autour des enjeux de sûreté, de protection de la santé et de l'environnement.

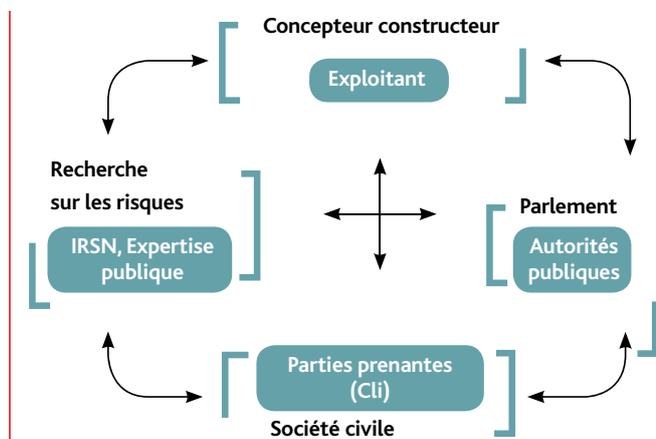


Figure 1 - Les quatre piliers de la prévention des risques nucléaires.

L'IRSN est un établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle conjointe :

- du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie ;
- du ministère du Redressement productif ;
- du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ;
- du ministère de la Défense ;
- du ministère des Affaires sociales et de la santé.

Ses dépenses (282 M€ exécutés en 2011) sont financées à hauteur de 210,8 M€ par une subvention provenant du ministère de l'Écologie, dans le cadre de la mission LOLF « recherche et enseignement supérieur », programme « recherche dans les domaines de l'énergie, du développement et de l'énergie durables », action « recherche dans le domaine des risques ». Cette subvention est complétée par des financements publics ou privés, nationaux, européens ou internationaux dédiés à des programmes de recherche ou d'expertise spécifiques. L'IRSN rassemble plus de 1 700 salariés, dont plus d'un millier d'experts et de chercheurs.

Ses ressources sont consacrées :

- **pour 40,2 %** à la recherche. Les programmes les plus lourds, nécessitant des réacteurs nucléaires de recherche ou des moyens conséquents (comportement des combustibles, simulations d'accidents, etc.), sont mutualisés au niveau international ;
- **pour 50,2 %** à l'appui technique aux pouvoirs publics et aux autorités, ainsi qu'aux missions d'intérêt public ;
- **pour 9,6 %** aux prestations d'expertises et d'études réalisées dans un cadre contractuel.

L'IRSN couvre les domaines d'activités suivants :

- **la sûreté nucléaire** : réacteurs, cycle du combustible, déchets, applications médicales ;
- **la sûreté des transports** de matières radioactives et fissiles ;
- **la protection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants** : l'IRSN gère les données d'exposition individuelle d'environ 350 000 travailleurs ;
- **la protection de la population et de l'environnement** contre les risques liés aux rayonnements ionisants ;
- **la protection et le contrôle** des matières nucléaires ;
- **la protection des installations nucléaires** et transports de matières radioactives et fissiles contre les actes de malveillance.

L'IRSN est un acteur de la transparence nucléaire :

- **l'information du public** fait partie des missions de l'IRSN. Son portail Internet (www.irsnn.fr) propose une large palette d'informations adaptées à différents types de publics.
- **L'IRSN a signé un accord cadre avec la fédération des Cli, l'Anccli**, afin de rendre son expertise accessible aux parties prenantes et ainsi faciliter la compréhension de dossiers techniques qui sont souvent complexes ;
- **L'IRSN anime, sur demande des pouvoirs publics, des groupes d'expertise pluraliste** sur des thèmes potentiellement générateurs de controverse au sein de la société.

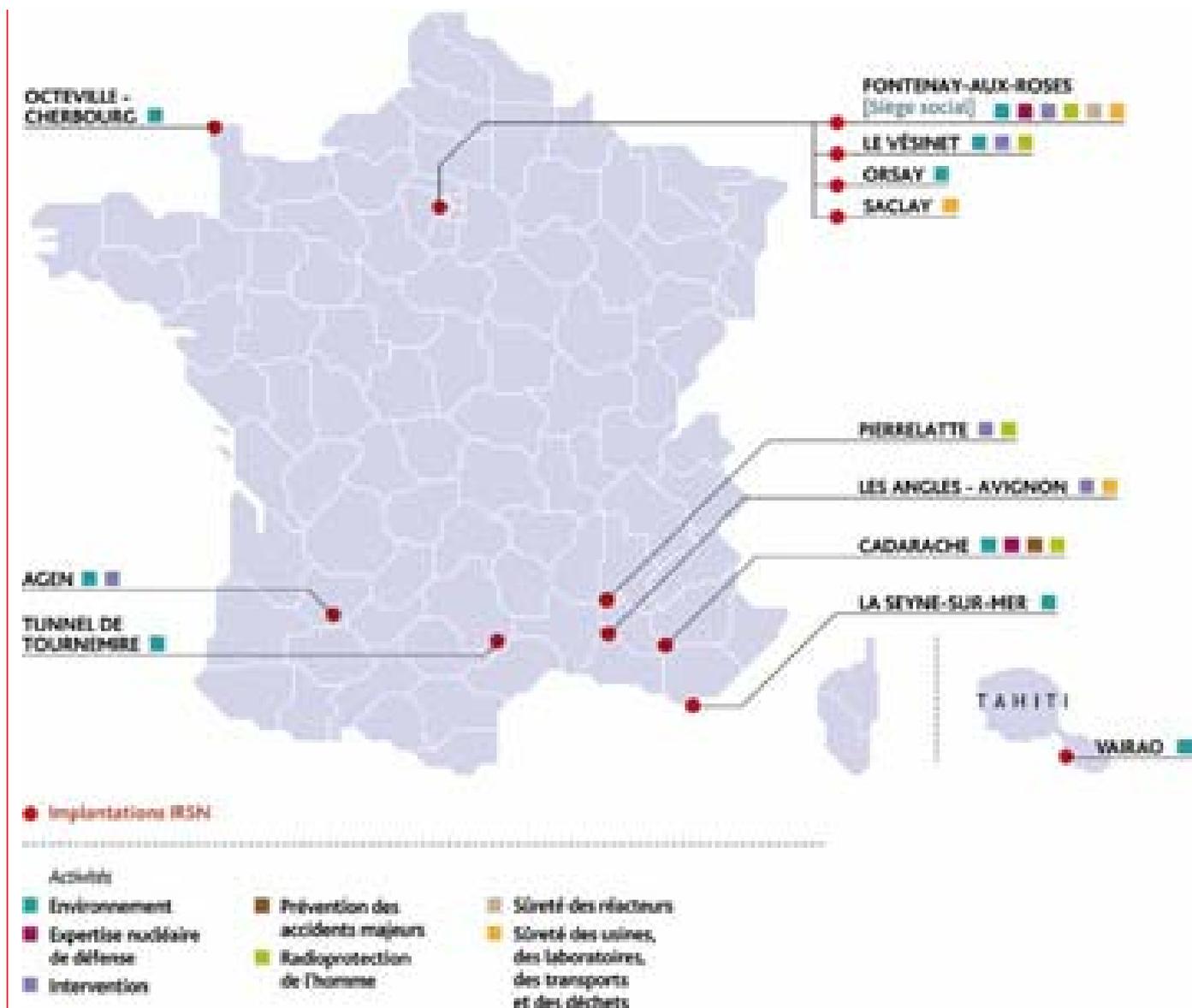


Figure 2 - Implantation des sites de l'IRSN.

L'IRSN, un acteur international

L'IRSN est un « organisme de sûreté technique » (TSO – Technical Safety Organisation) mettant en œuvre des partenariats scientifiques, assurant des services de coopération scientifique et de sûreté, sécurité et radioprotection nucléaires dans 39 pays, dans le cadre d'accords bilatéraux ou d'accords de consortium multinationaux, sous l'égide de l'UE, de l'AEN ou des réseaux de TSO (ETSON en Europe), ou en coopération avec l'AIEA.





© Leprieur/RSN

I

LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

- I.1 La radioactivité naturelle et artificielle en France
- I.2 Pourquoi surveiller la radioactivité dans l'environnement ?
- I.3 Quels sont les objectifs de la surveillance radiologique de l'environnement ?
- I.4 Comment surveille-t-on la radioactivité ?
- I.5 Éléments méthodologiques pour le choix des stations de surveillance
- I.6 Plans d'analyses
- I.7 De la préparation à la mesure physique des échantillons

La radioactivité actuelle de l'environnement résulte de radionucléides naturels, présents sur la Terre depuis son origine, et de radionucléides artificiels introduits par l'homme à partir du milieu du XX^e siècle, certains de ces radionucléides ayant la double origine, naturelle et anthropique (tritium, carbone 14...).

I.1 LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE ET ARTIFICIELLE EN FRANCE

La radioactivité naturelle

La radioactivité fait partie de l'univers. Sans aucune intervention humaine, elle est présente partout. L'atmosphère et la croûte terrestre contiennent des éléments radioactifs. Dès la formation de la Terre, il y a environ cinq milliards d'années, la matière était constituée d'éléments radioactifs et d'éléments stables. Depuis, la radioactivité n'a cessé de décroître puisque de nombreux atomes radioactifs se sont transformés pour l'essentiel en éléments stables.

Les sources de radioactivité naturelle

- **Les rayons cosmiques** ont deux composantes. La première est due aux ions très énergétiques en provenance des galaxies. L'autre composante vient du soleil : le « vent solaire » est surtout constitué de protons. Le champ magnétique terrestre forme la magnétosphère qui, avec l'atmosphère, forme un écran protecteur de sorte que seulement 0,05 % du rayonnement cosmique arrive au niveau de la mer. À l'inverse, l'importance du rayonnement cosmique augmente avec l'altitude (il double tous les 1 500 m) (figure I.1).
- **La radioactivité du sol** (ou rayonnement tellurique) est émise par de nombreux éléments radioactifs présents dans l'écorce terrestre, comme l'uranium et le thorium. Elle varie selon la nature du sol ; elle est ainsi cinq à vingt fois plus élevée dans les massifs granitiques que sur des terrains sédimentaires.
- **La radioactivité des eaux** ne reflète que partiellement la nature géologique des terrains traversés. Tout dépend du caractère

chimique de l'eau et du degré de solubilité des radionucléides. Les eaux minérales sont plus radioactives que les eaux de surface, et certaines eaux souterraines sont riches en gaz radon dissous.

- **La radioactivité de l'air** est essentiellement due au radon 222 sous forme gazeuse, lui-même issu de l'uranium 238. Cette composante (la plus importante de l'exposition naturelle) est très variable. Elle dépend de la richesse du sol en uranium 238, de la porosité du sol, des matériaux de construction et de la ventilation de l'habitat qui concentre par confinement la diffusion du gaz radon. Ce gaz, ainsi que les produits qui en dérivent, se fixe dans les voies respiratoires.

- **La radioactivité du corps humain**, de l'ordre de 120 Bq/kg (8 400 Bq pour une personne de 70 kg), est due à l'ingestion d'aliments contenant des éléments radioactifs¹. Après ingestion, ces radionucléides viennent se fixer dans les tissus et les os. Ainsi, l'organisme humain compte en moyenne 4 500 Bq en potassium 40 et 3 700 Bq en carbone 14.

¹ – Source : La radioactivité naturelle en 10 épisodes, *Livret de la SFRP*, 1998.

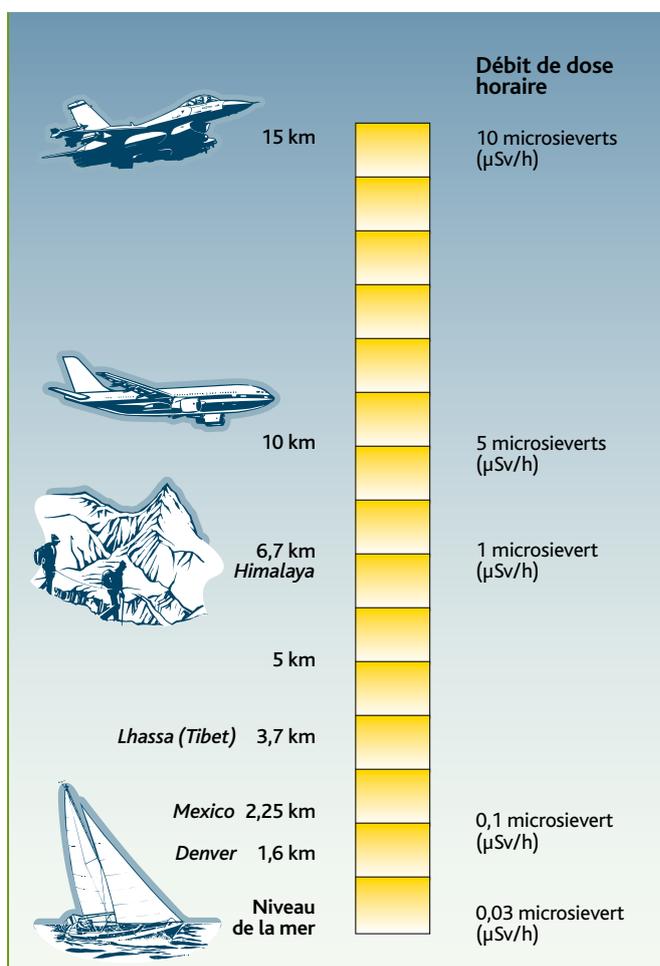


Figure I.1 - La dose due aux rayonnements cosmiques croît avec l'altitude.

© Chromatiques/IRSN - Source : IRSN

Les radionucléides d'origine naturelle

Parmi les 340 types d'atomes qui existent dans la nature, 70 ont des noyaux instables radioactifs (radionucléides). Il ne reste aujourd'hui qu'une vingtaine de ces radionucléides « primordiaux », ceux de période très courte par rapport à l'âge de la Terre ayant disparu. Ces radionucléides naturels, qui constituent l'essentiel de la radioactivité de l'environnement, se retrouvent dans l'air, le sol, l'eau et les organismes vivants dont l'homme.

Il s'agit soit de radionucléides de période radioactive très longue présents sur Terre depuis sa formation (potassium 40, uranium 238, uranium 235, thorium 232), soit de radionucléides créés en permanence dans la haute atmosphère sous l'effet du rayonnement cosmique, qualifiés de radionucléides cosmogéniques (tritium, carbone 14, krypton 85, béryllium 7 et sodium 22). Si la plupart de ces radionucléides se désintègrent directement en éléments stables, non radioactifs, trois d'entre eux (^{238}U , ^{235}U et ^{232}Th) ont plusieurs descendants radioactifs, qui constituent des familles ou chaînes de désintégration comportant chacune entre dix et quinze radionucléides différents (figure I.2).

Cas particulier du radon

Le radon (Rn) est un gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (^{235}U , ^{232}Th et ^{238}U).

Le radon 222 sous forme gazeuse, descendant du radium (^{226}Ra) qui est lui-même un descendant de l'uranium 238, est l'isotope le plus présent dans l'atmosphère à cause de sa période radioactive (3,82 jours) suffisamment longue pour lui permettre de migrer dans les sols, depuis la roche qui lui a donné naissance, jusqu'à l'atmosphère (figure I.3). En se désintégrant, le radon émet des particules alpha et engendre des descendants solides eux-mêmes radioactifs (polonium, bismuth, plomb...).

Par différents processus physiques, il migre du sol jusqu'à l'air libre et peut s'accumuler dans l'atmosphère plus confinée des bâtiments. L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, pour la population

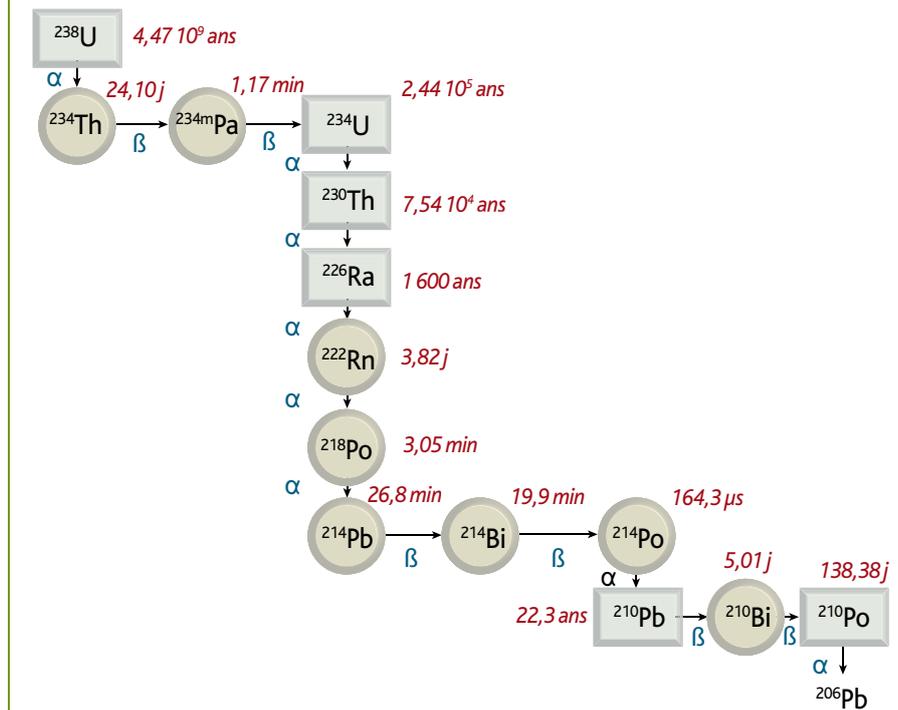


Figure I.2 - Chaîne de filiation de l'uranium 238.

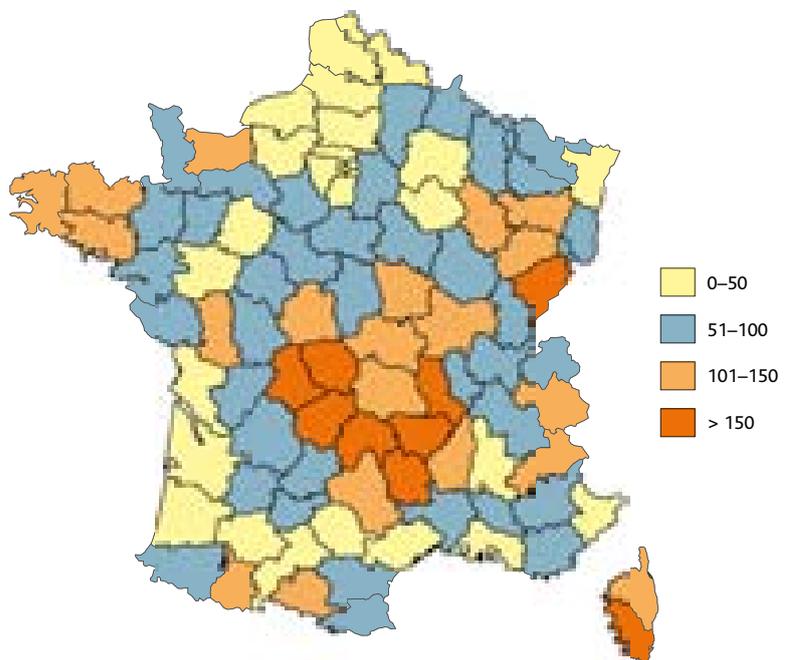


Figure I.3 - Moyenne par département des concentrations en radon dans l'air des habitations (Bq/m^3).

française, la première cause d'exposition parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants. C'est l'augmentation du risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon dans les habitations et les mines souterraines.

La radioactivité naturelle renforcée

Le « bruit de fond » radioactif naturel a toujours existé et, en moyenne, l'exposition totale subie par l'homme a sans doute pu varier au cours des siècles. Toutefois, des changements dans les modes de vie ou l'introduction de nouvelles pratiques ont pu modifier quelque peu cette situation.

Certaines circonstances peuvent conduire à des expositions à la radioactivité naturelle artificiellement augmentée, parfois relativement importantes :

1 – le confinement du radon dans les habitats : l'utilisation de certains matériaux de construction émettant du radon, des constructions mal isolées de sols uranifères, des habitats trop confinés peuvent conduire à des expositions conséquentes ;

2 – Les procédés de production de certaines activités industrielles, non liées au cycle électronucléaire, peuvent modifier les équilibres physico-chimiques de la radioactivité naturelle contenue dans les matières utilisées et la concentrer dans les déchets produits. Il s'agit alors de radioactivité naturelle technologiquement renforcée. Elle représente un risque éventuellement accru de dissémination dans l'environnement et donc d'exposition humaine, même après l'arrêt de l'activité industrielle.

Cette radioactivité naturelle involontairement renforcée provient des industries extractives de minerais et de ressources géologiques ainsi que des étapes successives de séparation, d'épuration, de transformation, et d'utilisation des sous-produits. Il s'agit principalement des activités suivantes :

- la combustion de charbon en centrales thermiques ;
- le traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium ;
- la production de céramiques réfractaires ;
- la production ou l'utilisation de composés comprenant du thorium ;
- la production de zircon et de baddaleyite ;
- la production d'engrais phosphatés et la fabrication d'acide phosphorique ;
- le traitement du dioxyde de titane ;
- le traitement des terres rares et la production de pigments en contenant ;
- le traitement d'eau souterraine par filtration destinée à la production d'eau de consommation ;
- les établissements thermaux.

3 – L'extraction et le traitement de minerais d'uranium génèrent aussi une radioactivité naturelle renforcée, mais dans ce cas, à la différence des activités industrielles mentionnées précédemment, le minerai est utilisé pour ses propriétés radioactives.

La radioactivité artificielle

Les sources de radioactivité artificielle

Par opposition aux radionucléides naturels, les radionucléides « artificiels » désignent les éléments radioactifs qui n'existent plus sur la Terre, et qui sont recréés artificiellement. Depuis le début du XX^e siècle, les activités humaines ont entraîné la présence de radioactivité artificielle dans l'environnement.

La production de radionucléides artificiels se fait au moyen d'un accélérateur de particules ou d'un réacteur nucléaire.

Certains radionucléides peuvent être utilisés comme source de rayonnements pour des radiographies ou comme source d'irradiation pour des applications industrielles ou médicales (radiothérapie).

D'autres sont créés dans les réacteurs nucléaires. Certains de ces radionucléides, fortement radioactifs et actuellement inutilisés par l'homme, constituent des déchets nucléaires devant être stockés sous haute surveillance.

Actuellement, une dizaine de radionucléides artificiels sont régulièrement mesurés dans l'environnement français dont le strontium 90, le césium 137, l'iode 131, les isotopes du plutonium (²³⁸Pu, ²³⁹Pu, et ²⁴⁰Pu) ainsi que l'américium 241.

Ces radionucléides ont trois origines principales (figure 1.4) :

- les rejets réglementés et autorisés des installations nucléaires et ceux liés aux activités de médecine nucléaire (examens radiologiques et traitements médicaux) ;
- les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires (de 1945 à 1980) et de l'accident de Tchernobyl en 1986 ;
- la rémanence des retombées de l'accident de Tchernobyl et des tirs atmosphériques constitue aujourd'hui le bruit de fond de la radioactivité artificielle de l'environnement français.

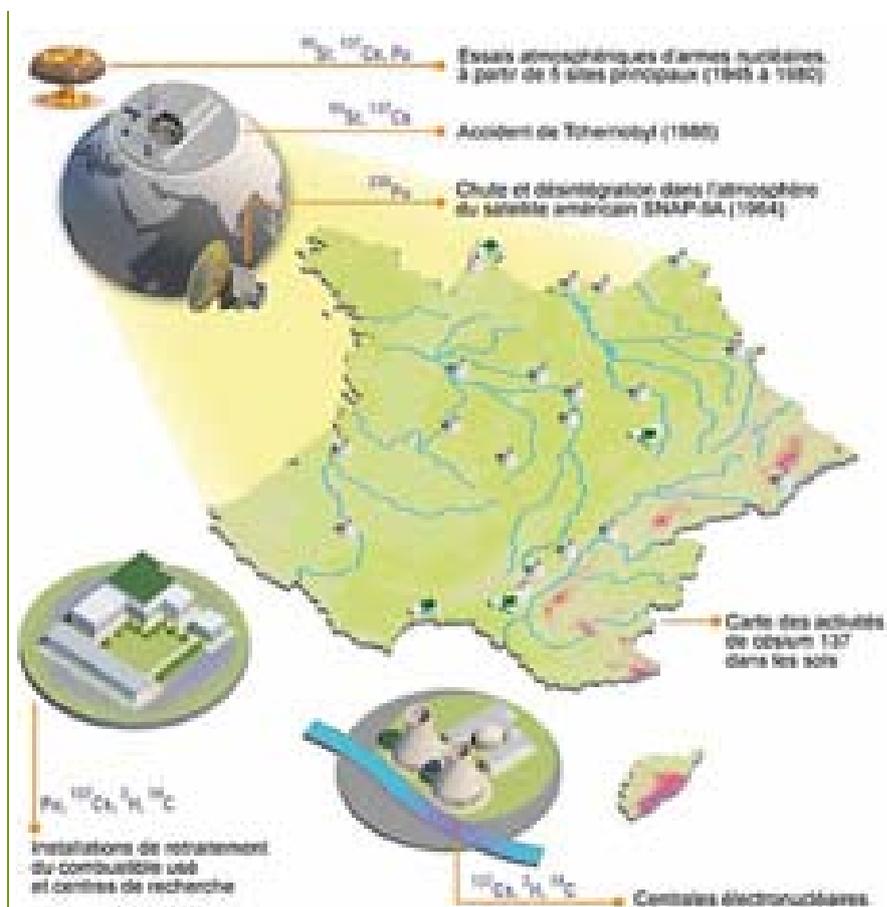
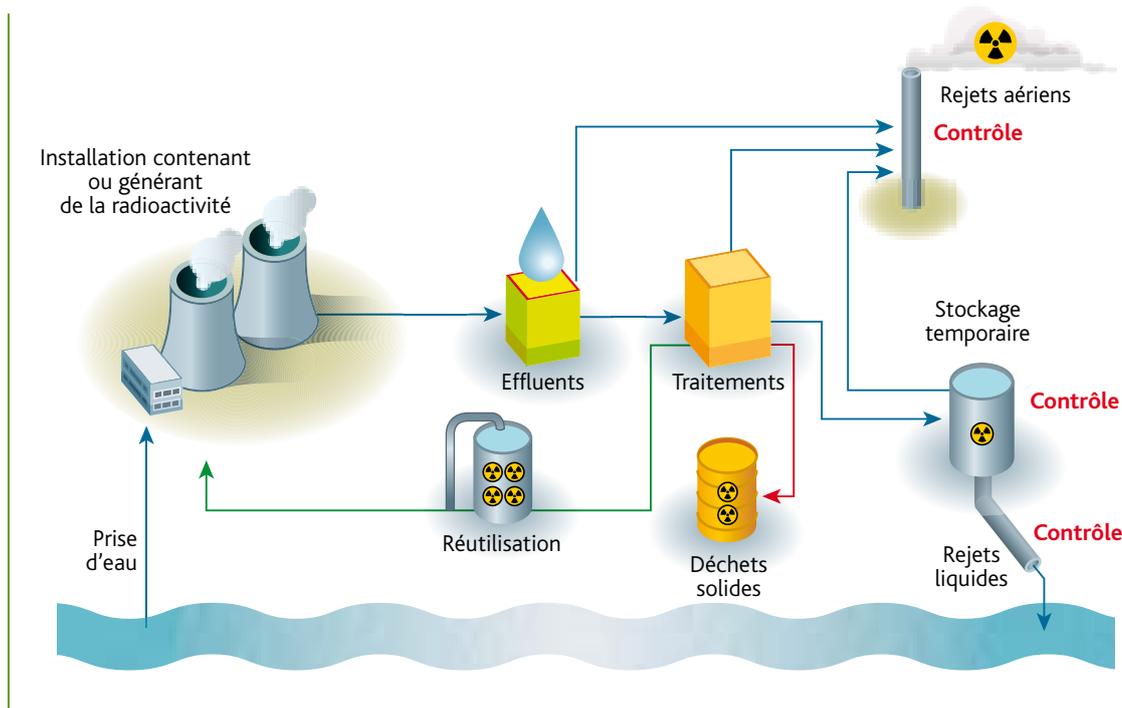


Figure 1.4 - Les principales sources de radioactivité artificielle dans l'environnement français.



© Chromatiques/IRSN - Source : IRSN

Figure I.5 - Origine et typologie simplifiées des effluents d'une installation nucléaire.

Les rejets des installations industrielles et de recherche sur l'énergie nucléaire, dont les centrales nucléaires de production d'électricité, sont réglementés. Pour fonctionner, la plupart des installations du cycle utilisent de l'eau prélevée soit dans les cours d'eau, soit dans la mer (figure I.5). L'utilisation de cette eau conduit en partie à la production d'effluents qui sont traités en vue de retenir la plus grande partie de l'activité sous forme solide (déchets). Les effluents résiduels sont ensuite rejetés par voies liquide et aérienne après des contrôles permettant de garantir le respect des prescriptions réglementaires établies par les Autorités (débit, activités rejetées, radionucléides présents).

Les radionucléides rejetés par les installations nucléaires sont multiples et diffèrent en fonction du type d'installation et de sa phase de fonctionnement (production, arrêt pour maintenance, démantèlement...). Les activités rejetées par ces installations, en fonctionnement normal, ont évolué également dans le temps en fonction des renouvellements des autorisations de rejets toujours plus contraignantes délivrées par les autorités et au gré de la mise en œuvre de nouveaux procédés de traitement des effluents.

Aujourd'hui, les rejets des installations nucléaires françaises du cycle du combustible sont dominés en quantité par trois radionucléides :

- le krypton 85, gaz rare, donc inerte chimiquement, de 10,7 ans de période, rejeté sous

forme gazeuse lors du retraitement du combustible (usine Areva NC de La Hague) ;

- le tritium ;
- le carbone 14.

Enfin, les rejets provenant des activités de médecine nucléaire sont caractérisés par des radionucléides de période radioactive très courte (8 jours pour l'iode 131 et 6 heures pour le technétium 99 métastable).

Les principaux radionucléides artificiels présents dans l'environnement en France (tableau I.1)

Le tritium et le carbone 14

Également produits naturellement dans l'atmosphère par interaction des rayonnements cosmiques et de la matière, et provenant des retombées des tirs, le tritium (^3H) et le carbone 14 (^{14}C) figurent parmi les radionucléides les plus rejetés par l'industrie nucléaire.

À l'échelle de la France, la répartition du carbone 14 et du tritium est assez homogène. L'hétérogénéité des retombées des essais nucléaires est sans doute masquée par la composante naturelle prédominante qui est, pour sa part, très homogène. En milieu terrestre, dans les territoires non influencés par les rejets des installations nucléaires, l'activité spécifique exprimée en becquerels de ^{14}C par kilogramme de carbone total est en équilibre

avec les composants de l'environnement, et notamment avec le CO_2 atmosphérique. En 2009, cette activité spécifique est d'environ 237 ± 6 Bq/kg de carbone, et se rapproche de l'activité atmosphérique avant les essais nucléaires aériens (226 Bq/kg de carbone). En milieu aquatique, le ^{14}C des écosystèmes d'eau douce n'est pas en équilibre avec le CO_2 atmosphérique. Les activités y sont plus faibles, de l'ordre de 200 Bq/kg de carbone.

En ce qui concerne le tritium, à l'écart de toute source d'origine anthropique, les activités volumiques sont de l'ordre de un à quelques Bq/L d'eau douce ou par kg frais de denrées et de 0,01 à 0,05 Bq/m³ dans l'air.

Cependant, au voisinage de certaines installations nucléaires, sous les vents dominants ou en aval des émissaires de rejet, les activités en ^3H et ^{14}C sont quelquefois plus importantes.

Si la plupart des installations nucléaires marquent leur environnement en ^{14}C de manière légère mais visible, seuls les environs de quelques sites nucléaires français présentent des activités en ^3H qui sortent nettement du bruit de fond : Valduc, Marcoule, La Hague, Saclay et Bruyères-le-Châtel. Enfin, le ^3H a été rejeté par certaines industries qui l'utilisent pour sa luminescence dans les aiguilles de montres ou certains panneaux de signalisation. Par exemple, l'amont du Rhône est ainsi marqué en ^3H par les rejets de l'industrie horlogère suisse.

Le césium 137

Le césium 137 résulte des essais nucléaires, de l'accident de Tchernobyl et figure également dans les rejets de certaines installations nucléaires : centrales nucléaires, installations de retraitement du combustible usé et centres de recherche. Néanmoins, il n'est presque jamais possible de déceler la part des rejets de ces installations dans l'environnement terrestre car elle est très largement masquée par la rémanence des retombées anciennes.

Après avoir atteint un maximum de 4 000 Bq/m² en 1963, l'activité surfacique des sols en ¹³⁷Cs a ensuite lentement diminué après l'arrêt des essais atmosphériques d'armes nucléaires par les américains et les soviétiques, par décroissance radioactive ainsi que par des processus de dilution et de migration. L'accident de Tchernobyl a conduit en mai 1986 à des dépôts supplémentaires de césium 137, hétérogènes sur le territoire.

Aujourd'hui, les activités en césium 137 dans les sols peuvent ainsi varier de près de deux ordres de grandeur en fonction des dépôts radioactifs initiaux : les deux tiers ouest du territoire présentent des dépôts homogènes et inférieurs à 5 000 Bq/m², alors que dans la partie est du pays, les dépôts sont très hétérogènes et peuvent atteindre 40 000 Bq/m² (figure 1.6).

Le césium 137 est également encore mesuré dans l'air en France, à un niveau moyen inférieur à 1 µBq/m³, et dans l'eau de pluie à un niveau de l'ordre de 0,01 à 0,1 mBq/L. Toutefois, cette activité a cessé de diminuer ces dernières années. Un équilibre semble s'être installé entre l'activité qui se dépose à la surface du sol et celle qui est remise en suspension à partir des stocks présents dans les sols et les végétaux. Dans les denrées, les niveaux vont de la limite de détection à plusieurs centaines de Bq/kg frais pour certains champignons.

Le strontium 90

Le strontium 90 provient presque exclusivement des retombées des tirs. La contamination surfacique des sols en ⁹⁰Sr a ainsi augmenté progressivement depuis 1945 pour atteindre un maximum de 2 500 Bq/m² en 1963. L'arrêt des essais nucléaires a ensuite entraîné une lente diminution par décroissance radioactive, qui se poursuit jusqu'à aujourd'hui. Le strontium 90 reste

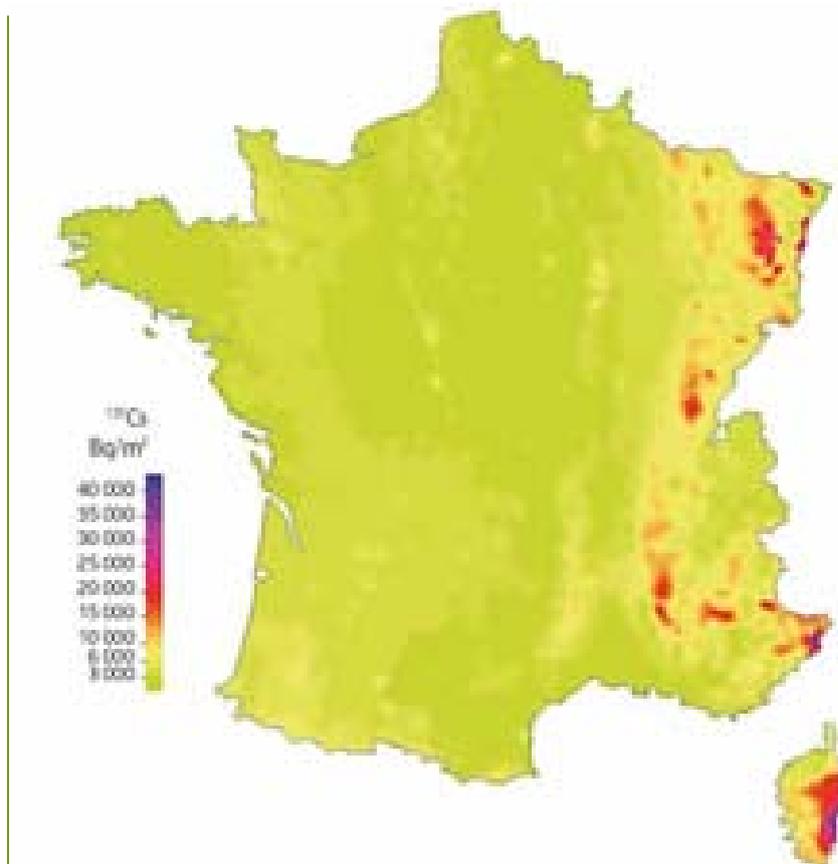


Figure 1.6 - Activités surfaciques de ¹³⁷Cs potentiellement présentes dans les sols français en 2007.

encore détectable dans les sols, le lait et des échantillons de végétaux. Les niveaux observés dans les denrées sont, en général, de l'ordre de 0,1 Bq/kg frais.

Les transuraniens (plutonium, américium)

Les isotopes du plutonium (²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu et ²⁴¹Pu) sont issus presque exclusivement des retombées des essais nucléaires atmosphériques et, pour le ²³⁸Pu, de la chute du satellite américain SNAP-9A en 1964 dont l'énergie était produite au moyen d'une pile alimentée au ²³⁸Pu. Dans les denrées, les activités du ²³⁹Pu peuvent atteindre quelques mBq/kg frais, mais restent souvent inférieures à la limite de détection.

Les rejets atmosphériques et liquides passés de plutonium par certaines installations, comme Marcoule ou La Hague, ont conduit à des marquages en ²³⁸Pu, ²³⁹Pu et ²⁴⁰Pu de leur environnement immédiat par rapport au bruit de fond des retombées anciennes.

L'américium 241 n'était pas présent dans les retombées mais provient de la désintégration du ²⁴¹Pu. Aussi, son activité augmente régulièrement et atteindra son maximum

vers 2036, lorsqu'il n'y aura plus assez de ²⁴¹Pu pour que la production de ²⁴¹Am puisse compenser sa lente décroissance radioactive (de 433 ans de période).

Les autres radionucléides artificiels

D'autres radionucléides artificiels sont mesurés de manière plus ponctuelle dans les milieux aquatiques continentaux et marins :

- sous influence des rejets des installations nucléaires, le manganèse 54 (⁵⁴Mn), les cobalts 58 et 60 (⁵⁸Co et ⁶⁰Co), l'argent 110 métastable (^{110m}Ag), l'iode 129 (¹²⁹I) et très sporadiquement le ruthénium 106 (¹⁰⁶Ru) et le césium 134 (¹³⁴Cs) ;
- sous influence des rejets hospitaliers, l'iode 131 (¹³¹I) dans les matières en suspension (MES) ou dans les végétaux aquatiques.

La détection de ces radionucléides est extrêmement rare dans le milieu terrestre si ce n'est à des niveaux proches des limites de détection.

Enfin, l'IRSN a engagé, dans l'environnement proche de La Hague, un suivi des activités volumiques en krypton 85 (⁸⁵Kr) dans l'air, radionucléide gazeux, dont un premier bilan a été réalisé en 2010.

Tableau 1.1 - Principaux radionucléides artificiels présents dans l'environnement français.

Radionucléide	Période radioactive	Émissions principales	Principal descendant	Origines principales
^3H	12,32 ans	Bêta	^3He	Cosmique, essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire et horlogère
^{14}C	5 730 ans	Bêta	^{14}N	Cosmique, essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire et de la recherche
^{60}Co	5,27 ans	Bêta, gamma	^{60}Ni	Rejets de l'industrie nucléaire
^{90}Sr	28,78 ans	Bêta	^{90}Y	Essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire
^{131}I	8 jours	Bêta, gamma	^{131}Xe	Rejets de l'industrie nucléaire et des services de médecine nucléaire
^{137}Cs	30,07 ans	Bêta, gamma	^{137}Ba	Essais nucléaires, accident de Tchernobyl, rejets de l'industrie nucléaire
^{238}Pu	87,7 ans	Alpha	^{234}U	Essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire
$^{239+240}\text{Pu}$	24 100 et 6 560 ans	Alpha	$^{235+236}\text{U}$	Essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire

1.2 POURQUOI SURVEILLER LA RADIOACTIVITÉ DANS L'ENVIRONNEMENT ?

Les activités industrielles et humaines mettant en œuvre des substances radioactives sont susceptibles d'entraîner le rejet de radionucléides dans l'environnement, soit dans le cadre de leur fonctionnement normal, soit lors d'incidents ou d'accidents d'exploitation.

Il s'agit en particulier :

- **de l'émission de substances radioactives dans l'air ou dans les milieux aquatiques et marins liées aux activités nucléaires.** Elle se fait dans des conditions contrôlées, définies par des autorisations de rejet délivrées par les autorités. La réglementation applicable aux rejets a évolué au fil des années, notamment pour ce qui concerne les limites de rejets qui ont été régulièrement revues à la baisse ;

- **de la diffusion**, notamment par des eaux d'infiltration, de radionucléides contenus dans des résidus déposés en surface ou enfouis dans le sol, dans des conditions qui ne permettent pas d'assurer un confinement total des radionucléides. En l'occurrence, ceci concerne par exemple les anciens sites ayant mis en œuvre des radionucléides naturels au cours de la première moitié du XX^e siècle ;
- **du rejet accidentel de substances radioactives dans l'air**, dans l'eau ou sur le sol, directement ou du fait de retombées atmosphériques de poussières (ex : accident de Tchernobyl) ;
- **de la persistance dans l'environnement de radionucléides à vie longue** (période radioactive dépassant plusieurs années) provenant de rejets anciens dans l'air ou dans l'eau, tendant à se fixer dans les sols, les sédiments ou certains organismes vivants. En France, comme dans le reste de l'Europe, il existe une rémanence de radionucléides due aux retombées atmosphériques des tirs nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

En outre, des sources naturelles apportent régulièrement des radionucléides dans l'environnement ; il s'agit par exemple du carbone 14 (^{14}C), du potassium 40 (^{40}K), de l'uranium et du thorium et de leurs descendants radioactifs.

Il est nécessaire de surveiller et d'étudier le devenir de ces substances radioactives dans l'environnement, afin de connaître leur impact éventuel sur la santé de l'homme, l'environnement et sur les ressources d'intérêt économique (notamment l'eau et l'agriculture). La surveillance radiologique s'effectue donc sur l'ensemble des compartiments de l'environnement : l'air, les eaux, les sols, les compartiments biologiques (faune, flore) et la chaîne alimentaire.

I.3 QUELS SONT LES OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT ?

Les acteurs de la mesure de la radioactivité de l'environnement sont nombreux dans le paysage nucléaire français. En fonction de ses missions ou de ses obligations réglementaires, chaque acteur se positionne dans un contexte particulier et y répond par une stratégie de surveillance qui lui est propre.

La surveillance radiologique de l'environnement menée par cette pluralité d'acteurs répond à différents objectifs :

- **la protection sanitaire des populations et de l'environnement au regard des expositions radiologiques.**

La surveillance de l'environnement va permettre de contribuer à l'estimation de l'impact des rayonnements ionisants sur l'homme et sur l'environnement, que leur origine soit naturelle ou anthropique (rejets des installations nucléaires...).

- **la connaissance de l'état radiologique de l'environnement.**

Cet objectif passe par le suivi de l'évolution spatiale et temporelle des niveaux de radioactivité présents dans les différents compartiments de l'environnement sur l'ensemble du territoire, même s'il se focalise plus particulièrement sur l'environnement des principales installations susceptibles de rejeter des radionucléides ;

- **la détection précoce de toute élévation anormale de radioactivité pouvant résulter d'un incident ou d'un accident survenant dans une installation nucléaire.**

La surveillance de la radioactivité de l'environnement doit permettre de détecter et de suivre aussi rapidement que possible toute élévation anormale de la radioactivité, que son origine soit consécutive à une situation accidentelle ou incidentelle, ou qu'il s'agisse de phénomènes naturels ponctuels (météorologiques notamment) ;

- **le respect de la réglementation par les exploitants exerçant une activité nucléaire.**

L'impact des installations nucléaires est estimé en premier lieu à partir de leurs

rejets et non à partir des mesures directes effectuées dans l'environnement. Néanmoins, quel que soit le statut juridique de l'installation (installations nucléaires de base, installations classées pour la protection de l'environnement, activités soumises au code de la santé publique), une surveillance particulière doit être mise en place pour vérifier que les doses engendrées par ces installations restent très inférieures aux valeurs limites fixées par la réglementation (1 mSv/an pour le public) et que l'exploitant respecte les valeurs limites de rejets qui lui sont fixées par les autorités ;

- **l'information du public.**

L'ensemble de la surveillance doit permettre d'informer le public sur les niveaux rencontrés dans l'environnement. Si chaque acteur dispose de ses propres moyens de communication (sites Internet, plaquettes d'information périodiques, rapports annuels), le Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) permet, depuis 2009, la centralisation et la restitution de ces mesures par la constitution d'une base de données unique et d'un site Internet (www.mesure-radioactivite.fr). Un des principaux objectifs du RNM est de garantir au public une information fiable, crédible et compréhensible.



© Noak/Le Bar Floréal/IRSN

Figure I.7 - Prélèvement d'eau dans le canal de Donzère-Mondragon en aval du site nucléaire de Pierrelatte.

I.4 COMMENT SURVEILLE-T-ON LA RADIOACTIVITÉ ?

La surveillance radiologique de l'environnement repose sur trois types de dispositifs de prélèvements et/ou de mesures :

- **des prélèvements ponctuels d'échantillons environnementaux mesurés a posteriori en laboratoire.**

Ces échantillons concernent des matrices variées : les eaux de pluies, les eaux de surface (eaux douces et eaux de mer), les indicateurs biologiques (mousses, algues), les sols et les sédiments, ainsi que les denrées alimentaires (lait et produits laitiers, viande, poisson, mollusques, crustacés, céréales...);

- **des dispositifs de prélèvement en continu avec une mesure différée des échantillons collectés en laboratoire.**

Ces prélèvements concernent essentiellement les mesures effectuées dans le compartiment atmosphérique (aérosols, mesures de radionucléides spécifiques dans l'air comme le tritium et le carbone 14) et dans les eaux de surface (prélèvements par des hydrocollecteurs);

- **des dispositifs de mesure en continu *in situ*** associés éventuellement à un dispositif de retransmission en temps réel. Ces dispositifs sont principalement utilisés pour la détection précoce d'événements radiologiques. Les principaux réseaux de mesures en continu sont les balises de mesures de débit d'équivalent de dose gamma ambiant.



Figure I.8 - Prélèvement d'aérosols atmosphériques sur filtre.

© Caroline Pottier/Le bar Floréal/IRSN



Figure I.9 - Balise Téléray IRSN (mesure du débit de dose gamma ambiant) de nouvelle génération installée à Paris (État-major de la Marine nationale).

© Arnaud Bouisson/MEDDTL/IRSN

I.5 ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES POUR LE CHOIX DES STATIONS DE SURVEILLANCE

Les principes généraux d'échantillonnage sont similaires à ceux utilisés pour la caractérisation de toute contamination. Ils s'appuient sur les guides et normes (tableau I.2) établis notamment dans le cadre du Bureau de normalisation des équipements nucléaires (BNEN de l'AFNOR). Dans le domaine de la surveillance radiologique de l'environnement, le recours à des bioindicateurs de contamination qui facilitent l'identification et la quantification du marquage concerné est nécessaire.

Sur un plan méthodologique, l'un des éléments essentiels qui conditionne la représentativité et la validité des mesures est la stratégie d'échantillonnage adoptée. Dans ce document, l'environnement est présenté comme un ensemble de compartiments (terrestre, atmosphérique, aquatique continental et marin), également appelés milieux. Pour chaque compartiment étudié, il convient de définir les critères de choix de l'implantation des stations.

■ **Tableau I.2** - Quelques exemples normatifs pour les prélèvements destinés à la mesure radiologique.

Matrice	Norme	Intitulé
Air	NF M60-760 (octobre 2001)	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie nucléaire • Mesure de la radioactivité dans l'environnement • Air • Prélèvement d'aérosols en vue de la mesure de la radioactivité dans l'environnement
Eau	PR NF EN ISO 5667-1 (novembre 2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité de l'eau • Échantillonnage • Partie 1 : guide général pour l'établissement des programmes d'échantillonnage et sur les techniques d'échantillonnage
Sol	NF ISO 18589-1 (décembre 2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie nucléaire • Mesure de la radioactivité dans l'environnement • Sol • Partie 1 : lignes directrices générales et définition
Indicateurs biologiques	NF M60-780-2 (mars 2001)	<ul style="list-style-type: none"> • Énergie nucléaire • Mesure de la radioactivité dans l'environnement • Bioindicateurs • Partie 2 : guide général sur les techniques d'échantillonnage
Aliments	NF V03-009-1 (juillet 2002)	<ul style="list-style-type: none"> • Produits alimentaires • Mesure de la radioactivité dans les denrées alimentaires • Partie 1 : guide pour l'échantillonnage, le transport et la conservation des denrées alimentaires • Obtention d'un échantillon pour laboratoire

Principes de localisation des stations de prélèvements

Compartiments terrestre et atmosphérique

Le choix des stations de prélèvement est effectué en tenant compte des conditions de dispersion des rejets atmosphériques de l'installation nucléaire surveillée. Ainsi, autour des installations nucléaires, sur des secteurs sous l'influence des vents dominants, des stations de prélèvement d'aérosols atmosphériques et des collecteurs d'eau de pluie sont systématiquement disposés. Dans la mesure du possible, les prélèvements de lait sont également effectués dans des exploitations agricoles implantées à proximité de l'installation, sous les vents dominants. En complément, certaines agglomérations font également l'objet d'une surveillance radiologique afin d'évaluer l'exposition des populations dans des sites très urbanisés, qu'ils soient proches ou non de sites nucléaires ou industriels.

Compartiment aquatique continental

Dans ce compartiment, l'implantation des stations de prélèvement tient compte de la présence d'installations nucléaires. Les échantillons d'eau, de flore et parfois de faune sont prélevés à la fois en amont et en aval hydraulique des rejets d'effluents liquides d'un site surveillé pour déterminer, par comparaison des résultats, la contribution effective de cette installation.

Compartiment marin

L'implantation des stations tient compte de la localisation des sources potentielles de rejets et de leurs conditions de dispersion en mer (courantologie, marnage...). Le milieu marin proche des installations nucléaires situées sur le littoral de la Manche et de la mer du Nord subit les courants des marées, entraînant un déplacement des masses d'eau de l'ouest vers l'est. La localisation des prélèvements est conditionnée par le fait que l'ouest de la Manche constitue l'amont, et la mer du Nord l'aval des rejets des installations situées sur cette façade maritime. En Méditerranée, c'est le courant Ligure d'est en ouest qui influe de façon prédominante sur le transport et la dispersion des rejets associés, pour l'essentiel, aux eaux du Rhône. Des prélèvements d'eau de mer, de sédiments, de faune et de flore aquatiques sont réalisés à l'est et à l'ouest du delta du Rhône, en tenant compte du courant Ligure.

Recueil des prélèvements pour la surveillance de l'environnement du site de Marcoule

Dans le cadre de la surveillance de l'environnement du site de Marcoule, le CEA prélève annuellement plus de 4 000 échantillons sur 120 points différents. Cette surveillance est commune aux différents exploitants nucléaires du site et donne lieu à l'exploitation de plusieurs milliers de résultats d'analyses chimiques et radiologiques par le Laboratoire de contrôle des effluents, de l'environnement et d'évaluation de l'impact (LCEI) du site.

Dans ce contexte, le laboratoire, garant de la conformité des prélèvements aux normes en vigueur, a pris l'initiative de rédiger un recueil des prélèvements effectués dans le cadre de la surveillance environnementale du site. Pour chacun d'entre eux, les référentiels internes applicables, les références des normes de prélèvement et réglementaires sont exposées de façon synthétique. Ce recueil est en accord avec les exigences des normes de qualité et de sécurité auxquelles le laboratoire se conforme (NF EN ISO/CEI 17 025, ISO 14 001, OHSAS 18 001).

En pratique, il est constitué de 26 fiches selon un modèle unique, qui se veut simple

et intuitif, et qui a été fourni à chaque salarié du laboratoire. Une mise à jour est faite régulièrement et, pour cela, une page « notes personnelles » est à la disposition des utilisateurs qui la renseignent en tant que de besoin. L'analyse de l'ensemble de ces notes contribue à faire évoluer le recueil.

Construite sur un modèle-type, chaque fiche contient en particulier les renseignements suivants :

- présentation générale du point de prélèvement : localisation, modalités d'accès, justification du choix, périodicité, reproductibilité ;
- mode opératoire, matériel utilisé et références des documents applicables ;
- conditions particulières d'échantillonnage pour garantir la qualité des analyses et liste des analyses ;
- informations nécessaires à l'identification de l'échantillon ;
- maintenance et vérifications périodiques du matériel ;
- remarques particulières sur la sécurité, les conditions de prélèvement et le matériel.

De nombreuses photos et plans illustrent la méthodologie de prélèvement.

Mis en place en septembre 2010, ce recueil a été très bien accueilli par les opérateurs de la surveillance et est consulté quotidiennement. Il facilite la formation et la polyvalence des équipes du laboratoire et constitue un document de référence indispensable lors des inspections et des audits.



Figure I.10 - Prélèvement d'un aliquote d'eau de surface.



Figure I.11 - Prélèvement d'eau de surface du plan d'eau de Codolet.

Choix des matrices environnementales

Les tableaux ci-après détaillent les différents modes de surveillance des compartiments terrestre, aquatique continental et marin, ainsi que les critères associés à ces choix.

Compartiment atmosphérique et terrestre

■ **Tableau I.3** - Critères stratégiques associés au choix des matrices prélevées dans le compartiment terrestre.

Milieu/ produit	Critères stratégiques associés à ce milieu/produit	Moyens de prélèvements et/ou de mesure directe
Air	Milieu récepteur des rejets atmosphériques. Les particules et les gaz radioactifs présents dans l'air délivrent une dose à l'homme par exposition externe et interne (inhalation).	<ul style="list-style-type: none"> • Sondes de mesure en continu (air : débit de dose gamma ambiant). • Balises de prélèvement et de mesure en continu (aérosols). • Collecteurs d'aérosols pour mesures en laboratoire. • Dosimètres environnementaux.
Eaux de pluie	Dépôt humide des aérosols (et donc de la radioactivité) par lessivage de la colonne d'air traversée par les gouttes d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> • Collecteurs d'eaux de pluie.
Sols	Accumulation – concentration de la radioactivité par dépôt sec ou humide. Les sols sont également responsables, par voie racinaire, de la contamination des légumes, des fruits ou des céréales.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels). • Spectrométrie gamma <i>in situ</i>.
Productions végétales	Contamination par dépôt sur les parties aériennes ou par absorption racinaire. Risque de contamination interne après consommation.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels).
Productions animales	La présence de radioactivité dans l'affouragement entraîne son transfert dans les produits d'origine animale dont le lait, vecteur important de radionucléides (césium, strontium, iode...).	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels).

Compartiment aquatique continental

■ **Tableau I.4** - Critères stratégiques associés au choix des matrices prélevées dans le compartiment aquatique continental.

Milieu/ produit	Critères stratégiques associés à ce milieu/produit	Moyens de prélèvements et/ou de mesure directe
Eaux continentales	Milieu récepteur des rejets liquides des installations et des apports éventuels par les eaux de ruissellement, l'eau est le vecteur direct de la contamination des composants du milieu aquatique.	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositifs de prélèvement et de mesure en continu (balise Hydrotéléray de l'IRSN). • Hydrocollecteur. • Prélèvements ponctuels.
Matières en suspension dans l'eau (MES)	Les MES sont des supports privilégiés des radionucléides. Leur mobilité contribue à la contamination des berges, des plages ou des terres après des épisodes de crues.	<ul style="list-style-type: none"> • Bacs de décantation associés aux hydrocollecteurs. • Filtration en laboratoire des eaux prélevées.
Sédiments	Les sédiments sont de bons intégrateurs de contamination, et constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels ou mécaniques).
Végétaux aquatiques	Les végétaux aquatiques ont une grande capacité à fixer rapidement certains radionucléides. Leur large répartition géographique permet de comparer les activités massiques en radionucléides en différents lieux.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels).
Poissons	Régulièrement consommés par l'homme, les poissons sont de bons intégrateurs des radionucléides. La répartition géographique des espèces prélevées permet également de comparer les activités massiques mesurées sur les différents points de prélèvements du territoire.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (pêches).

Compartiment marin

Tableau I.5 - Critères stratégiques associés au choix des matrices prélevées dans le compartiment marin.

Milieu/produit	Critères stratégiques associés à ce milieu/produit	Moyens de prélèvements
Eau de mer	Milieu récepteur des rejets liquides et des apports de radionucléides par les eaux de ruissellement, l'eau de mer constitue un vecteur direct de la contamination des composants du milieu marin.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels). • Hydrocollecteurs.
Sédiments	Les sédiments sont de bons intégrateurs de radionucléides et constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels).
Algues	Les algues marines réagissent rapidement à des variations de la teneur en radionucléides de l'eau.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels).
Mollusques	De par leur mode de nutrition, les mollusques marins sont de bons bioindicateurs de surveillance à long terme, qu'ils soient filtreurs ou brouteurs.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (manuels ou collecte directe chez les producteurs).
Crustacés Poissons	Leur position en fin de chaîne alimentaire en fait de bons intégrateurs des radionucléides. Ils sont, par ailleurs, largement consommés par les populations.	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements ponctuels (pêches ou collecte directe dans les ports).

I.6 PLANS D'ANALYSES

Dès réception au laboratoire, les prélèvements sont traités et conditionnés en fonction des analyses radiologiques auxquelles ils vont être soumis. Les analyses réalisées sur chaque échantillon suivent des plans prédéfinis élaborés en fonction de la nature du prélèvement,

du compartiment ou de la nature de l'installation ou du site surveillé (taille, nature des rejets) et de son historique événementiel (incidents passés, rejets passés, retombées...).

Pour les installations nucléaires, la nature des prélèvements réalisés et des plans d'analyses est proportionnée aux risques ou inconvénients que peuvent présenter ces installations sur

l'environnement. La surveillance réglementaire de l'environnement des installations nucléaires de base est adaptée à chaque type d'installation (centre nucléaire de production d'électricité, usine, laboratoire). Conformément aux dispositions réglementaires existantes, le principe de suivi radiologique de l'environnement est synthétisé dans le tableau I.6.

Tableau I.6 - Exemples d'obligations réglementaires imposées à l'exploitant en matière de surveillance de l'environnement proche de son installation (source : ASN).

Milieu surveillé ou nature du contrôle	Centrale électronucléaire	Laboratoire ou usine
Air au niveau du sol	<ul style="list-style-type: none"> • 4 stations de prélèvement en continu des poussières atmosphériques sur filtre fixe avec mesures quotidiennes de l'activité bêta globale. Spectrométrie gamma si bêta global > 2 mBq/m³. • 1 prélèvement en continu sous les vents dominants avec mesure hebdomadaire du tritium (³H). 	
Rayonnement gamma ambiant	<ul style="list-style-type: none"> • 4 balises à 1 km avec mesures en continu et enregistrement. • 10 balises avec mesures en continu aux limites du site (relevé mensuel). • 4 balises à 5 km avec mesure en continu. 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 balises à 1 km avec mesure en continu et enregistrement. • 10 dosimètres intégrateurs aux limites du site (relevé mensuel).
Pluie	<ul style="list-style-type: none"> • 1 station sous le vent dominant (collecteur mensuel) avec mesure de bêta global et du ³H sur mélange mensuel. 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 stations de prélèvement en continu dont une sous le vent dominant avec mesure hebdomadaire de bêta global et du ³H.
Milieu récepteur des rejets liquides	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvement dans la rivière en amont et à mi-rejet, pour chaque rejet (centrale en bord de fleuve) ou prélèvement après dilution dans les eaux de refroidissement et prélèvements bimensuels en mer (centrale en bord de mer) : mesure de bêta global, du potassium (⁴⁰K) et du ³H, mesure de bêta global sur les MES. • Prélèvement continu ³H (mélange moyen quotidien). • Prélèvements annuels dans les sédiments, la faune et la flore aquatiques avec mesure de bêta global, du ⁴⁰K et du ³H, spectrométrie gamma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements au moins hebdomadaires de l'eau du milieu récepteur avec mesure de l'activité alpha globale, bêta globale du ⁴⁰K et du ³H. • Prélèvements annuels dans les sédiments, la faune et le flore aquatiques pour réalisation notamment d'une spectrométrie gamma.
Eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> • 5 points de prélèvement (contrôle mensuel) avec mesure de bêta global, du ⁴⁰K et du ³H. 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 points de prélèvement (contrôle mensuel) avec mesure de bêta global, du ⁴⁰K et du ³H. • Mesure de l'activité alpha globale.
Sol	<ul style="list-style-type: none"> • 1 prélèvement annuel de la couche superficielle des terres avec spectrométrie gamma. 	
Végétaux	<ul style="list-style-type: none"> • 2 points de prélèvement d'herbe (contrôle mensuel) avec mesure de bêta global, du ⁴⁰K et spectrométrie gamma. Mesure du carbone 14 (¹⁴C) et du carbone total (trimestriellement). • Campagne annuelle sur les principales productions agricoles avec mesure de bêta global, du ⁴⁰K, du ¹⁴C et du carbone total et spectrométrie gamma. 	<ul style="list-style-type: none"> • 4 points de prélèvement d'herbes (contrôle mensuel). • Campagne annuelle sur les principales productions agricoles avec mesure de bêta global, du ⁴⁰K, du ¹⁴C et du carbone total et spectrométrie gamma.
Lait	<ul style="list-style-type: none"> • 2 points de prélèvement (contrôle mensuel) avec mesure de l'activité bêta, du ⁴⁰K et annuellement du ¹⁴C. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 point de prélèvement (contrôle mensuel) avec mesure de l'activité bêta et spectrométrie gamma (+ ³H et ¹⁴C périodiquement).

Le tableau 1.7 présente, selon une représentation simplifiée, les plans d'analyses tels qu'ils sont réalisés par l'IRSN dans l'environnement des différents types de site et sur l'ensemble du territoire français.

Tableau 1.7 - Plans d'analyses types réalisés par l'IRSN dans le cadre de la surveillance radiologique du territoire français.

Environnement étudié	Radionucléides recherchés							
	U	Am, Pu	³ H	¹⁴ C	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Iodes	Autres bêta/gamma (*)
Environnement éloigné de site nucléaire								
Ancien site minier								
Site de l'amont du cycle du combustible								
CNPE arrêté	Alpha global							
CNPE en activité								
Site de l'aval du cycle du combustible								
Site de stockage								
Centres de recherches civil ou militaire								
Bases navales								

■ Radionucléide recherché systématiquement

□ Radionucléide recherché ponctuellement en fonction des sites ou lors d'études spécifiques

(*) Autres radionucléides émetteurs bêta/gamma : ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ¹³⁴Cs, ⁴⁰K, ^{99m}Tc...

La surveillance radiologique du territoire en Belgique

La surveillance radiologique du territoire effectuée par l'autorité en Belgique – l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN) – constitue en quelque sorte un « dépistage environnemental ». On espère ne rien mesurer ou, plus exactement, ne rien mesurer de significatif. Année après année, cette surveillance montre en effet que la situation radiologique du territoire belge ne pose en général aucun problème. Elle traduit d'ailleurs les efforts accomplis par les exploitants d'installations où s'exerce une activité susceptible d'avoir un impact radiologique sur l'environnement pour réduire cet impact. Ainsi, ceux-ci sont non seulement tenus de mettre tout en œuvre pour faire en sorte que leurs rejets restent en deçà des limites autorisées, mais également de limiter les rejets à un niveau minimum (principe Alara).

La surveillance radiologique du territoire comprend deux volets complémentaires :

- une surveillance globale du territoire, en dehors des zones où s'exerce une activité nucléaire significative. Elle indique notamment le niveau de la radioactivité auquel la population est naturellement soumise. Elle couvre en particulier des zones éloignées des sites nucléaires

comme la région côtière ainsi que des zones dites « de référence » comme l'agglomération bruxelloise, qui est la plus grosse agglomération belge, avec 10 % de la population ;

- une surveillance rapprochée autour des sites où s'exerce une activité susceptible d'avoir un impact radiologique sur l'environnement. Il faut noter qu'en Belgique, les exploitants des centrales nucléaires (GDF-Suez Electrabel) ne sont pas obligés d'effectuer une surveillance radiologique environnementale. Les autres sites mettent en place un contrôle dosimétrique sur site et aux abords et très rarement une surveillance de l'environnement proche. La surveillance radiologique mise en place par l'AFCN vise à couvrir la totalité du territoire et les environs des sites nucléaires suivants :

- les sites des centrales nucléaires de Doel et de Tihange ;
- les environs, en territoire belge, de la centrale nucléaire française de Chooz ;
- le site du Centre d'étude de l'énergie nucléaire (SCK•CEN), à Mol ;
- les sites de Belgoprocess, de Belgonucléaire et de la Franco-belge de fabrication de combustibles (FBFC) International, à Mol et à Dessel ;

- les sites de l'Institut national des radioéléments (Ire), de MDS-Nordion, de Sterigenics et de Ion Bean Applications SA (Iba) à Fleurus.

La surveillance rapprochée vise également les installations où sont utilisés des radioéléments, comme les hôpitaux, les universités ou encore certaines industries, telle l'industrie de production de phosphates alimentaires, installée dans la région de Tessenderlo. Le procédé de cette activité industrielle non nucléaire a en effet la particularité de concentrer un radioélément naturel, le radium 226, dans les effluents liquides qu'il rejette.

En pratique, la surveillance radiologique du territoire, qui porte à la fois sur le niveau de la radioactivité artificielle et sur celui de la radioactivité naturelle, est exercée de deux manières :

- de manière continue, par le réseau automatique Télérad de mesure de la radioactivité gamma ambiante de l'air ;
- de manière discontinue, via des campagnes périodiques de mesures sur le terrain et de prélèvements d'échantillons qui sont ensuite analysés en laboratoires.

Le réseau Télérad est le réseau automatique de télémesure de la radioactivité sur le territoire de la Belgique. Il est composé de 219 stations qui mesurent en permanence la radioactivité de l'air et des eaux de rivières. Les stations de mesures sont réparties sur l'ensemble du territoire national, autour des installations nucléaires de Tihange, Doel, Mol et Fleurus, ainsi que dans les agglomérations proches de ces installations et de celle de Chooz en France. Ces stations de mesures sont reliées à un système centralisé qu'elles alertent automatiquement si elles détectent une élévation anormale du niveau de la radioactivité. En cas d'accident nucléaire, le réseau Télérad jouerait un rôle primordial dans l'évaluation de la gravité de l'accident, dans la prise des décisions, dans l'optimisation des interventions et des mesures à mettre en œuvre pour prévenir les effets de l'accident, ainsi que dans l'information continue de la population. En situation normale, le réseau Télérad mesure le débit de dose ambiant dû au rayonnement gamma. Ce débit de dose est lié au niveau de la radioactivité naturelle, aussi appelé bruit de fond.

Les campagnes d'échantillonnage et les mesures sur le terrain constituent la véritable clé de voûte de la surveillance radiologique du territoire. Elles permettent d'affiner le profil radiologique du territoire belge et doivent permettre d'évaluer précisément les niveaux de radioactivités naturelle et artificielle de l'environnement et d'évaluer les doses de rayonnement à la population. Elles ciblent dès lors de manière systématique les principaux compartiments de l'environnement et les principaux composants de la chaîne alimentaire susceptibles d'être contaminés et auxquels la population peut être exposée. Les échantillons sont prélevés pour le compte de l'AFCN par des équipes spécialisées du SCK•CEN et de l'Ire-Elit. La fréquence des prélèvements a été définie de façon à disposer d'informations aussi utiles que possible, tout en tenant compte des contraintes techniques et matérielles. Les échantillons sont ensuite analysés dans les laboratoires de ces institutions afin de déterminer très précisément la nature et le niveau de radioactivité qu'ils contiennent. Ces analyses mesurent les radionucléides émetteurs alpha, bêta ou gamma soit globalement, soit de façon spécifique. Dans ce dernier cas, elles s'attachent en

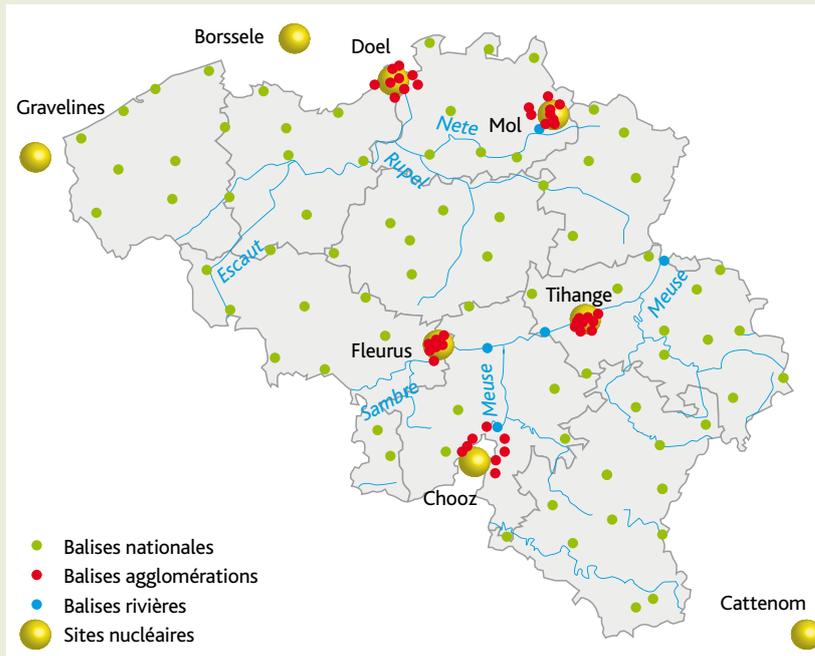


Figure I.12 - Implantation des stations de mesures du réseau Télérad de l'AFCN belge.

particulier à mesurer des radionucléides naturels (comme le béryllium 7 et le potassium 40), qui servent de points de référence, et des radionucléides caractéristiques d'activités humaines spécifiques (comme ceux liés à la fabrication du combustible qui alimente les réacteurs nucléaires, des traceurs radioactifs utilisés en médecine nucléaire, et le radium 226, radionucléide naturel qui se retrouve concentré dans les effluents liquides du procédé de production des phosphates alimentaires). Les résultats obtenus sont ensuite centralisés, analysés et interprétés par l'AFCN.

Le programme de surveillance radiologique du territoire représente près de 5 000 prélèvements annuels qui font l'objet de 29 500 analyses. Les rejets atmosphériques et liquides des principaux sites nucléaires sont également suivis et analysés.

La situation radiologique est globalement excellente

La surveillance radiologique du territoire, qui permet de dresser un tableau précis de la radioactivité de l'environnement en Belgique et des risques encourus par la population, ne met en évidence aucun problème important. La plupart du temps, la radioactivité d'origine artificielle est largement inférieure à la radioactivité d'origine naturelle, quand elle n'est pas tout simplement non mesurable. Cette surveillance montre également de façon

claire que le débit de dose (radioactivité ambiante), en conditions normales et hors exposition médicale, dépend avant tout de la nature du sol : les sols rocheux du sud du pays exhalant davantage de radon (gaz radioactif naturel) que ceux du nord du pays (sableux). C'est ainsi, par exemple, que le débit de dose mesuré en Wallonie est supérieur à celui mesuré au voisinage de la centrale nucléaire de Doel, dont l'impact radiologique sur l'environnement est négligeable. Les centrales nucléaires, en particulier, ont un impact radiologique négligeable sur l'environnement, voire non détectable.

Une attention particulière est requise

Si la situation radiologique du territoire belge est tout à fait satisfaisante, un bassin retient néanmoins l'attention de par sa charge anormalement élevée en radioactivité artificielle mais aussi en radioactivité naturelle (²²⁶Ra) : il s'agit de l'ensemble du réseau hydrographique Laak-Winterbeek-Nete-Escaut. En effet, certaines installations nucléaires de la région de Mol-Dessel ont un impact radiologique mesurable, bien que faible, sur l'environnement. Il en va de même de l'industrie non nucléaire de production de phosphates alimentaires dans la région de Tessenderlo qui rejette du ²²⁶Ra. Cependant, l'impact radiologique – mesurable – de ces installations du nord-est du pays est en nette diminution ces dernières années.

I.7 DE LA PRÉPARATION À LA MESURE PHYSIQUE DES ÉCHANTILLONS

La mesure de la radioactivité sur un échantillon prélevé dans l'environnement débute par sa préparation physique. Celle-ci va du simple conditionnement en récipient de forme normalisée à une préparation plus élaborée comme le séchage, la calcination ou la lyophilisation qui permettent de concentrer l'échantillon. Dans la plupart

des cas, l'analyse ne nécessite pas d'utiliser l'intégralité de l'échantillon. Celui-ci est alors homogénéisé préalablement afin que la prise pour essai n'induit pas de biais sur la représentativité de la mesure. La plupart des acteurs de la surveillance effectuent également l'archivage d'une partie des échantillons analysés (filtres en particulier), en vue d'une éventuelle analyse ultérieure par des moyens complémentaires ou plus performants.

La figure I.13 résume les principales étapes de transformation d'un échantillon d'herbe depuis son prélèvement jusqu'à sa mesure physique et son archivage.



Une fois le **prélèvement** réalisé sur le terrain (1), celui-ci doit être rapidement **conditionné** afin d'éviter toute dégradation, puis **transporté** au laboratoire pour y subir **différents traitements**. Dès son arrivée, les caractéristiques de l'échantillon sont enregistrées afin de garantir la traçabilité tout au long du processus.

La mesure de la radioactivité sur un échantillon débute par sa préparation physique. Celle-ci va du simple conditionnement dans un récipient normalisé à une préparation plus élaborée comme le **séchage à l'étuve (2)**, la **lyophilisation (3)**, le **broyage (4)** et la **calcination (5)** qui permettent de concentrer la radioactivité contenue dans l'échantillon.

La nécessité de **concentrer l'échantillon** ou d'**extraire les radionucléides** à mesurer implique parfois la mise en œuvre de **traitements radiochimiques poussés (6)** aboutissant généralement à la concentration ou à la séparation des radionucléides recherchés.

À l'issue de cette phase, les échantillons sont mesurés sous différents types de compteurs en fonction des radionucléides recherchés (7) (compteurs proportionnels alpha-bêta, compteurs alpha à photomultiplicateurs, compteurs à scintillation liquide, détecteurs gamma...). Ils sont ensuite archivés (8).

Figure I.13 - Les étapes de la surveillance par prélèvement et analyse en laboratoire.

La nécessité de concentrer l'échantillon ou d'extraire les radionucléides à mesurer implique la mise en œuvre d'un laboratoire qui permet de réaliser au meilleur niveau de qualité tout ou partie des étapes conduisant à la caractérisation des radionucléides présents dans un échantillon.

Après la préparation physique, des opérations de radiochimie aboutissent généralement à la concentration ou à la séparation des radionucléides recherchés. En général, les laboratoires disposent également de moyens de traitement et d'analyses physico-chimiques des échantillons.

À l'issue de cette phase, les échantillons sont mis sous forme de sources et transmis au laboratoire de mesure nucléaire. Des compteurs ou des spectromètres (compteurs proportionnels alpha-bêta, compteurs alpha à photomultiplicateurs, compteurs à scintillation liquide, détecteurs gamma de type germanium avec passeurs d'échantillons, détecteurs gamma de type NaI, chambres à grille avec passeur et semi-conducteurs) permettent la détection des rayonnements alpha, bêta ou gamma. La qualité des mesures effectuées est assurée par l'utilisation de traceurs ou de sources étalons de référence spécifiques en termes d'activité, de densité et de nature.

La palette des compétences métrologiques mises en œuvre par les laboratoires pour la mesure de la radioactivité dans l'environnement peut se résumer comme suit :

- mesures d'alpha-bêta global pour le suivi des filtres d'aérosols et des eaux ;
- mesure du ^{226}Ra ;
- mesure des radionucléides émetteurs bêta (^3H , ^{14}C , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{241}Pu , ^{210}Pb ...);

- mesure des radionucléides émetteurs de rayonnements gamma naturels ou artificiels (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{129}I , ^{40}K , ^7Be , ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{214}Pb , ^{222}Rn ...);
- mesure des radionucléides émetteurs alpha tels que plutonium, ^{241}Am et ^{244}Cm , uranium, thorium et ^{210}Po ;
- mesure des éléments stables tels que K, Na, Ca, Fe, Sr, Ni, Pb.



Figure 1.14 - Mesure par spectrométrie alpha sur chaîne de spectrométrie alpha de type chambre à grille.

© A. Chezère/CEA



Figure 1.15 - Mesure par spectrométrie alpha.

© Y. Geoffroy/Areva



Figure 1.16 - Mesure par scintillation liquide.

© IRSN



Figure 1.17 - Préparation à la mesure de l'uranium et du radium.

© ACTO



© Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

Figure I.18 - Prélèvement d'algues (cystoseires) en bord de mer.





II

LE RÉSEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT ET LES ACTEURS DE LA SURVEILLANCE EN FRANCE

II.1 Le réseau national de mesures de la radioactivité
de l'environnement (RNM)

II.2 Qui surveille la radioactivité en France ?

II.1 LE RÉSEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (RNM)

Contexte et objectifs

Les acteurs de la mesure de la radioactivité de l'environnement sont nombreux dans le paysage nucléaire français. En fonction de ses missions ou de ses obligations réglementaires, chaque acteur se positionne dans un contexte particulier et y répond par une stratégie de surveillance qui lui est propre. Des milliers de résultats sont donc disponibles en France, qu'ils proviennent de l'IRSN, des exploitants d'installations nucléaires ou d'autres acteurs publics, privés ou associatifs. Cependant, malgré les efforts entrepris ces dernières années en matière d'information et de transparence dans ce domaine, la multiplicité des acteurs et des sources d'information rend difficile l'appropriation des résultats et la compréhension du rôle de chacun par le public. La question de la qualité des informations est également essentielle, notamment dans un contexte aussi sensible que celui de la radioactivité dans l'environnement, mais également dans un domaine aussi complexe que celui de la métrologie nucléaire. Il est donc primordial de s'assurer au préalable des compétences techniques et organisationnelles des laboratoires.

Centraliser les informations sur la radioactivité de l'environnement en France, garantir la transparence de l'information tout en facilitant sa compréhension pour tous les publics et en renforçant l'harmonisation et la qualité des mesures effectuées par les laboratoires, tels sont les enjeux du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM).

Dans le cadre de la retranscription en droit français de la directive 96/29, le code de la santé publique, modifié par le décret n° 2002-460 du 4 avril 2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, institue le RNM. Les modalités de fonctionnement du RNM, initialement fixées par arrêté ministériel (17 octobre 2003 puis 27 juin 2005), ont été remplacées par une décision homologuée de l'ASN en 2008 (n° 2008-DC-0099 du 29 avril 2008) pour tenir compte des évolutions réglementaires et en particulier de la publication de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière de nucléaire (loi TSN).

La mise en place du RNM répond à deux objectifs majeurs :

- assurer la transparence des informations sur la radioactivité de l'environnement en mettant à disposition du public les résultats de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en France ;

- poursuivre le développement d'une politique qualité pour les mesures de radioactivité dans l'environnement, par l'instauration d'un agrément des laboratoires, délivré par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire.

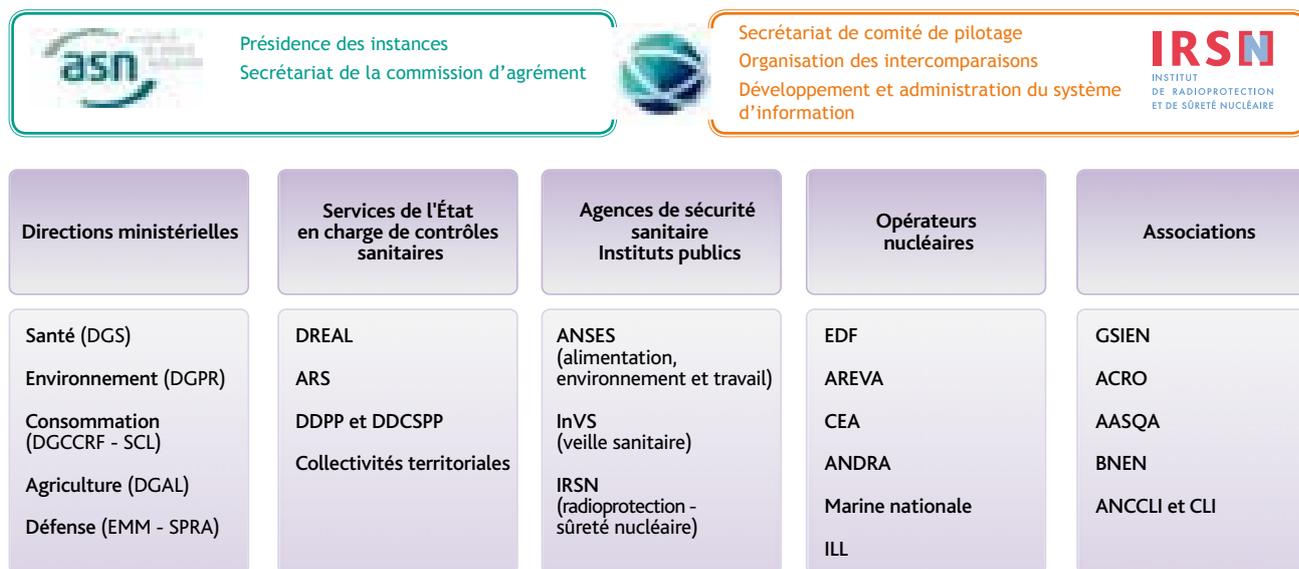
Le Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement a pour mission de contribuer à l'estimation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée et à l'information du public. Pour atteindre cet objectif, le RNM rassemble et met à la disposition du public :

- des résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement ;
- des documents de synthèse sur la situation radiologique du territoire et sur l'évaluation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée.

Les mesures rassemblées dans le RNM sont essentielles pour l'évaluation de l'impact des substances radioactives sur la santé, sur l'environnement et sur les ressources d'intérêt économique (notamment l'eau et l'agriculture).

Organisation et fonctionnement du RNM

Le RNM est développé sous l'égide de l'ASN en collaboration avec l'IRSN (figure II.1) et en partenariat avec les principaux acteurs du RNM dont les ministères chargés de



* Différents représentants, issus d'autres organismes ou non, sont également nommés en qualité de personnes qualifiées.

Figure II.1 - Acteurs des instances du RNM et principaux producteurs de mesures de radioactivité dans l'environnement en France.

l'Environnement (DGPR), de la Consommation (DGCCRF), de la Santé (DGS, ARS), de la Défense (SPRA, Marine nationale), et de l'Agriculture (DGAL), les agences de sécurité sanitaire (InVS, Anses), les principaux opérateurs nucléaires (EDF, Areva, CEA, Andra) et les associations de protection de l'environnement et des consommateurs (Acro, GSIEN).

Le RNM est animé par deux instances placées sous la présidence de l'ASN. Il s'agit d'une part du comité de pilotage chargé des orientations stratégiques du réseau, et d'autre part de la commission d'agrément chargée d'émettre un avis sur les demandes d'agrément. La figure II.1 illustre schématiquement les rôles de l'IRSN et de l'ASN, ainsi que les principaux acteurs des instances du réseau national et les principaux producteurs de mesures de radioactivité dans l'environnement.

Le comité de pilotage donne son avis sur les orientations du réseau national proposées par l'ASN. Il veille à rendre publiques les données de radioactivité prévues par l'article R1333-11 du code de la santé publique. Il sera également amené à émettre des avis sur les rapports de synthèse portant sur l'état radiologique de l'environnement et sur l'impact des installations nucléaires, qu'ils soient émis par l'IRSN ou par tout autre organisme qui lui en ferait la demande.

Qui transmet les mesures de radioactivité dans l'environnement au réseau national ?

Conformément à l'article 1333-11 du code de la santé publique, les résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement regroupés au sein du RNM sont ceux obtenus :

- dans le cadre de la mise en œuvre de dispositions législatives ou réglementaires contribuant à l'évaluation des doses auxquelles la population est exposée, en particulier les résultats de la surveillance de l'impact des activités nucléaires sur l'environnement : les exploitants nucléaires qui effectuent des mesures de radioactivité de l'environnement en vertu de dispositions législatives ou réglementaires sont donc tenus de faire réaliser ces mesures par des laboratoires agréés ou par l'IRSN et d'en transmettre les résultats pour diffusion sur le site Internet du RNM ;

- par l'Autorité de sûreté nucléaire, les collectivités territoriales, les services de l'État ou les établissements publics qui font effectuer des mesures par des laboratoires agréés ou par l'IRSN ;

- par toute association ou tout autre organisme privé qui fait effectuer des mesures par des laboratoires agréés ou par l'IRSN dès lors que la transmission des résultats au RNM est demandée par l'organisme détenteur de ces résultats.

Essais interlaboratoires et agréments délivrés par l'ASN

Les agréments relatifs aux mesures de radioactivité de l'environnement s'adressent à tous les laboratoires (publics, privés, universitaires, associatifs) mais concernent directement ceux qui effectuent des mesures en vertu de dispositions législatives ou réglementaires et qui ont obligation à transmettre leurs mesures au RNM. Outre un dossier complet démontrant la conformité de leur organisation et de leurs pratiques, les laboratoires doivent participer aux essais interlaboratoires organisés par l'IRSN qui ont pour but d'éprouver la compétence technique de laboratoires (*voir focus et figure II.2*). Il s'agit généralement de tests d'aptitude qui consistent à comparer les résultats obtenus par les laboratoires sur des échantillons identiques à une valeur assignée (valeur de référence définie par l'IRSN). Les essais organisés par l'IRSN concernent la mesure de radionucléides émetteurs bêta et gamma, émetteurs bêta purs et émetteurs alpha artificiels, ainsi que les radionucléides des chaînes naturelles de l'uranium, du thorium et du radium et de l'uranium pondéral, soit plus de 43 types d'essais différents.

Pour ces essais, l'IRSN est chargé, soit par l'ASN au travers de la décision n°2008-DC-0099 de l'ASN du 29 avril 2008, soit par la DGAL en tant que laboratoire national de référence « radionucléides » (LNR RN) par référence à l'arrêté du 29 décembre 2009, de la préparation des échantillons, de leur livraison aux laboratoires inscrits aux tests, de la détermination des valeurs assignées et de l'exploitation statistique des résultats obtenus par les laboratoires.

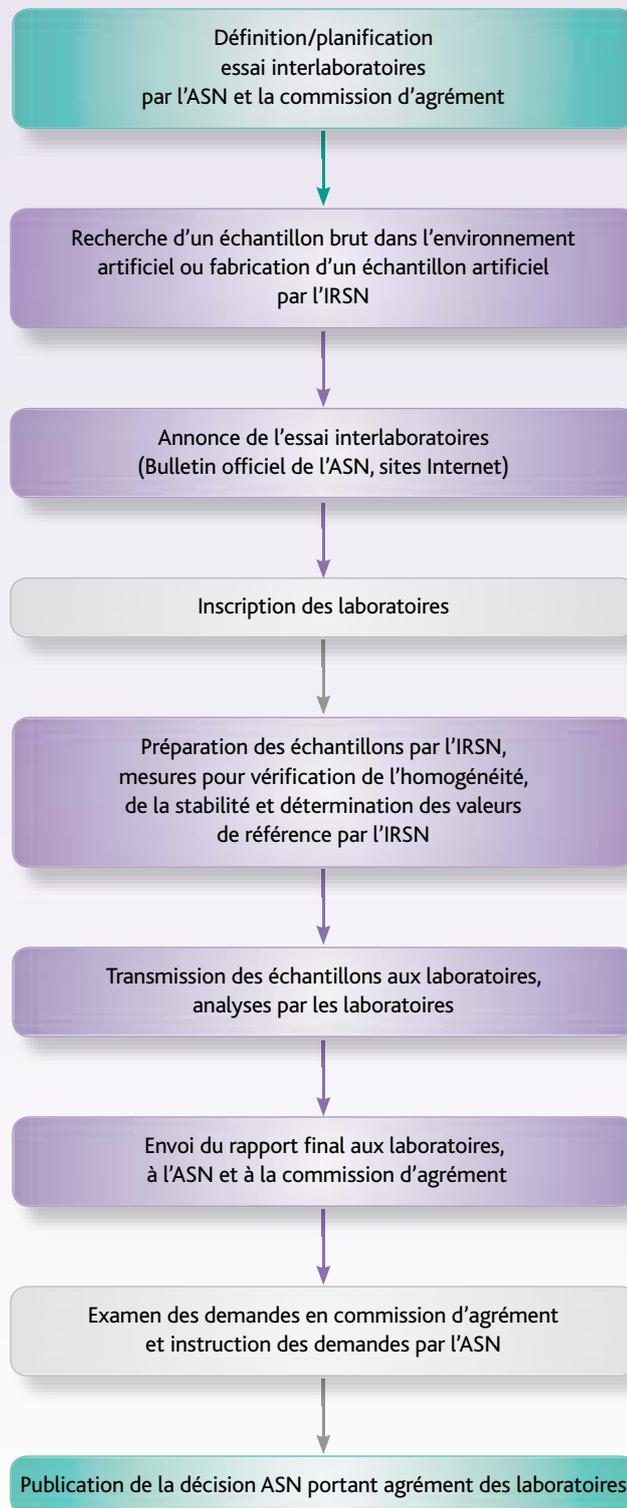
Les échantillons préparés par l'IRSN sont distribués simultanément aux participants pour être mesurés en parallèle. Le lot

d'échantillons fourni doit être suffisamment homogène et stable en termes de radioactivité contenue afin qu'aucun écart de résultat ne puisse être attribué à un défaut d'homogénéité ou de stabilité.

Pour chaque essai, le nombre de participants est compris entre 15 et 70 dont quelques laboratoires étrangers. L'IRSN organise ce type d'essai depuis 40 ans avec actuellement un rythme annuel de six à sept essais. Depuis 2006, l'IRSN est accrédité par le Comité français d'accréditation (Cofrac) pour cette activité particulière d'organisation des essais interlaboratoires. Ces essais permettent principalement, aux laboratoires participants, d'obtenir ou de renouveler un agrément de l'ASN ou de la DGAL dans le cadre de la réglementation, mais également de s'assurer de la qualité des méthodes d'analyses mises en œuvre et de fournir aux organismes d'accréditation les éléments permettant de juger de la maîtrise des processus d'analyses.

Depuis janvier 2011, un site Internet dédié (<https://cilei.irsn.fr/>) permet la diffusion et l'échange d'information entre l'IRSN et les participants.

Organisation d'un essai interlaboratoires pour l'agrément ASN des laboratoires

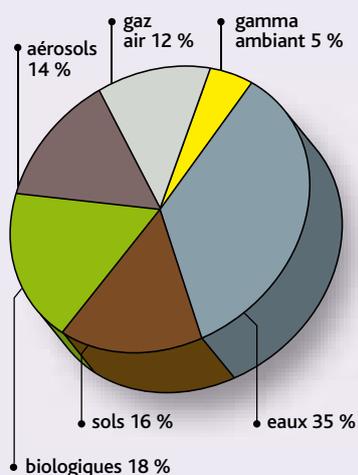


■ Figure II.2 - Schéma d'organisation d'un essai interlaboratoires pour l'agrément ASN.

L'agrément des laboratoires de mesures de la radioactivité de l'environnement

L'agrément des laboratoires habilités à pouvoir diffuser leurs résultats sur ce site du RNM est délivré par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Les modalités d'agrément des laboratoires sont définies dans la décision homologuée n° 2008-DC-0099 du 29 avril 2008 de l'ASN. L'agrément délivré porte non seulement sur les mesures effectuées en laboratoire mais aussi sur les dispositions liées aux modalités de prélèvement des échantillons dans l'environnement.

Chaque catégorie de mesure, couplant un type de mesure (radionucléides artificiels ou naturels, émetteurs gamma, bêta ou alpha ainsi que la dosimétrie gamma ambiante) et un compartiment de l'environnement (eaux, sols, produits biologiques (végétaux, poissons, lait...)) fait l'objet d'un agrément spécifique (figure 11.3). L'ASN délivre ainsi 43 types d'agrément distincts.



■ **Figure 11.3** - Répartition au 1^{er} janvier 2012 des agréments selon le compartiment de l'environnement.

Le domaine de réalisation des essais d'intercomparaison des laboratoires est celui des faibles niveaux d'activité même si, dans l'environnement, les activités des radionucléides artificiels sont rarement supérieures aux seuils de décision des méthodes de mesure les plus sensibles. Aussi, l'aptitude des laboratoires est testée sur des échantillons rechargés en laboratoire pour atteindre des niveaux d'activité de l'ordre de 0,5 à 10 Bq/kg pour les radionucléides émetteurs gamma artificiels

(⁶⁰Co, ¹³⁷Cs...) et de l'ordre de 0,05 à 1 Bq/kg pour les radionucléides émetteurs alpha (Pu, Am). Par contre, les activités des radionucléides des chaînes de l'uranium et du thorium dans l'environnement étant naturellement plus élevées (voisines ou supérieures à 50 Bq/kg de sol), les tests d'aptitude se font généralement sur des échantillons directement prélevés dans l'environnement.

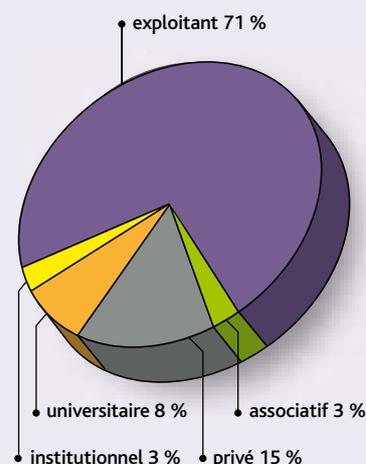
L'agrément s'adresse à tout laboratoire français ou étranger, quels que soient son statut, sa taille, son secteur d'activité, qu'il exerce son activité sur un périmètre défini (site industriel) ou non défini (prestations de service), qui souhaite faire reconnaître sa compétence en la matière dans le cadre du RNM. Il concerne en priorité les laboratoires de surveillance de l'environnement qui effectuent des mesures en vertu de dispositions réglementaires ou législatives et qui, de ce fait, ont obligation depuis le 1^{er} janvier 2009 d'être agréés pour transmettre leurs mesures au RNM (Andra, Areva, CEA, EDF, Institut Max Von Laue – Paul Langevin, Marine nationale...). Mais il s'adresse également à tout laboratoire public ou privé, universitaire ou associatif qui procède à des contrôles de la radioactivité dans l'environnement pour le compte de services publics ou de collectivités territoriales ou pour son propre compte.

Pour obtenir un agrément, le laboratoire doit adresser à l'ASN un dossier démontrant la conformité de son organisation et de ses pratiques avec la norme ISO/CEI 17025 fixant les exigences générales applicables aux laboratoires. Ce dossier est complété par une demande des agréments sollicités, à laquelle sont annexés les résultats du laboratoire aux essais de comparaison interlaboratoires (EIL) organisés par l'IRSN. L'agrément est délivré pour une durée maximale de cinq ans sur proposition d'une commission d'agrément multipartite qui fonde ses avis tant sur les résultats du laboratoire aux EIL que sur le dossier de demande d'agrément déposé par le laboratoire.

Ces décisions sont publiées sur le site Internet de l'ASN (www.asn.fr) en même temps que la liste des laboratoires agréés, actualisée deux fois par an.

État des laboratoires agréés au 1^{er} janvier 2011

Au 1^{er} janvier 2011, le nombre de laboratoires agréés est de 60 (figure 11.4) dont 42 laboratoires d'exploitants nucléaires, les autres se répartissant entre les secteurs privé (9), universitaire (5), institutionnel (2) et associatif (2). Ces laboratoires disposent de 746 agréments couvrant les 43 catégories d'agrément.



■ **Figure 11.4** - Répartition au 1^{er} janvier 2012 des laboratoires agréés selon leur statut.

C'est dans le domaine de la surveillance de la radioactivité des eaux que les laboratoires agréés sont les plus nombreux avec 55 laboratoires ayant jusqu'à 13 agréments différents pour la surveillance de ce milieu. Une quarantaine de laboratoires disposent d'agrément pour les mesures de matrices biologiques (chaîne alimentaire), des poussières atmosphériques, de l'air ou encore de la dosimétrie gamma ambiante. Dans les sols, le nombre de laboratoires s'établit autour de 30. Si la plupart des laboratoires sont compétents pour la mesure des émetteurs gamma dans toutes les matrices environnementales, seule une dizaine d'entre eux est agréée pour les mesures du carbone 14, des transuraniens ou des radionucléides des chaînes naturelles de l'uranium et du thorium dans les matrices eau, sol et biologiques.

Bilan global du processus d'agrément des laboratoires

La procédure d'agrément des laboratoires de radioactivité de l'environnement, en vigueur depuis 2003, constitue un moteur d'amélioration continue des pratiques, tant au niveau des prélèvements d'échantillons qu'au niveau des mesures de radioactivité. Ces améliorations, dues notamment à la mise en œuvre de méthodes normalisées, sont notables dans le domaine des prélèvements mais également dans le domaine des mesures. Ainsi, l'exploitation du retour d'expérience de huit années d'essais de comparaison interlaboratoires

montre, d'un cycle d'essais à l'autre, un meilleur centrage des valeurs transmises par les laboratoires autour de la valeur de référence fournie par l'IRSN qui se traduit par un écart-type interlaboratoires généralement plus faible entre les essais du 1^{er} et du 2^e cycle d'agrément (respectivement 2003-2008 et 2008-2012).

Maintenir la qualité des données fournies par les laboratoires agréés de mesures de radioactivité de l'environnement, l'améliorer encore, inciter les laboratoires agréés à étendre leur domaine de compétence et permettre à de nouveaux laboratoires de

s'engager dans la démarche d'agrément pour assurer la pluralité des sources d'informations, tels sont les enjeux du régime d'agrément des laboratoires par l'ASN, destiné à conforter la confiance du public dans les mesures de l'état radiologique de l'environnement diffusées sur le site Internet du RNM.

Tableau II.1 - Grille des agréments et planning des essais d'intercomparaison 2011-2015.

Code	Catégorie de mesures radioactives	Type 1		Type 2		Type 3		Type 4		Type 5		Type 6	
		Eaux **		Matrices sols		Matrices biologiques		Aérosols sur filtre		Gaz air		Milieu ambiant (sol/air)	
.._01	Émetteurs gamma E > 100 keV		1_01		2_01		3_01		4_01		5_01		-
.._02	Émetteurs gamma E < 100 keV		1_02		2_02		3_02		4_02		5_02		-
.._03	Alpha global		1_03		-		-		4_03		-		-
.._04	Bêta global		** 1_04		-		-		4_04		-		-
.._05	H-3		** 1_05		2_05		3_05		-		Cf eau		-
.._06	C-14		1_06		2_06		3_06		-		5_06		-
.._07	Sr-90/Y-90		1_07		2_07		3_07		4_07		-		-
.._08	Autres émetteurs bêta purs (Tc-99...)		1_08		2_08		3_08		-		-		-
.._09	U isotopique		1_09		2_09		3_09		4_09		-		-
.._10	Th isotopique		1_10		2_10		3_10		4_10		-		-
.._11	Ra-226 + desc.		1_11		2_11		3_11		-		Rn-222 : 5_11		-
.._12	Ra-228 + desc.		1_12		2_12		3_12		-		Rn-220 : 5_12		-
.._13	Isotopes Pu, Am, (Cm, Np)		* 1_13 *		* 2_13 *		3_13		4_13				-
.._14	Gaz halogénés		-		-		-		-		5_14		-
.._15	Gaz rares		-		-		-		-		5_15		-
.._16	Dosimétrie gamma		-		-		-		-		-		6_16
.._17	Uranium pondéral		1_17		2_17		3_17		4_17		-		-

■ 2011 ■ 2012 ■ 2013 ■ 2014 ■ 2015

* en 2015 et 2016 : inversion EIL 1_13 et 2_13

** EIL 1_04 et 1_05 dans les eaux de mer programmés en 2014

Le système d'information du Réseau national et son site Internet

Conformément à l'article 4 de la décision homologuée n° 2008-DC-0099 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), l'IRSN a la charge de gérer le RNM. À ce titre, l'Institut doit assurer :

- la **centralisation** des données de mesure de la radioactivité de l'environnement transmises en application de l'article II de l'article R1333-11 ;
- l'**exploitation** de ces données ;
- la **transmission** de ces données à l'ASN et à l'Institut national de veille sanitaire, conformément à l'article L.1413-4 du code de la santé publique ;
- la **mise à disposition** de ces données vers les administrations responsables des activités nucléaires et le public ;
- la **conservation et l'archivage** de ces données, sans limitation de durée.

Le système d'information du RNM, développé par l'IRSN, permet aux producteurs de mesures de radioactivité d'envoyer, par un mode de transfert sécurisé *via* Internet, leurs données formatées selon un protocole d'échange d'informations qui a été défini en commun (*figure 11.5*).

Ces envois alimentent la base de données centrale du réseau national qui a déjà réceptionné près de 600 000 résultats de mesures (chiffre au 31 décembre 2011) depuis sa mise en service en janvier 2009, avec une fréquence d'actualisation importante (en moyenne 17 500 mesures sont ajoutées chaque mois). Plus de 40 % des résultats transmis au RNM sont issus des réseaux de surveillance de l'IRSN.

Cette base de données est exploitable par un système d'information qui permet de restituer l'ensemble des informations au public et aux experts, notamment grâce à un portail Internet cartographique (www.mesure-radioactivite.fr).



L'ouverture du site Internet du RNM a constitué une étape importante de la démarche de transparence.

Le développement du RNM est conduit avec le souci de prendre en compte les préoccupations de tous les acteurs qui y contribuent en

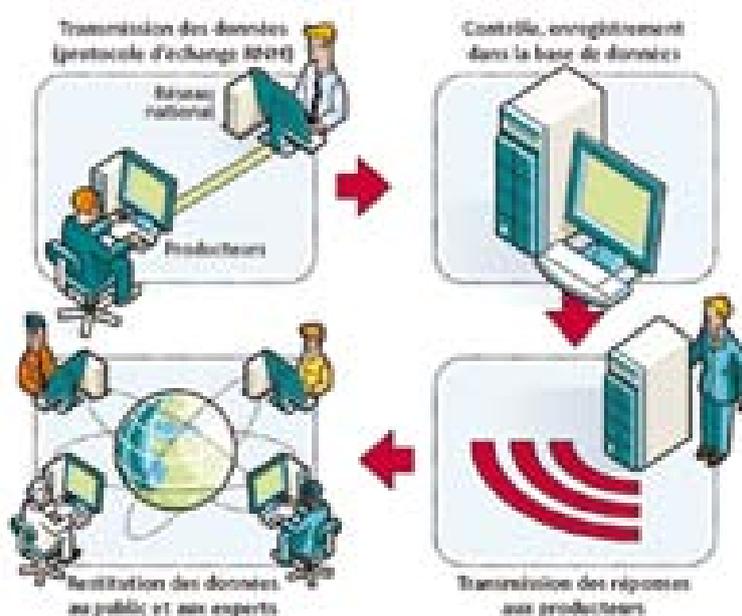


Figure 11.5 - Schéma d'organisation du système d'information du RNM.

tant que producteurs de données ou membres des instances du réseau. La présentation visuelle, le contenu pédagogique, l'accessibilité et la compréhension des données mises en ligne constituent des pistes d'évolution d'ores et déjà identifiées par ces acteurs. Le système d'information du réseau national continuera d'évoluer afin de prendre en compte, non seulement les améliorations techniques nécessaires à son bon fonctionnement, mais également les attentes et les constats exprimés par les internautes vis-à-vis de la restitution des mesures.

11.2 QUI SURVEILLE LA RADIOACTIVITÉ EN FRANCE ?

La surveillance implique des acteurs multiples, principalement les exploitants d'activités nucléaires, les autorités de sûreté nucléaire qui en assurent le contrôle, et l'IRSN. D'autres acteurs de la société, notamment associatifs (commissions locales d'information, associations de surveillance de la qualité de l'air, associations de défense de l'environnement), participent également à des activités d'étude ou de surveillance de la radioactivité de l'environnement.

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'IRSN contribue à l'évaluation de l'état radiologique de l'environnement de trois manières :

- en réalisant des expertises au titre de l'appui technique fourni aux autorités compétentes : l'ASN ou le DSND, les préfets et les Dreal. Ces expertises concernent notamment l'analyse des demandes d'autorisation de prélèvements d'eau et de rejets d'effluents des installations nucléaires (Darpe) ; l'analyse des rapports de sûreté des installations nucléaires, notamment pour ce qui concerne la connaissance des nappes phréatiques et de leur vulnérabilité, ainsi que des dispositions prévues par l'exploitant pour leur surveillance ; et l'évaluation de documents techniques (ex : impact environnemental des anciens sites miniers d'uranium).

Ces expertises permettent à l'autorité compétente de fixer les prescriptions des autorisations de rejet ou des autorisations nécessaires au fonctionnement des installations, ou celles relatives à la maîtrise des impacts des anciens sites miniers d'extraction d'uranium. En complément, des experts de l'IRSN peuvent être sollicités pour accompagner des inspections initiées par l'ASN ou les Dreal ;

- **en contribuant à la surveillance radiologique du territoire**, conformément aux missions qui lui sont confiées par son décret de création n° 2002-254 du 22 février 2002 modifié le 7 avril 2007. Dans ce cadre, l'IRSN réalise une surveillance régulière autour des sites nucléaires, complémentaire de celle mise en place par les exploitants nucléaires, mais aussi une surveillance plus générale du territoire ;
- **en effectuant des études et des recherches sur la radioactivité de l'environnement**. L'IRSN acquiert régulièrement des données sur la radioactivité de l'environnement grâce aux études radioécologiques qu'il réalise soit à la demande d'exploitants nucléaires, des pouvoirs publics ou de représentants de la société civile (Cli, collectivités, associations...), soit dans le cadre de ses propres programmes de recherche. Ces données permettent à l'IRSN de consolider sa connaissance de l'état radiologique de l'environnement.

Les principaux résultats des mesures réalisées par l'IRSN sont diffusés sur son portail Internet dédié à la radioactivité de l'environnement (<http://environnement.irsn.fr>).

Site Internet : www.irsn.fr

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)



Dans le champ de ses attributions définies par la loi relative à la transparence et à la sécurité nucléaire (dite « loi TSN »), l'ASN prend des décisions réglementaires à caractère technique s'appliquant aux exploitants d'installations nucléaires et, dans ce cadre, fixe en particulier des prescriptions en matière de surveillance de la radioactivité

sur les sites nucléaires ne relevant pas de la Défense, ainsi que dans leur environnement.

Ces prescriptions sont définies dans des décisions homologuées (et antérieurement dans des arrêtés ministériels). L'ASN assure le contrôle du respect de ces prescriptions, notamment en examinant les registres de surveillance produits par les exploitants et en réalisant des inspections. La loi TSN confie à l'ASN la mission d'organiser une veille permanente en matière de radioprotection sur le territoire national.

Par ailleurs, l'ASN délivre des agréments aux laboratoires réalisant des mesures de radioactivité dans l'environnement, notamment dans le cadre de la surveillance réglementaire des installations nucléaires. Enfin, elle apporte son concours au ministère de la Santé pour la définition des dispositions techniques applicables au contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine, ainsi que pour l'agrément des laboratoires réalisant les mesures de contrôle. Site Internet : www.asn.fr

L'Autorité de sûreté nucléaire défense (ASND)



Concernant les installations et les activités intéressant la défense, le contrôle de leur autorisation de rejets d'effluents et de prélèvements d'eau relève du délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection (DSND) placé auprès du ministre de la Défense et du ministre chargé de l'Industrie, conformément aux dispositions du code de la défense. Les prescriptions en matière de surveillance de la radioactivité de l'environnement sur ces installations sont définies par des arrêtés ministériels pris sur le rapport du DSND suite à l'instruction des demandes d'autorisation déposées par les exploitants.

Les deux autorités ASN et DSND se concertent sur tout sujet pouvant avoir un impact sur les autorisations de rejets d'effluents et de prélèvements d'eau ainsi que sur la surveillance de l'environnement des sites abritant des installations civiles et défense.

Les exploitants d'installations nucléaires



Les exploitants d'installations nucléaires ont la responsabilité d'assurer le contrôle des effluents rejetés par leurs installations ainsi que l'environnement à la périphérie des sites nucléaires et à l'intérieur des sites. D'une manière générale, cette surveillance est encadrée par des prescriptions réglementaires fixées dans les autorisations de rejets, qui imposent la réalisation, par les exploitants, d'un programme de surveillance régulière de l'environnement de leurs sites (surveillance dite « réglementaire »). Les mesures de radioactivité des échantillons prélevés dans ce cadre doivent être réalisées par des laboratoires agréés.

L'ensemble de ce dispositif de surveillance placé sous la responsabilité de l'exploitant nucléaire constitue la source principale de production de résultats de mesures permettant de connaître régulièrement l'état radiologique à l'intérieur des sites nucléaires et dans les quelques kilomètres autour de ces sites.

Les exploitants d'installations nucléaires disposent de laboratoires spécialisés dans la surveillance radiologique, qui prélèvent et analysent des échantillons d'origines atmosphérique, terrestre et aquatique.

Sites Internet :

www.aveva.com

www.edf.fr

www.cea.fr

www.andra.fr

www.ill.fr

www.defense.gouv.fr/marine

Quelles sont les principales installations du cycle du combustible en France ?

Toutes les installations du cycle du combustible donnent lieu à une surveillance systématique de leur environnement.

Ce cycle regroupe les étapes industrielles suivantes (figure 11.6) :

- extraction de l'uranium des mines (anciens sites miniers dont la gestion est actuellement confiée à Areva) ;
- concentration et conversion des composés d'uranium (Comurhex Malvézi et Pierrelatte) ;

- enrichissement isotopique en uranium 235, processus par lequel est accrue la teneur d'un élément chimique en un de ses isotopes (Eurodif et SET sur le site du Tricastin) ;
- fabrication du combustible MOX (Marcoule) ;
- fabrication et assemblage du combustible (FBFC Romans-sur-Isère) ;
- utilisation dans les réacteurs des centres nucléaires de production d'électricité (EDF,

22 sites dont 19 en exploitation comportant 58 réacteurs à eau pressurisée) ;

- traitement du combustible usé déchargé des réacteurs et recyclage (Areva La Hague) et R&D dans ces domaines (CEA Marcoule) ;
- traitement et stockage des déchets (Andra, centres de la Manche, de Soulaïnes et de Morvilliers).

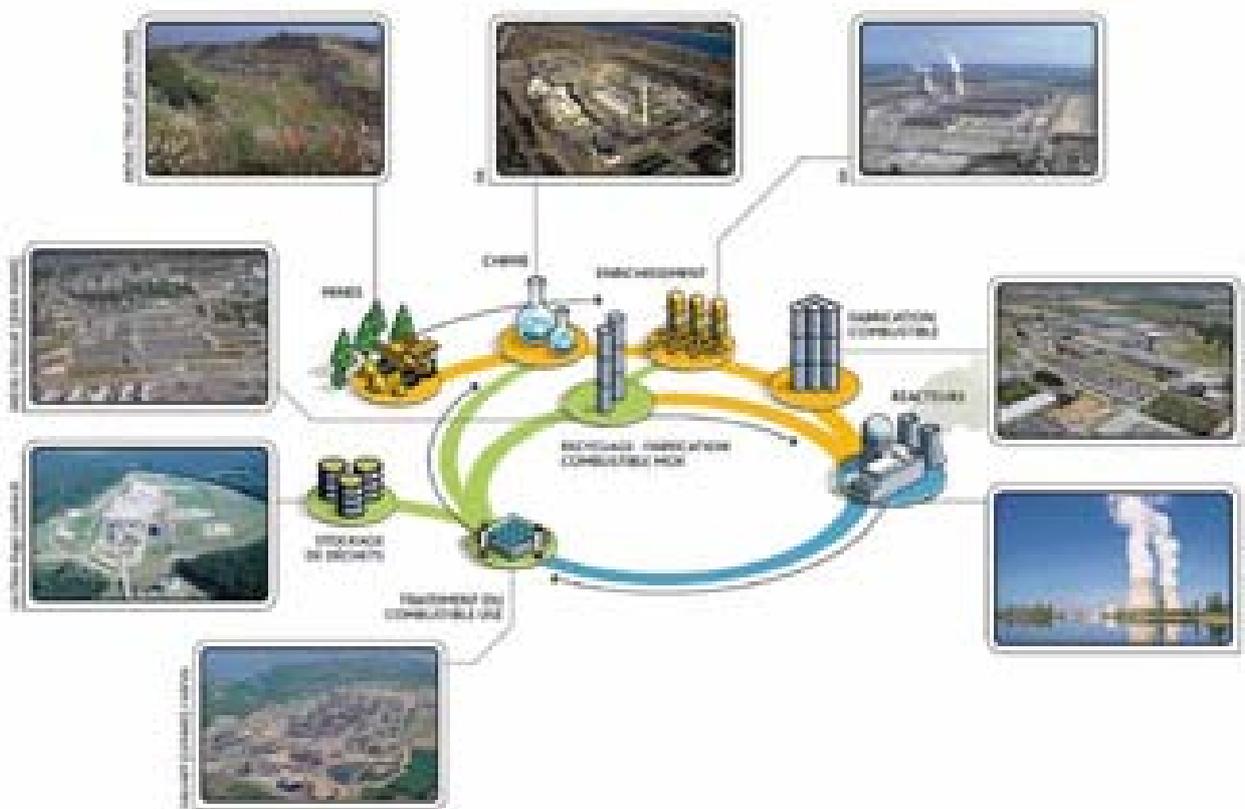


Figure 11.6 - Schéma simplifié du cycle du nucléaire.

Les directions ministérielles et les services de l'État en charge de contrôles sanitaires

Ces directions et services ont une mission générale de contrôle sanitaire des aliments (denrées animales et végétales, eau potable) et des animaux destinés à l'alimentation, qui nécessite la recherche d'agents chimiques, physiques et biologiques pouvant engendrer des risques pour l'homme, parmi lesquels figurent les substances radioactives.



La Direction générale de l'alimentation (DGAL) réalise tous les ans un plan de surveillance de la contamination éventuelle des denrées alimentaires (lait et produits laitiers,

œufs, viande, poisson, produits de la mer) par des radionucléides. L'objectif de ce plan est de contrôler la qualité des denrées du point de vue radiologique, en particulier des produits alimentaires en provenance de zones voisines d'installations nucléaires. Les prélèvements sont réalisés par département, par les agents des directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations (DDCSPP).

Site Internet :

www.agriculture.gouv.fr/alimentation



FOCUS • DGAL

La surveillance des denrées alimentaires réalisée par la DGAL

La direction générale de l'alimentation (DGAL) du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire (MAAPRAT) est en charge du contrôle de la sécurité sanitaire des denrées animales et d'origine animale et, pour la production primaire (au stade de l'exploitation agricole), des denrées végétales.

La base réglementaire des contrôles sanitaires est composée de plusieurs textes européens regroupés en un « paquet hygiène » dont le cadre est le règlement (CE) n° 178/2002, qui établit les principes et prescriptions généraux de la législation alimentaire, institue l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixe les procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires. Ce dispositif comprend le système d'alerte rapide communautaire (RASFF : Rapid Alert System for Feed and Food) qui permet une communication immédiate entre États membres de tout manquement à la sécurité sanitaire de la part d'un opérateur ou d'un pays tiers à l'Union européenne, ainsi que tous les outils à disposition du gestionnaire de risque : relations avec l'évaluateur du risque alimentaire (niveau européen : EFSA ; niveau national : Anses/IRSN) selon ses domaines de compétence, possibilités de retrait/rappel de produits du marché et/ou d'information du consommateur.

Dans le cadre de ce corpus réglementaire, chaque État membre de l'Union européenne peut ou doit réaliser des analyses dans certains aliments. Ainsi, chaque année, la DGAL met en place plusieurs dizaines de plans de surveillance ou de contrôle de la présence de contaminants, avec pour objectifs respectifs de suivre l'évolution d'un niveau de contamination ou de vérifier la conformité d'une denrée par rapport à une norme fixée réglementairement (figure II.7). Ces plans ont pour but de vérifier l'absence de fraudes de la part des opérateurs (ajout de substances interdites ou présence de résidus de médicaments vétérinaires), de manquements à l'hygiène (contaminants microbiologiques) ou encore de contaminations industrielles ou naturelles fortuites (mycotoxines, contaminants environnementaux type métaux lourds ou dioxines...).

En particulier, les radionucléides sont l'objet d'un plan de surveillance annuel, d'abord mis en place après l'accident de Tchernobyl pour contrôler le niveau de contamination de l'alimentation française et pérennisé avec la collaboration de l'Afssa (actuelle Anses). Ce plan a été révisé en 2008 avec l'implication de l'IRSN en tant que laboratoire national de référence pour ce domaine (à ce titre organisateur d'essais interlaboratoires pour les laboratoires agréés par la DGAL pour le contrôle de la qualité radiologique des denrées ; développeur de méthodes et de techniques d'analyses ; relais d'appui technique et scientifique pour la DGAL et le réseau de laboratoires).

La qualité radiologique d'une denrée n'est réglementée que pour des contextes post-accidentels, avec en premier lieu les contrôles à l'import de denrées susceptibles d'être impactées par les accidents de Tchernobyl (règlement CE n° 733/2008) et de Fukushima (règlement UE n° 297/2011). Il existe en parallèle le règlement (Euratom) n° 3954/87, qui fixe les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour bétail après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique.

Le plan prospectif de surveillance en place répond à deux objectifs : développer les connaissances sur un niveau de contamination « référence » qui permettrait, en cas d'accident nucléaire, de disposer de valeurs de comparaison et de mieux appréhender l'impact réel sur l'alimentation ; maintenir un réseau actif de laboratoires agréés (neuf laboratoires départementaux, encadrés par l'IRSN), capable de gérer, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, les nombreuses analyses à mener en cas de crise.

Ce plan concerne à la fois la surveillance des productions alimentaires proches des installations nucléaires ou situées en zone de rémanence des retombées de Tchernobyl ou des essais historiques de tirs atmosphériques, et l'étude des niveaux de contamination pour des productions réparties sur tout le territoire

(lait de grand mélange) ou pour les produits du littoral (poissons, mollusques et crustacés). Il consiste en l'analyse multi-radionucléides (césiums, iode, tritium...) d'environ 700 prélèvements annuels réalisés par les directions départementales de la cohésion sociale et de la protection des populations. Les bilans qui en sont tirés montrent un marquage radiologique très faible, avec une très large majorité de résultats inférieurs aux limites de détection et quelques résultats quantifiables (surtout pour du gibier en zones de rémanence) mais qui restent en-deçà des normes qui seraient en vigueur en cas d'accident. À titre d'exemple, en 2010, le césium 137 n'est quantifié que dans deux échantillons de lait, un de miel, deux de viande bovine

et huit de poissons, à une moyenne de 0,07 Bq/kg, à comparer aux limites réglementaires qui sont à plusieurs centaines de Bq/kg. Seuls certains échantillons de sanglier prélevés dans les zones de rémanence montrent une contamination plus marquée, mais toujours faible, avec un maximum à 50 Bq/kg et une moyenne à 12,43 Bq/kg (pour 7 échantillons sur les 58 prélevés).

L'ensemble des bilans annuels de surveillance de l'alimentation par la DGAL sont consultables à l'adresse suivante : <http://agriculture.gouv.fr/dispositif%20-surveillance%20-controle-securite-sanitaire-aliments-564>



La Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) effectue depuis 1986, date de l'accident de Tchernobyl,

des contrôles réguliers du niveau de contamination radioactive des produits de consommation. Ces contrôles portent principalement sur les denrées alimentaires d'origine végétale. Chaque année, plusieurs centaines d'échantillons sont ainsi prélevés sur le marché intérieur au stade de la commercialisation des produits.

Site Internet : www.economie.gouv.fr/dgccrf



Dans le domaine de l'eau, la Direction générale de la santé (DGS) veille à protéger la population dans les différents usages de

l'eau (eaux potables, eaux de loisirs, eaux chaudes sanitaires, eaux conditionnées, eaux usées...). Dans le cadre du contrôle sanitaire qu'elles assurent en application du code de la santé publique, les Directions départementales des affaires sanitaires et sociales (DDASS, devenues Agences régionales de santé : ARS) exercent, depuis 2005, des contrôles réguliers de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine.

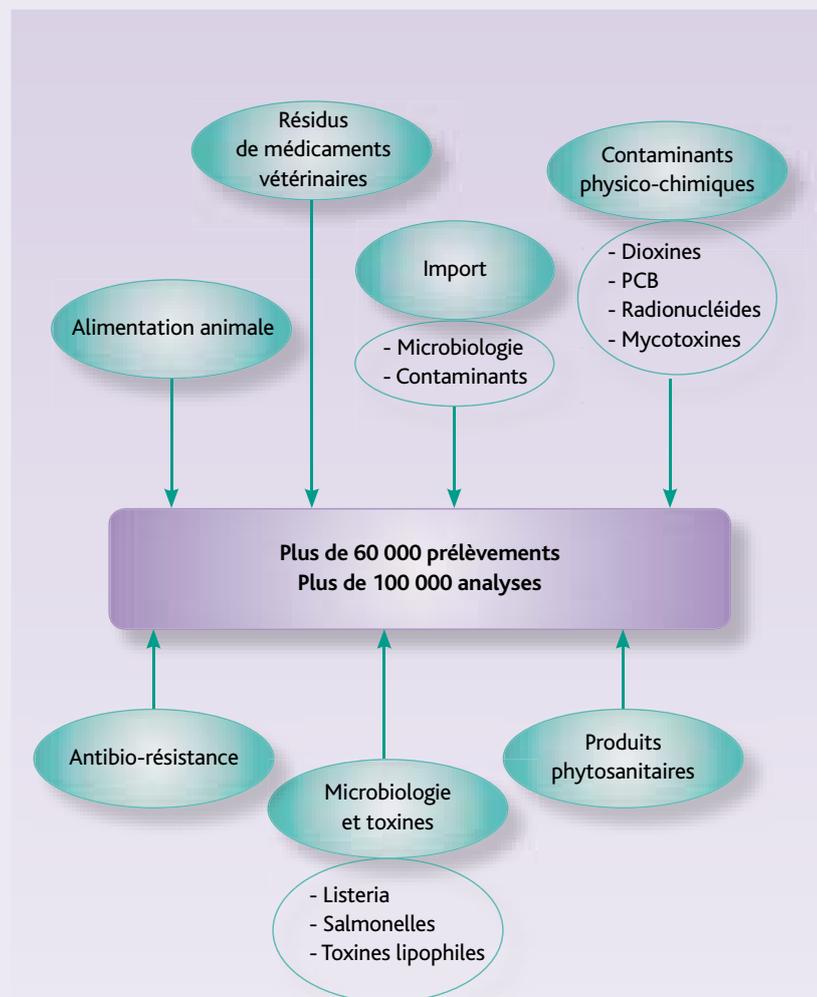
L'Autorité de sûreté nucléaire, la Direction générale de la santé et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ont publié en février 2011 les résultats du deuxième bilan national sur la qualité radiologique de l'eau distribuée dans les réseaux publics. Sur la période 2008-2009, 72 300 analyses ont ainsi été réalisées au captage ou sur les eaux mises en distribution, par les Agences régionales de santé (ARS) dans le cadre de la directive européenne 98/83/CE. Ces contrôles sont basés sur la mesure de quatre indicateurs : le tritium, l'activité des radionucléides émetteurs alpha et bêta et la dose totale indicative (la dose d'exposition aux rayonnements ionisants attribuable à l'ingestion d'eau pendant une année).

En savoir plus

www.mesure-radioactivite.fr/public/IMG/pdf/ASN_DGS_IRSN_Bilan-qualite-radiologique-eau-2008-2009.pdf

Site Internet :

www.sante.gouv.fr/eau-potable.html



■ Figure II.7 - Surveillance des aliments par la DGAL.



Les collectivités territoriales

Certaines collectivités territoriales, notamment des conseils généraux, ont mis en place des réseaux complémentaires de surveillance de l'environnement, indépendants du secteur industriel et des services de l'État, dans les départements où existent des activités nucléaires importantes.

De nombreux conseils généraux, mais également des communes ou communautés d'agglomération font appel à des laboratoires d'analyses pour le contrôle de la radioactivité d'échantillons provenant de différents milieux (eaux, air, alimentation, sols, déchets...).

Si ces mesures de radioactivité sont réalisées en vertu de dispositions législatives ou réglementaires, au titre par exemple du code de la santé publique ou de celui de l'environnement, elles doivent être effectuées par des laboratoires agréés et leurs résultats sont rendus publics sur le site Internet du RNM.

Les associations

En France, différentes associations loi 1901 interviennent également dans le domaine de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Certaines d'entre elles transmettent des données au RNM (ex : Acro).

L'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (Acro) et la Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (Criirad), créées en 1986 au lendemain de l'accident de Tchernobyl, disposent de leurs propres laboratoires de mesure de la radioactivité et diffusent le résultat des contrôles qu'elles effectuent. Ces associations sont sollicitées principalement par des collectivités territoriales, des associations écologistes, des laboratoires et des associations de producteurs et de consommateurs.

Sites Internet :

www.acro.eu.org
www.criirad.org

Les Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA)

exploitent et développent un réseau national de mesures de la qualité physico-chimique de l'air, sous l'égide du ministère chargé de l'Environnement. Le dispositif de surveillance de la qualité de l'air comporte 40 associations

agréées qui constituent le dispositif ATMO. L'Ademe assure une mission de coordination technique de ce dispositif, en liaison avec le ministère chargé de l'Environnement. Quelques AASQA disposent de capteurs dédiés au suivi de la radioactivité dans l'environnement. Cela dépend essentiellement de la présence ou non d'installations nucléaires dans la région. Une dizaine d'AASQA sont ainsi équipées d'une ou plusieurs balises automatiques de mesure en continu de la radioactivité atmosphérique.

Sites Internet :

www.atmo-france.org/fr
www.ademe.fr



En application d'une circulaire du premier ministre du 15 décembre 1981, des Commissions locales d'information (Cli) ont été mises en place dans les années 1980 autour de la plupart des installations nucléaires, à l'initiative des conseils généraux. La loi TSN a conforté l'existence des Cli en leur donnant un statut législatif. Son article 22 prévoit la création d'une Cli auprès de chaque installation nucléaire de base (une Cli pouvant être commune à plusieurs installations proches). La mission des Cli, regroupées au sein de **l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli)**, est une mission générale de suivi, d'information et de concertation en matière de sûreté nucléaire, de radioprotection et d'impact des activités nucléaires sur les personnes et l'environnement. La Cli reçoit les informations nécessaires à sa mission de la part de l'exploitant, de l'ASN et des autres services de l'État. Elle peut faire réaliser des expertises ou faire procéder à des mesures relatives aux rejets de l'installation dans l'environnement.

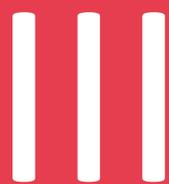
Site Internet : www.anccli.fr



© Noak/Le bar floral/IRSN

Figure II.8 - Prélèvement d'herbe.





ÉVÉNEMENTS ET EXPERTISES PONCTUELLES

III.1 Suivi de l'impact de l'accident de Fukushima en France
(métropole et Drom-Com)

III.2 Pollution accidentelle par du tritium à Saint-Maur-des-Fossés
(Val-de-Marne) et Bondoufle (Essonne)

III.3 Expertises réalisées par l'IRSN sur le site de la société
Orflam-Plast à Pargny-sur-Saulx (Marne)

III.4 Rejets radioactifs liés à des événements naturels

III.1 SUIVI DE L'IMPACT DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA EN FRANCE (MÉTROPOLE ET DROM-COM)

Introduction

Afin de suivre l'impact radiologique en France de l'accident de Fukushima Dai-ichi survenu le 11 mars 2011, l'IRSN avait renforcé la surveillance de la radioactivité de l'environnement en France métropolitaine et dans les Drom-Com. Cette surveillance renforcée avait pour objectif de confirmer et de quantifier la présence attendue dans l'air d'éléments radioactifs sous forme de particules en suspension (aérosols) et d'iode radioactif gazeux (iode 131 notamment), et de suivre leur devenir dans l'environnement et leur impact éventuel sur la chaîne alimentaire (eau de pluie, herbe, légumes-feuilles, lait). Ce renforcement a pu être mené dans de bonnes conditions grâce à la collaboration de nombreux partenaires institutionnels présents sur le territoire.

Par ailleurs, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) avait également demandé aux exploitants d'installations nucléaires de base, qui assurent en permanence une surveillance réglementaire de la radioactivité à proximité de leurs installations, de réaliser des mesures complémentaires destinées à détecter la présence de radionucléides artificiels dans l'air, imputables à l'accident.

Au total, ont été produits, en six semaines :

- plus de 5 700 résultats de mesure par l'IRSN, sur environ 1 400 prélèvements, tous types confondus ;
- plus de 3 000 résultats de mesure par les exploitants nucléaires et les associations.

L'ensemble de ces résultats de surveillance a été analysé par l'IRSN en temps réel et communiqué sur un site Internet dédié. De mars à mai 2011, les autorités et le public ont ainsi pu accéder à une information actualisée (quotidiennement au début puis de façon plus espacée) sur l'état radiologique en France.

À partir de début mai 2011, les concentrations en radionucléides artificiels sont revenues à des niveaux proches des seuils de décision et les plans de surveillance renforcée ont été suspendus.

En parallèle, les exploitants ont poursuivi la surveillance réglementaire qui leur est prescrite et des associations ont également participé à la vigilance en réalisant des campagnes de prélèvements. Ce chapitre tient compte de ces résultats, qui portent essentiellement sur le compartiment terrestre.

Enfin, l'IRSN a publié, fin janvier 2012 sur son site Internet, un rapport détaillé (IRSN-DEI 2011-01) sur l'analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France : http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN_Analyse-impact-Fukushima-France_012012.PDF

Description du plan de surveillance renforcée

Le plan de surveillance renforcée de l'IRSN comprenait la mise en alerte du réseau de surveillance Télecray, la réalisation

de prélèvements spécifiques dans l'environnement, à une fréquence resserrée, et la pose de dosimètres environnementaux en divers points du territoire.

Pour l'installation de certains équipements et la réalisation de prélèvements environnementaux, l'IRSN a sollicité des correspondants locaux de Météo-France, de la Gendarmerie nationale, de certains exploitants nucléaires, ainsi que des services déconcentrés de l'État en métropole (Directions départementales de la protection des populations – DDPP) et dans les Drom (Directions de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt – DAAF), ceci après accord et instruction de la Direction générale de l'alimentation (DGAL).

Les cartes des figures III.1 à III.3 donnent un aperçu d'ensemble de l'implantation du dispositif de surveillance renforcée de l'IRSN, assurant une couverture optimale du territoire pour évaluer l'impact radiologique des masses d'air contaminées par l'accident de Fukushima.

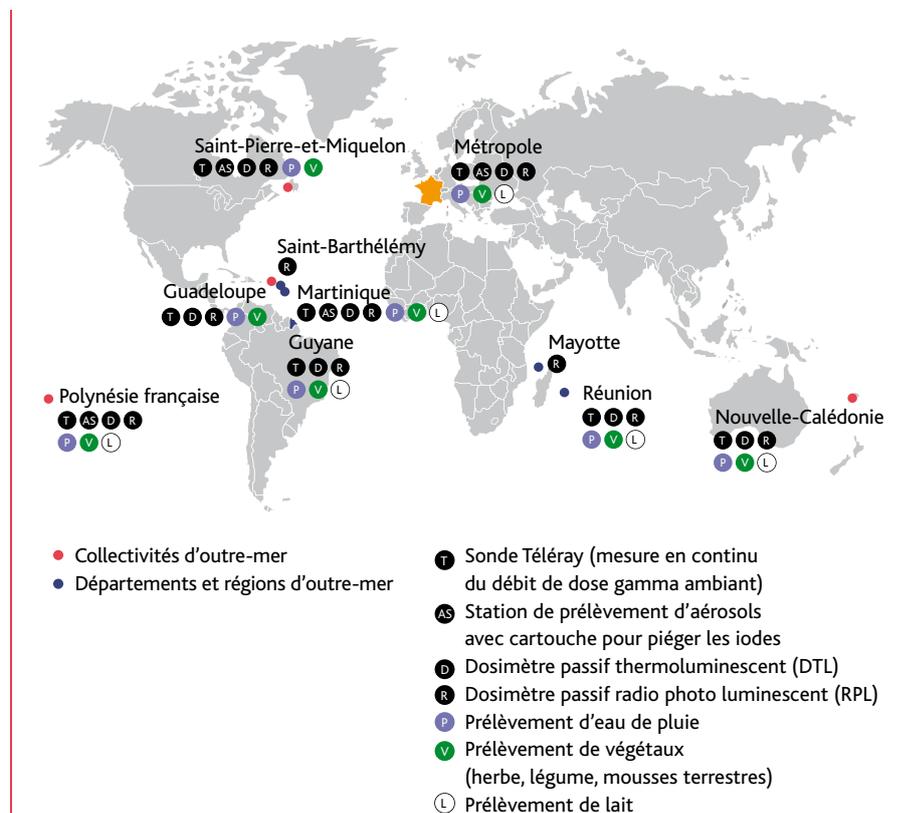


Figure III.1 - Vue d'ensemble des moyens de surveillance IRSN mis en œuvre dans les Drom-Com pour la surveillance de l'impact de l'accident de Fukushima.

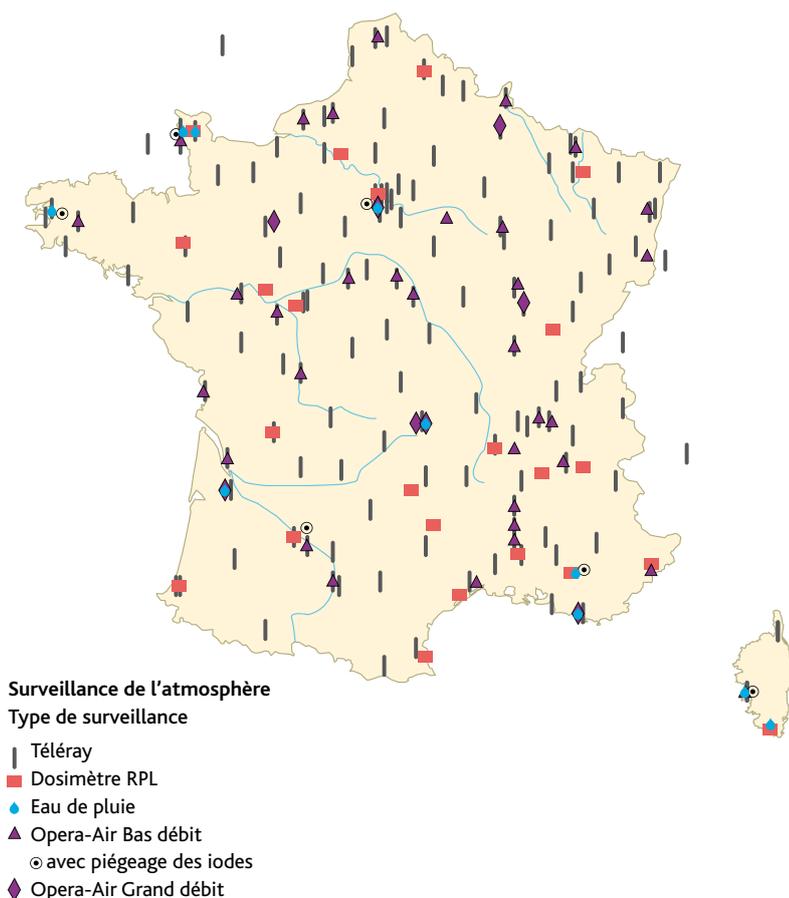


Figure III.2 - Localisation des moyens de surveillance du compartiment atmosphérique mobilisés par l'IRSN dans le cadre du suivi en France métropolitaine des conséquences de l'accident de la centrale de Fukushima Dai-ichi.

Tout au long du suivi de la contamination des masses d'air, le plan de surveillance a été adapté en fonction de l'évolution de la situation au Japon et des résultats obtenus. Les fréquences initiales de prélèvement du lait et des végétaux, qui étaient de deux à trois fois par semaine, ont été progressivement réduites à une fois par semaine pour l'ensemble du territoire. À partir du 25 avril, compte tenu de la tendance généralisée à la baisse des niveaux d'activités mesurés dans l'environnement, le nombre de points de surveillance a également été revu à la baisse.

Le retour à des activités dans l'air identiques à celles mesurées avant l'accident a permis de lever la quasi-totalité du plan spécifique mis en œuvre par l'IRSN à compter du 6 mai. La plupart des dosimètres environnementaux ont été relevés à partir de cette date. À des fins d'études, des prélèvements particuliers, de viande notamment, ont néanmoins été maintenus.

En complément des actions ci-dessus, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé aux exploitants d'installations nucléaires de réaliser des mesures sur des prélèvements atmosphériques, afin de rechercher des traces de radionucléides artificiels imputables à l'accident.



Figure III.3 - Localisation des prélèvements de lait et de végétaux réalisés spécifiquement dans le cadre du suivi en France des conséquences de l'accident de la centrale de Fukushima Dai-ichi par l'IRSN.

Cette surveillance particulière, qui s'ajoutait à la surveillance réglementaire habituelle, comportait :

- **une mesure quotidienne par spectrométrie gamma** effectuée sur le regroupement géographique des filtres de prélèvement d'aérosols, dans le but d'y rechercher des radionucléides artificiels, en visant un seuil de décision¹ inférieur à 0,1 mBq/m³ (pour le césium 137) ;
- **une mesure par spectrométrie gamma des iodes radioactifs gazeux** prélevés sur cartouche de charbon actif, avec une périodicité de 24 à 72 h.

¹ - Le seuil de décision métrologique est la valeur minimale du comptage obtenue lors de la mesure d'un échantillon, au-dessus de laquelle on peut conclure à la présence de radioactivité dans l'échantillon, avec un risque acceptable de se tromper.

Compte tenu de l'évolution de la situation environnementale en France, l'ASN a allégé la demande de surveillance complémentaire auprès des exploitants à compter du 18 avril :

- une mesure hebdomadaire par spectrométrie gamma du regroupement des filtres de prélèvement quotidien des aérosols, en visant un seuil de décision inférieur à 0,01 mBq/m³ pour le césium 137 ;
- une mesure par spectrométrie gamma des iodes gazeux prélevés sur cartouche, avec une périodicité hebdomadaire.

Le 4 mai, l'ASN a demandé aux exploitants nucléaires de mettre fin à cette surveillance complémentaire, qui n'était plus justifiée compte tenu de la diminution constante des niveaux de concentrations en radionucléides artificiels dans l'air.

Au total, 36 sites nucléaires (EDF, Areva, CEA, Andra et ILL) ont contribué à cette surveillance complémentaire (figure III.4).

Aux mesures transmises par les exploitants d'installations nucléaires de base, se sont ajoutées les données transmises par les quatre bases de la Marine nationale (Cherbourg, Brest, l'île Longue et Toulon). Celles-ci ont concerné des données de spectrométrie gamma sur des prélèvements d'aérosols atmosphériques sur filtre, sur des cartouches de piégeage de l'iode gazeux, sur des prélèvements d'eaux de pluie et sur une herbe.

Le centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan a également transmis à l'IRSN ses résultats d'analyse par spectrométrie gamma.

Résultats de la surveillance renforcée de l'atmosphère

Résultats de mesure de l'iode 131 dans les aérosols

En France métropolitaine, tous les résultats de mesure obtenus sur des prélèvements d'air effectués jusqu'au 23 mars étaient inférieurs aux seuils de décision des techniques d'analyse utilisées, comprises entre moins de 0,01 et 0,05 mBq/m³. Des traces d'iode 131 particulière ont été détectées pour la première fois sur un prélèvement d'aérosols effectué du 21 au 24 mars sur une station IRSN à très grand débit, installée au sommet du Puy-de-Dôme, à 1 465 m d'altitude (activité volumique estimée à 0,04 mBq/m³ en rapportant l'activité mesurée à la seule journée du 24 mars). Les autres résultats de mesure obtenus sur des prélèvements quotidiens effectués le 24 mars étaient tous inférieurs aux seuils de décision (neuf stations de l'IRSN et 25 stations des exploitants nucléaires, représentatives de l'ensemble du territoire).

Les résultats des jours suivants ont confirmé la présence généralisée d'iode 131 particulière en France. Les activités volumiques moyennes sur la période de prélèvement ont atteint un maximum en métropole entre le 27 mars et le 9 avril (figure III.5) avec des valeurs atteignant parfois 1 à 2 mBq/m³ dans diverses régions de France. Après cette date, l'activité a décru jusqu'à des niveaux inférieurs à 0,01 mBq/m³ début mai.

Concernant les Drom-Com, de l'iode 131 particulière a été détecté à Fort-de-France sur un prélèvement effectué entre le 24 et le 31 mars (0,21 mBq/m³), ainsi qu'à Saint-Pierre-et-Miquelon sur un prélèvement effectué entre le 25 mars et le 1^{er} avril (0,48 mBq/m³). Des valeurs significatives ont continué d'être observées à Fort-de-France jusqu'au 14 avril (0,15 mBq/m³) et à Saint-Pierre-et-Miquelon jusqu'au 22 avril (0,28 mBq/m³).

Résultats de mesure d'iode 131 sous forme gazeuse piégé par des cartouches à charbon actif

En métropole, tous les résultats de mesure obtenus sur les prélèvements effectués jusqu'au 25 mars ont été inférieurs aux seuils de décision des techniques d'analyse utilisées (figure III.6).

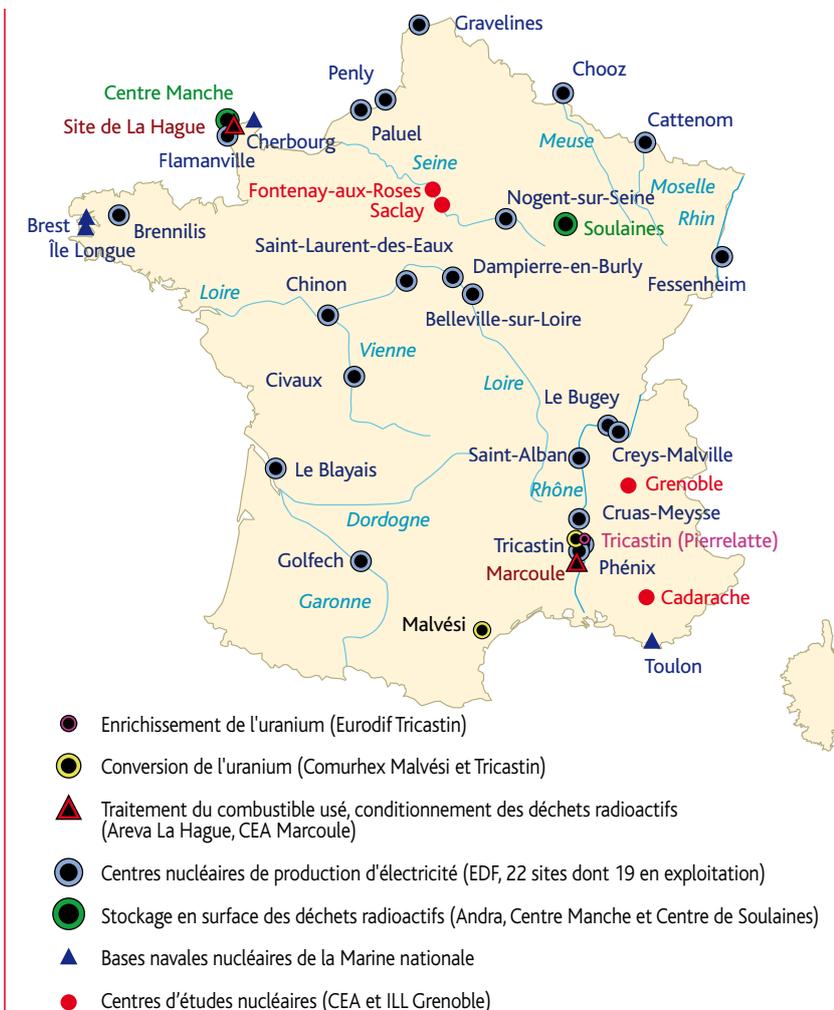


Figure III.4 - Localisation des sites nucléaires ayant contribué à la surveillance complémentaire de la radioactivité de l'air après l'accident de Fukushima.

De l'iode 131 sous forme gazeuse a été détecté pour la première fois sur des prélèvements effectués entre le 24 et le 26 mars à Cherbourg et Cadarache (quelques dixièmes de mBq/m^3). Dans les jours suivants, de nouvelles traces d'iode 131 sous forme gazeuse, à des activités volumiques comprises entre quelques dixièmes et quelques millibecquerels par mètre-cube, ont été détectées sur l'ensemble du territoire métropolitain. Les activités volumiques maximales ont été mesurées sur des prélèvements effectués entre le 28 mars et 8 avril (17 valeurs entre 3 et $7,4 \text{ mBq}/\text{m}^3$). À partir du 25 avril, les activités volumiques mesurées ont été inférieures aux seuils de décision. Les mesures significatives (supérieures au seuil de décision) obtenues en métropole sur l'ensemble de la période de surveillance sont présentées dans le graphique précédent, en affectant les résultats à la date de fin de prélèvement.

Pour les Drom-Com, des activités significatives en iode 131 sous forme gazeuse ont uniquement été mesurées à Saint-Pierre-et-Miquelon, sur un prélèvement réalisé du 26 au 28 mars ($0,81 \text{ mBq}/\text{m}^3$) et sur plusieurs prélèvements de deux jours effectués entre le 1^{er} et le 19 avril (valeurs moyennes comprises entre 0,12 et $4,8 \text{ mBq}/\text{m}^3$).

Comparaison avec les niveaux historiques mesurés en France

En temps normal, il n'y a pas d'iode 131 détectable dans l'air. Seuls des rejets incidents ou accidentels significatifs peuvent conduire à des concentrations mesurables, comme ce fut le cas après l'accident de Tchernobyl en 1986 ou, plus récemment, lors d'un épisode de rejet d'une installation de production de radionucléides à visée pharmaceutique en Hongrie.

À titre de comparaison, les niveaux d'activité en iode 131 mesurés durant la seconde quinzaine de mars et début avril 2011 ont été 1 000 à 10 000 fois plus faibles que ceux mesurés en Europe de l'ouest dans les jours qui ont suivi l'accident de Tchernobyl. Ce constat concerne essentiellement la fraction particulaire de l'iode 131 car, à l'époque, peu de mesures de la fraction gazeuse ont été réalisées.

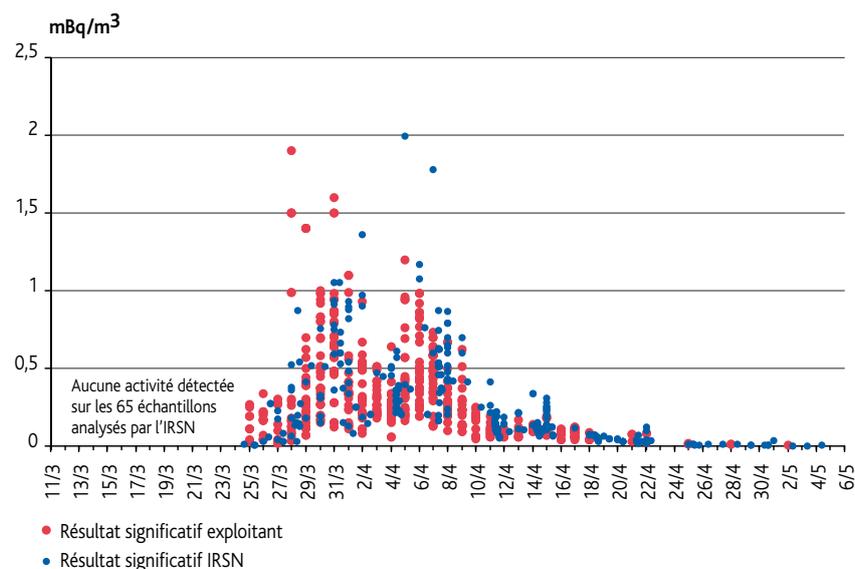


Figure III.5 - Activités volumiques en iode 131 mesurées dans les aérosols en métropole (mBq/m^3).

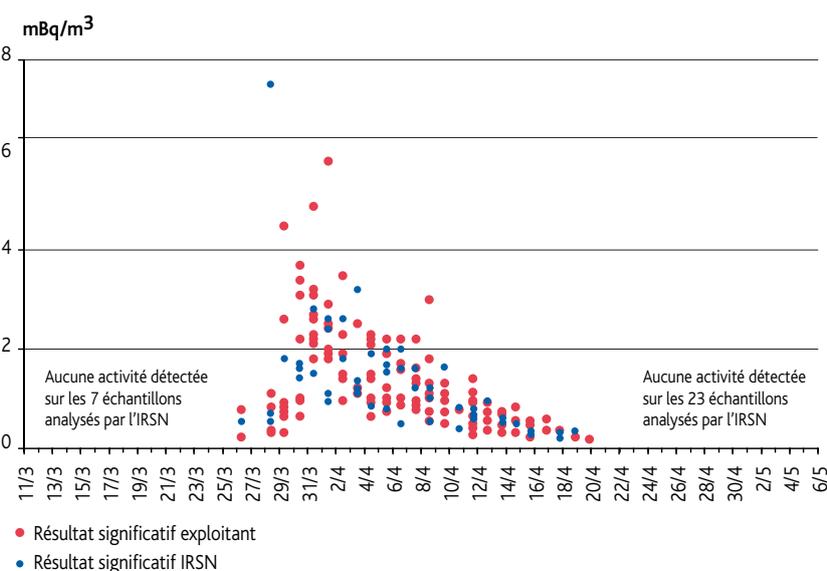


Figure III.6 - Activités volumiques en iode 131 sous forme gazeuse mesurées en métropole (mBq/m^3).

Résultats de mesure de césiums 134 et 137 dans les aérosols

Des traces de césium 134 et de césium 137 ont été mesurées en différents points du territoire à des niveaux environ dix fois plus faibles que ceux de l'iode 131 (figure III.7). Le rapport d'activité entre les isotopes 134 et 137 du césium mesurés dans les aérosols a été calculé proche de 1.

Comparaison avec les niveaux historiques mesurés en France

Le césium 134 n'avait pas été mesuré dans l'air depuis le milieu des années 1990 en raison de sa période de décroissance relativement courte (2,1 ans) entraînant sa disparition rapide. Avant l'accident de Fukushima, le césium 137 était, quant à lui, encore mesurable dans l'air en France, à un niveau de l'ordre de 0,1 à 0,2 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$, au moyen de stations disposant de puissantes turbines de collecte (300 à 700 m^3/h).

Les activités en césium 137 qui ont été mesurées après l'accident de Fukushima ont été 10 000 à 100 000 fois inférieures aux valeurs les plus fortes enregistrées en France dans les jours qui ont suivi l'accident de Tchernobyl et qui correspondaient à une augmentation d'un million de fois la valeur ambiante de l'époque (environ 1 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$). Par ailleurs, les rejets de l'accident de Tchernobyl ont marqué durablement les niveaux d'activité dans l'air car, même si ce niveau a très rapidement décroché dans les jours et les semaines qui ont suivi l'arrivée des masses d'air contaminées en France, du fait du dépôt par les pluies et de l'effet de dispersion, il a fallu attendre une douzaine d'années pour que le niveau de césium 137 revienne à celui des jours précédant l'accident.

Les rejets de césium 137 provoqués par l'accident de Fukushima (moins de 10 % de ceux de l'accident de Tchernobyl) et leur dispersion sur plus de 10 000 km^2 n'ont, quant à eux, conduit à ne multiplier en France que par un facteur 1 000 le niveau ambiant des jours précédant l'accident. Ces quantités ne sont visiblement pas suffisantes pour recharger durablement le stock de césium 137 atmosphérique puisque dès octobre 2011, soit cinq mois après l'accident, le niveau ambiant en césium 137 dans l'air ne représentait déjà plus que le double du niveau mesuré avant l'accident.

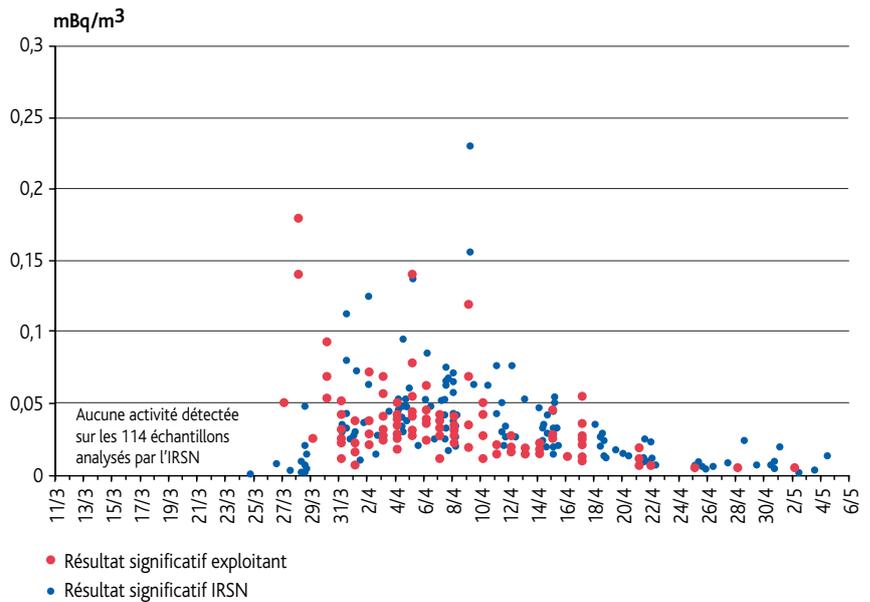


Figure III.7 - Activités volumiques en césium 134 dans l'air mesurées en métropole (mBq/m^3).

Résultats de la surveillance du débit de dose ambiant (réseau téléray)

Afin d'illustrer l'absence de toute élévation significative du débit d'équivalent de dose gamma ambiant, les graphiques de la figure III.8 représentent l'évolution

chronologique de la moyenne régionale du débit de dose, pour les zones Nord, Nord-Est, Nord-Ouest, Centre, Sud-Est et Sud-Ouest de la France. Chaque courbe représente la moyenne des mesures horaires de chacune des sondes appartenant aux régions administratives françaises.

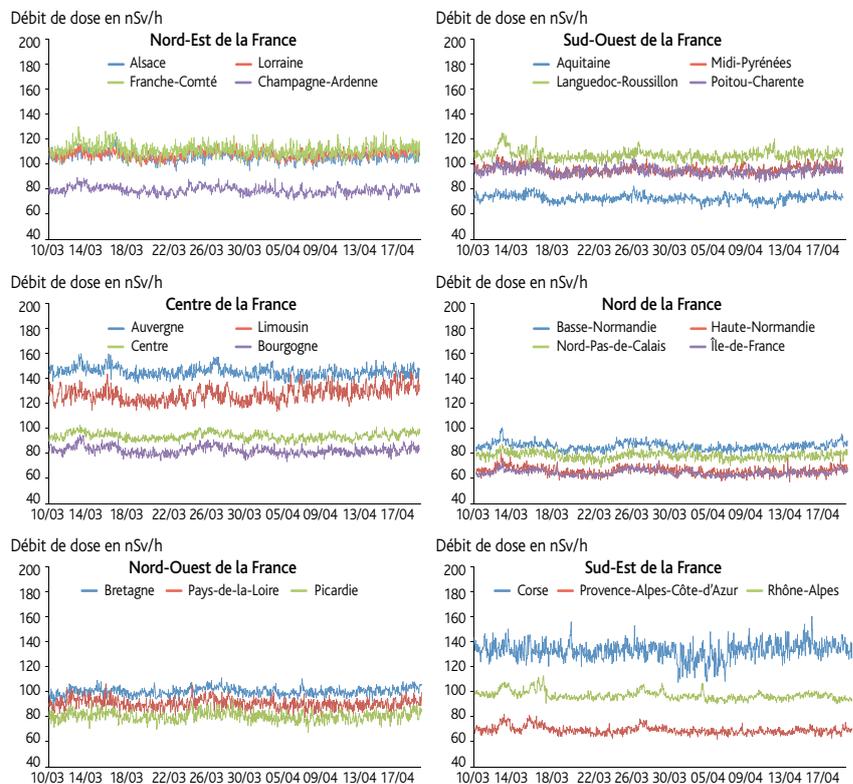


Figure III.8 - Moyennes régionales (par régions administratives françaises) des mesures horaires des sondes Téléray, présentées par grandes zones de la France métropolitaine (nSv/h).

Ces résultats montrent des fluctuations de faible amplitude (de l'ordre de la dizaine de nSv/h), comparables à celles habituellement observées par le réseau Télecay, dues au comportement des radionucléides naturels dans l'air, tels que le radon et ses descendants, lors de variations des conditions météorologiques.

En tout état de cause, les niveaux d'activités en radionucléides artificiels observés en France après l'accident de Fukushima, de l'ordre de quelques mBq/m³ au maximum, ne peuvent pas être à l'origine de ces fluctuations occasionnelles et régionales.

Résultats de la surveillance renforcée du milieu terrestre

La surveillance renforcée du milieu terrestre a principalement porté sur l'analyse de prélèvements de végétaux (herbes, mélange mousses/lichens et légumes à feuilles) et de lait. Dans la restitution qui suit, lorsque les mesures ont été réalisées plus de 15 jours après le prélèvement, les résultats non significatifs (inférieurs aux seuils de décision) obtenus sur les échantillons (herbes, mélange mousses/lichens, légumes à feuilles et laits) ont été écartés et ne sont pas représentés sur les graphiques, en raison de la courte période radioactive de l'iode 131 (8 jours).

Résultats de mesure de l'iode 131 dans l'herbe, les mousses et lichens

226 échantillons de végétaux (herbes, mélange mousse/lichens) ont été analysés spécifiquement par l'IRSN, auxquels s'ajoutent 33 autres échantillons analysés par l'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (Acro) et le Laboratoire départemental d'analyses de la Manche (LDA50). Les exploitants ont également contribué à cette surveillance au travers de leur suivi réglementaire de l'environnement et en effectuant parfois des prélèvements additionnels (figure III.9).

En métropole, les premières traces d'iode 131 ont été mesurées dans un prélèvement d'herbe effectué à Pélussin (42) le 26 mars (0,09 Bq/kg frais). La détection s'est généralisée les jours suivants, à des activités comprises entre 0,29 et 15 Bq/kg frais, avec des niveaux moyens d'activités de l'ordre de

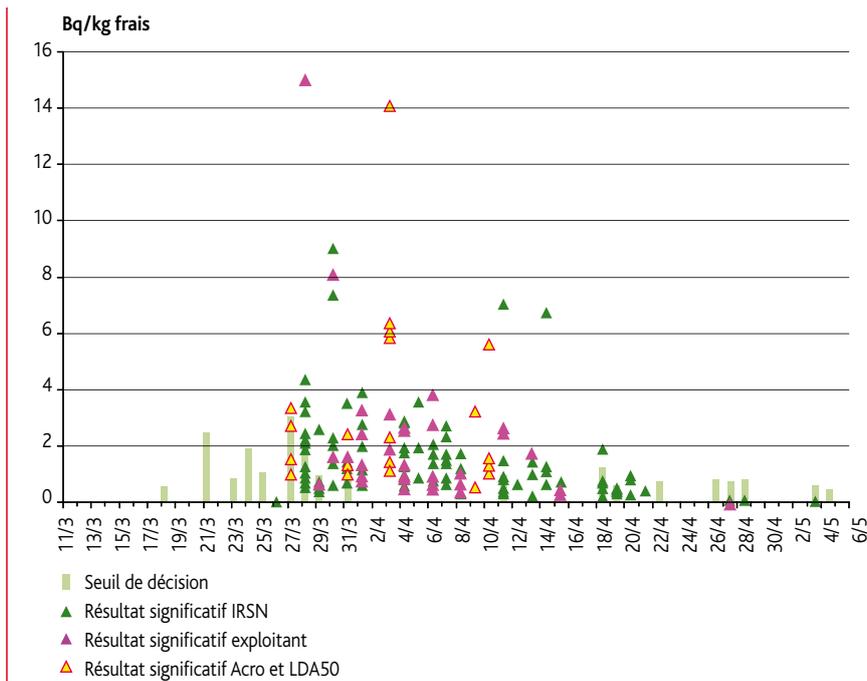


Figure III.9 - Activités en iode 131 mesurées dans l'herbe en métropole par l'IRSN, les exploitants et les associations entre début mars et début mai 2011 (Bq/kg frais).

2,08 Bq/kg frais sur la période allant du 26 mars au 15 avril. L'activité maximale a été observée sur un prélèvement d'herbe du 28 mars réalisé à Gradignan (33).

Après le 15 avril, les activités en iode 131 dans l'herbe montrent une tendance à la baisse. Les valeurs mesurées à partir de début mai ne dépassent pas 0,12 Bq/kg frais et sont très souvent inférieures aux seuils de décision des appareils de mesure.

L'analyse des données acquises en fonction d'un découpage géographique de la France (nord/sud et est/ouest) indique que des activités de même ordre de grandeur ont été observées sur l'ensemble du territoire, avec des fluctuations spatiales et temporelles dues au déplacement des masses d'air. La variation des activités observées peut également être mise en relation avec celle des précipitations à l'origine des dépôts au sol et avec la variabilité des prélèvements. Ces constats ne permettent pas de conclure que certaines régions françaises ont été plus touchées que d'autres, conformément à ce qui était attendu, compte tenu du caractère global de la dispersion des radionucléides rejetés par l'accident de Fukushima.

Dans les Drom-Com, l'analyse d'un prélèvement d'herbe réalisé le 28 mars en Martinique a révélé pour la première fois la présence d'iode 131, à une activité

massique de 0,80 Bq/kg frais. Des traces d'iode 131 ont également été détectées les jours suivants en Guadeloupe sur deux échantillons d'herbe, et sur cinq échantillons de mélanges de mousses et de lichens prélevés à Saint-Pierre-et-Miquelon. L'iode 131 n'a pas été détecté dans les autres Drom-Com, à savoir la Guyane, La Réunion, Tahiti et la Nouvelle-Calédonie.

Résultats de mesure des césiums

43 prélèvements d'herbe réalisés en métropole ont présenté des activités significatives en césium 134 attribuables aux rejets de la centrale accidentée de Fukushima Dai-ichi. Les valeurs fluctuent entre 0,07 et 2,79 Bq/kg frais. Du césium 137, associé ou non au césium 134, a également été mesuré sur plusieurs stations de métropole, à des niveaux d'activités compris entre 0,04 et 4,7 Bq/kg frais, c'est-à-dire à des valeurs souvent observées avant Fukushima, en raison de la persistance de ce radionucléide déposé à la suite des essais nucléaires en atmosphère et de l'accident de Tchernobyl.

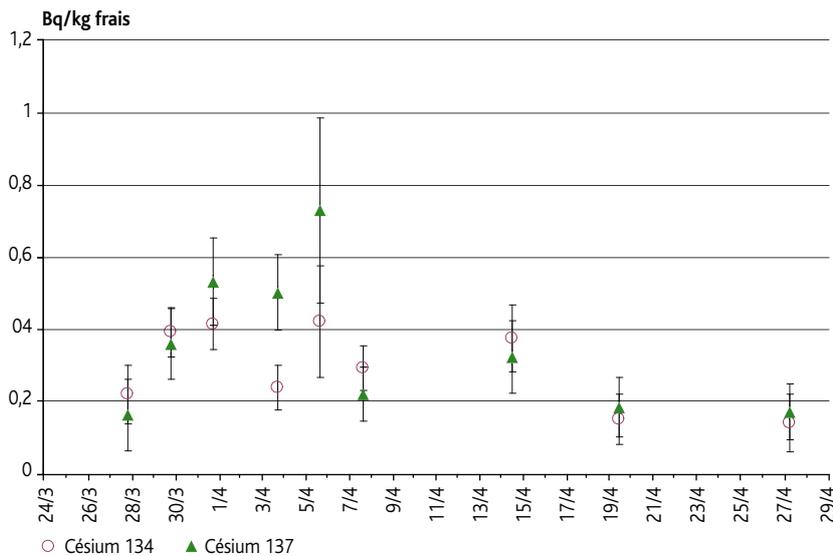


Figure III.10 - Évolution des activités en césiums 134 et 137 mesurées dans l'herbe de Sainte-Colombe-en-Bruilhois (47) en mars et avril 2011 (Bq/kg frais).

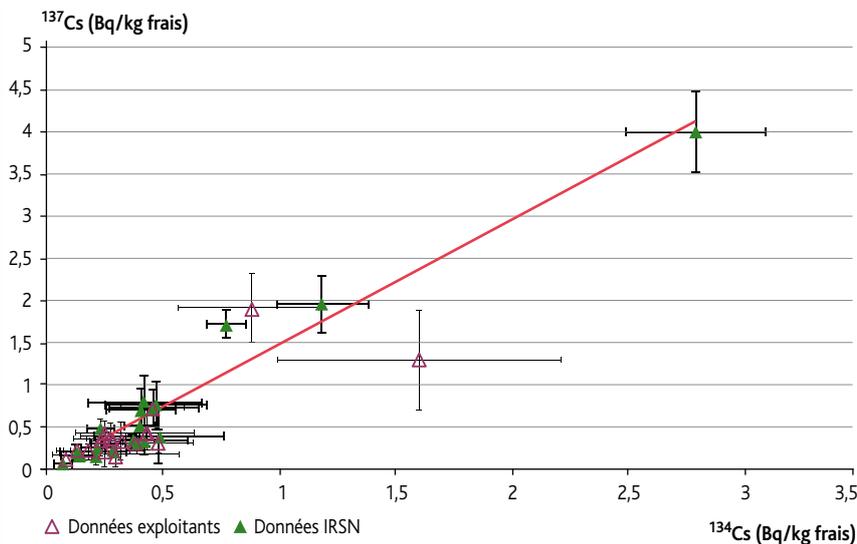


Figure III.11 - Corrélation des activités en césiums 134 et 137 mesurées dans les prélèvements d'herbe effectués entre le 18 mars et le 6 mai 2011.

Globalement, les activités mesurées sont proches d'un lieu à l'autre et, en un même point, l'activité en césium 134 ou en césium 137 est généralement dix fois plus faible que celle en iode 131.

L'évolution de l'activité massique de ces radionucléides dans le temps observée au niveau d'une même station du sud-ouest de la France (47) montre un maximum d'activité dans l'herbe vers le 6 avril (figure III.10).

Le rapport d'activités en césiums 134 et 137 mesurés dans les herbes est proche de 1 (figure III.11).

Dans les Drom-Com, seuls deux prélèvements de végétaux (mélanges de mousses et de lichens) réalisés à Saint-Pierre-et-Miquelon ont présenté conjointement des activités en césiums 134 et 137 significatives, attribuables aux rejets consécutifs à l'accident de Fukushima.

Certains prélèvements de végétaux présentaient des activités significatives uniquement en césium 137, pouvant atteindre une dizaine de Bq/kg frais (13,8 Bq/kg frais sur une mousse terrestre prélevée à Saint-Pierre-et-Miquelon le 29 mars). En l'absence de détection de césium 134, ces activités ne sont pas imputables à l'accident survenu à la centrale de Fukushima. Elles s'expliquent par la persistance dans les sols (ainsi que dans les végétaux poussant sur ces sols) de césium 137 déposé à la suite des essais nucléaires en atmosphère.

Analyses effectuées sur des légumes et aromates

Plus d'une centaine de légumes ont fait l'objet d'un contrôle radiologique en métropole et dans les Drom-Com (légumes à feuilles tels que salades et épinards) et, dans une moindre mesure, d'autres types de légumes et aromates (choux pommés, céleris-raves, carottes et thym).

Les premières traces d'iode 131 (0,14 Bq/kg frais) ont été détectées le 28 mars sur des feuilles d'épinards prélevées dans la commune de Narbonne (11). D'autres valeurs significatives ont été mesurées en métropole par la suite, principalement sur des salades et des épinards prélevés dans le grand quart sud-est de la France. Jusqu'au 19 avril, les activités mesurées ont varié

entre 0,05 et 2,10 Bq/kg frais (*figure III. 12*). Les analyses réalisées après cette date n'indiquent plus d'activité significative en France métropolitaine. À titre de comparaison, après l'accident de Tchernobyl, la gamme d'activités maximales en iode 131 observées en France dans les salades allait de 300 à 3 000 Bq/kg frais en mai 1986.

Le césium 134 n'a été détecté qu'à quatre reprises, dans des épinards prélevés le 4 avril à Tourdan (38) et à Bollène (84), et dans du thym prélevé à Ginasservis (83) et Herqueville (50). Les niveaux d'activités relevés sont faibles et sont compris entre 0,05 et 0,34 Bq/kg frais.

Aucune activité significative en iode 131 ou en césium n'a été mesurée dans les 11 échantillons de salades prélevés en Guadeloupe. Dans les autres Drom-Com, la surveillance radiologique du territoire n'a porté que sur des prélèvements de lait et d'herbe, et sur des échantillons de mousses et lichens pour Saint-Pierre-et-Miquelon.

Analyses de lait

Plus de 200 échantillons de lait (chèvre, brebis, vache) ont été analysés entre le 18 mars et le 5 mai 2011 par l'IRSN, le Laboratoire départemental d'analyses de la Manche (LDA50) et les exploitants.

L'iode 131 a été décelé à partir du 28 mars dans le nord-ouest de la France (0,43 Bq/L dans le lait de chèvre à Sepmes (37) et 0,15 Bq/L dans le lait de vache à Brouzils (85)). Dans les jours qui ont suivi, des activités significatives ont été mesurées sur la plupart des stations de prélèvement du territoire métropolitain, avec des niveaux variant entre 0,05 Bq/L et 3,10 Bq/L. Les valeurs les plus élevées ont été observées dans le lait de chèvre et de brebis, allant de 0,06 à 3,10 Bq/L, alors que la gamme d'activité mesurée dans le lait de vache a été de 0,05 à 0,66 Bq/L.

La baisse des activités a été observée à partir de la mi-avril en métropole. Début mai, seul le lait de chèvre présentait encore des activités significatives, inférieures à 0,2 Bq/L (*figure III. 13*), l'iode n'étant plus quantifiable dans le lait de vache dès le 22 avril. À noter qu'à la suite de l'accident de Tchernobyl en avril 1986, les niveaux d'activités en iode 131 mesurés en France dans les laits prélevés en mai 1986 oscillaient entre 100 et 600 Bq/L.

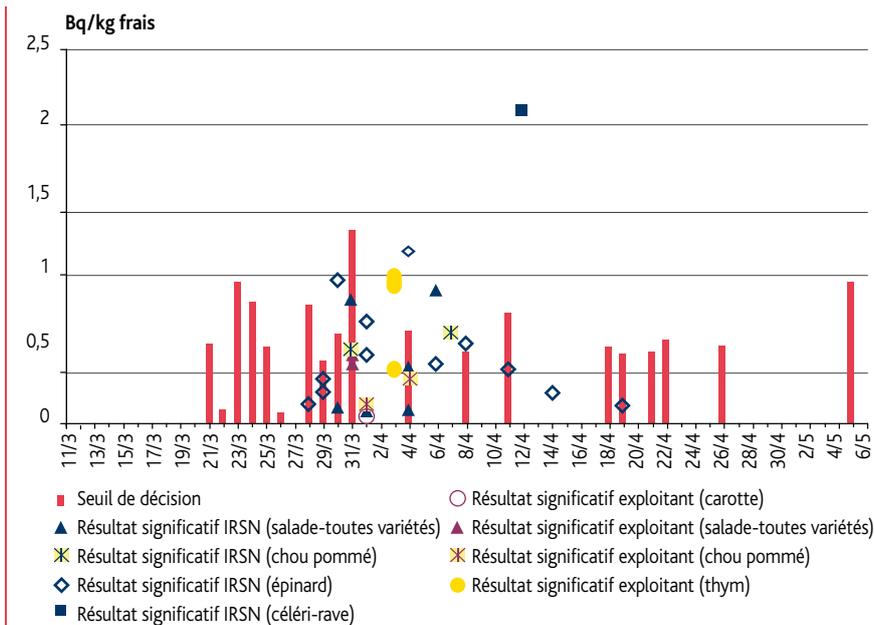


Figure III. 12 - Activités en iode 131 mesurées dans les légumes et les aromates cultivés en métropole entre début mars et début mai 2011 (Bq/kg frais).

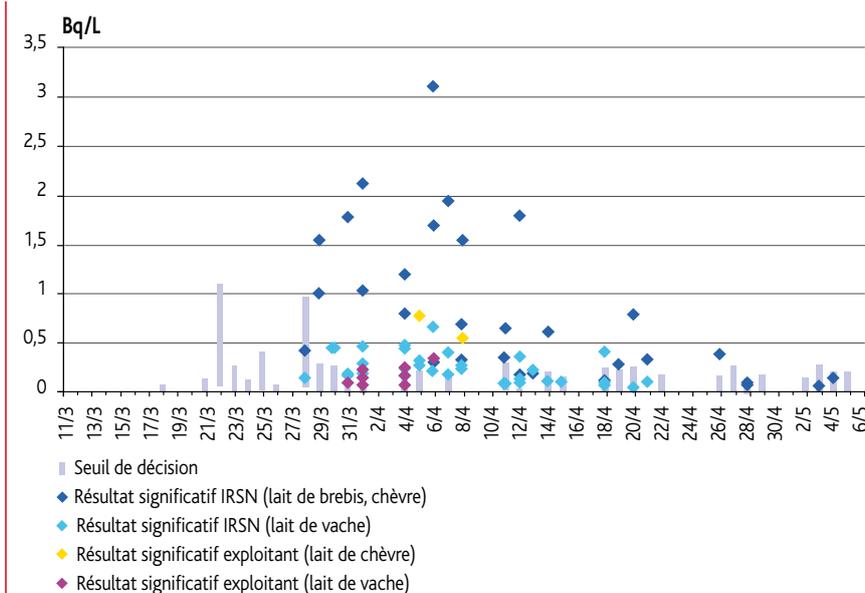


Figure III. 13 - Activités en iode 131 mesurées dans le lait en métropole entre mi-mars et début mai 2011 (Bq/L).

Seuls 3 échantillons ont présenté des activités très faibles en césium 134 (maximum de 0,1 Bq/L sur l'échantillon prélevé à Sepmes le 7 avril 2011). Des traces de césium 137 ont été mesurées dans plusieurs échantillons en raison de la persistance du césium 137 déposé à la suite des essais nucléaires en atmosphère et de l'accident de Tchernobyl.

Concernant les Drom-Com, seuls trois prélèvements de lait de vache réalisés en Guyane ont présenté des activités significatives en iode 131 (maximum 0,27 Bq/L). Aucune activité significative n'a été décelée dans les autres Drom-Com durant cette période.

La surveillance du couvert végétal en France mise en place suite à l'accident de Fukushima

Dès l'annonce de l'arrivée de gaz et de particules radioactifs en provenance du Japon, l'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest (Acro) a organisé un suivi des retombées en France métropolitaine. Des volontaires ont prélevé de l'herbe de façon méthodique et régulière en divers points du territoire national afin de l'analyser. L'objectif était de savoir si la chaîne alimentaire pouvait être affectée (figure III.14).

Une première campagne de prélèvement a été réalisée entre le 27 et le 31 mars 2011 (figure III.15). En raison de la présence d'iode radioactif (iode 131) dans le couvert végétal en certains lieux, une seconde campagne a été organisée une semaine plus tard. Celle-ci a confirmé la présence d'iode 131 sur pratiquement l'ensemble du territoire français à des niveaux supérieurs à ceux mesurés lors de la première campagne. Compte tenu de la situation au

Japon et afin de suivre l'évolution de ces niveaux de contamination, une troisième campagne s'est déroulée du 8 au 13 avril. Durant cette troisième semaine, du césium 134 a été détecté dans le Puy-de-Dôme et en Gironde. Tout comme l'iode radioactif, le césium 134 (et très vraisemblablement le césium 137 associé) provient des rejets de la centrale de Fukushima. Une quatrième campagne a été organisée au mois de mai 2011. Les résultats ne révélaient plus la présence d'iode 131 et du césium 137 était présent sur un seul site.

Pourquoi s'intéresser à l'herbe ?

Le couvert végétal, notamment l'herbe, est concerné au premier plan par les dépôts atmosphériques. Son analyse radiologique par spectrométrie gamma renseigne bien souvent mieux sur la situation globale que l'analyse directe de la masse d'air. Contrôler l'herbe qui sera broutée par les vaches, les brebis..., c'est la possibilité de savoir si la

chaîne alimentaire (la viande et le lait en particulier) pourra être concernée. Contrôler l'herbe, c'est aussi la possibilité d'en savoir plus sur le niveau de contamination éventuel des légumes-feuilles, comme par exemple les salades. En conclusion, organiser un contrôle du couvert végétal, c'est accéder à la connaissance de ce qui est réellement « retombé » et permettre d'estimer préventivement le risque lié à la consommation de divers produits alimentaires.

Quelles mesures de protection ?

Les niveaux de contamination qui ont été mesurés au cours de cette évaluation sont restés faibles, n'appelant pas de mesures de restriction à la consommation. L'Acro a simplement conseillé de laver les légumes-feuilles même si l'efficacité de cette action reste limitée. Toutefois, cette contamination, aussi faible soit-elle, n'est pas normale et ne doit pas être banalisée.



Figure III.14 - Prélèvement d'herbe réalisé par l'Acro dans le cadre de la surveillance du couvert végétal en France mise en place suite à l'accident de Fukushima.

Les prélèvements ont été réalisés par des bénévoles issus des rangs associatifs selon une approche stricte et codifiée pour permettre des analyses fiables. Sur le terrain, un endroit assez éloigné des arbres, haies, maisons a été privilégié. Pour chaque site, la collecte a concerné un nombre d'unités surfaciques suffisant pour couvrir les besoins pour l'analyse. Au sein du laboratoire Acro, les échantillons frais ont fait l'objet d'une analyse qualitative et quantitative par spectrométrie gamma, réalisée le plus rapidement possible.

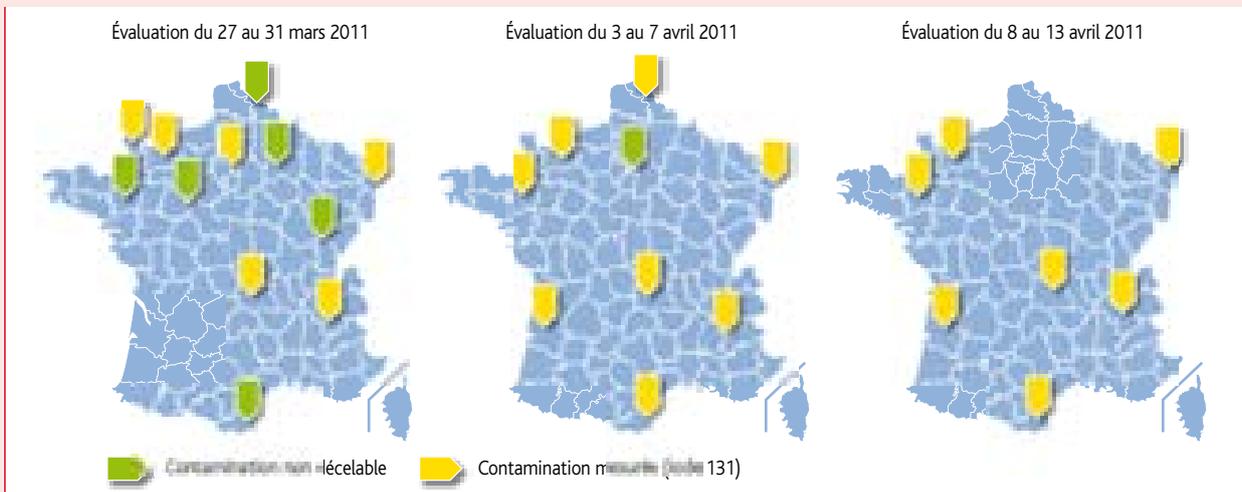


Figure III.15 - Évaluation de la contamination de l'herbe en iode 131 entre le 27 mars et le 13 avril 2011.

III.2 POLLUTION ACCIDENTELLE PAR DU TRITIUM À SAINT-MAUR-DES-FOSSÉS (VAL-DE-MARNE) ET BONDOUFLE (ESSONNE)

Le 3 novembre 2010, le CEA a informé les autorités de sûreté nucléaire qu'un salarié d'une de ses entreprises prestataires (la société 2M Process installée à Saint-Maur-des-Fossés, dans le Val-de-Marne) avait présenté une contamination au tritium, détectée lors d'un dépistage de routine effectué sur le site de Valduc (21). Cette contamination résultait de la présence, dans les locaux de l'entreprise, d'un dispositif expérimental comportant un tamis moléculaire provenant du site du CEA Valduc et qui était supposé, à tort, ne pas contenir de tritium. Cet équipement expérimental avait préalablement été utilisé pour des essais sur le site de la société Études et diffusion à Bondoufle (Essonne).

À la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), l'IRSN est intervenu dès le lendemain à Saint-Maur-des-Fossés pour réaliser une caractérisation initiale de la contamination en tritium dans les locaux de l'entreprise et dans son environnement proche. Les premiers résultats de mesure obtenus montraient l'existence d'une forte contamination des locaux et un net marquage des échantillons prélevés dans l'environnement proche (quelques mètres) de l'entreprise. Ces premiers constats ont conduit l'IRSN à mener de multiples investigations, à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) :

- mesures de tritium sur des échantillons d'eau, d'air et de végétaux prélevés dans l'environnement du bâtiment de l'entreprise, afin de connaître l'importance et l'étendue du marquage de l'environnement et de suivre son évolution au cours du temps ;
- mesures de tritium dans les urines de riverains proches du bâtiment de 2M Process ; les résultats obtenus ont révélé des traces de tritium pour certains d'entre eux mais les évaluations effectuées par l'IRSN à partir de ces résultats ont conduit à des estimations dosimétriques extrêmement faibles, sans conséquence pour la santé de ces personnes ;
- évaluations dosimétriques de l'exposition au

tritium des salariés et visiteurs de l'entreprise de 2M Process sur les sites de Saint-Maur-des-Fossés et de Bondoufle, et la recherche de tritium rémanent dans les locaux de la société Études et diffusion à Bondoufle (91).

La surveillance environnementale menée en 2010 et 2011 par l'IRSN s'est exercée parallèlement aux opérations d'assainissement du bâtiment de 2M Process réalisées par le CEA à partir du 9 novembre 2010. Celles-ci ont été conduites en plusieurs étapes, sous le contrôle de l'ASN et du préfet du Val-de-Marne : retrait des éléments les plus contaminés, sources principales d'émission de tritium (9-10 novembre 2010), évacuation des matériels de l'atelier (30 novembre au 3 décembre 2010), retrait du mobilier et des moquettes (8-10 décembre 2010), nettoyage des surfaces (décembre 2010 et début janvier 2011).

À partir du 16 mars 2011, la surveillance réalisée par l'IRSN a été allégée pour tenir

compte de celle mise en œuvre par le CEA en réponse à l'arrêté préfectoral n° 2010/7819 du 15 décembre 2010. Au titre de cet arrêté, l'IRSN a reçu périodiquement les résultats obtenus par le CEA et a été chargé d'en faire l'interprétation, notamment en les comparant avec ses propres résultats de mesure.

La figure III.16 synthétise l'évolution temporelle des concentrations en tritium dans la vapeur d'eau de l'air dans le bâtiment 2M Process, dans les locaux adjacents à cette entreprise, ainsi que dans la cour de 2M Process entre le 25 novembre 2010 et le 1^{er} février 2012.

On remarque que les niveaux d'activités ont baissé d'un facteur 100 entre mi-novembre 2010 et mi-juillet 2011, en lien avec les différentes opérations de décontamination. Au cours du dernier trimestre 2011, l'activité en tritium du barboteur de l'atelier a diminué d'un facteur 7 (1 410 Bq/m³ le 7 septembre 2011 et 186 Bq/m³ le 1^{er} février 2012).

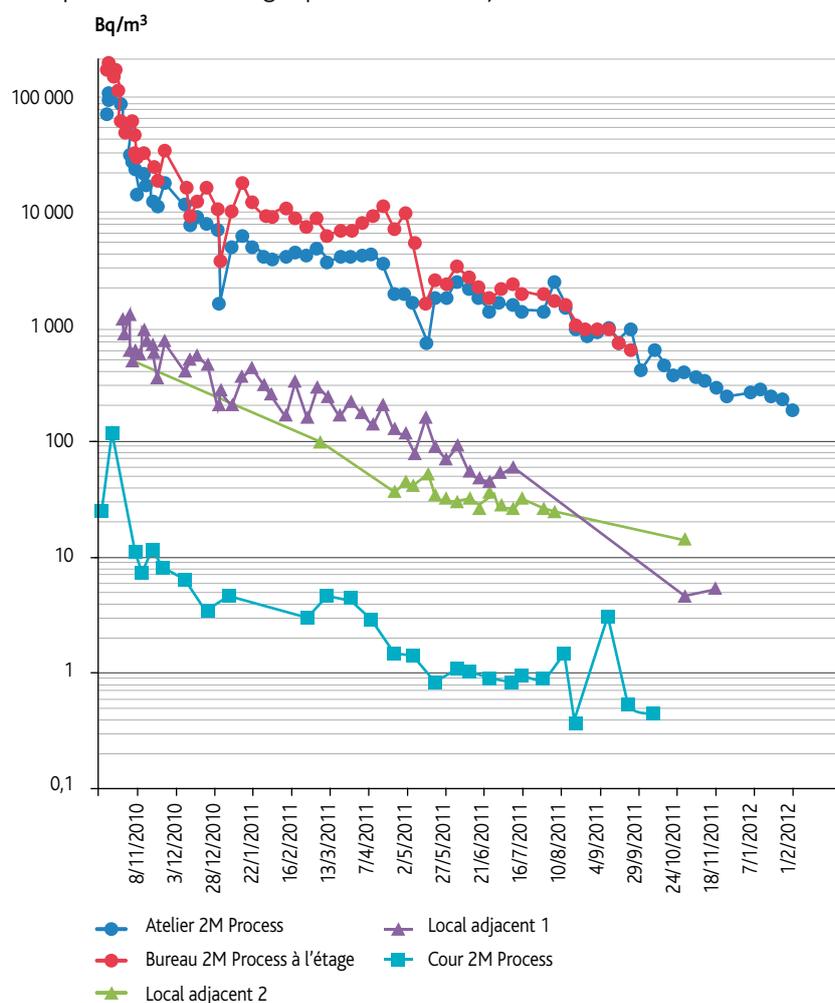


Figure III.16 - Synthèse des activités en tritium dans la vapeur d'eau de l'air mesurées à Saint-Maur-des-Fossés entre novembre 2010 et février 2012 – mesures IRSN et CEA (nb : échelle logarithmique).

Les derniers résultats de mesures réalisées par le CEA et l'IRSN dans la cour de 2M Process confirment la poursuite de la diminution progressive observée depuis le mois de décembre 2010 des niveaux de tritium dans l'air mesurés dans la cour, mais témoignent néanmoins de la persistance d'une émission de tritium par le bâtiment de 2M Process.

Par ailleurs, dans le cadre de la surveillance environnementale, l'IRSN a régulièrement prélevé des échantillons d'eau de pluie dans la cour et d'eau de surface en divers points de la zone surveillée, pour en mesurer l'activité en tritium. Le marquage en tritium observé en novembre 2010 dans ces eaux a diminué progressivement au cours de l'année 2011 jusqu'à atteindre au second semestre 2011 des niveaux difficilement détectables par les techniques d'analyse utilisées. Les derniers résultats obtenus étant inférieurs aux seuils de décision, l'IRSN a décidé d'arrêter à la fin de l'année 2011 la surveillance des eaux au-delà du périmètre de la cour du bâtiment 2M Process.

De la même manière, les feuilles constituant d'excellents indicateurs biologiques (les échanges avec le tritium présent dans l'air (molécules d'eau tritiée) sont rapides, permanents, et permettent de suivre la dynamique d'évolution du tritium dans l'air au cours des jours qui précèdent le prélèvement), l'IRSN a régulièrement effectué des prélèvements de végétaux (principalement des feuilles de lierre à l'extrémité des tiges, mais aussi de laurier) en divers points de la zone surveillée, pour en mesurer le tritium total. À partir du 16 mars 2011, l'IRSN a partagé cette surveillance avec le CEA. Tous les résultats obtenus, incluant ceux des dernières campagnes d'août à décembre 2011, sont disponibles sur le site Internet de l'IRSN, permettant de suivre l'évolution spatiale et temporelle du marquage par le tritium.

La figure III.18 présente l'évolution au cours du temps de l'activité en tritium mesurée entre le 5 novembre 2010 et le 14 décembre 2011 dans des feuilles (ortie, laurier et lierre) prélevées à proximité du bâtiment 2M Process.

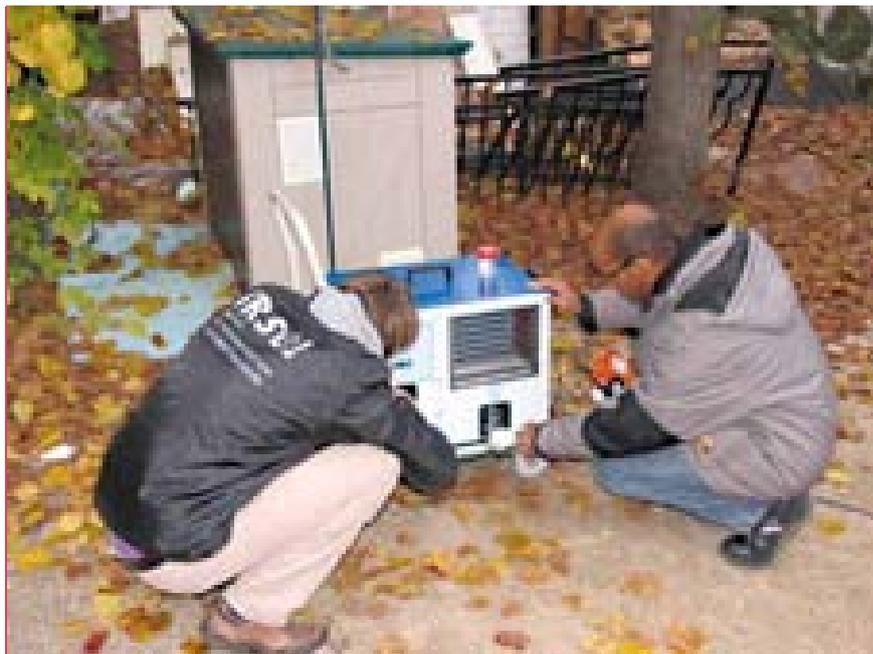


Figure III.17 - Prélèvement de vapeur d'eau dans l'air avec le système H3R-7000 dans la cour de 2M Process.

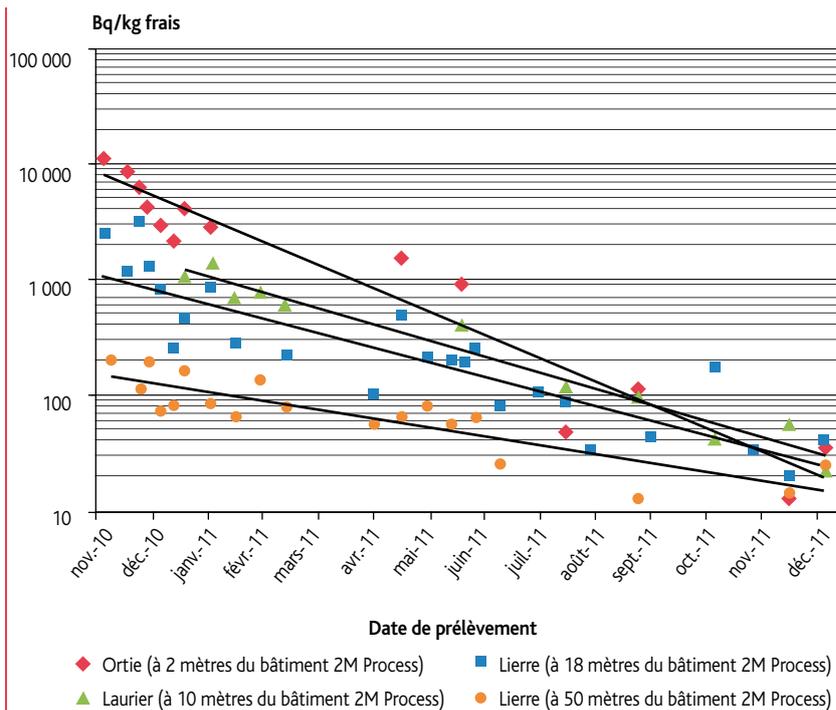


Figure III.18 - Évolution au cours du temps de l'activité en tritium (en Bq/kg frais) mesurée entre le 5 novembre 2010 et le 14 décembre 2011 dans des feuilles (ortie, laurier et lierre) prélevées à proximité du bâtiment 2M Process (nb : échelle logarithmique).

Les activités en tritium les plus élevées ont été observées dans les feuilles de végétaux prélevées à moins d'une dizaine de mètres du bâtiment, principalement dans la cour de 2M Process. Au fil du temps, une diminution lente mais constante de l'activité en tritium dans les feuilles a été constatée. De plusieurs milliers de Bq/kg frais en novembre et décembre 2010 dans les végétaux situés à 2 m du bâtiment, l'activité en tritium est inférieure à 50 Bq/kg frais depuis le dernier trimestre 2011. Au-delà de la cour, dans un rayon d'une cinquantaine de mètres autour du bâtiment de 2M Process, l'activité en tritium dans les feuilles est encore aujourd'hui mesurable mais souvent proche ou inférieure aux seuils de décision (30 Bq/kg frais pour le dernier trimestre 2011). Enfin, au-delà d'une cinquantaine de mètres, le niveau de tritium dans les végétaux se situe systématiquement en-dessous des seuils de décision des appareils de mesure, confirmant la rapide atténuation en s'éloignant du site de 2M Process, déjà observée pour les eaux de surface.

Les valeurs comprises entre 30 et 100 Bq/kg frais ne sont actuellement observées que dans la zone des 50 m, au plus près du site. Ces résultats indiquent clairement une influence des rejets de tritium émis par le bâtiment 2M Process, qui s'atténue rapidement en s'éloignant de ce site. Dans l'absolu, ce sont des valeurs négligeables en termes de risque radiologique pour la santé humaine. En conséquence, l'IRSN a décidé à la fin de l'année 2011 d'arrêter les prélèvements de végétaux au-delà d'un périmètre de 50 m du bâtiment contaminé.

Avec plus de 350 résultats de mesure acquis au cours de 24 campagnes de prélèvement, l'IRSN a pu disposer d'une connaissance précise de l'évolution spatiale et temporelle du tritium dans les locaux et dans l'environnement proche du site 2M Process. Les derniers résultats de mesure obtenus dans le cadre de la surveillance environnementale effectuée par l'IRSN et le CEA autour du site confirment les principales observations antérieures :

- **le tritium dans les végétaux (feuilles) et les eaux** prélevés dans l'environnement n'est plus mesurable qu'à proximité immédiate du site. Sa concentration diminue rapidement en s'éloignant du site, au point de devenir indétectable par les méthodes d'analyse utilisées, au-delà d'une cinquantaine de mètres ;

- **la baisse générale des activités en tritium** se confirme également dans l'air et les végétaux prélevés dans la cour du bâtiment 2M Process. Cette tendance peut être corrélée à celle observée à partir des mesures réalisées par le CEA à l'intérieur du bâtiment 2M Process, toujours en cours de décontamination.

L'ensemble des résultats obtenus dans l'environnement, s'ils démontrent incontestablement la persistance au début de l'année 2012 d'un faible marquage environnemental provoqué par les rejets de tritium du bâtiment de 2M Process, ne sont pas de nature à remettre en cause l'évaluation des doses reçues par les riverains les plus proches du bâtiment (*voir le dossier sur le site Internet de l'IRSN*). Compte tenu de la persistance d'un marquage observable dans l'environnement et du plan de surveillance de l'environnement mis en œuvre par le CEA, l'IRSN a décidé de poursuivre au premier semestre 2012 une surveillance allégée, à un rythme trimestriel, dans l'environnement proche du bâtiment 2M Process.

Tous les résultats de mesure du tritium, d'une part dans les eaux de surface et eaux de pluie, d'autre part dans les végétaux, sont restitués sur des supports cartographiques consultables sur le site Internet de l'IRSN (www.irsn.fr).

Pour en savoir plus et consulter la dernière note d'information publiée par l'IRSN : http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20120222_contamination-tritium-st-maur_resultats-mesures-environnement.aspx

III.3 EXPERTISES RÉALISÉES PAR L'IRSN SUR LE SITE DE LA SOCIÉTÉ ORFLAM-PLAST À PARGNY-SUR-SAULX (MARNE)

L'IRSN mène régulièrement, en appui aux services de l'État, des études particulières sur des sites sur lesquels des matières radioactives ont été utilisées ou stockées, et où il persiste encore aujourd'hui un niveau de radioactivité supérieur au bruit de fond radiologique naturel. Ce sont généralement d'anciens sites industriels qui ont généré des résidus de procédés de fabrication ou d'anciens laboratoires de recherche. L'Institut intervient dans ce cadre pour rechercher les sources de contamination et évaluer les risques pour l'environnement et les personnes. Ces expertises font régulièrement l'objet de rapports adressés aux autorités. Voici une synthèse sur la poursuite des expertises conduites par l'Institut en 2010 sur la commune de Pargny-sur-Saulx (Marne) où se trouvait l'ancienne société Orflam-Plast.

La société Orflam-Plast, implantée à Pargny-sur-Saulx, dans la Marne, a fabriqué de 1932 à 1967 des pierres à briquet à partir du cérium extrait du minerai de monazite. Son procédé d'extraction chimique a entraîné une production importante de résidus solides à base de sel de thorium, qui ont été utilisés comme remblais et disséminés autour de l'usine.

Depuis 2009, de nombreux diagnostics radiologiques ont été effectués par l'IRSN à la demande de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), sur des zones suspectées d'être polluées par des dépôts de résidus d'exploitation (*cf. bilan radiologique 2009 de l'IRSN, pp. 151-152*).

En juillet 2010, l'Andra a sollicité l'IRSN pour réaliser de nouvelles investigations radiologiques dans l'environnement de l'usine. Ces contrôles ont permis de mettre en évidence la présence de deux nouvelles zones contaminées :

- **La première se situe sur la propriété de l'ancien chimiste** de l'usine où quatre zones d'intérêt, de surface limitée, ont été identifiées avec un débit d'équivalent de dose à 50 cm variant entre 100 et 700 nSv/h (soit plus de dix fois la valeur du bruit de fond relevé sur la commune). L'analyse de l'échantillon de terre prélevé sur la zone la plus polluée a confirmé la présence des descendants de la famille du ^{232}Th , en particulier l' ^{228}Ac , premier descendant de la famille du ^{232}Th . L'activité massique mesurée pour cet élément est de 2 300 Bq/kg, soit plus de 75 fois la valeur que l'on trouve dans un sol de la région de la Marne.
- **La deuxième zone se situe au bord de la Saulx** où une zone d'intérêt a été mise en évidence avec un débit d'équivalent de dose à 50 cm compris entre 120 et 315 nSv/h. Par ailleurs, un fût vide contaminé a été retrouvé dans la Saulx.

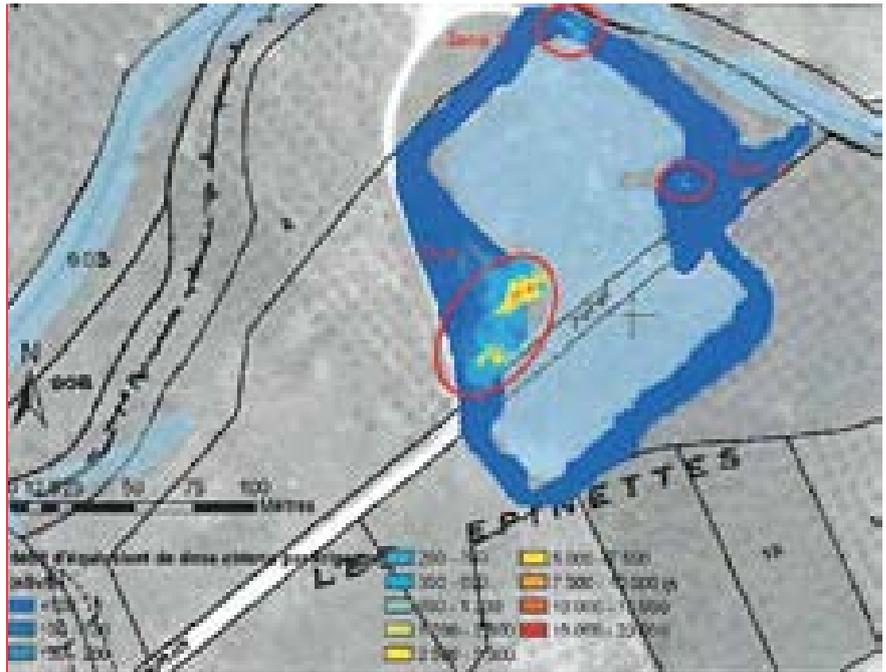


Figure III.19 - Cartographie initiale des berges de l'étang de la Gravière, identification des trois zones d'intérêt sur lesquelles les travaux d'assainissement ont été opérés.

Les conclusions de ces expertises ont été remises à l'Andra qui assure la maîtrise d'ouvrage des travaux à réaliser sur le site Orflam-Plast et la mise en sécurité des zones contaminées en dehors du site.

Par ailleurs, de mi-juin à mi-juillet 2010, l'Andra a fait procéder aux travaux de réhabilitation des berges de l'étang de la Gravière. La figure III.19 représente la cartographie radiologique de surface obtenue lors du contrôle initial en avril 2009. Les trois zones d'intérêt matérialisées par un périmètre rouge sont celles ayant fait l'objet des travaux.

La terre polluée a été retirée jusqu'à plusieurs mètres de profondeur et remplacée par de l'argile et de la terre végétale. Le critère retenu pour l'assainissement des zones concernées est un débit d'équivalent de dose mesuré de 200 nSv/h. Ce critère permettra une réutilisation du site sans contrainte pour les pêcheurs ou les promeneurs.

À la demande de l'Andra, l'IRSN a réalisé le contrôle radiologique final après les travaux d'assainissement. Aucune notion de distance n'ayant été associée à la valeur de débit d'équivalent de dose, l'IRSN a retenu une distance de mesure à 50 cm, comme le veut la règle de l'art dans le domaine.

Une cartographie radiologique de surface a été réalisée avec le dispositif mobile Socrate de l'IRSN (figure III.20).

La comparaison des cartographies avant et après travaux (figures III.19 et III.20) a confirmé l'efficacité de ces derniers puisque, sur aucune des trois zones, il ne subsiste de

valeur de débit d'équivalent de dose supérieure à 400 nSv/h.

Cependant, ce contrôle a montré l'existence de quatre taches peu étendues, présentant des valeurs supérieures au critère retenu (200 nSv/h).

Des travaux complémentaires ont donc été nécessaires sur ces quatre zones d'intérêt (matérialisées par un périmètre noir sur la figure III.20), permettant cette fois-ci de répondre aux critères d'assainissement fixés.

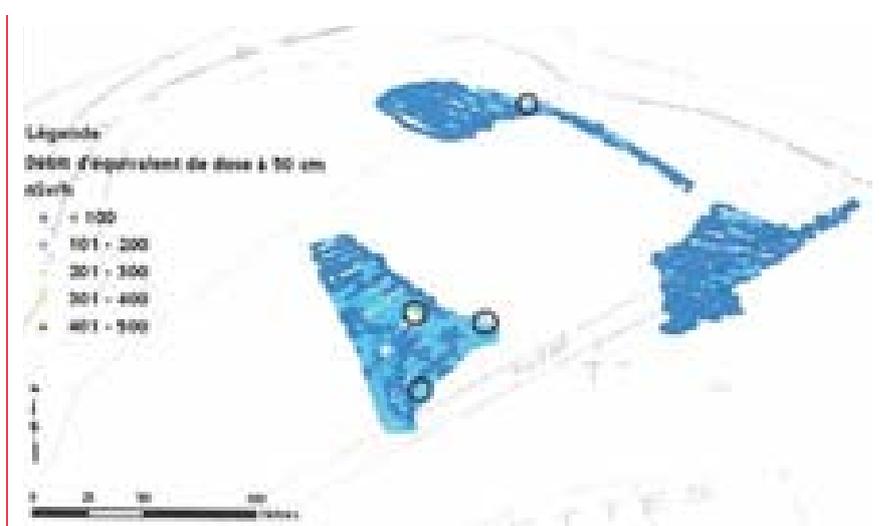


Figure III.20 - Cartographie radiologique de surface des berges de l'étang de la Gravière après les premiers travaux de réhabilitation. Les zones encerclées en noir présentaient des débits d'équivalent de dose supérieurs à 260 nSv/h.

III.4 REJETS RADIOACTIFS LIÉS À DES ÉVÉNEMENTS NATURELS

À l'échelle de l'Europe, l'année 2010 a été marquée par deux événements naturels ayant en commun le rejet dans l'atmosphère de cendres radioactives avec toutefois des différences notables sur la nature des particules, l'origine de cette radioactivité et les concentrations mises en jeu. Le premier de ces événements est lié à l'éruption du volcan Eyjafjöll en Islande entre la mi-avril et la mi-mai et le second concerne la période des incendies qui ont sévi dans l'ouest de la Russie principalement au cours de la première quinzaine du mois d'août 2010.

Incendies de forêt dans les territoires contaminés par l'accident de Tchernobyl

Les nombreux incendies de forêt dans l'ouest de la Russie durant l'été 2010 (figure III.21) qui ont résulté de conditions caniculaires, ont conduit l'IRSN à s'interroger sur l'impact environnemental des feux dans les zones contaminées par les retombées de l'accident de Tchernobyl et notamment les possibilités de redistribution de radioactivité artificielle à longue distance.

En concertation avec Météo-France, l'IRSN a suivi l'évolution des masses d'air et a sélectionné une dizaine de stations de collecte d'aérosols de son réseau de surveillance atmosphérique Opera-Air, devant faire l'objet de mesures prioritaires. La situation météorologique, et notamment l'origine océanique des masses d'air, n'a pas permis aux panaches de cendres de se diriger vers l'Europe de l'Ouest. Les valeurs mesurées se sont inscrites parmi les plus basses habituellement mesurées et sont caractéristiques de masses d'air océaniques. Ces résultats s'expliquent par le régime de vent d'ouest qui a prévalu durant cette période sur l'Europe de l'Ouest et par le fait que les quelques poussées anticycloniques n'ont pas été suffisamment puissantes pour changer le régime général des vents.

Une fiche d'information sur le suivi de ce phénomène est accessible sur le site de l'IRSN à l'adresse : http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualit_Pages/20100831_resultats-analyse-IRSN-feux-de-forets-russie.aspx

En savoir plus

La multiplication des incendies de forêt s'était déjà produite notamment en Ukraine, Biélorussie et Russie entre mi-août et début septembre 2002. Au cours de cette période, une advection momentanée des masses d'air vers l'ouest de l'Europe avait entraîné une augmentation (d'un facteur quatre au maximum) du bruit de fond résiduel en ^{137}Cs dans l'air. Le césium 137, radionucléide artificiel présent uniquement sous forme

d'aérosol dans l'atmosphère, fait l'objet d'un suivi depuis la fin des années 1950 grâce aux stations de filtration du réseau Opera-Air. Il persiste depuis plusieurs années à un niveau d'ultra-traces (environ $0,2 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ d'air)² dans les basses couches de l'atmosphère. Cette rémanence atmosphérique est essentiellement due à la remise en suspension par le vent de particules de sols présentant des traces des dépôts antérieurs en ^{137}Cs . Au cours de leur croissance, les végétaux pompent une fraction très faible (facteur de transfert de l'ordre de $10^{-3} \text{m}^2/\text{kg}$) de l'activité en ^{137}Cs présente dans les sols, par transfert racinaire.

Les études réalisées à l'IRSN montrent qu'environ 8 % de l'activité en ^{137}Cs présente dans le bois est émise dans l'atmosphère durant sa combustion. De ce fait, la combustion de biomasse, notamment l'hiver, participe également au maintien d'un niveau résiduel. Dans tous les cas, les niveaux dans l'air sont si faibles qu'il est nécessaire de filtrer de l'ordre de 30 à 50 000 m^3 d'air par échantillon pour pouvoir y quantifier le ^{137}Cs . En conclusion, les incendies de l'été 2010 à l'est de l'Europe n'auront eu ni impact radiologique environnemental ni *a fortiori* sanitaire sur la France. Il en a été de même dans d'autres pays qui ont suivi avec attention cet épisode, comme la Finlande.

² $2 - 1 \mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3} = 1$ millionième de Becquerel par m^3 d'air équivaut à la désintégration d'un atome radioactif par seconde dans un volume d'un million de m^3 d'air.

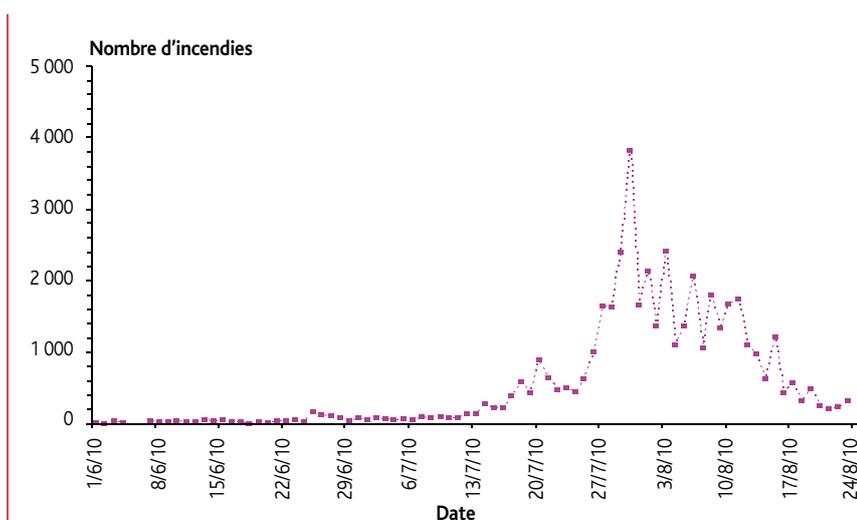


Figure III.21 - Évolution du nombre quotidien d'incendies en Ukraine, Biélorussie et dans la partie ouest de la Russie entre début juin et fin août 2010.

Source des données : FIRMS Global Fire Alerts - UN-FAO/UMD/NASA



Figure III.22 - Environ 8 % de l'activité en ^{137}Cs présente dans le bois est émise dans l'atmosphère durant sa combustion.

Impact du nuage de cendres lié à l'éruption volcanique du volcan islandais Eyjafjöll

Entre le 14 et le 16 avril 2010, environ 70 à 80 millions de m³ de tephra³ auraient été éjectés dans l'atmosphère par le volcan islandais (figure III.23). Compte tenu des teneurs en uranium (~ 2 ppm) et en thorium naturellement présentes dans le magma et des quantités de cendres rejetées, on peut estimer que le volcan a rejeté en trois jours environ 400 tonnes d'uranium, et 1 300 tonnes de thorium pour un rapport thorium/uranium égal à 3,3 soit un terme source de 20 TBq⁴ d'uranium et 16 TBq de thorium.

L'essentiel de ce volume s'est déposé sur les flancs mêmes du volcan et sur les terres avoisinantes. Le reste a été transporté en altitude et dispersé à distance de l'Islande, sur l'Atlantique Nord et l'Europe.

Au niveau de la France, le panache est resté principalement à une altitude comprise entre 500-1 000 m et 3 000 m. Le niveau de concentration volumique mesuré dans l'air au sol correspond à environ 1 µBq/m³ pour l'uranium 238 et 0,8 µBq/m³ pour le thorium 232. Ces résultats peuvent être comparés au niveau de plomb 210 (chaîne de désintégration de l'uranium 238), présent en permanence dans l'air et à un niveau moyen annuel en France de l'ordre de 500 µBq/m³ (pour une variation annuelle comprise entre 100 et 1 600 µBq/m³). Les niveaux de polonium 210 dans les eaux de pluie ayant lessivé l'atmosphère au cours du mois d'avril sont compris entre 7 et 62 mBq/L (données IRSN). Ces niveaux sont normaux et cohérents avec les activités mesurées dans l'air.

En savoir plus

Dans le cadre de sa mission de surveillance de la radioactivité, l'IRSN a porté une attention toute particulière au suivi du panache de cendres volcaniques qui a survolé la France entre le 15 et le 21 avril 2010, essentiellement dans son tiers septentrional. Des mesures en polonium 210 (traceur spécifique des panaches volcaniques) ont notamment été réalisées, ainsi qu'en plomb 210, en tant que descendants de la

chaîne de l'uranium 238. Les éruptions volcaniques sont considérées comme responsables pour près de 50 % des concentrations en polonium 210 dans les basses couches de l'atmosphère (< 6 km), où sa teneur moyenne dans l'air est d'environ 50 µBq/m³. Les stations de collecte d'aérosol du réseau Opera-Air utilisées en routine pour la surveillance de la radioactivité de l'atmosphère (figure III.24) n'ont pas révélé d'anomalies qui auraient permis d'avérer la présence de poussières volcaniques en quantités mesurables et significativement supérieures à cette valeur de référence, au niveau du sol en France.

Dans le même temps, les réseaux de Lidar⁵ déployés entre la France et la Suisse notamment, ont permis de montrer que l'essentiel du nuage avait survolé le nord de la France à une altitude comprise 500 et 1 500 à 2 000 m. En raison de la dilution des masses d'air, de l'altitude de transport des cendres, de leurs

relativement faibles teneurs en uranium et en thorium à l'origine, les résultats de mesures s'inscrivent dans les plages de variations habituellement constatées.

Cet épisode a notamment eu pour conséquence l'interdiction temporaire d'une bonne partie du trafic aérien sur l'Europe mais a également conduit *in fine* à établir différents seuils de concentrations en particules (seuil de vigilance à 200 µg/m³ ou de risque d'endommagement des moteurs à partir de 2 mg/m³). À titre de comparaison, le niveau de concentrations au sol n'a pas dépassé quelques dizaines de µg/m³, soit dans une gamme de valeurs habituelles caractéristiques d'un épisode de pollution urbaine.

Une fiche d'information sur cet épisode spécifique est accessible sur le site de l'IRSN à l'adresse : http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20100610_Nuage_cendres_volcan_islandais_Eyjafjoll.aspx

5 – Light Detection and Ranging. Appareil de mesure optique utilisant un faisceau laser pour déterminer, après réflexion du signal incident, les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère.



■ Figure III.23 - Panache éruptif de l'Eyjafjöll.

3 – Ensemble de matières solides et liquides, provenant du magma et des roches de la cheminée volcanique, entraînées par les gaz et éjectées avec eux lors des éruptions volcaniques ; données estimées par le BRGM.

4 – 1 TBq = 10¹² Becquerels



■ **Figure III.24** - Station de collecte d'aérosol à très haut débit ($700 \text{ m}^3/\text{h}$) du réseau Opera-Air de l'IRSN (site du Puy-de-Dôme).





© Laurent Zylberman/Graphix-Images/IRSN

IV

LA SURVEILLANCE DU TERRITOIRE FRANÇAIS MÉTROPOLITAIN ET OUTRE-MER

- IV.1 Le compartiment atmosphérique
- IV.2 Le milieu continental
- IV.3 Le milieu marin et littoral
- IV.4 Les constats radiologiques régionaux
- IV.5 La surveillance radiologique outre-mer

IV.1 LE COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

La dose dans l'air

La mesure du débit d'équivalent de dose gamma dans l'air (« débit de dose ») est réalisée par deux types d'appareils :

- des appareils dits « actifs », lorsque la mesure est effectuée *in situ* et instantanément ;
- des appareils dits « passifs », lorsqu'il s'agit d'intégrer la dose durant une période de temps puis de la mesurer ultérieurement en laboratoire (figure IV.1).

Les appareils actifs tels que ceux du réseau de télémesure Téléray de l'IRSN ou du réseau de balises d'EDF, permettent une surveillance continue et une restitution des résultats en quelques minutes. Associés à des dispositifs de communication et de gestion informatique, ils constituent des réseaux d'alerte. Les données transmises au RNM par l'ensemble des producteurs de mesures sont des moyennes quotidiennes ou mensuelles des mesures de chaque balise.

Les mesures passives sont réalisées par des dosimètres laissés en place pendant une période prolongée, généralement de l'ordre du semestre mais pouvant varier d'un mois jusqu'à une année complète. Après analyse en laboratoire, la dose intégrée mesurée est ensuite ramenée à un débit d'équivalent de dose horaire en prenant en compte la durée d'exposition des dosimètres. Les données transmises au RNM sont des débits de dose horaires, associés à une période de mesure.

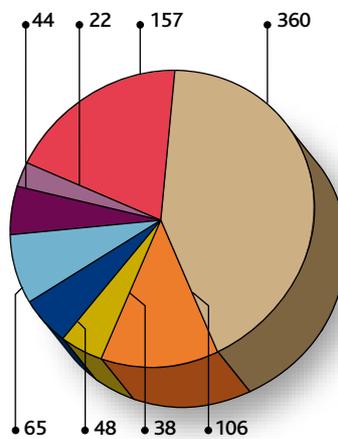
Plus de 102 000 résultats de mesure de l'équivalent de dose gamma dans l'air ont été extraits de la base de données du RNM pour la période de janvier 2010 à juin 2011. Les graphiques de la figure IV.2 présentent, par producteurs, le nombre de points de surveillance et le nombre de mesures associées. L'IRSN gère également un réseau d'environ 700 dosimètres passifs.

La figure IV.3 montre la répartition géographique de l'ensemble des points de surveillance, pour les équipements actifs. Les départements, régions et collectivités d'outre-mer font également l'objet d'une surveillance en continu dont les résultats sont détaillés dans un rapport spécifique.



Figure IV.1 - Appareils de mesure du débit d'équivalent de dose gamma de l'atmosphère : à gauche, un équipement actif (sonde Gamma Tracer du réseau EDF), et à droite, un équipement passif (dosimètre de type RPL).

Nombre de points de surveillance



Nombre de mesures exploitées

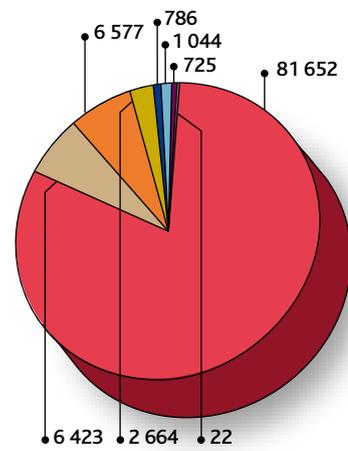


Figure IV.2 - Inventaire, par producteurs, du nombre de points et de mesures de surveillance dosimétrique environnementale en France déclarés au RNM (équipements actifs et passifs).

le réseau Téléray est en cours de modernisation et de redéploiement. 400 nouvelles balises de télémesure sont en cours d'installation depuis 2011, l'opération devant s'achever en 2015.

Les autres producteurs de données concentrent la surveillance de l'environnement dans un périmètre proche de leurs installations. EDF possède 360 balises réparties autour de ses 19 CNPE (voir le focus) et la Marine nationale, 48 balises partagées entre les quatre ports militaires ; les sites du CEA, d'Areva et de l'ILL comprennent en général quelques balises actives (4 à Marcoule, 4 à Saclay, 5 à La Hague, 4 à Grenoble), tout en mettant en œuvre une majorité de dosimètres passifs.

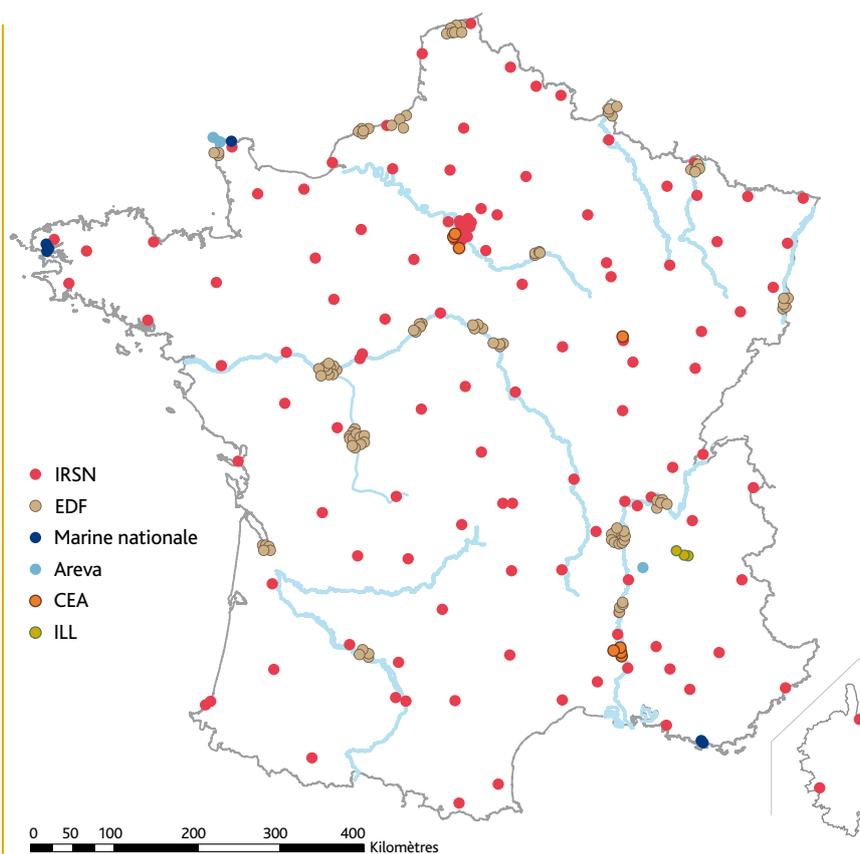


Figure IV.3 - Localisation des équipements actifs de mesure du débit d'équivalent de dose.

FOCUS • EDF

Répartition des balises de surveillance EDF autour des CNPE

Les balises de mesure du débit de dose gamma ambiant des sites EDF sont toujours réparties selon des zones autour de l'établissement.

On trouve généralement dix balises « clôture », quatre balises « 1 km », quatre balises « 5 km » et enfin dix balises « 10 km » (non réglementaires). Jusqu'en 1990, la surveillance des dix points « clôture » était réalisée au moyen de dosimètres passifs.

À titre d'illustration, la figure IV.4 montre la répartition des balises autour de la centrale électronucléaire de Civaux.



Figure IV.4 - Répartition géographique des points de mesure de la dose gamma ambiante autour du CNPE de Civaux (EDF).

Les équipements passifs sont des moyens de mesures dédiés à la surveillance de l'environnement de sites dont les activités ne justifient pas la présence de système d'alerte. Ils peuvent également constituer un complément au système d'alerte.

La surveillance de l'environnement est ainsi exclusivement réalisée par des dosimètres passifs pour les sites de l'Andra et de Rhodia. D'autres sites nucléaires font coexister les deux types d'équipements. C'est le cas pour les sites de l'ILL, du CEA et d'Areva.

L'IRSN possède également depuis 1985 un réseau de dosimètres, disposés en permanence sur l'ensemble du territoire français pour la surveillance de l'environnement. Il est actuellement en cours d'évolution et l'année 2012 verra l'abandon progressif des dosimètres de type DTL (dosimètre thermo-luminescent) au profit des dosimètres de type RPL (radio-photo-luminescent).

La figure IV.5 montre la répartition géographique de l'ensemble des points de surveillance, pour les équipements passifs.

La valeur moyenne du débit d'équivalent de dose gamma calculée à partir de l'ensemble des mesures du territoire métropolitain du réseau Téléray de l'IRSN est de 92 nSv/h pour l'année 2010 et le premier semestre de l'année 2011. Cette moyenne est du même ordre de grandeur que celle des années précédentes (figure IV.6).

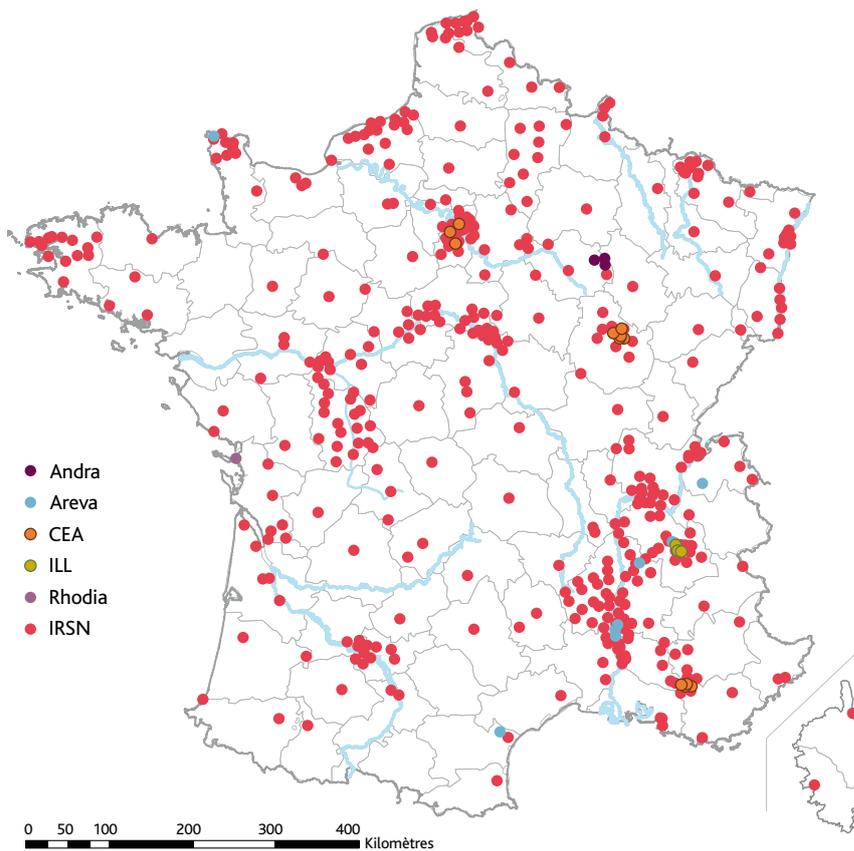


Figure IV.5 - Localisation des équipements passifs de mesure de la dose gamma ambiant.

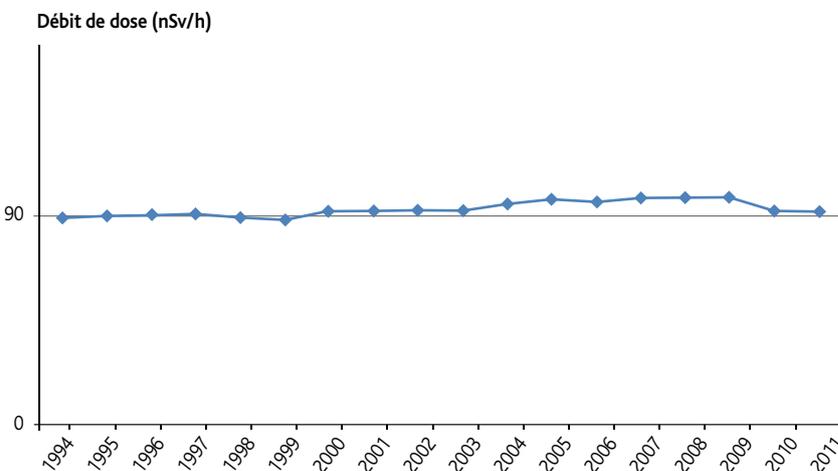


Figure IV.6 - Évolution de la moyenne annuelle des mesures du réseau Téléray de 1994 à 2011 (nSv/h).

La figure IV.7 illustre la variabilité du débit de dose dans l'air mesuré par les dispositifs actifs et passifs. Ces cartes reflètent les influences respectives des deux contributeurs aux débits de dose dans l'air : le rayonnement tellurique lié à la nature géologique du terrain et le rayonnement cosmique qui dépend de l'altitude.

La figure IV.8 montre ainsi que le débit de dose lié au seul rayonnement cosmique peut atteindre 80 nSv/h à 2 000 m d'altitude.

Le débit de dose dans l'air est plus élevé dans les régions où les roches granitiques sont prépondérantes (Auvergne, Alpes, Corse, Limousin) que dans les bassins sédimentaires caractérisés par un faible rayonnement tellurique (bassins parisien et aquitain, vallée du Rhône). La figure IV.9 illustre la moyenne calculée pour chaque région métropolitaine.

Les différences entre les deux représentations cartographiques de la figure IV.7 résultent essentiellement des lieux d'implantation des détecteurs et relativement peu de leurs caractéristiques propres. En particulier, certaines valeurs élevées dues à des équipements actifs sont liées à la présence de sondes placées sur des sommets sur lesquels le rayonnement cosmique est important, et qui ne disposent pas de dispositifs passifs.

Les écarts entre les mesures fournies par les deux types d'appareils sont faibles lorsque ceux-ci sont situés à moins de 100 mètres l'un de l'autre (figure IV.10). L'une des causes des quelques écarts observés est l'incertitude significative pouvant être associée à la mesure fournie par un dosimètre, particulièrement si la durée d'intégration est courte (un mois). La différence significative constatée pour les mesures autour de La Rochelle s'explique par le fait que certains dosimètres relatifs à la surveillance du site industriel de Rhodia sont implantés au sein même de l'installation (voir chapitre VII).

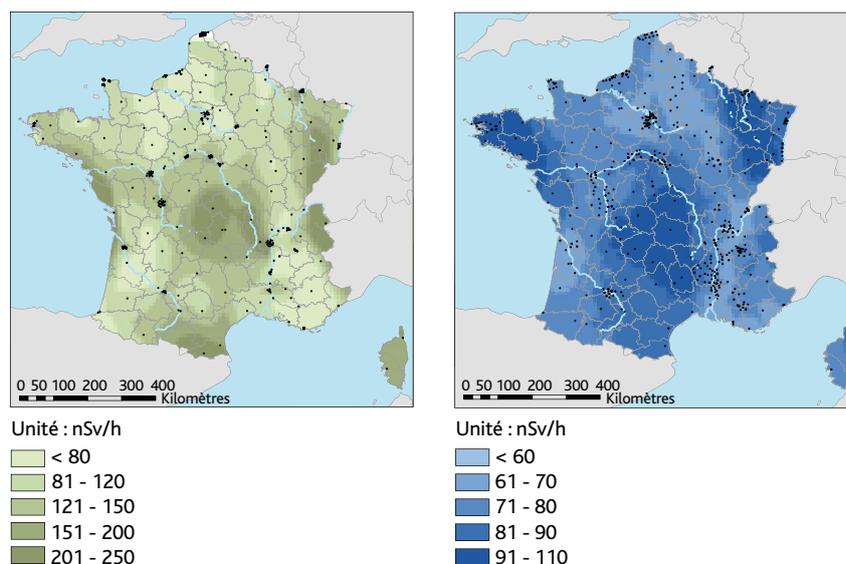


Figure IV.7 - Représentation cartographique des données de mesure du débit de dose, pour les équipements actifs (gauche) et passifs (droite).

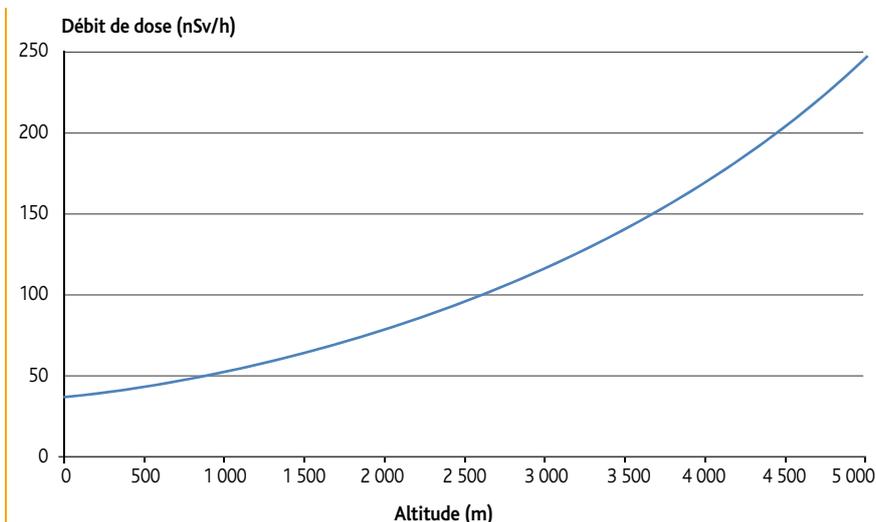


Figure IV.8 - Contribution du rayonnement cosmique au débit de dose, en fonction de l'altitude.

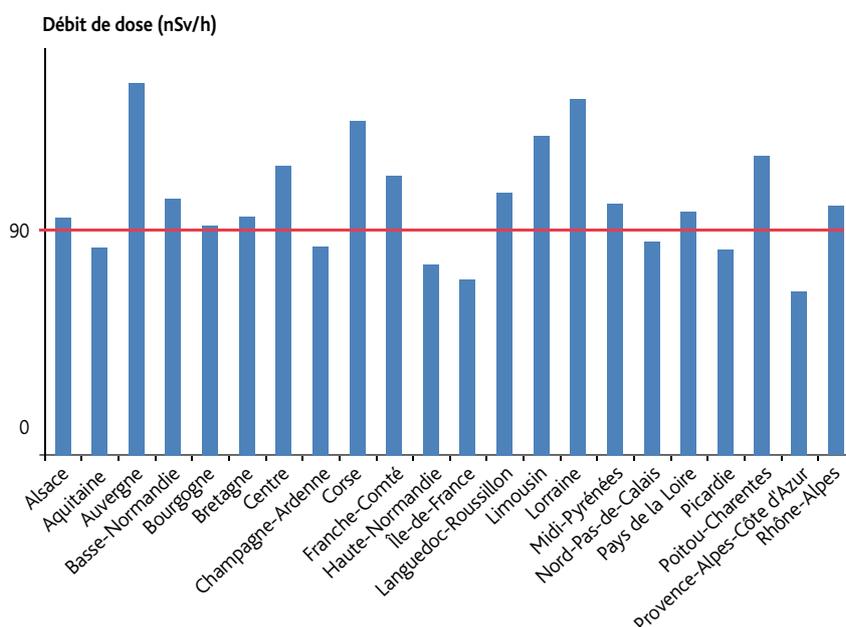


Figure IV.9 - Moyennes régionales du débit de dose pour l'année 2010 (équipements actifs) (nSv/h).

La figure IV.11 montre la relative stabilité des mesures de débit de dose acquises par les balises du réseau Téléray entre janvier 2010 et juin 2011 pour différentes catégories d'implantation. Ces valeurs sont stables comparativement à celles des années précédentes.

L'interruption temporaire des données, visible sur ce graphique, témoigne de la mise en service du nouveau système de supervision du réseau Téléray qui a provoqué une interruption des communications avec les balises pendant environ 24 heures en décembre 2010. Par ailleurs, en décembre 2010 et janvier 2011, des dysfonctionnements sur certaines sondes installées sur les sommets ont été observés, en particulier sur la sonde de l'Aiguille du Midi (3 800 m d'altitude) dont la valeur moyenne du débit de dose est d'environ 300 nSv/h. Étant donné le faible nombre de stations dans cette catégorie, l'absence des données pour les stations en panne impacte fortement la moyenne du débit de dose, avec un effet de diminution visible (figure IV.11).

Les fluctuations importantes observées pour les mesures de sommets s'expliquent par l'influence de la couverture neigeuse, atténuant le rayonnement tellurique. D'autres fluctuations s'expliquent par des phénomènes météorologiques. Par exemple, un orage consécutif à une période de temps sec peut rabattre brutalement au sol la radioactivité atmosphérique naturelle, ceci ayant pour effet une augmentation temporaire du débit de dose mesuré.

Le graphique de la figure IV.12 montre qu'aucune anomalie n'a été décelée sur cette période autour des sites nucléaires par l'ensemble des contributeurs au réseau national de mesure de la radioactivité. Des dépassements de seuils sont néanmoins parfois constatés, qui ont toujours pu être expliqués, soit par un événement naturel (orage), soit par une exposition programmée à une source radioactive artificielle (éta-lonnage, passage de convoi de matière radioactive).

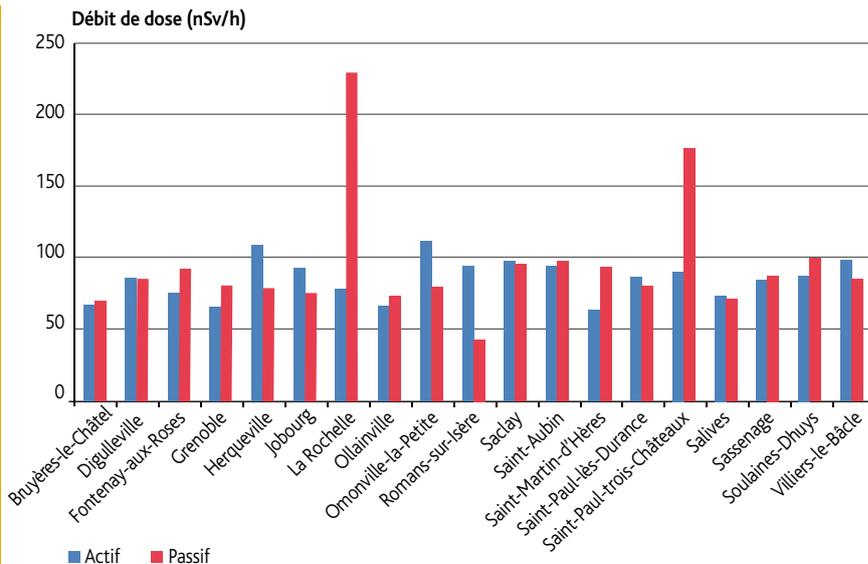


Figure IV.10 - Analyse comparative des mesures réalisées par des équipements actifs et passifs (nSv/h).

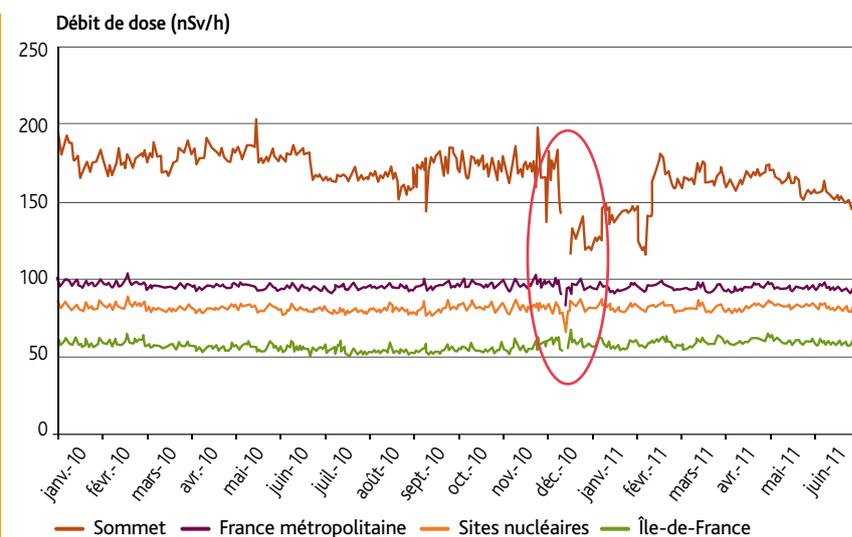


Figure IV.11 - Évolution du débit de dose moyen par catégorie d'implantation, pour le réseau Téléray de l'IRSN (nSv/h).

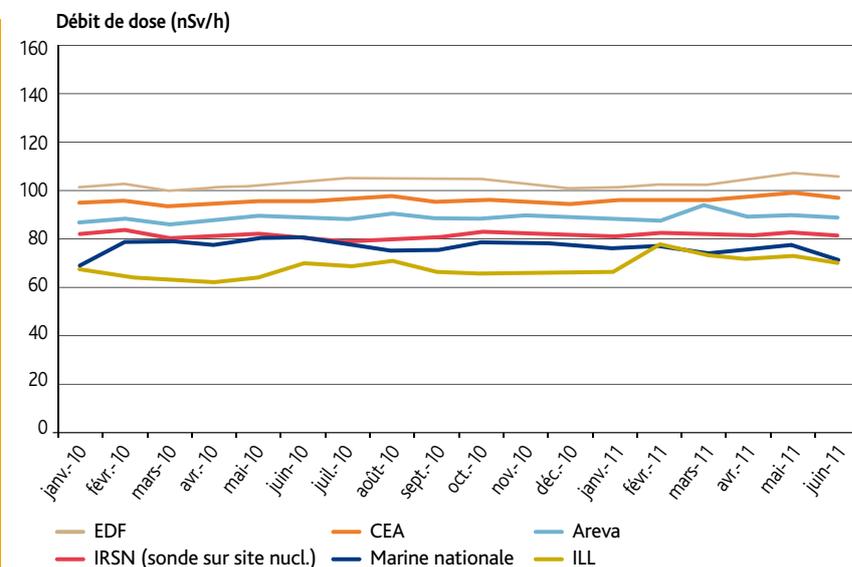


Figure IV.12 - Évolution du débit de dose par producteur, autour des sites nucléaires (équipements actifs) (nSv/h).

Les aérosols atmosphériques

L'IRSN assure la surveillance de la radioactivité des aérosols atmosphériques sur l'ensemble du territoire à travers deux types de stations complémentaires (figure IV.13) constituant le réseau Opera-Air (Observatoire Permanent de la RAdioactivité dans l'air) :

- des stations dites « bas débit », qui permettent d'obtenir une information hebdomadaire de la radioactivité des aérosols ;
- et des stations dites « très grand débit » (TGD), qui permettent de quantifier le bruit de fond ambiant pour des radionucléides présents en très faible quantité dans l'air (par exemple le césium 137). Certaines de ces stations sont accompagnées d'un dispositif de prélèvement des eaux de pluie.

Les stations « bas débit » du réseau Opera-Air

Quarante-quatre stations « bas débit » étaient en exploitation pendant la période concernée par ce bilan radiologique (figure IV.14). Après un prélèvement de 24 heures à un débit moyen de l'ordre de 7 à 10 m³/h, le filtre de chaque station est relevé. Regroupés par semaine, les filtres sont ensuite mesurés par spectrométrie gamma en laboratoire.

Si l'on exclut la période comprise entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011, durant laquelle des traces de césium 137, de césium 134 et d'iode 131 issues des retombées de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima ont été observées, les mesures n'ont mis en évidence aucun autre radionucléide artificiel et ont permis de montrer que cet événement avait concerné tout le territoire français de manière relativement homogène (voir chapitre III).



Figure IV.13 - Localisation des stations IRSN du réseau Opera-Air de prélèvement des aérosols.



Figure IV.14 - Station IRSN bas débit du réseau Opera-Air.

Le tableau IV.1 regroupe les seuils de décision moyens des différents radionucléides artificiels, accessibles à partir des échantillons collectés par ces stations et des conditions de mesure qui leur sont habituellement appliquées. Les échantillons prélevés pendant la période de l'accident de Fukushima ont fait l'objet d'analyses plus longues ayant eu pour conséquence de baisser le seuil de décision et d'observer par exemple des activités de l'ordre de 0,03 mBq/m³ pour les césiums (tableau IV.2).

Tableau IV.1 - Seuils de décision moyens des différents radionucléides artificiels recherchés dans les aérosols prélevés en routine par les stations IRSN « bas débit » dans l'environnement en France.

Radionucléide	Seuil de décision (mBq/m ³)
Actinium 228	0,4
Antimoine 124	0,4
Antimoine 125	0,2
Argent 108m	0,06
Argent 110m	0,08
Césium 134	0,064
Césium 137	0,065
Cobalt 57	0,04
Cobalt 58	0,11
Cobalt 60	0,09
Iode 131	0,27
Manganèse 54	0,08
Potassium 40	2
Protactinium 234m	10
Sodium 22	0,07
Tellure 123m	0,05
Zinc 65	0,19
Thorium 234	0,6

Tableau IV.2 - Activités moyennes mesurées en ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs et ¹³¹I dans les aérosols de l'environnement du territoire français pendant la période impactée par les rejets de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Césium 134	0,030 ± 0,002
Césium 137	0,034 ± 0,002
Iode 131	0,075 ± 0,003

Les mesures par spectrométrie gamma montrent la présence constante du béryllium 7 et du plomb 210, radionucléides d'origine naturelle formés respectivement sous l'effet du rayonnement solaire dans les hautes couches atmosphériques et de l'émanation du radon 222 du sol (le plomb 210 est l'un des descendants radioactifs à vie longue de ce gaz).

En fonction des variations climatiques saisonnières, le béryllium 7 et le plomb 210 se retrouvent en plus ou moins grande concentration dans les aérosols atmosphériques (figures IV.15 et IV.16).

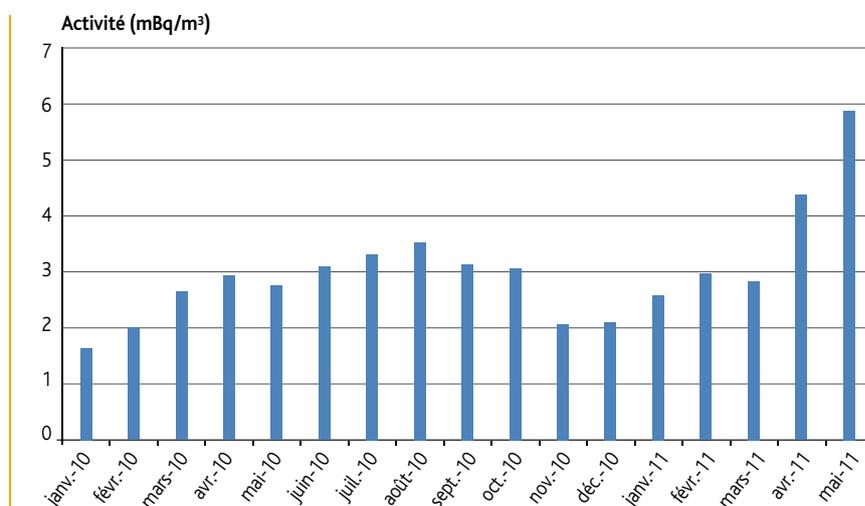


Figure IV.15 - Activité moyenne du béryllium 7 mesurée par les stations bas débit du réseau Opera-Air de l'IRSN (mBq/m³).

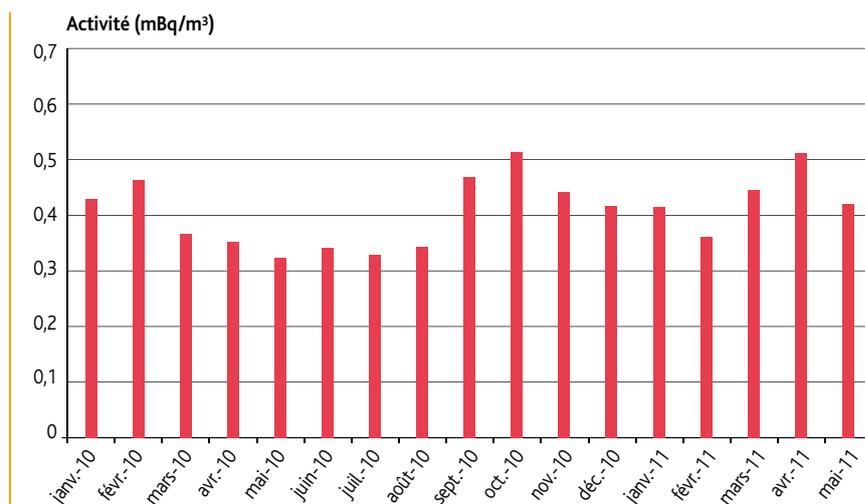


Figure IV.16 - Activité moyenne du plomb 210 mesurée par les stations bas débit du réseau Opera-Air de l'IRSN (mBq/m³).

Les stations « très grand débit » du réseau Opera-Air

Le réseau Opera-Air dispose de huit stations ayant un débit compris entre 300 et 700 m³/h. La collecte s'effectue sur dix jours consécutifs de façon à accumuler une grande quantité d'aérosols. En complément, une métrologie de pointe permet de mesurer des traces infinitésimales de césium 137 à des niveaux supérieurs aux seuils de décision (de l'ordre de 0,1 µBq/m³).

Ces stations ont permis de suivre durant toute leur durée les retombées atmosphériques en France de l'accident de Fukushima. Ainsi, la station située au sommet du

Puy-de-Dôme (figure III.23 au chapitre III) a été la première à déceler des traces de césium 137 et d'iode 131 particulière. En complément des données des autres stations situées en plaine, il a été possible de dater l'arrivée des masses d'air sur la France entre le 23 et le 24 mars 2011.

Les données acquises par ces stations montrent que contrairement aux retombées de l'accident de Tchernobyl, l'augmentation de l'activité en césium 137 des masses d'air consécutive à l'accident de Fukushima n'a pas perduré ; l'activité volumique de ce radionucléide dans l'air est revenue en moins de six mois au niveau antérieur (figure IV.17).

Ceci est dû à l'éloignement de la centrale japonaise et au fait que la majeure partie du césium qui s'est déposé sur les océans ne peut plus donner lieu à des phénomènes de remise en suspension susceptibles d'entretenir une rémanence prolongée de ce radionucléide dans l'air. Par ailleurs, l'iode 131 a rapidement disparu en raison de sa courte période radioactive.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les eaux de pluie

Depuis 2010, les eaux de pluie collectées mensuellement (*figure IV.18*) sur le territoire français (*figure IV.19*), en dehors de celles collectées à proximité des installations nucléaires, constituent un réseau dormant de la surveillance. Elles sont analysées uniquement en cas d'incident.



© P. Demail

Figure IV.18 - Collecteur d'eau de pluie.

Hormis la période de l'accident de Fukushima pendant laquelle la surveillance a été renforcée (*voir chapitre III*), les eaux de pluie collectées mensuellement n'ont pas fait l'objet d'analyse en 2010 et 2011.

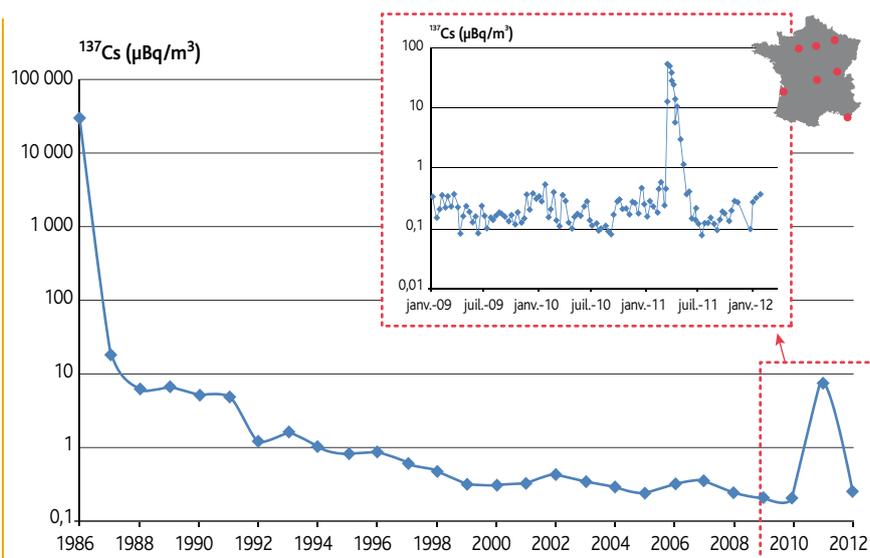


Figure IV.17 - Activité moyenne (métropole) en césium 137 dans les aérosols atmosphériques de 1986 à 2012 ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$).



Figure IV.19 - Implantation des collecteurs d'eau de pluie situés hors influence des installations nucléaires.

IV.2 LE MILIEU CONTINENTAL

Le compartiment terrestre

L'état radiologique des zones non influencées par les rejets d'installations nucléaires est établi à partir de mesures de très bas niveau, réalisées lors d'études spécifiques ou de constats radiologiques.

En complément, une veille régulière des denrées (*a minima* annuelle) est réalisée à l'échelle départementale. Depuis 2009, un réseau de préleveurs de productions végétales et animales a été déployé par l'IRSN sur l'ensemble du territoire avec la contribution des services déconcentrés de la DGAL et de la DGCCRF, permettant également de renforcer si besoin la surveillance d'une zone géographique.

Cette veille radiologique concerne deux des principales productions françaises : le lait et les céréales. Ces productions font l'objet d'un suivi depuis le début des années 1960 et permettent de disposer de chroniques relatives aux retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl et à leur rémanence. En outre, quelques échantillons de champignons issus des zones les plus marquées par les retombées de l'accident de Tchernobyl, sont périodiquement analysés pour déterminer leur teneur en césium 137.

Le lait

En complément de la collecte de lait effectuée dans des fermes situées à proximité des installations nucléaires, des échantillons provenant de coopératives ou de centres laitiers permettent d'acquérir des valeurs de référence représentatives de la production laitière départementale d'origine bovine, caprine ou ovine, et d'assurer une veille sanitaire à l'échelle du territoire français.

La fréquence de prélèvement, annuelle par défaut, peut être augmentée en cas d'événement radiologique.

Aujourd'hui, la radioactivité mesurée dans le lait est essentiellement d'origine naturelle. Sur la période courant de janvier 2010 à mai 2011, comme pour les années précédentes,

l'activité en potassium 40 est largement prédominante et fluctue, selon le département, entre 32 ± 13 et 68 ± 10 Bq/L pour le lait de vache et entre 52 ± 7 et 71 ± 10 Bq/L pour le lait de chèvre. L'activité mesurée dans le lait de brebis collecté dans les Alpes-Maritimes s'élève à $36,4 \pm 3,9$ Bq/L.

Suite à l'accident de Fukushima, certains laits collectés en métropole entre mars et mai 2011 ont présenté des traces d'iode 131 et de césiums 134 et 137. Les résultats relatifs à cet événement sont présentés dans le chapitre III.

Le césium 137 et le strontium 90 sont par ailleurs mesurés plus ou moins régulièrement dans le lait français. Ainsi, des traces de

strontium 90, comprises entre $0,022 \pm 0,01$ et $0,113 \pm 0,018$ Bq/L, sont observées dans la plupart des échantillons analysés (moyenne pondérée de $0,0322 \pm 0,0017$ Bq/L sur l'ensemble de la période de collecte considérée – *figure IV.21*). La présence de ce radionucléide constitue une rémanence des retombées des tirs atmosphériques d'armes nucléaires. Aucune augmentation de son activité n'est décelée dans le lait prélevé dans les fermes situées à proximité des installations nucléaires.

Nota : Les mesures de strontium 90 ont été réalisées sur quelques échantillons, car celles-ci nécessitent un traitement chimique préalable délicat à réaliser sur du lait frais. Les résultats disponibles pour 32 départements permettent de disposer d'une gamme d'activités à l'échelle du territoire français métropolitain.



© Olivier Seignette/Mikael Lafontan/IRSN

Figure IV.20 - Préparation des échantillons de lait.

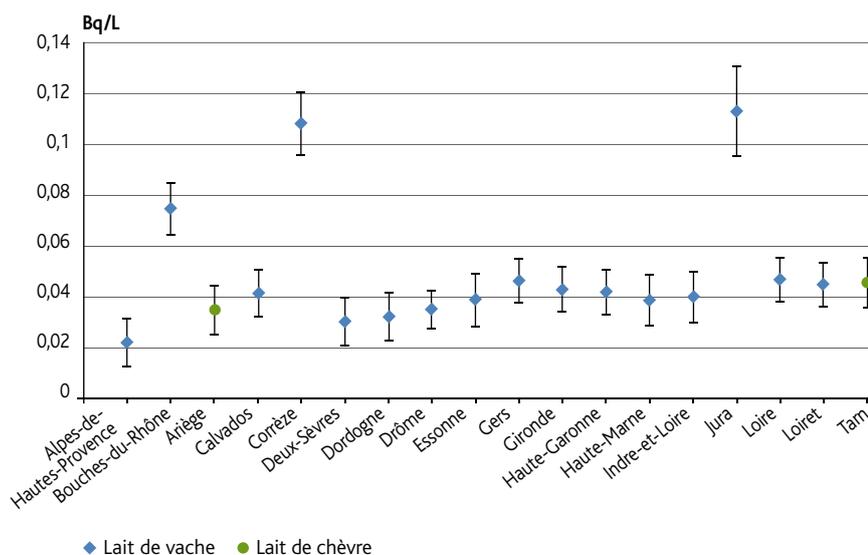


Figure IV.21 - Activités en ⁹⁰Sr dans le lait collecté entre janvier 2010 et mai 2011 à l'échelle départementale (Bq/L).

De même, des activités de césium 137 de $0,117 \pm 0,031$ et $0,194 \pm 0,05$ Bq/L ont été respectivement mesurées dans les laits collectés en 2010 dans les départements du Cantal et du Puy-de-Dôme. Ces traces sont imputables aux retombées anciennes des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl. La figure IV.22 montre ainsi qu'en mai 1986, les activités de ¹³⁷Cs ont pu atteindre plusieurs dizaines de Bq/L. En dehors de ces deux échantillons, les activités en césium 137 des laits départementaux collectés en 2010-2011 ont été inférieures aux seuils de décision (< 0,6 Bq/L).

Enfin, du tritium a été mesuré dans du lait produit en Côte-d'Or ($11 \pm 2,3$ Bq/L dans le lait collecté le 27 avril 2010 et $15 \pm 2,6$ Bq/L dans celui recueilli le 15 mars 2011). Ces activités sont à mettre en relation avec les rejets du centre CEA de Valduc (voir le chapitre VI - surveillance du CEA Valduc).

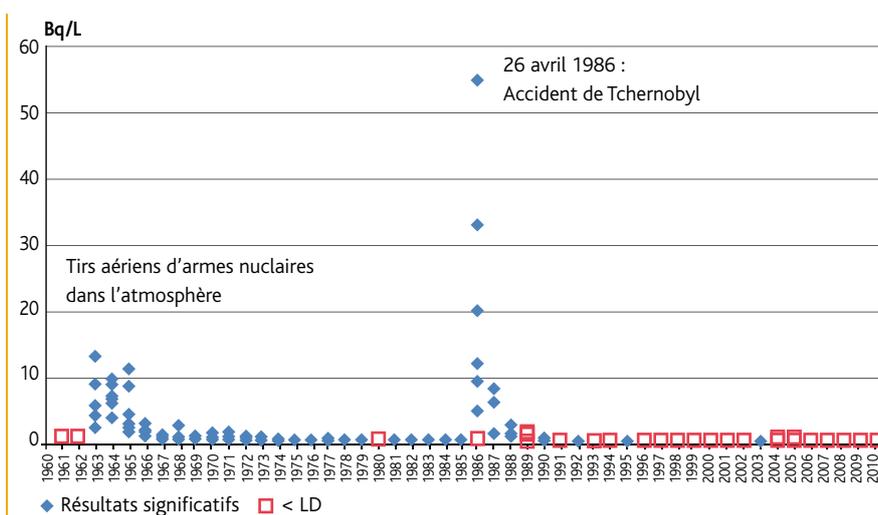


Figure IV.22 - Activités en césium 137 dans le lait analysé dans le département de l'Allier (Bq/L).

Les céréales

La surveillance radiologique du blé en métropole est assurée grâce à la contribution de France Agrimer qui prélève des échantillons provenant de 210 silos répartis sur l'ensemble du territoire. Ces échantillons sont ensuite regroupés en 21 mélanges régionaux. Les résultats acquis en 2010 sont présentés dans le tableau IV.3.

Comme dans le cas du lait, l'essentiel de la radioactivité des grains de blé est d'origine naturelle, avec notamment les activités de potassium 40.

De même que les années antérieures, le seul radionucléide artificiel décelé dans le blé est le strontium 90 qui est une rémanence des retombées atmosphériques des essais aériens d'armes nucléaires. La figure IV.23 illustre la diminution de l'activité de ce radionucléide dans les céréales de 1969 à aujourd'hui, toutes régions confondues.

Cette surveillance régionale complète celle réalisée aux abords des principales installations nucléaires dont les résultats sont présentés par installation aux chapitres V et VI.

Tableau IV.3 - Activités mesurées dans les échantillons de blé dur (récolte 2010) – Mélanges régionaux (Bq/kg frais).

Regroupement régional	Activité massique (Bq/kg frais)						
	⁴⁰ K	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁶⁰ Co	⁹⁰ Sr	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs
Alsace	115 ± 23	< 0,50	< 0,64	< 0,50	0,11 ± 0,01	< 0,48	< 0,49
Aquitaine	112 ± 16	< 0,50	< 0,78	< 0,47	0,11 ± 0,02	< 0,45	< 0,47
Auvergne	106 ± 16	< 0,56	< 0,76	< 0,52	0,19 ± 0,02	< 0,49	< 0,50
Bourgogne	114 ± 24	< 0,56	< 1,23	< 0,48	0,19 ± 0,02	< 0,44	< 0,51
Bretagne	105 ± 24	< 0,53	< 0,78	< 0,49	0,26 ± 0,03	< 0,46	< 0,52
Centre	110 ± 24	< 0,70	< 0,76	< 0,51	0,12 ± 0,02	< 0,49	< 0,53
Champagne-Ardenne	104 ± 23	< 0,61	< 2,02	< 0,51	0,12 ± 0,01	< 0,51	< 0,52
Franche-Comté	95 ± 22	< 0,57	< 0,63	< 0,46	0,18 ± 0,02	< 0,47	< 0,51
Île-de-France	109 ± 20	< 0,53	< 1,29	< 0,42	0,05 ± 0,01	< 0,44	< 0,46
Languedoc-Roussillon	128 ± 27	< 0,51	< 0,72	< 0,51	0,10 ± 0,01	< 0,48	< 0,56
Limousin	99 ± 24	< 0,47	< 0,60	< 0,53	0,23 ± 0,04	< 0,47	< 0,55
Lorraine	100 ± 15	< 0,49	< 0,67	< 0,55	0,13 ± 0,02	< 0,47	< 0,47
Midi-Pyrénées	113 ± 24	< 0,70	< 1,36	< 0,51	0,18 ± 0,02	< 0,51	< 0,51
Nord-Pas-de-Calais	108 ± 24	< 0,52	< 0,64	< 0,54	0,07 ± 0,01	< 0,46	< 0,46
Basse-Normandie	105 ± 22	< 0,49	< 0,70	< 0,48	0,17 ± 0,02	< 0,58	< 0,49
Haute-Normandie	105 ± 23	< 0,56	< 0,95	< 0,42	0,12 ± 0,01	< 0,49	< 0,49
Pays de la Loire	102 ± 25	< 0,59	< 0,70	< 0,48	0,18 ± 0,02	< 0,49	< 0,50
Picardie	101 ± 21	< 0,54	< 0,81	< 0,51	0,12 ± 0,05	< 0,47	< 0,57
Poitou-Charentes	109 ± 24	< 0,62	< 0,78	< 0,49	0,16 ± 0,02	< 0,55	< 0,55
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	114 ± 24	< 0,75	< 3,23	< 0,58	0,14 ± 0,02	< 0,55	< 0,54
Rhône-Alpes	114 ± 20	< 0,48	< 0,77	< 0,42	0,15 ± 0,03	< 0,39	< 0,41

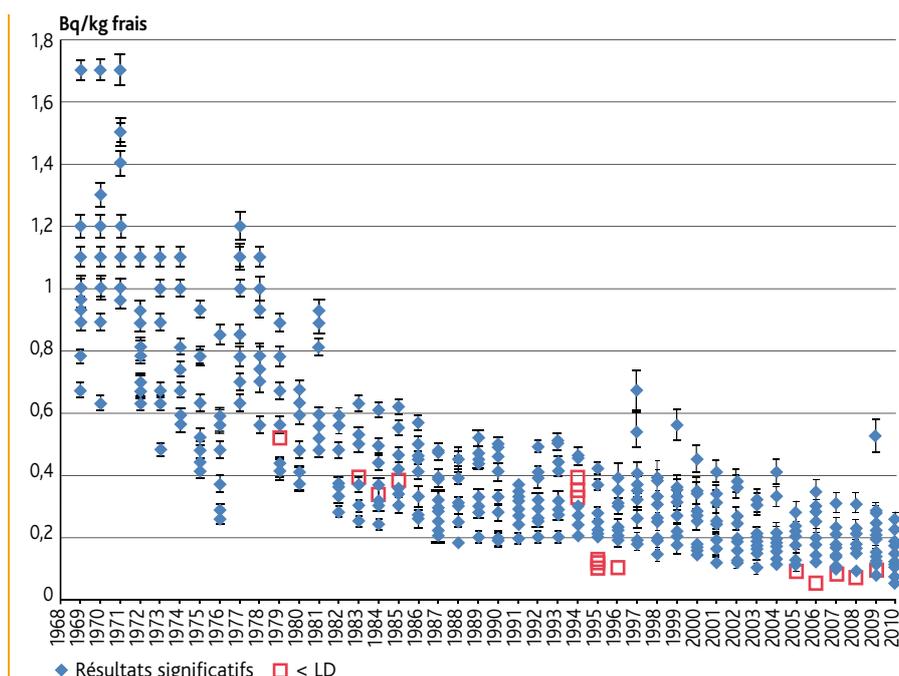


Figure IV.23 - Activités en strontium 90 mesurées sur les échantillons de blé de 1969 à 2010, toutes régions confondues (Bq/kg frais).

Les champignons

Les champignons font partie des rares denrées produites en France dans lesquelles le césium 137 issu des retombées anciennes est encore très régulièrement mesurable. En 2010, des prélèvements de champignons ont été effectués sur les zones où ces retombées ont été les plus importantes (tableau IV.4).

La plupart des échantillons présentent un marquage en césium 137 qui reste toutefois bien inférieur au niveau maximal admissible de contamination radioactive fixé à 1 250 Bq/kg frais par le règlement Euratom n° 2218-89 du 18 juillet 1989 modifiant le règlement n° 3954-87 du 22 décembre 1987.

Accident de Fukushima

Suite à l'évènement survenu le 11 mars 2011 à la centrale de Fukushima au Japon, une surveillance renforcée du territoire a été mise en place sur la période courant du 21 mars au 6 mai 2011.

Des prélèvements d'herbe, de lait et de légumes-feuilles ont été réalisés sur l'ensemble du territoire, hors zone d'influence des installations nucléaires françaises, par des associations, des laboratoires départementaux, les services départementaux de la DGAL et de la DGCCRF, et l'IRSN.

La stratégie déployée lors de cet évènement ainsi que les résultats d'analyse associés sont présentés dans le chapitre III.

Le compartiment aquatique

Pour la surveillance des rivières et des fleuves, un dispositif d'une trentaine d'hydrocollecteurs permettant des prélèvements semi-automatisés est déployé sur l'ensemble du territoire. Cette surveillance est complétée par un dispositif automatisé de télémessure de la radioactivité qui assure une mesure en continu : le réseau Hydrotéléray (figure IV.24). Les résultats des analyses réalisées sur des prélèvements localisés immédiatement en aval des installations nucléaires sont détaillés dans les chapitres V et VI.

Tableau IV.4 - Activités mesurées dans les champignons collectés en 2010 (Bq/kg frais).

Département	Espèce	Activité massique en ¹³⁷ Cs (Bq/kg frais)
Bas-Rhin	Bolet	28,8 ± 2,5
Corse du sud	Champignon (espèce non identifiée)	1,91 ± 0,37
Doubs	Chanterelle	13,9 ± 1,7
Drôme	Bolet	3,71 ± 0,43
	Lactaire sanguin	121 ± 10
Haute-Corse	Amanite rougissante	0,23 ± 0,06
Haut-Rhin	Cèpe de Bordeaux	8,1 ± 1
	Trompette de la mort	1,18 ± 0,21
Meurthe-et-Moselle	Plutée du cerf	< 0,1
	Lactaire délicieux ou sanguin	0,24 ± 0,09
Puy-de-Dôme	Lactaire	3,5 ± 0,34
Rhône	Trompette de la mort	0,37 ± 0,1
Vaucluse	Girolle	6,1 ± 0,6



Figure IV.24 - Implantation des hydrocollecteurs de l'IRSN situés en aval des installations nucléaires et des stations du réseau Hydrotéléray.

Le réseau de prélèvements par hydrocollecteurs

Au niveau de chaque hydrocollecteur, l'eau du bac est pompée au rythme moyen de 15 mL par heure pour générer un échantillon d'environ 2 L tous les six jours. Les échantillons sont transmis mensuellement au laboratoire, où les fractions d'eau brute et filtrée à 0,45 µm sont analysées (figure IV.25).

En plus des hydrocollecteurs et des points de prélèvements localisés en aval immédiat des installations nucléaires (résultats détaillés aux chapitres V et VI), trois stations de l'IRSN sont implantées en des points éloignés :

- sur la Loire, en aval des installations nucléaires, à l'usine des eaux des Ponts-de-Cé (Maine-et-Loire) ;
- sur le Rhône, en aval de toutes les installations nucléaires, au barrage de Vallabrègues (Gard) ;
- sur la Seine, en aval des installations nucléaires, à Croissy-sur-Seine (Yvelines).

Les analyses réalisées en 2010 et 2011 montrent que le tritium est le principal radionucléide détectable en quasi permanence dans l'eau de ces fleuves.

L'activité du tritium mesurée dans la Seine en aval de toute installation nucléaire à Croissy-sur-Seine est de l'ordre de $12,5 \pm 2,9$ Bq/L en 2010 ; dans l'eau du Rhône à Vallabrègues de $7,3 \pm 2,4$ Bq/L et dans la Loire à Angers de $20,3 \pm 2$ Bq/L. Ces activités mesurées sont liées aux rejets liquides des installations nucléaires qui longent ces fleuves ou dont les rejets aboutissent à leurs bassins versants.



Figure IV.25 - Détail du dispositif de prélèvement d'eau par un hydrocollecteur de l'IRSN.

Le réseau Hydrotéléray

Le réseau Hydrotéléray, mis en place depuis 1993, permet d'assurer une surveillance radiologique en temps réel de l'eau des sept principaux fleuves français, en aval de toute installation nucléaire aux Ponts-de-Cé (Angers) sur la Loire, à Croissy-sur-Seine sur la Seine, à Vallabrègues (Arles) sur le Rhône, à Vogelgrün sur le Rhin, à Rancennes sur la Meuse, à Boé (Agen) sur la Garonne et à Apach sur la Moselle (figure IV.24).

Ce réseau a pour objet de garantir en permanence que les niveaux d'activité des cours d'eau qui pourraient résulter d'une situation accidentelle, sont acceptables sur le plan sanitaire avant la sortie du territoire (frontières terrestres et maritimes). À chacune des stations, une mesure par spectrométrie gamma est réalisée durant

un temps d'intégration de deux heures pour un débit d'eau de l'ordre de 5 m³/h environ.

Le système est composé d'un détecteur NaI (iodure de sodium) situé dans une cuve en inox blindée de plomb qui permet de diminuer le bruit de fond naturel (figure IV.26). Les seuils de décision sont d'environ 0,5 à 1 Bq/L pour le césium 137, l'iode 131 et le cobalt 60. Les données sont automatiquement analysées, stockées et retransmises au centralisateur du site IRSN du Vésinet. Une alarme peut être déclenchée si une activité anormale est détectée.

En 2010 et 2011, les seuls radionucléides détectés de manière épisodique sont d'origine naturelle, notamment le plomb 214 et le bismuth 214, issus de la filiation du radon 222, ainsi que le potassium 40.



Figure IV.26 - Station Hydrotéléray de Boé (près d'Agen) réalisant la surveillance radiologique en temps réel de l'eau de la Garonne.

IV.3 LE MILIEU MARIN ET LITTORAL

La surveillance du milieu marin et littoral est réalisée à partir de stations côtières de prélèvements distribuées sur toutes les façades maritimes du territoire. Le nombre de stations et leur position sont conditionnés par la proximité d'installations nucléaires, par la volonté d'assurer une bonne couverture géographique et par la réalisation de programmes d'études spécifiques.

Deux types de stations peuvent être distingués :

- **les stations de prélèvement**, sous influence des rejets des installations nucléaires implantées sur le littoral marin, qui permettent un suivi de l'évolution spatiale et temporelle de l'état radiologique de l'environnement proche ;
- **les stations de référence**, permettant la caractérisation du bruit de fond et des éventuelles sources d'émission de radionucléides autres que celles des rejets des installations nucléaires du littoral français. Elles permettent en particulier de surveiller les apports de radionucléides par les grands fleuves dans leur domaine maritime.

Tous les résultats de ces stations sont présentés dans le présent chapitre classé par façade maritime : mer du Nord et Manche, Atlantique et Méditerranée.

La capacité de dilution du milieu marin étant beaucoup plus importante que celle du milieu aquatique continental, la surveillance du littoral est orientée davantage vers des bio-indicateurs (algues, mollusques, crustacés, poissons), qui concentrent les polluants et permettent ainsi de mieux rendre compte de l'état du milieu que certaines mesures directes dans l'eau de mer. L'analyse de certains bio-indicateurs contribue à alimenter en données l'observatoire alimentaire mis en place en 2009 en partenariat de la DGAL et de la DGCCRF. Concernant les matrices biologiques, l'analyse des résultats en carbone 14 et en tritium organiquement lié est présentée synthétiquement dans des focus spécifiques.

La façade Manche - mer du Nord

Aujourd'hui, la radioactivité observée dans le milieu aquatique marin de la Manche et de la mer du Nord provient essentiellement des rejets des usines de traitement du combustible usé de La Hague en France et de Sellafield en Angleterre. Les mesures et les modélisations de dispersion des radionucléides rejetés par ces installations dans le milieu marin montrent que l'impact de ces rejets n'est plus perceptible à l'ouest de Roscoff. Aussi, ce chapitre se concentre sur les résultats des mesures réalisées sur les prélèvements effectués sur le littoral courant de Roscoff à Dunkerque.

L'eau de mer

Le tritium de l'eau de mer en Manche ainsi qu'en mer du Nord est mesuré à des niveaux d'activité généralement voisins ou supérieurs à 5 Bq/L. Il a pour principale origine les rejets des effluents liquides du site Areva de La Hague et dans une moindre mesure des CNPE de Gravelines, Flamanville, Paluel et Penly.

Les niveaux de césium 137 résiduels datant de Tchernobyl et des explosions atmosphériques de bombes nucléaires sont encore mesurables à très bas niveau dans les eaux marines, par prélèvement et traitement de grands volumes d'eau. L'activité du césium 137 dans ces eaux est de l'ordre de quelques mBq/L (*tableau IV.5*).

■ **Tableau IV.5** - Activités du tritium et du césium 137 dans l'eau prélevée en mer du Nord (Bq/L).

Radionucléide	Bray-Dunes	Mers-les-Bains	Wimereux
Tritium	6,7 ± 2,5	5,9 ± 2,5	4,2 ± 0,1
Césium 137	nm	nm	0,0073 ± 0,0017

nm : non mesuré

À proximité des centres nucléaires de production d'électricité

Les CNPE de Flamanville, Paluel, Penly et Gravelines sont refroidis par l'eau de la Manche. Afin d'améliorer la dilution des rejets d'effluents liquides en mer, les CNPE de Flamanville, Paluel et Penly effectuent leurs rejets en pleine mer, *via* une conduite sous-marine. Ces émissaires conduisent à une dilution dans le milieu marin mais ne permettent pas la mise en œuvre d'un équipement de prélèvement en continu. Afin de pallier cette difficulté technique, des hydrocollecteurs sont implantés au sein de l'ouvrage de rejet (bassin ou puits de rejet), en amont des rejets en mer.

Dans tous les cas, les activités mesurées au niveau de ces hydrocollecteurs informent sur l'activité moyenne mensuelle rejetée par le CNPE et ajoutée au milieu marin. En ce qui concerne le CNPE de Gravelines, la conception de l'ouvrage de rejet est différente. Les rejets sont effectués dans un canal marin qui débouche ensuite sur le littoral, constituant de ce fait un milieu récepteur intermédiaire avant dilution en mer. Un hydrocollecteur est implanté au niveau de ce canal. Les activités mesurées sur ces dispositifs sont donc supérieures à celles qui seraient mesurées directement dans le milieu marin.

Les ouvrages de rejet présentent des activités en tritium qui varient selon leur type entre 5 et 150 Bq/L pour la plupart des prélèvements. Les mesures réalisées au large présentent, selon la localisation, des valeurs comprises entre 5 et 20 Bq/L. Ces dernières sont aussi impactées par les rejets du site Areva de La Hague et les courants liés aux marées.

CNPE de Flamanville

À Flamanville (figure IV.27), l'IRSN mesure le tritium dans l'eau du bassin de rejet à une activité moyenne de 35 Bq/L. Les mesures réalisées par l'exploitant au large de la Manche sont corrélées entre elles et sont, en moyenne, d'environ 10 Bq/L.

CNPE de Paluel

À Paluel (figure IV.28) l'IRSN mesure le tritium dans la station OKRS/TR1 où l'activité moyenne du tritium est de 65 Bq/L. Les mesures réalisées par l'exploitant en mer sont pour la plupart inférieures aux seuils de décision. Seuls quelques prélèvements à l'ouest du rejet dépassent 20 Bq/L.

CNPE de Penly

À Penly (figure IV.29), l'IRSN mesure le tritium dans l'eau prélevée dans le puits de rejet. L'activité moyenne observée est de 40 Bq/L. Les mesures réalisées par l'exploitant en mer sont toutes inférieures aux seuils de décision, à l'exception d'une mesure (8,3 Bq/L) effectuée en janvier 2010 sur un prélèvement à proximité de Varengeville-sur-Mer.

CNPE de Gravelines

À Gravelines (figure IV.30), l'IRSN mesure le tritium dans l'eau du canal marin où l'activité moyenne détectée est de 15 Bq/L. Les mesures réalisées par l'exploitant en mer sont inférieures aux seuils de décision ou proches de ceux-ci.

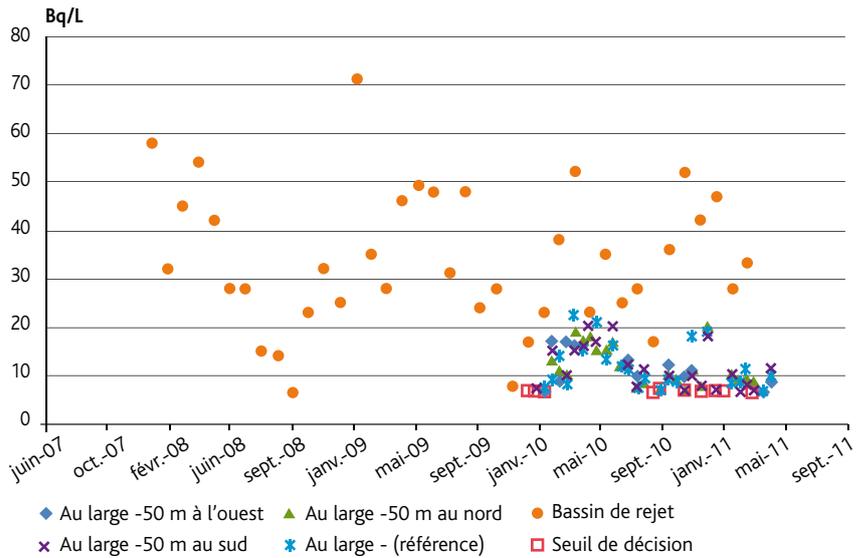


Figure IV.27 - Activité de tritium mesurée dans l'eau de mer à Flamanville (Bq/L).

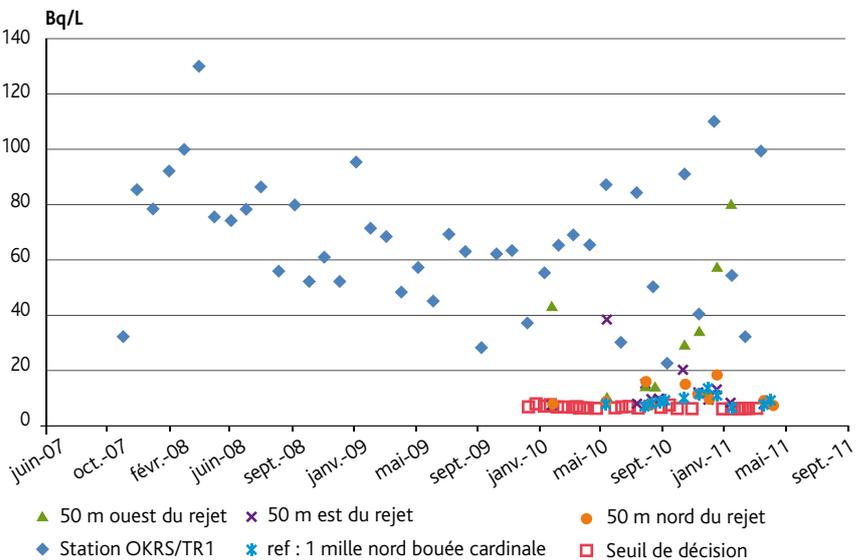


Figure IV.28 - Activité de tritium mesurée dans l'eau de mer à Paluel (Bq/L).

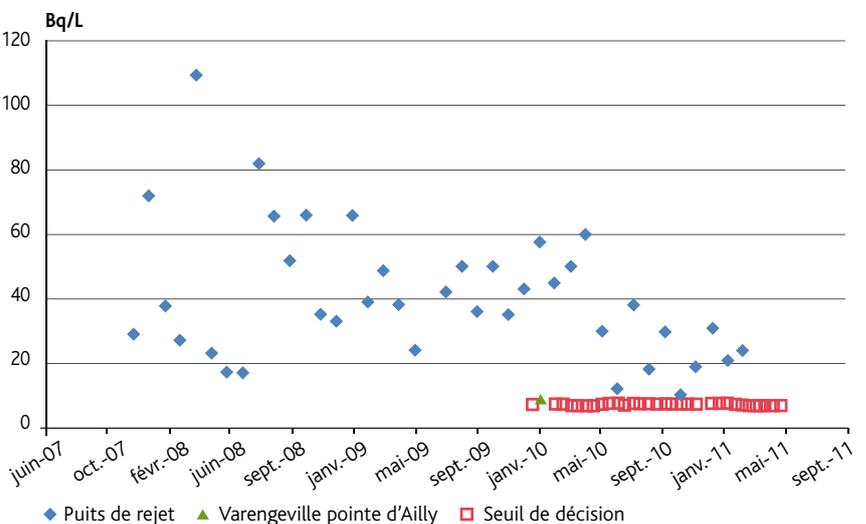


Figure IV.29 - Activité de tritium mesurée dans l'eau de mer à Penly (Bq/L).

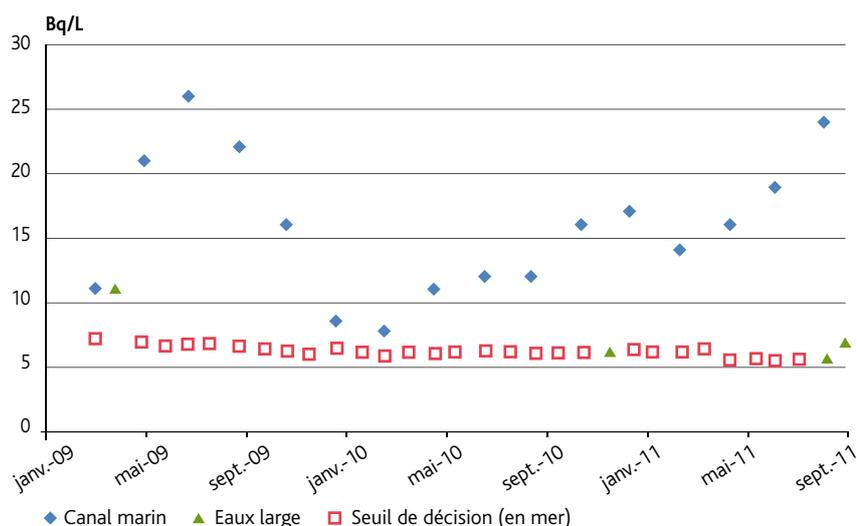


Figure IV.30 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de mer à Gravelines (Bq/L).

À proximité du site de La Hague

Les eaux de la Manche sont le réceptacle des effluents liquides produits par les différents ateliers du site industriel de La Hague qui, après traitement dans les stations de traitement des effluents et contrôle, sont rejetés via une conduite souterraine située dans l'anse des Moulinets.

L'iode 129 est détecté dans trois échantillons à des activités de l'ordre de 0,01 Bq/L au niveau du port de Goury et dans l'anse des Moulinets sous laquelle passe la canalisation de rejet des effluents liquides du site.

L'IRSN analyse depuis 1983 des eaux de mer en provenance de la pointe de Jardeheu. L'amélioration des techniques de mesure par scintillation liquide a permis la détection du tritium depuis 1995 à des valeurs comprises entre le seuil de décision et 26 Bq/L (figure IV.31). Actuellement, le seuil de décision par cette technique est de 1 Bq/L.

Port militaire de Cherbourg

L'activité en tritium de l'eau de mer collectée à proximité du port militaire de Cherbourg (figure IV.32) est équivalente à celle observée sur le pourtour du littoral de la presqu'île du Cotentin.

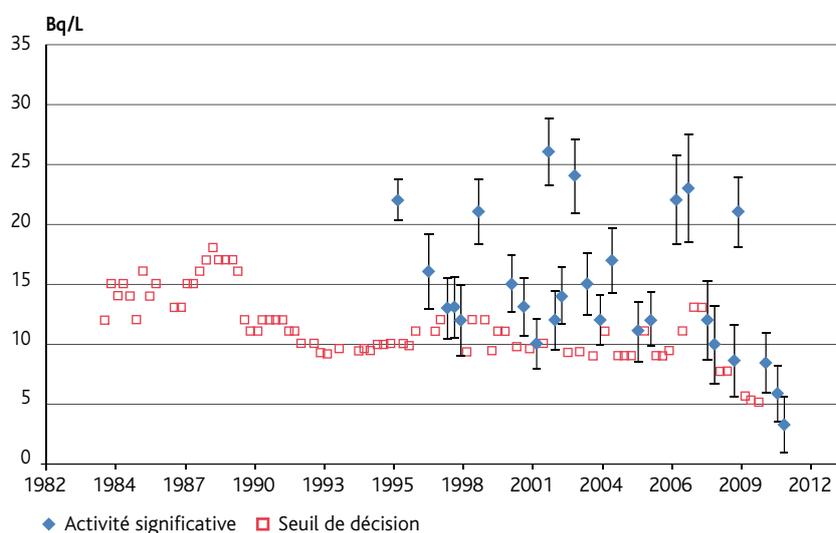


Figure IV.31 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de mer à la Pointe de Jardeheu (Bq/L).

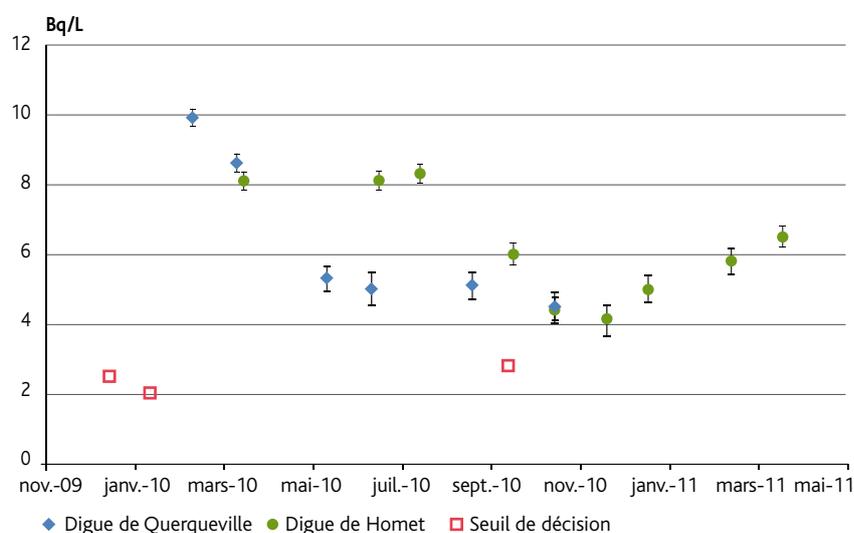


Figure IV.32 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de mer prélevée à la digue de Querqueville et du Homet (Bq/L).

Les sédiments

Des sédiments marins (vase, sable de plage) ont été prélevés courant 2010 et début 2011 en différentes stations situées le long du littoral de la Manche et de la mer du Nord, de Roscoff à Dunkerque. Les fréquences de prélèvement diffèrent d'une station à une autre.

Outre la présence majoritaire de radionucléides naturels (^{40}K , ^{228}Ac , ^7Be), l'analyse des sédiments révèle la présence de radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{244}Cm), liée principalement aux rejets d'effluents liquides passés et présents des installations du site de La Hague, auxquels viennent s'ajouter les rejets liquides du site de Sellafield en Angleterre.

D'une manière générale, les activités mesurées restent faibles et ne mettent en évidence aucune anomalie. Elles sont du même ordre de grandeur que celles mesurées ces dernières années. Les valeurs les plus élevées sont observées à proximité immédiate de l'émissaire de rejet de La Hague. À plus grande distance, les activités sont souvent proches des limites de détection ou des niveaux habituellement rencontrés loin de toute activité nucléaire.

Le cobalt 60 est presque systématiquement détecté sur les stations de Carteret à Penly : l'activité la plus élevée étant observée dans la rade de Cherbourg ($9,4 \pm 0,9$ Bq/kg sec). Les activités en transuraniens (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{244}Cm) et en strontium 90 mesurées dans les sédiments prélevés dans la rade de Cherbourg, légèrement supérieures à celles mesurées en d'autres points de prélèvements, confirment la sensibilité de cette zone au regard des rejets du site de La Hague. Le cobalt 60 n'est plus détecté à l'ouest de Granville, ni à l'est du Tréport.

Le césium 137 est mesuré sur tout le littoral, de Roscoff à Dunkerque. Les plus hautes activités en césium 137 sont observées au niveau de l'anse des Moulinets, qui est la station de prélèvement située sous l'influence directe des rejets du site industriel de La Hague (activité maximale de $10,3 \pm 1,2$ Bq/kg sec mesurée en avril 2010). Ces niveaux d'activité tendent à diminuer le long du littoral à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet. À quelques dizaines de kilomètres, les niveaux observés sont proches de ce que l'on peut mesurer dans des zones situées hors influence de toute activité



© ACRO

Figure IV.33 - Prélèvement de sédiments.

nucléaire. Les variations observées sont également liées à la nature des sédiments prélevés (vase, sable), les plus fins ayant une plus forte propension à fixer les radionucléides.

Le rapport d'activité $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ présenté sur la figure IV.34 permet notamment de s'affranchir des variations des activités en ^{60}Co et en ^{137}Cs seulement liées à la granulométrie et la minéralogie du sédiment.

Ce rapport est caractéristique des rejets de l'usine de La Hague comme le montre la figure IV.35 obtenue dans des sédiments de la rade de Cherbourg et des sédiments de l'estuaire de la Seine. Le décalage est lié au temps de transit entre Cherbourg et l'estuaire de la Seine, de l'ordre d'une dizaine d'années. La grande dispersion des valeurs observées s'explique par la courte période radioactive du cobalt (5,27 ans) par rapport au césium 137 (30,1 ans).

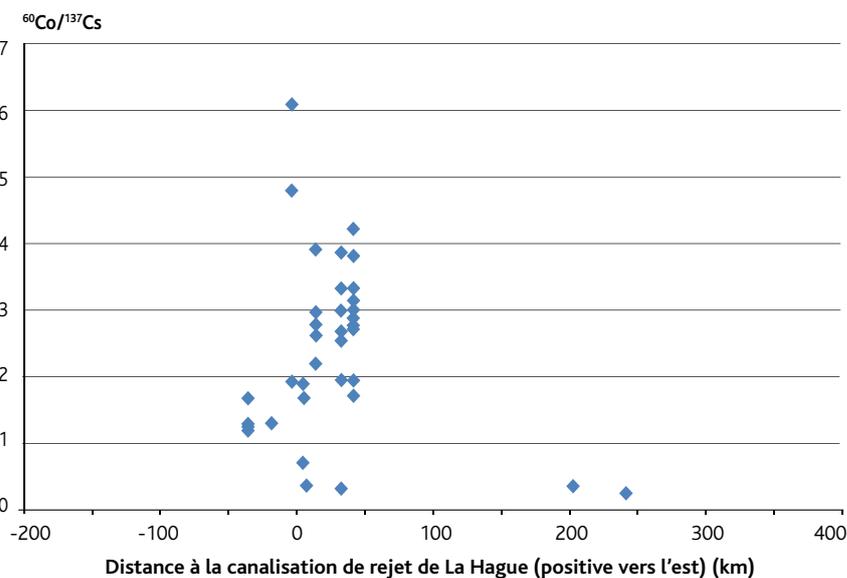


Figure IV.34 - Évolution du rapport d'activité $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ observé dans les sédiments prélevés entre janvier 2010 et mai 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord.

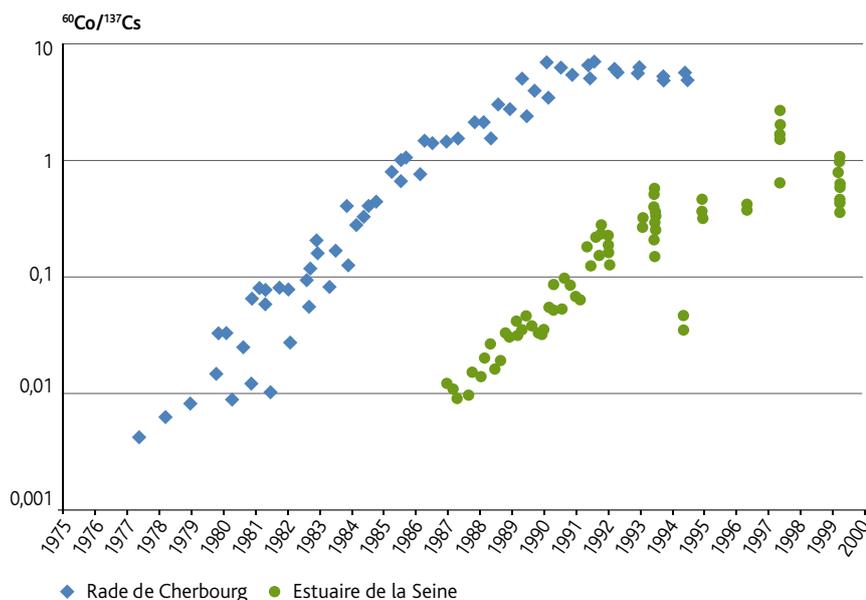


Figure IV.35 - Évolution temporelle du rapport d'activités $^{60}\text{Co}/^{137}\text{Cs}$ observé dans les sédiments prélevés dans la rade de Cherbourg et dans l'estuaire de la Seine.

Quelques activités en strontium 90 sont observées à proximité du site de La Hague à des activités comprises entre $0,92 \pm 0,17$ à Sciotot et $2,9 \pm 1,3$ Bq/kg sec dans la grande rade de Cherbourg.

Les radionucléides émetteurs alpha (^{241}Am , ^{244}Cm , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) suivent une distribution classique dans la Manche et la mer du Nord au regard des activités rejetées par les usines de retraitement de La Hague et de Sellafield (figure IV.36 à figure IV.39). La plupart de ces radionucléides ne sont plus détectés à Roscoff et à Dunkerque, ou présentent des activités très faibles situées dans les ordres de grandeur observés pour les sédiments prélevés en dehors de l'influence directe d'installations nucléaires. Comme pour le césium, les activités en transuraniens dans les sédiments dépendent de l'abondance et de la nature de la fraction la plus fine, souvent riche en minéraux argileux. Pour un site donné, elles peuvent varier d'au moins un ordre de grandeur entre des sédiments sableux et des sédiments vaseux.

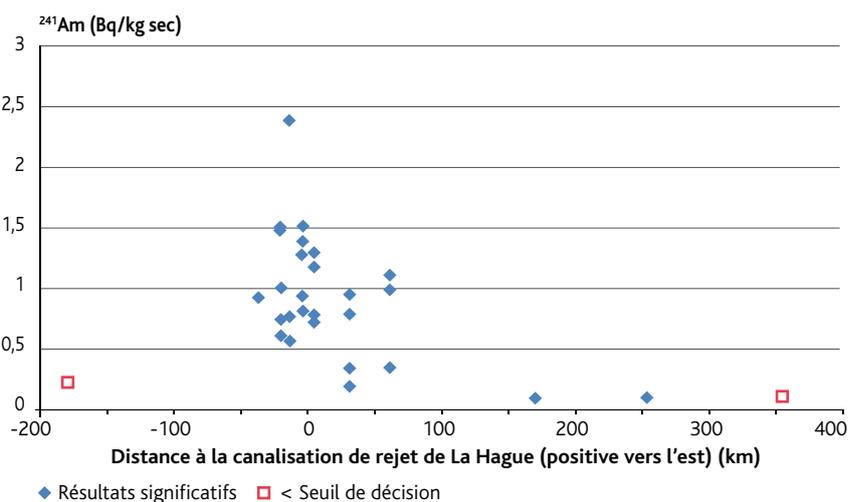


Figure IV.36 - Évolution de l'activité en américium 241 observée dans les sédiments prélevés entre janvier 2010 et mai 2011 le long du littoral Manche - mer du Nord (Bq/kg sec).

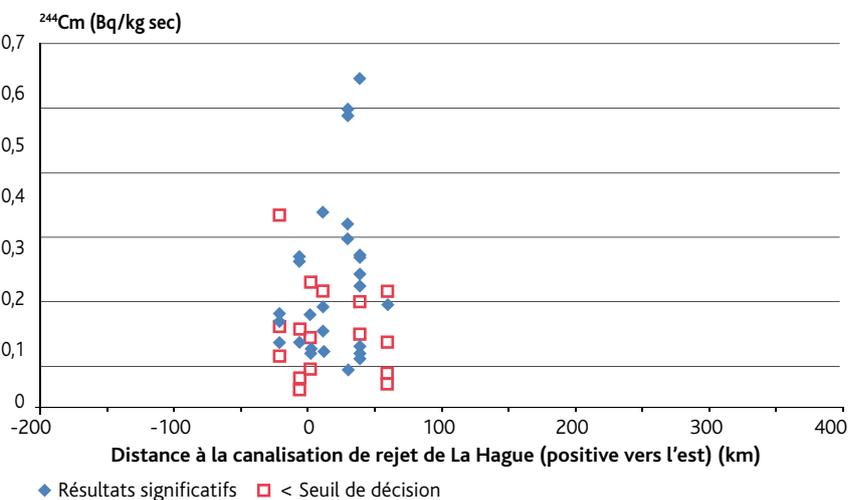


Figure IV.37 - Évolution de l'activité en ^{244}Cm observée dans les sédiments prélevés entre janvier 2010 et mai 2011 le long du littoral Manche - mer du Nord (Bq/kg sec).

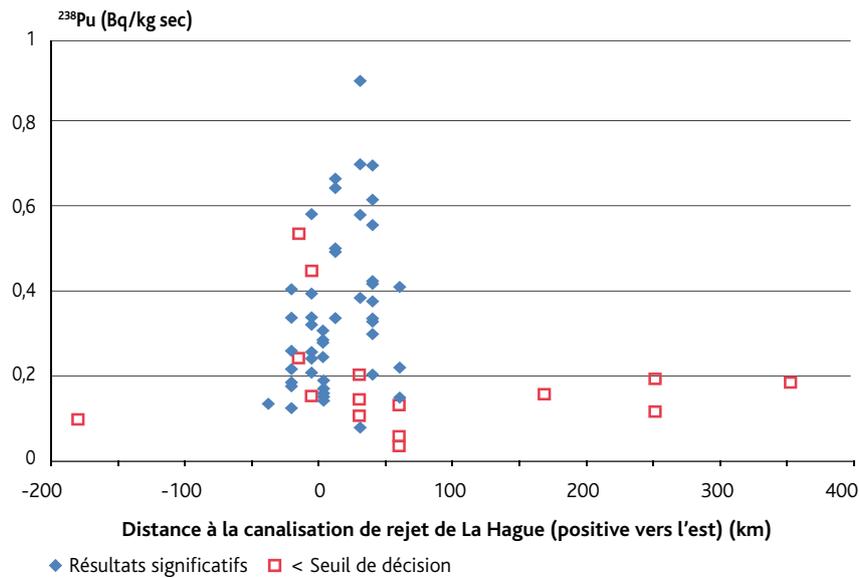


Figure IV.38 - Évolution de l'activité en plutonium 238 observée dans les sédiments prélevés entre janvier 2010 et mai 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec).

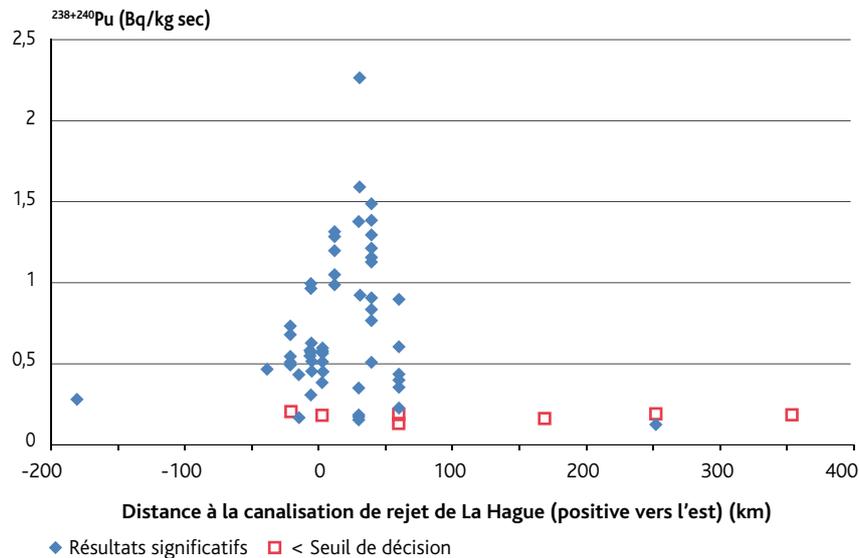


Figure IV.39 - Évolution de l'activité en $^{239+240}\text{Pu}$ observée dans les sédiments prélevés entre janvier 2010 et mai 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec).

Dans le milieu marin, le plutonium et l'américium proviennent des retombées des essais nucléaires atmosphériques et des rejets des installations nucléaires. Actuellement, les rejets les plus significatifs proviennent des usines de traitement du combustible usé. L'étude du rapport isotopique $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ permet de caractériser les sources du plutonium : un rapport proche de 0,03 est caractéristique des retombées atmosphériques ; l'usine de Sellafield présente un rapport d'environ 0,2. Ce rapport isotopique évolue fortement dans les rejets de l'usine de La Hague en raison du taux de combustion. La figure IV.40 présente le rapport cumulé $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ dans

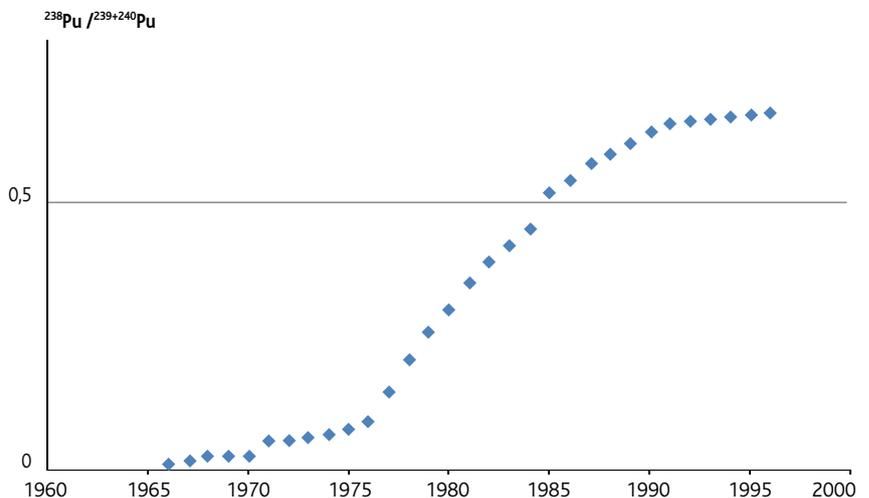


Figure IV.40 - Évolution du rapport cumulé $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les rejets de l'usine de La Hague.

les rejets de La Hague. Une valeur maximale proche de 0,7 est actuellement observée dans les sédiments de Manche centrale. L'ensemble des rapports isotopiques calculés à partir des mesures effectuées en 2010 et début 2011 (*figure IV.41*) révèle un marquage du littoral du Cotentin imputable aux rejets d'effluents liquides passés et actuels des usines de traitement du combustible usé de La Hague et de Sellafield.

De même, le rapport d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ observé est également caractéristique des rejets de l'usine de La Hague. L'évolution du rapport cumulé $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les rejets de l'usine de La Hague (*figure IV.42*) est proche de 2 dans de nombreuses matrices, et notamment dans les sédiments.

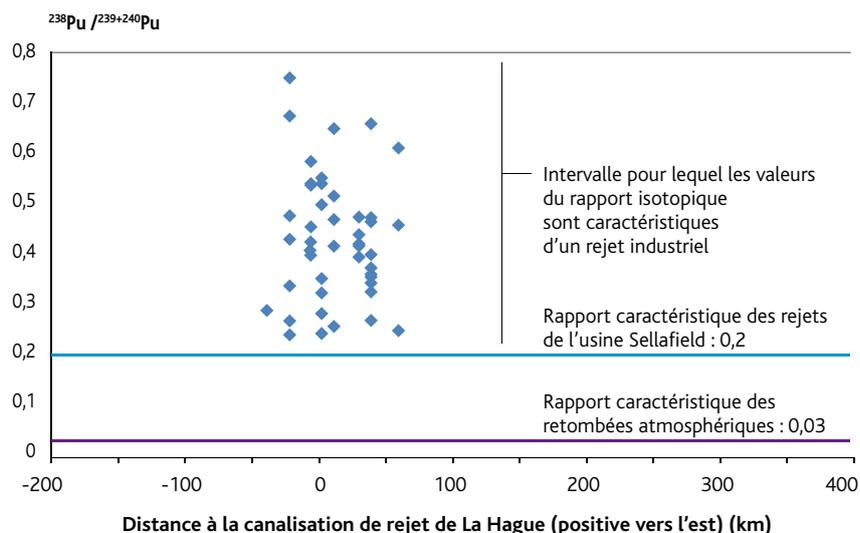


Figure IV.41 - Évolution du rapport d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ observé dans les sédiments prélevés entre janvier 2010 et mai 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord.

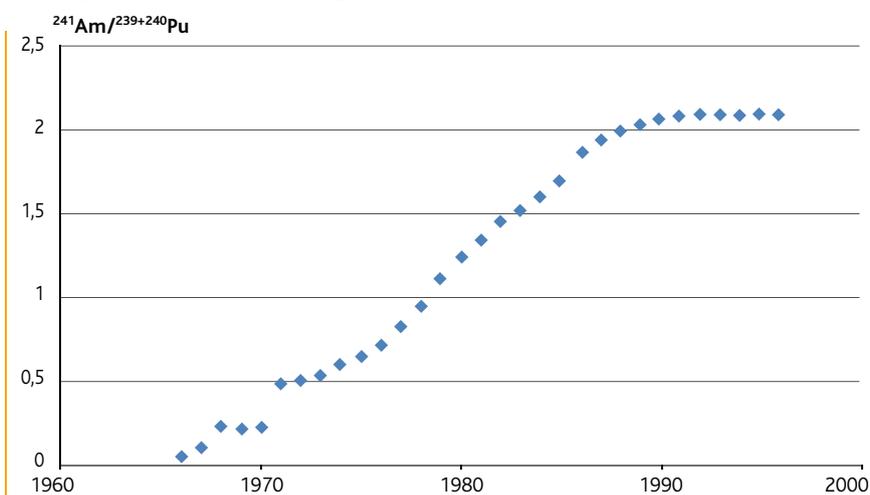


Figure IV.42 - Évolution du rapport cumulé $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ dans les rejets de l'usine de La Hague.

Les algues

Une surveillance régulière de la radioactivité présente dans les algues (fucus dentelé, fucus vésiculeux, ulve...) est effectuée par l'intermédiaire de différentes stations situées sur l'ensemble du littoral de la Manche et de la mer du Nord, de Roscoff à Dunkerque. Au-delà du fait que les algues marines entrent dans la composition de produits consommés par l'homme (alginates) ou peuvent être utilisées comme amendement, ces organismes intègrent et concentrent les variations de la teneur en radionucléides de l'eau et représentent donc un indicateur biologique sensible de l'évolution de la concentration des substances radioactives présentes dans l'eau de mer.



Figure IV.43 - Prélèvement de fucus près du site industriel de La Hague.

Les analyses réalisées sur les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 révèlent la présence de différents radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{129}I , isotopes du plutonium, ^{241}Am , ^{14}C , ^3H) avec des activités du même ordre de grandeur que les années antérieures récentes, et fluctuantes selon les stations.

Comme observé sur les sédiments, les valeurs les plus élevées sont relevées sur les stations les plus proches de l'émissaire de rejet de La Hague, notamment au niveau de l'anse des Moulinets qui est la station de prélèvement située sous l'influence directe des rejets du site industriel de La Hague et pour laquelle les maxima sont généralement observés.

Le césium 137 est mesuré dans la plupart des échantillons d'algues. L'activité maximale est observée à Herquemoulin ($0,78 \pm 0,24 \text{ Bq/kg sec}$). Ces faibles activités décroissent rapidement avec l'éloignement à l'émissaire de rejet pour atteindre des valeurs similaires voire inférieures à ce que l'on peut mesurer dans les fucus vésiculeux prélevés à Oléron, loin de toute installation nucléaire (figure IV.44).

Bien que son activité ait diminué de plus d'un facteur 100 en vingt ans dans les rejets des installations nucléaires de La Hague, le cobalt 60 est, avec le césium 137, l'un des rares radionucléides artificiels émetteurs gamma pouvant être détecté dans le milieu marin aujourd'hui, à l'ouest du Cotentin (jusqu'à $3,43 \pm 0,43 \text{ Bq/kg sec}$ mesuré à la baie d'Ecalgrain en 2010, figure IV.45). Cette baisse des activités rejetées se traduit également dans les mesures réalisées. Entre 1988 et 1996, le niveau d'activité en cobalt 60 mesuré dans le fucus dentelé prélevé à l'anse des Moulinets a connu une diminution constante, passant d'une moyenne de 230 Bq/kg sec en 1988 à moins de 10 Bq/kg sec en 1996. À partir de 1997, le niveau d'activité a atteint un plateau (activités mesurées de l'ordre de 4 à 9 Bq/kg sec). En 2010, les niveaux observés à l'anse des Moulinets confirment cette tendance : ils fluctuent entre $0,8 \pm 0,08$ et $2,9 \pm 0,9 \text{ Bq/kg sec}$. La mesure de ce radionucléide dans les algues s'explique essentiellement par les rejets des installations de traitement du combustible usé. Comparativement, la part attribuable aux centres nucléaires de production d'électricité est négligeable.

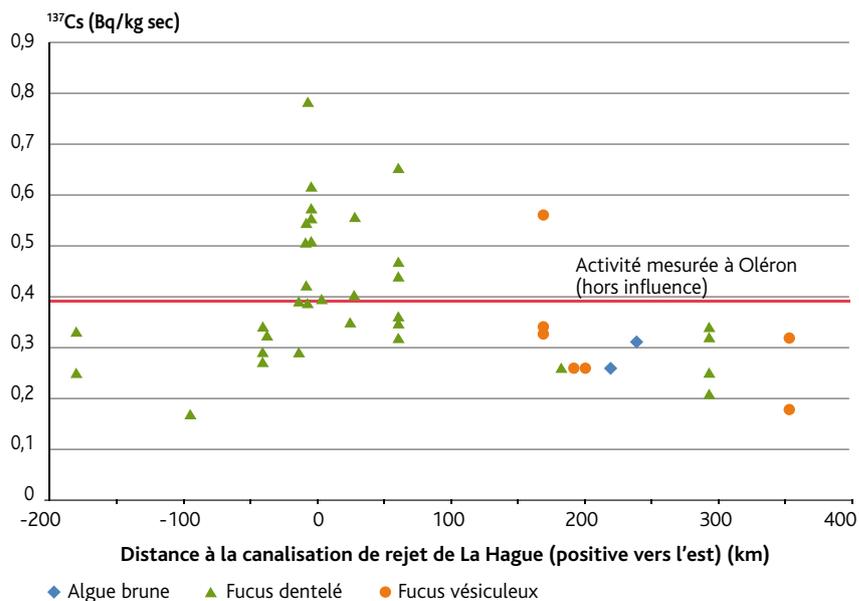


Figure IV.44 - Évolution de l'activité en césium 137 observée dans les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec). (les valeurs inférieures au seuil de décision ne sont pas représentées sur ce graphique).

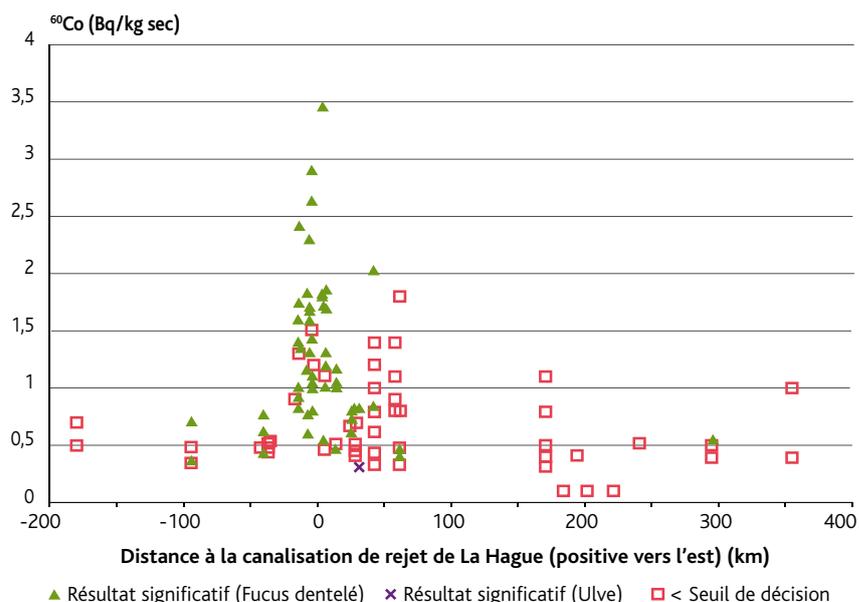


Figure IV.45 - Évolution de l'activité en cobalt 60 observée dans les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec).

Le marquage des algues par les rejets des usines de La Hague et de Sellafield se retrouve distinctement dans les activités mesurées en iode 129 (figure IV.46). Alors qu'elles sont inférieures à 3,2 Bq/kg sec dans les algues prélevées à l'ouest de Roscoff, les activités mesurées de Granville à Dunkerque atteignent jusqu'à 55 ± 11 Bq/kg sec à la Pointe de Goury.

La légère augmentation des activités en américium 241 mesurées dans la Manche et la mer du Nord (entre $0,025 \pm 0,014$ et $0,198 \pm 0,049$ Bq/kg sec) par rapport à celles mesurées dans l'Atlantique (maximum de $0,026 \pm 0,01$ Bq/kg sec à Concarneau) est attribuable à un marquage par les rejets des usines de La Hague et Sellafield.

La même observation est faite pour le plutonium 238 dont les activités mesurées dans la Manche et la mer du Nord fluctuent entre $0,008 \pm 0,007$ et $0,23 \pm 0,15$ Bq/kg sec (en 2010, ce radionucléide n'a pas été détecté dans l'Atlantique). Des traces de ^{238}Pu sont visibles jusqu'à Wimereux ($0,045 \pm 0,018$ Bq/kg sec en mai 2010).

Concernant les isotopes 239 et 240 du plutonium, les activités mesurées à l'anse des Moulinets sont plus de dix fois supérieures à celles observées dans l'Atlantique. La figure IV.47 présente la distribution de ces radionucléides le long du littoral, de Roscoff à Dunkerque. Le rapport isotopique $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$, supérieur à 0,2, permet de confirmer l'origine industrielle de ces radionucléides sur l'ensemble du littoral (figure IV.48).

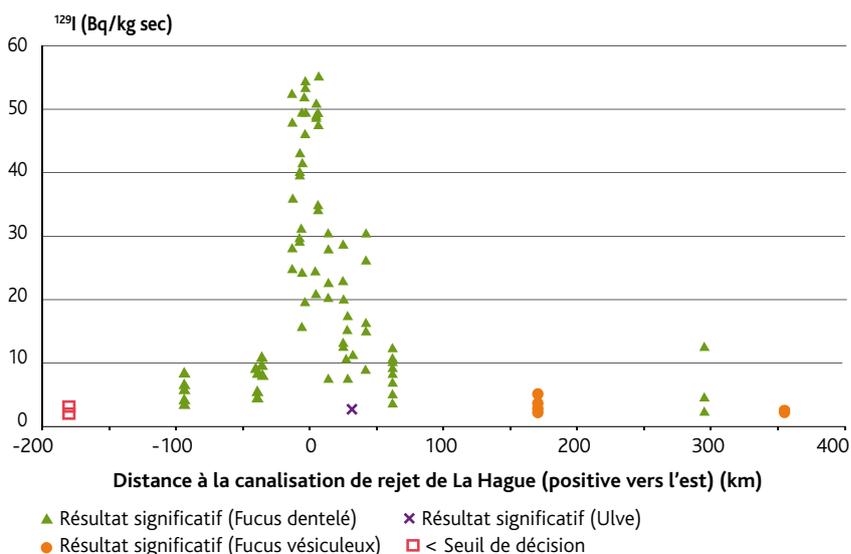


Figure IV.46 - Évolution de l'activité en iode 129 observée dans les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec).

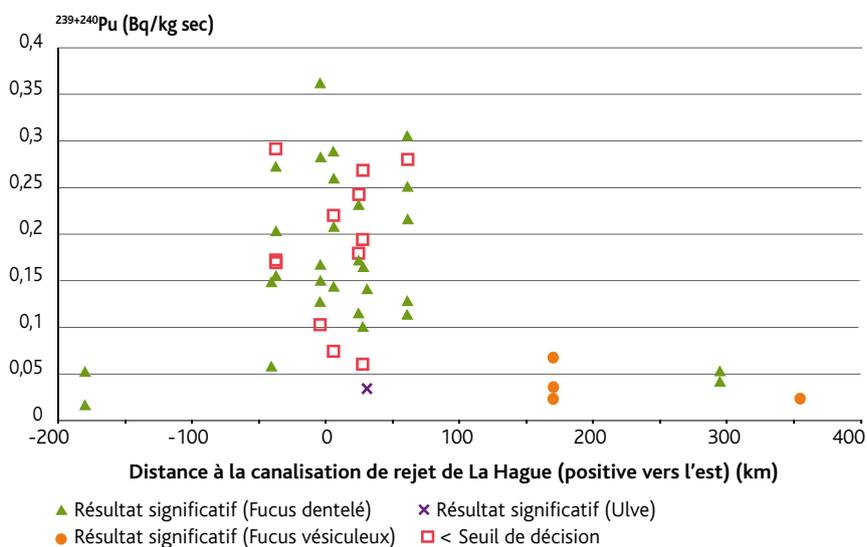


Figure IV.47 - Évolution de l'activité en plutonium 239+240 observée dans les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec).

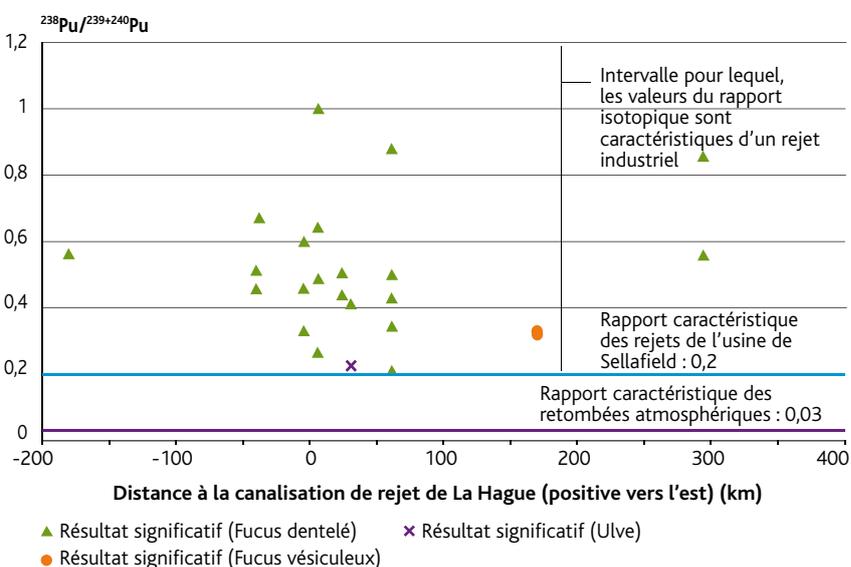


Figure IV.48 - Évolution du rapport d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ observé dans les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg sec).

Les mollusques

Sur la période d'analyse de ce bilan radiologique, des mesures ont été effectuées sur les organismes suivants : coquilles Saint-Jacques, huîtres, moules et patelles. Parmi les radionucléides rejetés dans les effluents liquides des sites de La Hague et de Sellafield, les analyses mettent en évidence des traces de produits de fission (^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{60}Co , ^{129}I) et de transuraniens (américium et plutonium) dans la faune marine (tableau IV.6).

Le césium 137 n'est détecté que ponctuellement à des activités proches des seuils de décision, entre $0,026 \pm 0,009$ Bq/kg frais et $0,1 \pm 0,06$ Bq/kg frais. De même, sur les 141 analyses effectuées sur l'ensemble du littoral de la Manche et de la mer du Nord, seules deux mesures ont révélé la présence de traces de ruthénium 106 dans des patelles prélevées dans des stations particulièrement exposées aux rejets liquides du site de La Hague : à la Pointe de Goury ($0,37 \pm 0,16$ Bq/kg frais) et à l'anse des Moulinets ($0,94 \pm 0,5$ Bq/kg frais).



Figure IV.49 - Prélèvement de patelles.

© Areva / C. Dupont



Figure IV.50 - Patelles.

© IRSN

Tableau IV.6 - Activités moyennes mesurées dans les mollusques prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 sur le littoral de la Manche (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	Côte ouest du Cotentin		Côte nord du Cotentin	Côte est du Cotentin	
	Huître	Moule	Coquille Saint-Jacques	Huître	Moule
^{40}K	$62,2 \pm 2,8$	$76,1 \pm 3,8$	$82,6 \pm 3,3$	$65,1 \pm 3$	$67,7 \pm 3,4$
^{60}Co	< 0,08	< 0,1	$0,067 \pm 0,015$	< 0,09	< 0,09
^{106}Ru	< 0,6	< 0,7	< 0,4	< 0,6	< 0,6
^{129}I	< 0,05	$0,066 \pm 0,018$	$0,057 \pm 0,013$	< 0,06	$0,06 \pm 0,018$
^{137}Cs	< 0,06	< 0,07	< 0,045	< 0,07	< 0,07
Autres RN émetteurs gamma (^{125}Sb , ^{134}Cs)	< 0,22	< 0,24	< 0,15	< 0,22	< 0,23
^{241}Am	< 0,05	< 0,06	< 0,038	< 0,05	< 0,06
^{238}Pu	$0,0027 \pm 0,0007$	$0,004 \pm 0,0013$	$0,0076 \pm 0,0016$	$0,0027 \pm 0,0008$	< 0,0049
$^{239+240}\text{Pu}$	$0,0044 \pm 0,0013$	$0,009 \pm 0,0032$	$0,0215 \pm 0,0032$	$0,0082 \pm 0,0023$	$0,0152 \pm 0,0044$
^{14}C (Bq/kg C)	940 ± 70	470 ± 41	489 ± 33	980 ± 80	518 ± 44

* Sauf indication contraire.

Les activités en iode 129 et en cobalt 60 mesurées dans les mollusques prélevés en Manche centrale sont tout à fait caractéristiques des rejets du site de La Hague. Les plus fortes activités sont mesurées au plus proche de l'émissaire des rejets liquides de La Hague puis diminuent rapidement avec l'éloignement au site.

L'iode 129 est mesuré de Granville à l'Anse du Brick à des activités comprises entre $0,05 \pm 0,022$ Bq/kg frais et $1,47 \pm 0,27$ Bq/kg frais, la valeur maximale étant observée dans les patelles prélevées à l'anse des Moulins (figure IV.51).

Les activités en cobalt 60 observées fluctuent de $0,068 \pm 0,031$ à $0,77 \pm 0,11$ Bq/kg frais de Carteret à Barfleur (maximum observé dans les patelles de Siouville, figure IV.52). Ce radionucléide est également détecté dans les patelles prélevées près des CNPE de Paluel et de Penly ($0,02 \pm 0,01$ Bq/kg frais à Saint-Valéry-en-Caux et à Penly). Un marquage en cobalt 60 par les rejets des centres nucléaires de production d'électricité, ajouté à celui des usines de traitement du combustible usé, ne peut être exclu à proximité immédiate de ces installations (CNPE de Flamanville, Paluel et Penly).

Des activités de plutonium et d'américium 241 ont été relevées sur les mollusques (tableau IV.6). Ces radionucléides sont caractéristiques des effluents liquides des sites de La Hague et de Sellafield. Le rapport isotopique $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$, supérieur à 0,2, révèle une origine industrielle de ces radionucléides (figure IV.53).

Les activités de ces transuraniens sont nettement supérieures aux niveaux observés dans l'Atlantique mais restent néanmoins relativement faibles et du même ordre de grandeur que les années antérieures récentes.

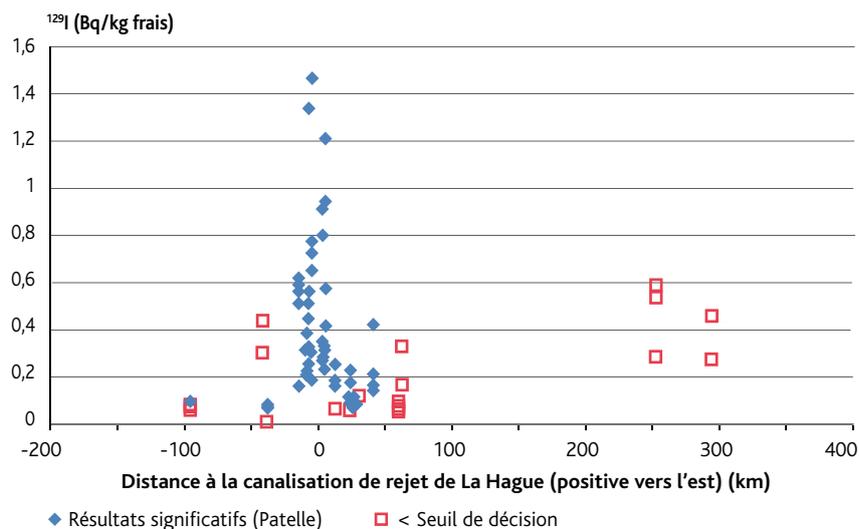


Figure IV.51 - Évolution de l'activité en iode 129 observée dans les mollusques prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg frais).

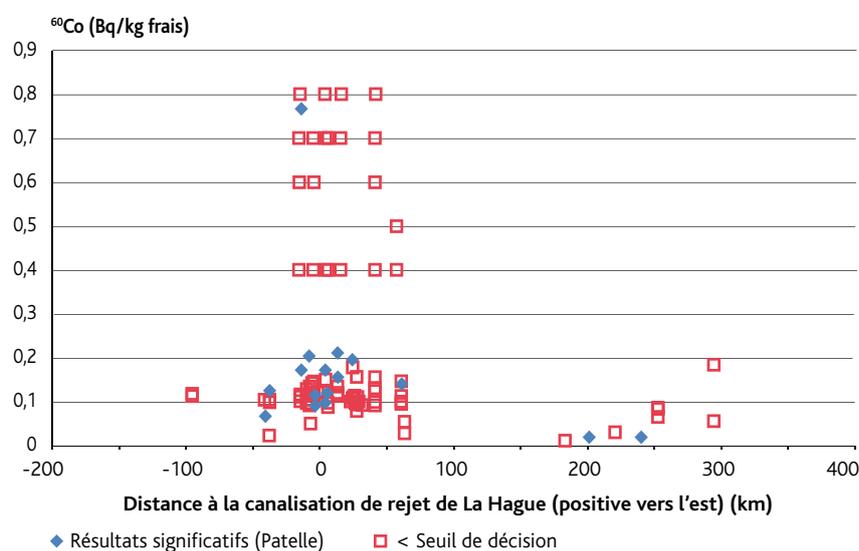


Figure IV.52 - Évolution de l'activité en cobalt 60 observée dans les mollusques prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg frais).

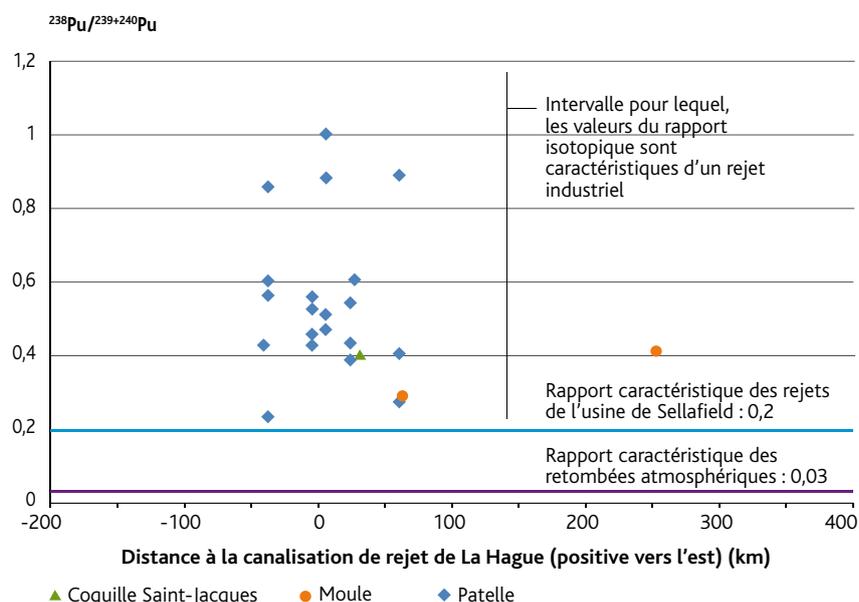


Figure IV.53 - Évolution du rapport d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ observé dans les mollusques prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord.

Les crustacés

Entre janvier 2010 et avril 2011, des analyses radiologiques ont été réalisées sur des crustacés (tourteau, araignée de mer, homard) pêchés le long des côtes de la Manche. Celles-ci révèlent la présence de radionucléides artificiels (¹²⁹I, ⁶⁰Co, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am, ¹⁴C) dans

certaines échantillons, due aux rejets liquides des usines de traitement de combustibles usés de La Hague et de Sellafield (tableau IV.7).

L'iode 129 est régulièrement mesuré à des activités comprises entre 0,104 ± 0,048 Bq/kg frais et 1,31 ± 0,22 Bq/kg frais. Le cobalt 60

et les transuraniens ne sont que ponctuellement détectés. Sur l'ensemble du littoral, l'américium n'a pu être mesuré que deux fois sur les 21 analyses réalisées (0,0065 ± 0,0025 Bq/kg à Carteret et 0,0057 ± 0,0031 Bq/kg frais à Urville-Nacqueville).

Tableau IV.7 - Activités moyennes mesurées dans les crustacés prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 sur les côtes de la Manche (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	À proximité du site de La Hague					
	Roscoff	Carteret Port	Auderville Goury	Côte ouest du Cotentin		Côte nord du Cotentin
	Tourteau	Araignée de mer	Araignée de mer	Tourteau	Homard	Tourteau
⁴⁰ K	60 ± 8	83 ± 11	64 ± 8	61,3 ± 2,7	36,8 ± 1,8	60,1 ± 3
⁶⁰ Co	< 0,1	0,144 ± 0,041	0,135 ± 0,032	0,112 ± 0,021	< 0,07	< 0,09
¹⁰⁶ Ru	< 0,9	< 0,9	< 0,9	< 0,6	< 0,46	< 0,6
¹²⁹ I	nm	< 0,17	< 0,22	0,24 ± 0,032	0,291 ± 0,03	0,097 ± 0,02
¹³⁷ Cs	< 0,1	< 0,11	< 0,09	< 0,07	< 0,06	< 0,07
Autres RN émetteurs gamma (¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 0,98	< 0,96	< 1,07	< 0,21	< 0,17	< 0,22
²⁴¹ Am	nm	0,0065 ± 0,0025	< 0,017	< 0,06	< 0,045	< 0,06
²³⁸ Pu	nm	< 0,0023	< 0,01	< 0,0034	< 0,0048	< 0,0039
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	nm	< 0,0023	0,018 ± 0,008	0,0049 ± 0,0012	< 0,0048	< 0,0034
¹⁴ C (Bq/kg C)	nm	nm	nm	491 ± 31	374 ± 20	328 ± 25

Radionucléide	À proximité du port militaire de Cherbourg		À proximité du CNPE de Paluel		À proximité du CNPE de Penly	
	Urville - Nacqueville Hameau de Nacqueville	Tourlaville	St-Pierre-en-Port	Paluel	Vasterival	Penly
	Tourteau	Tourteau	Araignée de mer	Araignée de mer	Araignée de mer	Tourteau
⁴⁰ K	100 ± 13	62 ± 8	55 ± 8	61 ± 8	58 ± 6	65 ± 7
⁶⁰ Co	< 0,17	< 0,09	< 0,06	< 0,05	< 0,1	< 0,03
¹⁰⁶ Ru	< 1,4	< 0,8	nm	nm	nm	nm
¹²⁹ I	0,25 ± 0,11	< 0,15	nm	nm	nm	nm
¹³⁷ Cs	< 0,21	< 0,09	< 0,04	< 0,1	< 0,1	< 0,08
Autres RN émetteurs gamma (¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 1,85	< 1,06	< 0,14	< 0,13	< 0,13	< 0,17
²⁴¹ Am	0,0057 ± 0,0031	< 0,032	nm	nm	nm	nm
²³⁸ Pu	< 0,0031	< 0,01	nm	nm	nm	nm
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,0046	< 0,01	nm	nm	nm	nm
¹⁴ C (Bq/kg C)	nm	nm	nm	nm	nm	nm

* Sauf indication contraire nm : non mesuré

Les poissons

Des poissons de différentes espèces ont été pêchés entre février 2010 et avril 2011 dans la Manche, à Roscoff et à proximité des principales installations nucléaires longeant la côte (site de La Hague, port militaire de Cherbourg, CNPE de Paluel et de Penly).

Le tableau IV.8 montre que des traces de césium 137 sont présentes dans la majorité des échantillons, à de faibles activités comprises entre $0,06 \pm 0,01$ Bq/kg frais et $0,31 \pm 0,03$ Bq/kg frais. Celles-ci sont relativement proches de ce qu'on peut observer sur le littoral atlantique. D'autres radionucléides artificiels (^{129}I , ^{241}Am , ^3H libre) imputables aux rejets d'effluents liquides des usines de traitement de La Hague en France et de Sellafield en Angleterre sont ponctuellement mesurés. L'iode 129 est mesuré sur quatre poissons pêchés à proximité du site de La Hague à des activités comprises entre $0,035 \pm 0,018$ Bq/kg frais et $0,68 \pm 0,13$ Bq/kg frais (38 mesures effectuées au total en Manche sur la période concernée). De même, seul un échantillon de

carrelet pêché dans la grande rade de Cherbourg en février 2010 présente des traces d'américium 241 ($0,0033 \pm 0,0027$ Bq/kg frais) sur les 36 analyses effectuées sur l'ensemble du littoral.



Figure IV.54 - Dissection d'un carrelet avant analyse.

© IRSN

Tableau IV.8 - Activités moyennes mesurées dans les poissons pêchés entre février 2010 et avril 2011 dans la Manche (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	À proximité du site de La Hague						
	Roscoff	Carteret	Auderville	Barfleur	Côte ouest du Cotentin	Côte nord du Cotentin	Côte est du Cotentin
	Raie	Roussette	Maquereau	Petite Roussette	Poisson	Poisson	Poisson
^{40}K	87 ± 11	85 ± 10	120 ± 15	78 ± 9	$117,4 \pm 3,3$	$95,1 \pm 3$	$88,9 \pm 2,8$
^{60}Co	$< 0,022$	$< 0,03$	$< 0,024$	$< 0,026$	$< 0,09$	$< 0,07$	$< 0,06$
^{106}Ru	$< 0,16$	$< 0,23$	$< 0,17$	$< 0,19$	$< 0,6$	$< 0,43$	$< 0,38$
^{129}I	$< 0,03$	$< 0,04$	$< 0,032$	$< 0,037$	$0,065 \pm 0,009$	$< 0,04$	$0,045 \pm 0,007$
^{137}Cs	$0,151 \pm 0,021$	$0,102 \pm 0,03$	$0,128 \pm 0,019$	$0,122 \pm 0,019$	$0,086 \pm 0,012$	$0,154 \pm 0,018$	$0,082 \pm 0,012$
Autres RN émetteurs gamma (^{124}Sb , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{54}Mn)	$< 0,22$	$< 0,35$	$< 0,20$	$< 0,24$	$< 0,22$	$< 0,16$	$< 0,15$
^{241}Am	nm	nm	$< 0,0027$	$< 0,007$	$< 0,05$	$< 0,041$	$< 0,04$
^{238}Pu	nm	nm	$< 0,0013$	$< 0,0021$	$< 0,0042$	$< 0,0038$	$< 0,0033$
$^{239+240}\text{Pu}$	nm	nm	$< 0,0013$	$< 0,0021$	$< 0,004$	$< 0,0031$	$< 0,0032$
^{14}C (Bq/kg C)	$252 \pm 1,4$	$358 \pm 1,7$	$307 \pm 1,4$	$298,5 \pm 1,7$	285 ± 13	274 ± 24	270 ± 14
^3H libre	$< 3,6$	$5,3 \pm 1,5$	$< 2,9$	$4,1 \pm 1,5$	nm	nm	nm
^3H lié	nm	nm	$1,32 \pm 0,07$	nm	nm	nm	nm

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré

Tableau IV.8 (suite) - Activités moyennes mesurées dans les poissons pêchés entre février 2010 et avril 2011 dans la Manche (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	À proximité du port militaire de Cherbourg		À proximité du CNPE de Paluel			À proximité du CNPE de Penly		
	Urville Nacqueville	Cherbourg	St-Pierre-en-Port	Paluel		Vasterival	Penly	Le Tréport
	Vieille	Carrelet	Bar ou Loup	Bar ou Loup	Turbot	Sole	Sole	Carrelet
⁴⁰ K	89 ± 11	92 ± 11	130 ± 14	120 ± 13	94 ± 9	140 ± 14	93 ± 9	97 ± 12
⁶⁰ Co	< 0,038	< 0,038	< 0,01	< 0,01	< 0,02	< 0,02	< 0,01	< 0,029
¹⁰⁶ Ru	< 0,31	< 0,31	nm	nm	nm	nm	nm	< 0,21
¹²⁹ I	< 0,049	< 0,049	nm	nm	nm	nm	nm	< 0,041
¹³⁷ Cs	0,105 ± 0,02	0,093 ± 0,019	0,31 ± 0,03	0,28 ± 0,03	0,08 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,064 ± 0,027
Autres RN émetteurs gamma (¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 0,48	< 0,55	< 0,02	< 0,02	< 0,04	< 0,08	< 0,04	< 0,23
²⁴¹ Am	< 0,005	0,0033 ± 0,0027	nm	nm	nm	nm	nm	< 0,006
²³⁸ Pu	< 0,005	< 0,004	nm	nm	nm	nm	nm	< 0,006
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,005	< 0,004	nm	nm	nm	nm	nm	< 0,006
¹⁴ C (Bq/kg C)	414,5 ± 2	287,5 ± 1,4	nm	nm	nm	nm	nm	365,2 ± 1,7
³ H libre	< 3,6	< 3,5	nm	nm	nm	nm	nm	< 16
³ H lié	0,818 ± 0,042	nm	nm	nm	nm	nm	nm	0,46 ± 0,09

La façade atlantique

La surveillance du littoral atlantique décrite dans ce paragraphe s'étend d'Arcachon à Brest.

L'eau de mer

Tableau IV.9 - Activités du tritium et du césium 137 dans l'eau prélevée en Atlantique (Bq/L).

Façade atlantique

Sur la façade atlantique, le tritium est mesuré à des concentrations nettement plus faibles qu'en mer du Nord, sauf au niveau de l'embouchure des fleuves sur lesquels sont implantés des CNPE (Loire et Garonne). Les niveaux de césium 137 résiduels datant de Tchernobyl et des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires sont encore mesurables à très bas niveau dans l'océan Atlantique à des activités de quelques mBq/L (tableau IV.9).

Radionucléide	Arcachon	Pornichet
Tritium	0,158 ± 0,007	6,0 ± 2,4
Césium 137	0,0054 ± 0,0016	0,0076 ± 0,0018

nm : non mesuré

Port militaire de Brest – Île Longue

Aucun radionucléide artificiel n'a été détecté sur la période considérée dans l'eau de mer prélevée à proximité du port militaire de Brest.

Les sédiments

Façade atlantique

En 2010 et début 2011, des sédiments marins ont été prélevés semestriellement à Pornichet et Oléron, et annuellement à Arcachon (tableau IV.10).

Le potassium 40 constitue le principal radionucléide naturel émetteur gamma, mesuré à des activités comprises entre 168 ± 16 et 520 ± 50 Bq/kg sec. Le césium 137 et les isotopes 239 et 240 du plutonium, imputables aux retombées des essais nucléaires atmosphériques, sont également observés dans ces échantillons. Les concentrations en césium 137 mesurées dans les prélèvements réalisés sont faibles (au maximum $3,32 \pm 0,32$ Bq/kg sec à Oléron), voire inférieures aux seuils de décision à Arcachon. Les variabilités observées sont principalement dues à la diversité des matrices prélevées (sable à Arcachon, vase à Oléron).

Les activités en plutonium 239+240 dans les sédiments marins atteignent $0,12 \pm 0,07$ Bq/kg sec à Oléron et $0,17 \pm 0,1$ Bq/kg sec à Pornichet. L'activité de ces transuraniens reste inférieure aux seuils de décision à Arcachon.

Port militaire de Brest – Île Longue

Des prélèvements annuels, trimestriels, bimestriels ou mensuels de sédiments sont effectués sur sept stations situées dans la grande rade de Brest (tableau IV.11).

Tableau IV.10 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments prélevés sur le littoral atlantique (Bq/kg sec).

Radionucléide	Arcachon	Oléron	Pornichet
⁴⁰ K	188 ± 14	228 ± 15	192 ± 11
⁶⁰ Co	< 0,2	< 0,16	< 0,12
¹³⁷ Cs	< 0,15	0,309 ± 0,049	0,101 ± 0,028
²²⁸ Ac	4 ± 0,6	4,96 ± 0,48	7,7 ± 0,6
²⁴¹ Am	< 0,1	< 0,16	< 0,21
²³⁸ Pu	< 0,22	< 0,11	< 0,21
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,22	0,12 ± 0,07	0,17 ± 0,1

La radioactivité mesurée est essentiellement naturelle (⁴⁰K, ²²⁸Ac). Parmi les radionucléides artificiels mesurés, seules des traces de césium 137, issues des retombées atmosphériques anciennes, sont détectées quasi-systématiquement dans tous les échantillons avec des activités comprises entre $0,17 \pm 0,08$ Bq/kg sec et $2,89 \pm 0,38$ Bq/kg sec.

D'autres radionucléides artificiels sont ponctuellement mesurés dans les échantillons prélevés à l'anse du Fret : le cobalt 60, le strontium 90, l'américium 241 et les plutoniums 239+240. Le cobalt 60 est détecté occasionnellement à des activités comprises entre $0,48 \pm 0,17$ et $1,38 \pm 0,24$ Bq/kg sec (trois mesures supérieures aux seuils de décision sur les 18 analyses effectuées entre janvier 2010 et mai 2011). Un seul échantillon présente une activité en strontium 90 de $7,9 \pm 1,1$ Bq/kg sec sur les trois échantillons analysés.



Figure IV.55 - Premier tamisage des prélèvements de sédiments à bord du Palingrin II de la Marine nationale près de Brest.

© Marine nationale

Tableau IV.11 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments prélevés à proximité du port militaire de Brest (Bq/kg sec).

Radionucléide	Brest		Plougastel-Daoulas		Crozon	Roscanvel	
	Saint-Anne du Portzic	Rade-Abri	Keraliou	Banc du Caro	Anse du Fret	Baie de Roscanvel	Port de Roscanvel
	Sable de plage	Sédiment marin	Sable de plage	Sédiment marin	Sédiment marin	Sédiment marin	Sable de plage
⁴⁰ K	415 ± 16	518 ± 10	461 ± 16	362 ± 15	273,7 ± 3,6	304 ± 8	316 ± 8
⁶⁰ Co	< 0,17	< 0,22	< 0,09	< 0,21	0,194 ± 0,023	< 0,14	< 0,11
¹³⁷ Cs	0,45 ± 0,16	2,77 ± 0,16	0,17 ± 0,08	1,16 ± 0,24	0,655 ± 0,045	0,92 ± 0,12	0,18 ± 0,06
²²⁸ Ac	13,7 ± 2	23,4 ± 1,6	21,5 ± 2,7	17,3 ± 2,5	9,1 ± 0,6	17,9 ± 2,5	18,2 ± 1,7
⁹⁰ Sr	nm	nm	nm	nm	0,43 ± 0,12	nm	nm
²⁴¹ Am	nm	nm	nm	nm	0,2 ± 0,08	nm	nm
²³⁸ Pu	nm	nm	nm	nm	< 0,14	nm	nm
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	nm	nm	nm	nm	0,58 ± 0,17	nm	nm

nm : non mesuré

Les algues

Façade atlantique

Comme pour les sédiments, la radioactivité mesurée dans les algues prélevées sur le littoral atlantique est représentée quasi-exclusivement par le potassium 40 (entre 690 ± 70 Bq/kg sec et $1\,620 \pm 140$ Bq/kg sec) et, selon les stations, par quelques traces de radionucléides artificiels comme le césium 137, l'américium 241 et les isotopes du plutonium (tableau IV.12). La présence de ces radionucléides artificiels dans les algues des côtes françaises s'explique par les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires.

Port militaire de Brest – Île Longue

Des prélèvements d'algues (fucus dentelé, fucus spiralé, fucus vésiculeux) sont effectués régulièrement en différents points de la grande rade de Brest. La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les algues est principalement due au potassium 40 ($1\,314 \pm 12$ Bq/kg sec en moyenne). Le césium 137 a été détecté ponctuellement dans les fucus vésiculeux prélevés dans les stations de Sainte-Anne du Portzic et de Kérialiou, à des niveaux très proches des seuils de décision ($0,31 \pm 0,21$ Bq/kg sec en mars 2011 et $0,42 \pm 0,23$ Bq/kg sec en janvier 2011 respectivement). Les activités des radionucléides d'origine artificielle recherchés (^{134}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn) sont restées inférieures aux seuils de décision (tableau IV.13).

■ **Tableau IV.12** - Activités moyennes mesurées dans les algues prélevées sur le littoral atlantique (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Oléron	Pornichet	Concarneau
	Fucus vésiculeux	Fucus vésiculeux	Fucus dentelé
^{40}K	1060 ± 60	881 ± 50	1090 ± 50
^{60}Co	< 0,35	< 0,34	< 0,47
^{137}Cs	$0,39 \pm 0,06$	$0,38 \pm 0,06$	$0,26 \pm 0,06$
Autres RN émetteurs gamma (^{106}Ru , ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{110m}Ag , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{54}Mn)	< 4,8	< 4,5	< 6,1
^{241}Am	< 0,016	< 0,044	$0,026 \pm 0,01$
^{238}Pu	< 0,014	< 0,021	< 0,015
$^{239+240}\text{Pu}$	$0,02 \pm 0,007$	$0,032 \pm 0,011$	$0,022 \pm 0,008$
^{14}C (Bq/kg C)	$236,5 \pm 0,8$	$241,3 \pm 0,8$	$241,7 \pm 1,7$
^3H libre (Bq/kg frais)	< 3,8	< 4,5	< 3,5
^3H lié	$0,216 \pm 0,006$	$0,73 \pm 0,037$	nm

* sauf indication contraire
nm : non mesuré



■ **Figure IV.56** - Prélèvement d'algues à bord du Palignrin II près de Brest.

Tableau IV.13 - Activités moyennes mesurées dans les algues prélevées à proximité du port militaire de Brest (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Brest Sainte-Anne-du-Portzic		Plougastel-Daoulas Kéraliou		Crozon Anse du Fret			Roscanvel Port de Roscanvel	
	Fucus dentelé	Fucus vésiculeux	Fucus dentelé	Fucus vésiculeux	Fucus dentelé	Fucus spiralé	Fucus vésiculeux	Fucus dentelé	Fucus vésiculeux
⁴⁰ K	1 440 ± 50	1 090 ± 38	1 620 ± 60	1 243 ± 44	1 445 ± 28	1 057 ± 42	1 192 ± 30	1 785 ± 43	1 231 ± 30
⁶⁰ Co	< 0,29	< 0,34	< 0,31	< 0,28	< 0,34	< 0,3	< 0,26	< 0,32	< 0,27
¹³⁷ Cs	< 0,25	0,31 ± 0,21	< 0,29	0,42 ± 0,23	< 0,31	< 0,27	< 0,26	< 0,29	< 0,26
Autres RN émetteurs gamma (¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 0,55	< 0,59	< 0,29	< 0,27	< 1,42	< 0,51	< 0,26	< 0,62	< 0,54
¹⁴ C (Bq/kg C)	nm	nm	nm	nm	244,2 ± 1,4	nm	nm	nm	nm

* sauf indication contraire
nm : non mesuré

Les mollusques

Façade atlantique

La radioactivité mesurée dans les mollusques pêchés annuellement ou semestriellement sur le littoral atlantique est majoritairement due à la radioactivité naturelle (⁴⁰K, ²¹⁰Po). L'activité du potassium 40 oscille entre 23,4 ± 2,7 Bq/kg frais et 60 ± 5 Bq/kg frais, et celle du polonium 210

entre 8,6 ± 0,9 Bq/kg frais et 31,4 ± 2,5 Bq/kg frais selon les espèces et les stations de prélèvement (tableau IV.14).

Des traces d'américium 241 sont mesurées dans les moules prélevées à Oléron. De même, les plutoniums 239+240, issus des retombées atmosphériques des essais aériens passés, sont présents à l'état de traces dans la quasi-totalité des prélèvements analysés

Tableau IV.14 - Activités moyennes mesurées dans les mollusques prélevés sur le littoral atlantique (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	Arcachon	Oléron		Pornichet	Concarneau
	Huître	Huître	Moule	Moule	Moule
⁴⁰ K	26,6 ± 1,9	26 ± 2,5	50,7 ± 4,9	60 ± 5	40,1 ± 2,7
⁶⁰ Co	< 0,029	< 0,024	< 0,05	< 0,037	< 0,04
¹³⁷ Cs	< 0,048	< 0,02	< 0,042	< 0,033	< 0,035
Autres RN émetteurs gamma (¹⁰⁶ Ru, ¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 0,46	< 0,4	< 0,78	< 0,6	< 0,68
²¹⁰ Po	31,4 ± 2,5	8,6 ± 0,9	31,2 ± 3,1	17 ± 2,4	14,1 ± 1,5
²⁴¹ Am	< 0,0027	nm	0,0024 ± 0,0016	< 0,0024	< 0,002
²³⁸ Pu	< 0,0017	nm	< 0,0016	< 0,0013	< 0,0015
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,0014 ± 0,001	nm	0,0017 ± 0,001	< 0,0013	0,0014 ± 0,0009

* sauf indication contraire
nm : non mesuré



Figure IV.57 - Pesée d'un prélèvement de patelles.

Port militaire de Brest – Île Longue

Aucun des radionucléides émetteur gamma d'origine artificielle n'a été mis en évidence dans les mollusques prélevés dans la grande rade de Brest (tableau IV.15).

■ **Tableau IV.15** - Activités moyennes mesurées dans les mollusques prélevés à proximité du port militaire de Brest (Bq/kg frais).

Radionucléide	Brest	Plougastel-Daoulas		Logonna-Daoulas	Lanvéoc	Crozon		Roscanvel	
	Saint-Anne-du-Portzic	Kériou	Banc du Caro		Pointe de Lanvéoc	Anse du Fret		Baie de Roscanvel	Port de Roscanvel
	Patelle	Patelle	Coquille Saint-Jacques	Huître	Moule	Huître	Patelle	Patelle	Patelle
⁴⁰ K	66,1 ± 3,2	66,5 ± 4,7	66 ± 6	29,4 ± 4,5	36 ± 6	33,9 ± 1,3	71,1 ± 1,9	68,4 ± 5	49,4 ± 2,6
⁶⁰ Co	< 0,046	< 0,11	< 0,14	< 0,09	< 0,1	< 0,023	< 0,07	< 0,11	< 0,042
¹³⁷ Cs	< 0,044	< 0,1	< 0,12	< 0,08	< 0,1	< 0,022	< 0,06	< 0,12	< 0,042
Autres RN émetteurs gamma (¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 0,09	< 0,11	< 0,13	< 0,23	< 0,4	< 0,023	< 0,11	< 0,12	< 0,09

Les crustacés

■ **Tableau IV.16** - Activités moyennes mesurées dans les crustacés prélevés à proximité du port militaire de Brest (Bq/kg frais).

Façade atlantique

En 2010, la radioactivité mesurée dans le prélèvement annuel de tourteaux réalisé à Concarneau est dominée par le potassium 40, dont l'activité massique s'élève à 56 ± 8 Bq/kg frais.

Les activités des autres radionucléides émetteurs gamma sont inférieures aux seuils de décisions des appareils de mesure utilisés.

Port militaire de Brest – Île Longue

Tout comme pour les mollusques, aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans les échantillons annuels (tableau IV.16) :

- de tourteaux provenant de la Rade-Abri ;
- de tourteaux et d'araignées de mer prélevés à l'Anse du Fret ;
- d'araignées de mer provenant de la Baie de Roscanvel.

Radionucléide	Brest Rade-Abri	Crozon Anse du Fret		Roscanvel Baie de Roscanvel
	Tourteau	Tourteau	Araignée de mer	Araignée de mer
⁴⁰ K	58 ± 7	30,2 ± 1,6	56,4 ± 2,1	32,3 ± 1,3
⁶⁰ Co	< 0,08	< 0,024	< 0,08	< 0,034
¹³⁷ Cs	< 0,08	< 0,027	< 0,08	< 0,04
Autres RN émetteurs gamma (¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁵⁴ Mn)	< 0,39	< 0,026	< 0,14	< 0,11

Les poissons

Façade atlantique

La radioactivité mesurée en 2010 dans les poissons pêchés sur la côte atlantique est dominée par le potassium 40, dont l'activité massique est de l'ordre de 100 Bq/kg frais. En dehors de quelques traces de césium 137, issues des retombées atmosphériques anciennes, mesurées à Oléron et à Concarneau, les activités des autres radionucléides émetteurs gamma sont inférieures aux seuils de décision (tableau IV.17).

Port militaire de Brest – Île Longue

La faune marine fait l'objet d'analyses radiologiques régulières en différents points de la grande rade de Brest. En dehors du potassium 40 présent naturellement dans l'ensemble des échantillons, des traces de césium 137 sont mises en évidence sur la plupart des prélèvements de poissons (tableau IV.18). Les autres radionucléides émetteurs gamma recherchés (^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn) n'ont pas été détectés.

Tableau IV.17 - Activités mesurées dans les poissons pêchés sur le littoral atlantique (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	Arcachon	Oléron	Concarneau
	Mulet	Poisson	Poisson
^{40}K	95 ± 12	95 ± 12	107 ± 13
^{60}Co	< 0,034	< 0,043	< 0,033
^{137}Cs	< 0,041	0,045 ± 0,016	0,22 ± 0,031
Autres RN émetteurs gamma (^{106}Ru , ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{110m}Ag , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{54}Mn)	< 0,57	< 0,73	< 0,57
^{14}C (Bq/kg C)	238,2 ± 1,4	237,8 ± 1,4	247,2 ± 1,7
^3H libre	< 3,4	< 3,5	< 3,7
^3H lié	0,054 ± 0,005	0,0659 ± 0,0047	nm

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré

Tableau IV.18 - Activités moyennes mesurées dans les poissons pêchés à proximité du port militaire de Brest (Bq/kg frais).

Radionucléide	Brest				Plougastel-Daoulas
	Rade Abri	Grande Digue	Bouée du Renard		Banc du Caro
	Congre	Congre	Roussette	Labre	Sole
^{40}K	126 ± 15	59,8 ± 2,9	108 ± 13	71 ± 9	97 ± 12
^{60}Co	< 0,034	< 0,09	< 0,05	< 0,09	< 0,07
^{137}Cs	0,087 ± 0,017	0,129 ± 0,039	0,095 ± 0,044	0,069 ± 0,03	< 0,06
Autres RN émetteurs gamma (^{134}Cs , ^{58}Co , ^{54}Mn)	< 0,14	< 0,08	< 0,23	< 0,3	< 0,23

Radionucléide	Crozon					Roscanvel
	Anse du Fret					Baie de Roscanvel
	Congre	Raie	Roussette	Vieille	Poisson non identifié	Roussette
^{40}K	64,2 ± 2,8	84,2 ± 4,4	67,4 ± 1,9	83,1 ± 4,7	101,1 ± 4,5	55,7 ± 2,3
^{60}Co	< 0,1	< 0,07	< 0,07	< 0,07	< 0,06	< 0,05
^{137}Cs	0,105 ± 0,03	0,09 ± 0,05	0,069 ± 0,018	0,13 ± 0,05	< 0,07	0,088 ± 0,033
Autres RN émetteurs gamma (^{134}Cs , ^{58}Co , ^{54}Mn)	< 0,15	< 0,15	< 0,11	< 0,13	< 0,13	< 0,05

Le carbone 14 dans le milieu marin et littoral

Le carbone 14 est un des isotopes radioactifs du carbone. Sa présence dans l'environnement résulte de sa production naturelle via l'action des neutrons cosmiques sur les atomes d'azote dans la stratosphère et dans la partie supérieure de la troposphère, mais également de l'activité anthropique (explosions nucléaires atmosphériques, industries nucléaires).

Aujourd'hui, les installations de traitement des combustibles usés et, dans une moindre mesure, les centres nucléaires de production d'électricité, participent majoritairement aux rejets de carbone 14 anthropique dans l'environnement. Les rejets liquides en ¹⁴C de l'usine Areva de La Hague dans le milieu marin ont régulièrement augmenté entre 1985 et 2000 pour atteindre environ 10 TBq (10¹³ Bq) en 2000. En 2010, ces rejets s'élevaient à 7,34 TBq (7,34 × 10¹² Bq). Cette même année, l'usine de Sellafield en Angleterre a rejeté 4,4 TBq (4,4 × 10¹² Bq) de ¹⁴C dans le milieu marin. À titre de comparaison, le taux de production annuel mondial de ¹⁴C naturel est d'environ 1 540 TBq (1,540 × 10¹⁵ Bq).

Dans l'environnement, le carbone 14 a le même comportement que l'isotope stable ¹²C (qui représente 99 % du carbone) : il suit le cycle du carbone. Aussi le retrouve-t-on dans la matière vivante carbonée.

Entre janvier 2010 et avril 2011, ce radio-nucléide a été recherché dans différentes matrices (algues, mollusques, poissons) prélevés le long des côtes françaises métropolitaines. Les mesures réalisées intègrent à la fois le carbone naturel et celui ajouté par les activités des usines de traitement du combustible de La Hague et de Sellafield et des centres nucléaires de production d'électricité. L'appréciation de l'impact doit tenir compte de la composante naturelle.

D'une manière générale, les résultats mettent en évidence un marquage en ¹⁴C des organismes vivants prélevés dans la Manche et la mer du Nord imputables aux rejets liquides des établissements de La Hague et de Sellafield, supérieurs à ceux des CNPE des côtes de la Manche (Flamanville, Paluel, Penly). Les activités les plus élevées se concentrent au niveau de la pointe de La Hague et diminuent

rapidement avec l'éloignement à l'émissaire des rejets liquides de La Hague pour atteindre des niveaux avoisinant le bruit de fond actuel (environ 240 Bq/kg de carbone). Les activités mesurées sur les littoraux atlantique et méditerranéen sont globalement proches du bruit de fond environnemental.

Le carbone 14 dans les algues

L'impact des usines de traitement est essentiellement visible dans l'environnement proche du site de La Hague, de Carteret à Barfleur. Les valeurs les plus élevées sont observées à l'anse des Moulinets, station de prélèvement située sous l'influence directe des rejets du site et pour laquelle les maxima sont généralement observés (activité moyenne de 524 ± 29 Bq/kg de carbone mesurée dans les fucus dentelés, soit plus de deux fois supérieure aux niveaux habituellement observés loin

de toute activité nucléaire). À Roscoff, Honfleur, Wimereux et Dunkerque, les niveaux observés sont comparables au bruit de fond (figure IV.58).

Le carbone 14 dans les mollusques

Entre janvier 2010 et avril 2011, la quantification du carbone 14 dans les mollusques a porté sur des prélèvements annuels, semestriels ou trimestriels de patelles, moules, huîtres et coquilles Saint-Jacques.

Les activités mesurées dans les mollusques prélevés à proximité du site de La Hague, de Carteret à Barfleur présentent des niveaux jusqu'à près de quatre fois supérieurs à ceux habituellement observés naturellement, loin de toute installation nucléaire, traduisant ainsi l'impact des rejets liquides des centres de traitement du combustible usé sur la faune aquatique marine (figures IV.59 et IV.60).

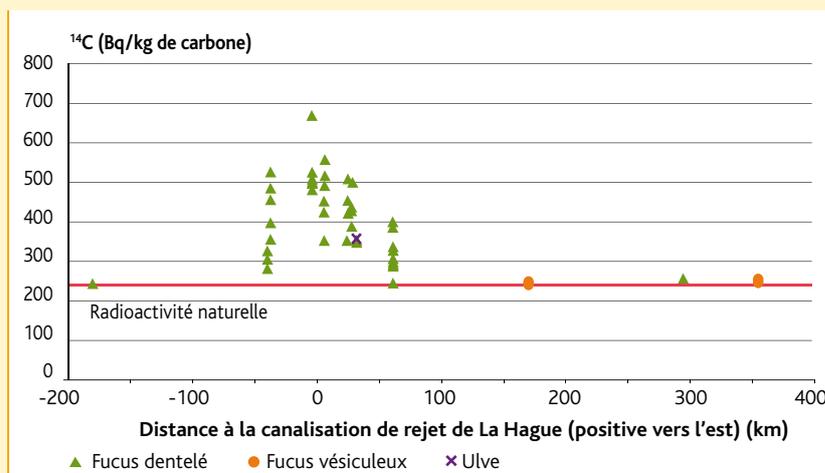


Figure IV.58 - Évolution de l'activité en carbone 14 observée dans les algues prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg de C).

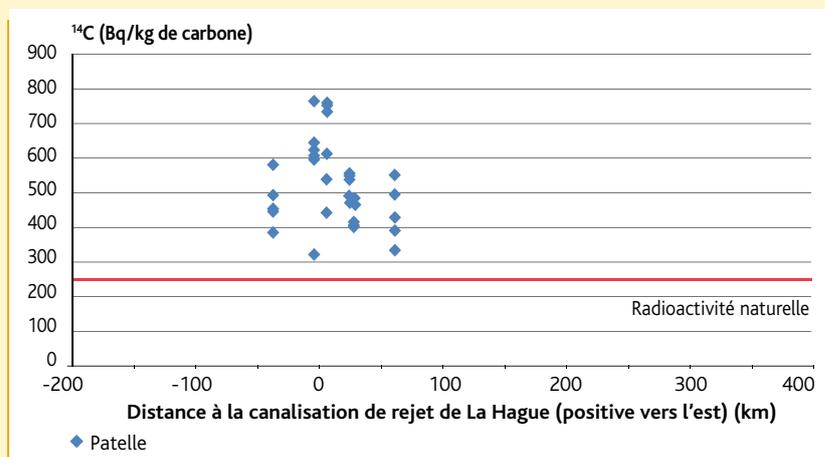


Figure IV.59 - Évolution de l'activité en carbone 14 observée dans les patelles prélevées entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord (Bq/kg de C).

Parmi les stations de prélèvement suivies, les niveaux moyens les plus élevés sont observés à la Pointe de Goury (activité moyenne de 688 ± 37 Bq/kg de carbone dans les patelles).

L'huître est l'espèce présentant les valeurs les plus fortes parmi les différentes espèces analysées. Les niveaux moyens observés s'élèvent à 940 ± 70 Bq/kg de carbone dans les huîtres prélevées sur la côte ouest du Cotentin et 980 ± 80 Bq/kg de carbone dans celles de la côte est du Cotentin (maximum de $1\,160 \pm 210$ Bq/kg de carbone en octobre 2010 sur la côte est du Cotentin). À titre de comparaison, les huîtres prélevées en 2010 dans le bassin d'Arcachon présentent une activité moyenne de $259,4 \pm 1,1$ Bq/kg de carbone, comparable au niveau de référence actuel.

Le carbone 14 dans les crustacés

Les tourteaux prélevés trimestriellement aux abords du site de La Hague présentent des activités en carbone 14 supérieures aux niveaux de référence actuels (491 ± 31 Bq/kg de carbone sur la côte ouest et 328 ± 25 Bq/kg de carbone sur la côte nord en moyenne). De même, les homards pêchés sur la côte ouest présentent un marquage en carbone 14 dû essentiellement aux rejets de l'usine de La Hague (activité moyenne mesurée : 374 ± 20 Bq/kg de carbone).

Le carbone 14 dans les poissons

Le contrôle de la radioactivité dans les poissons s'effectue annuellement sur 12 stations de prélèvement réparties sur le littoral français. Les fréquences de prélèvements sont plus soutenues sur les côtes du Cotentin, au plus proche de l'émissaire de rejet de La Hague. Les analyses sont réalisées sur différentes espèces parmi lesquelles les carrelets, maquereaux, roussettes, petites roussettes, vieilles, mulets, raies Fleury et bars (figure IV.60).

Les activités en ^{14}C mesurées dans la Manche, de Carteret au Tréport ($414,5 \pm 2$ Bq/kg frais dans les vieilles pêchées à Urville-Nacqueville), sont globalement supérieures aux niveaux de référence observés loin de toute installation nucléaire ($238,2 \pm 1,4$ Bq/kg frais dans les mulets pêchés à Arcachon).

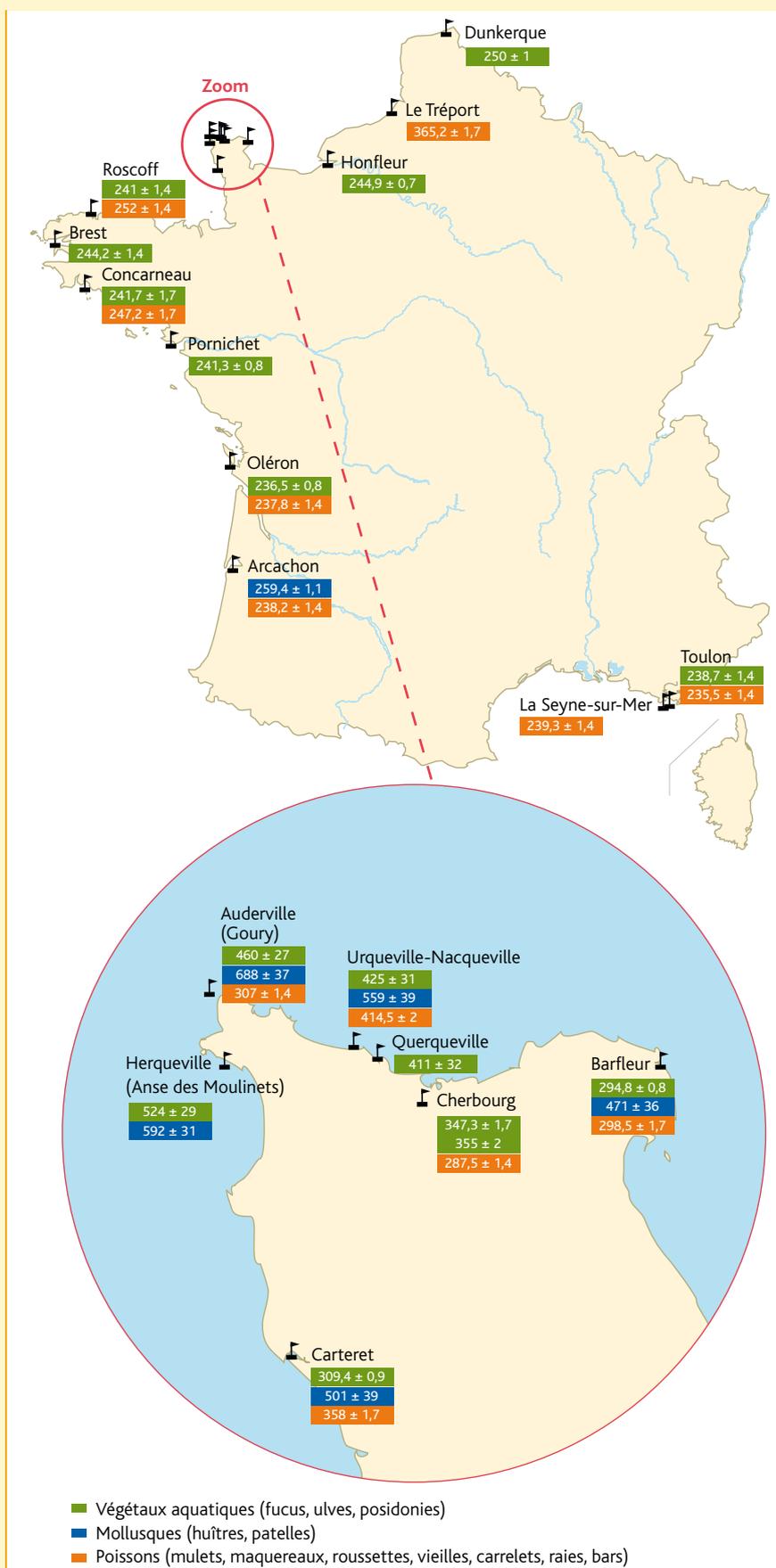


Figure IV.60 - Activité en carbone 14 observée dans les végétaux aquatiques marins, les mollusques et les poissons prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral français (Bq/kg de carbone).

Le tritium lié

Le tritium est un radionucléide d'origine naturelle et artificielle. Le tritium « naturel » provient essentiellement de l'interaction des neutrons cosmiques sur l'azote ou l'oxygène de l'air. La production annuelle mondiale de tritium naturel s'élève à $7,4 \times 10^{16}$ Bq. Dans les années passées, le tritium « artificiel » présent dans l'environnement provenait essentiellement des retombées globales consécutives aux essais d'armes nucléaires effectués dans l'atmosphère. Cette rémanence tend à s'estomper et à disparaître. Le tritium est également produit par la plupart des installations nucléaires. Le tableau IV.19 recense les principales sources artificielles de tritium dans les eaux marines métropolitaines.

En tant qu'isotope de l'hydrogène, le tritium participe au cycle de cet élément dans l'environnement naturel. C'est un radionucléide qui, sous forme d'eau tritiée, est très mobile. Dans les végétaux ou les animaux, on le trouve dans l'eau cellulaire (tritium libre ou HTO) et également dans la matière organique sous forme de tritium organiquement lié (TOL). La première fraction s'échange rapidement avec l'hydrogène présent dans le milieu ambiant ; sa mesure permet la caractérisation d'un milieu au seul moment du prélèvement. En revanche, le tritium lié est représentatif de la contamination du milieu pendant toute la durée de formation de la matière organique. Ainsi, la mesure du tritium lié à la matière organique contenu dans les bioindicateurs constitue un très bon indicateur pour évaluer l'impact d'une installation nucléaire sur son environnement.

En 2010, des prélèvements d'algues et de poissons ont été effectués en différentes stations situées le long des côtes françaises. Leur activité en tritium lié a été déterminée par spectrométrie de masse. Cette technique particulièrement performante permet d'obtenir des limites de détection très faibles, intéressantes pour des applications environnementales d'expertise.

Tableau IV.19 - Activités en tritium rejetées dans le milieu marin en 2010 (TBq*).

Installations nucléaires	Activités rejetées (TBq*)	
	Rejets liquides	Rejets gazeux
Areva La Hague	9 950	56,8
CNPE de Flamanville	49,3	0,68
CNPE de Paluel	88,6	2,11
CNPE de Penly	64,8	2,08
CNPE de Gravelines	74	3,34
Usine de Sellafield (Angleterre)	1 400	98

* 1 TBq (télabecquerel) : 1 012 Bq

Le tritium lié dans les algues

Des algues (*fucus dentelé* et *fucus vésiculeux*) ont été prélevées en six stations situées sur le littoral atlantique, de la Manche et de la mer du Nord. Les activités en tritium lié mesurées sont très faibles mais permettent toutefois de mettre en évidence un marquage dû aux rejets liquides des usines de combustibles usés de traitement de La Hague et de

Sellafield (figure IV.62). L'impact de ces installations est mesuré de Carteret à Dunkerque, le maximum d'activité étant observé dans les *fucus vésiculeux* prélevés à Honfleur ($1,7 \pm 0,26$ Bq/kg sec). Cette activité est supérieure d'un facteur 8 par rapport à celle mesurée dans les *fucus vésiculeux* prélevés à Oléron ($0,216 \pm 0,006$ Bq/kg sec), situés hors influence de toute activité nucléaire.

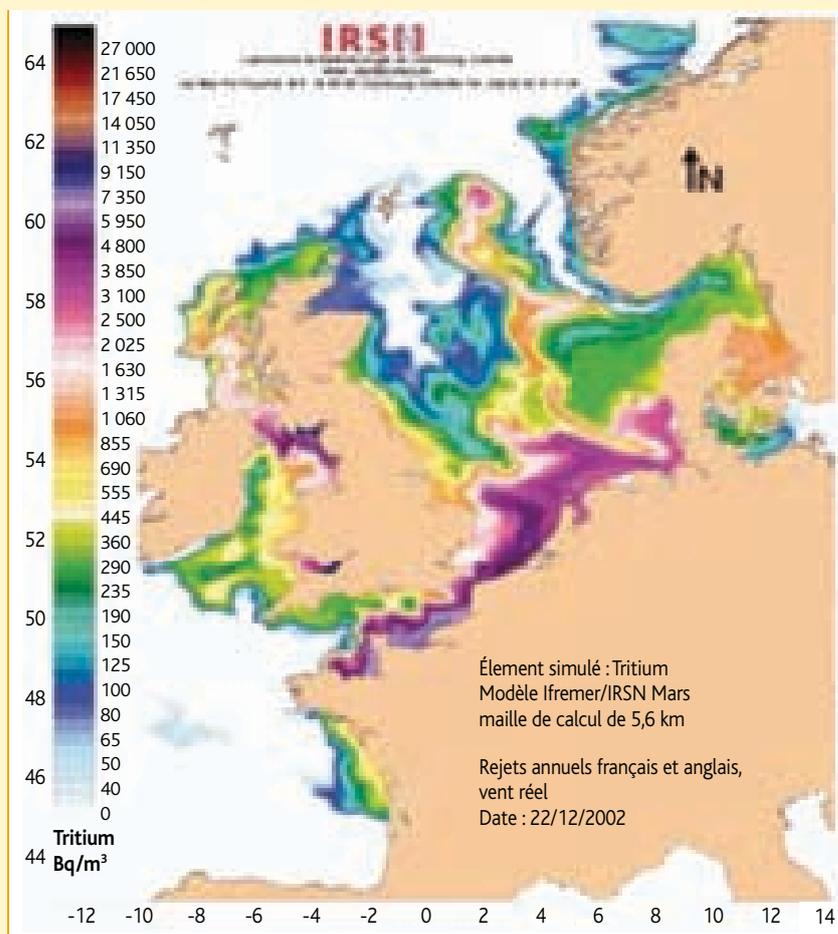


Figure IV.61 - Simulation IRSN de la dispersion du tritium sur le plateau nord-ouest européen.

La distribution des activités en tritium lié mesurées dans les algues de la Manche et de mer du Nord est en parfaite adéquation avec le modèle de dispersion du tritium rejeté par les usines de La Hague et de Sellafield, confirmant de la sorte l'origine industrielle du tritium mesuré (figure IV.61). L'activité observée à Pornichet ($0,73 \pm 0,037$ Bq/kg sec), trois fois plus élevée que celle mesurée à Oléron, témoigne d'un léger marquage par les rejets d'effluents liquides des CNPE situés en amont sur la Loire.

Le tritium lié dans les poissons

En 2010, des poissons ont été pêchés près d'Arcachon, Oléron, Auderville, Urville-Nacqueville et du Tréport. Le tritium mesuré dans les poissons pêchés dans l'Atlantique est essentiellement d'origine naturelle.

En Manche, les niveaux relevés sur les trois stations de prélèvement sont sensiblement supérieurs à ceux observés dans l'Atlantique. On observe un facteur 24 entre les mulets pêchés à Arcachon et les maquereaux pêchés à Auderville, station particulièrement exposée aux rejets liquides du site de La Hague (figure IV.62). Même si des différences peuvent être observées entre les espèces, cet écart révèle avant tout un marquage en tritium du milieu marin par les usines de retraitement. Cet impact doit néanmoins être pondéré car les niveaux relevés restent extrêmement faibles.

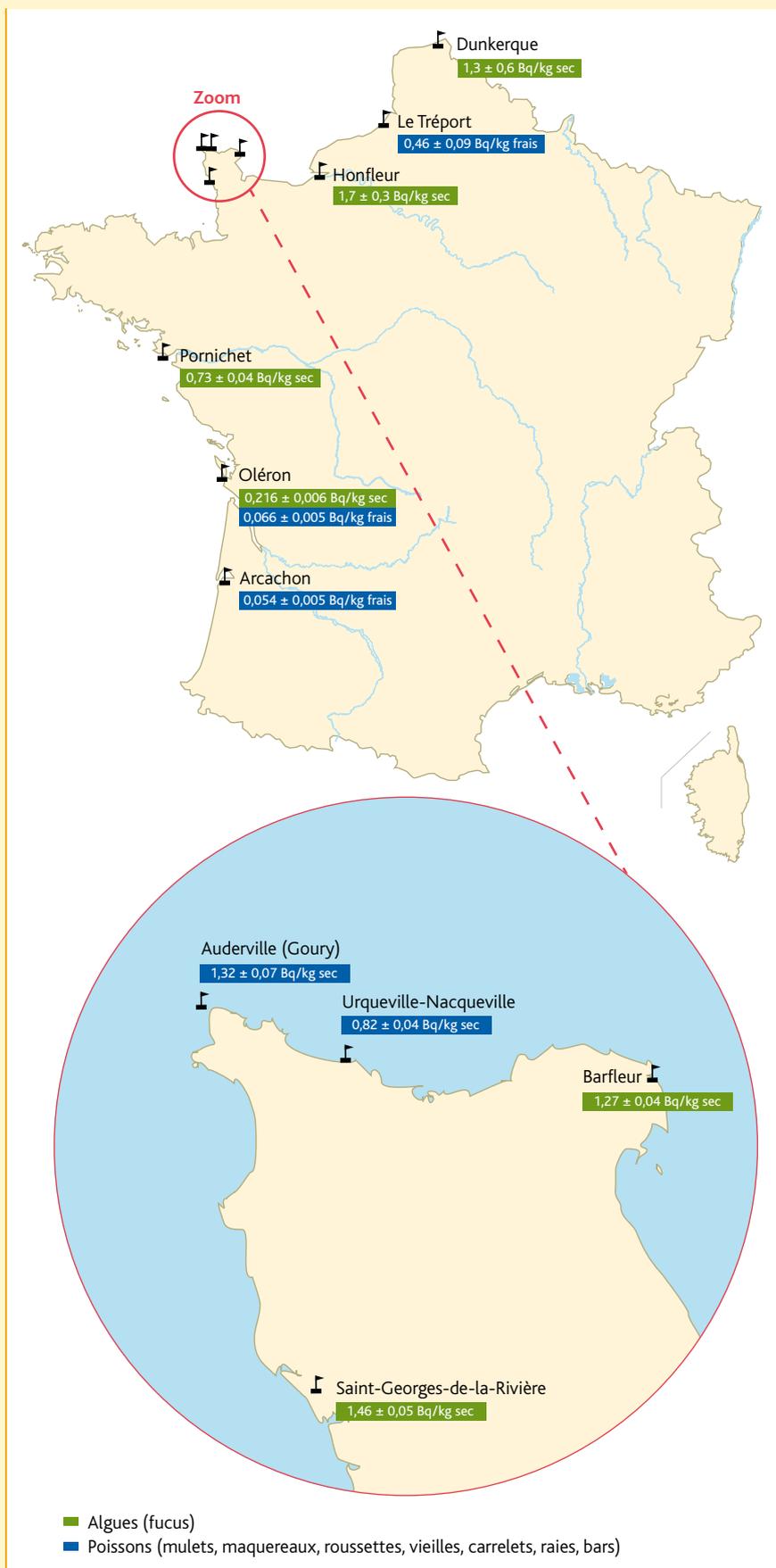


Figure IV.62 - Activité en tritium lié observée dans les algues et les poissons prélevés entre janvier 2010 et avril 2011 le long du littoral Manche – mer du Nord et Atlantique (Bq/kg sec pour les algues, Bq/kg frais pour les poissons).

La façade méditerranéenne

L'eau de mer

Suite à la réorganisation de la stratégie de surveillance de l'IRSN en milieu marin en 2009, les prélèvements mensuels d'eau de mer réalisés par les Agences régionales de santé ont été arrêtés. La quantité prélevée (10 à 20 litres) ne permettait pas d'atteindre des seuils de décision satisfaisants. Un prélèvement-test d'un grand volume d'eau de mer (500 litres) a été effectué en 2010 dans la Rade de Toulon. Le ¹³⁷Cs dissous a pu être mesuré par spectrométrie gamma à une activité volumique de $0,0015 \pm 0,00015$ Bq/L. Ces prélèvements de grand volume sont désormais réalisés pour une partie des stations marines du réseau de surveillance de l'IRSN.

Port militaire de Toulon

Une activité en tritium (5,8 Bq/L) supérieure aux valeurs habituellement mesurées a été détectée ponctuellement au cours du mois d'avril 2010 dans la rade de Toulon. Des mesures complémentaires ont été programmées en 2011 afin de confirmer ce résultat et, le cas échéant, d'en préciser l'origine. Aucun autre radionucléide artificiel n'a été mesuré entre janvier 2010 et juin 2011.

Les sédiments

Port militaire de Toulon

Parmi les analyses réalisées trimestriellement sur des prélèvements de sédiments, le césium 137 a été mesuré ponctuellement entre $5,12 \pm 0,52$ Bq/kg sec et $8,59 \pm 0,57$ Bq/kg sec. Des traces de plutonium 239+240 ($0,059 \pm 0,038$ Bq/kg sec) ont également été détectées. Ces radionucléides proviennent majoritairement des retombées atmosphériques anciennes. Aucun autre radionucléide artificiel n'a été mesuré dans les sédiments.

La faune aquatique

Façade méditerranéenne

Le suivi du milieu marin en Méditerranée française est mis en œuvre par l'IRSN à l'aide de prélèvements bimestriels de moules (sur huit stations) et de poissons (sur quatre stations). La répartition des

stations permet une couverture géographique complète de la côte méditerranéenne française. Les moules ont été sélectionnées comme bio-indicateur pour leur capacité à accumuler les contaminants présents dans les eaux côtières et les poissons pour leur niveau trophique plus élevé (permettant donc de mettre en évidence un phénomène de bio-amplification).

inférieures à 0,02 Bq/kg frais pour les moules et inférieures à 0,1 Bq/kg frais pour les poissons (figures IV.63 et IV.64).

Les résultats 2010 mettent en évidence les points suivants :

- Les niveaux de radionucléides artificiels en zone côtière restent très faibles, souvent avec des activités proches des seuils de décision des meilleures techniques analytiques.
- Seul le césium 137 est régulièrement détecté par spectrométrie gamma directe dans les échantillons avec des valeurs

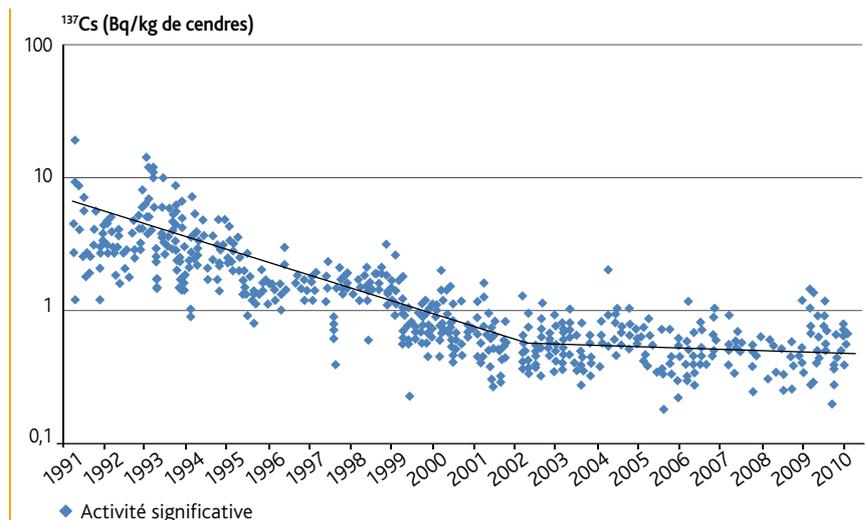


Figure IV.63 - Évolution de l'activité du césium 137 dans les moules du littoral méditerranéen de 1992 à 2010 (Bq/kg de cendres).

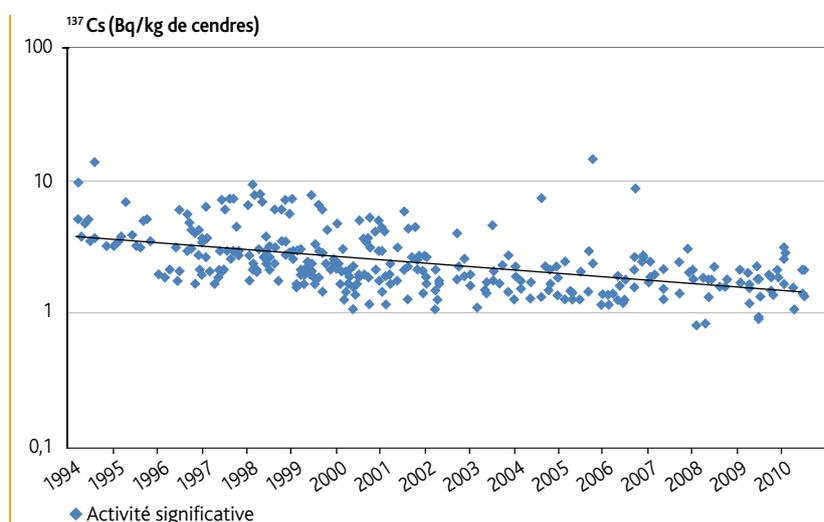


Figure IV.64 - Évolution de l'activité du césium 137 dans les poissons du littoral méditerranéen de 1994 à 2010 (Bq/kg de cendres).

L'évolution des activités dans les moules sur les dernières années montre une stabilisation des niveaux, après une forte diminution au cours de la décennie 1990.

Cette stabilisation traduit un équilibre entre les apports au milieu côtier, la bioaccumulation dans les organismes, et les processus sédimentaires (stockage, remobilisation partielle). Chez les poissons, cette diminution est moins marquée et les activités du césium 137 dans les poissons s'établissent désormais à des niveaux trois à quatre fois supérieurs à ceux mesurés dans les moules en raison de la position plus élevée dans la chaîne trophique des premiers et des phénomènes de rétention active du césium dans les muscles des poissons, comme analogue chimique du potassium. La stabilisation écologique de la répartition du césium 137 étant effective, l'évolution des activités dans les années à venir, sauf nouvel apport significatif, devrait refléter la décroissance radioactive de cet élément (demi-vie = 30 ans).

Le cobalt 60 issu des rejets des installations nucléaires est occasionnellement détecté à des niveaux très faibles (0,5 Bq/kg de cendres) dans les échantillons de moules prélevés à l'ouest du débouché du Rhône, traduisant l'impact des apports du fleuve sur cette portion du littoral.

En raison de l'importance relative des rejets de tritium et de carbone 14 par les installations nucléaires, des mesures de ces deux radionucléides ont été réalisées ponctuellement sur les moules et les poissons pour toutes les stations. Pour le tritium, les niveaux dans les organismes sont très faibles et inférieurs à 1 Bq/kg sec, sauf pour les stations situées près de l'embouchure du Rhône et à Toulon, traduisant un léger impact local des rejets de tritium des installations rhodaniennes. Pour le carbone 14, la distribution des niveaux est très homogène avec une valeur moyenne de 235 Bq/kg de carbone.

En 2010, des analyses des isotopes du plutonium par spectrométrie alpha ont été réalisées sur des échantillons de moules archivés depuis 1986 pour deux stations : Faraman, proche de l'embouchure du Rhône et Nice, hors de l'influence des apports du Rhône (figure IV.65). On remarque sur ces nouveaux résultats que la station de Nice a été nettement marquée par les retombées de l'accident de Tchernobyl en mai 1986 et par

les retombées des essais d'armes jusqu'au milieu des années 1990. Pour cette station, le rapport isotopique ($Pu^{238}/Pu^{239+240}$) varie entre 0,05 et 0,03, confirmant l'origine de ces apports. La station de Faraman montre également un marquage par les retombées atmosphériques mais également par les apports du Rhône et les rejets du centre de retraitement du combustible à Marcoule, comme le confirme l'évolution du rapport isotopique sur la période de 0,3 à 0,06. À partir du début des années 2000, ces deux stations montrent des valeurs d'activités du plutonium 239+240 similaires et stables, entre 1 et 1,5 mBq/kg frais. Malgré le nombre limité de mesures, cette série chronologique rend compte de l'évolution de ces éléments dans le milieu marin côtier de Méditerranée.

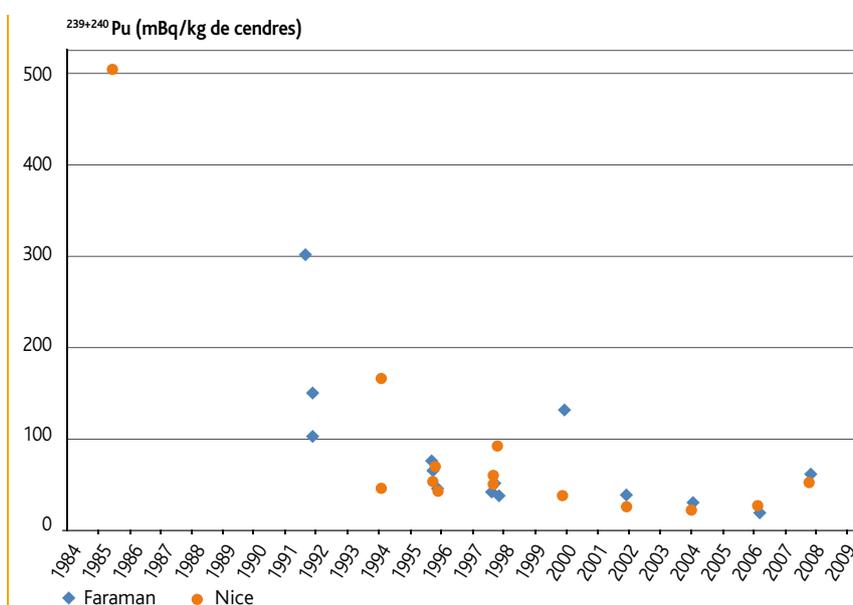


Figure IV.65 - Évolution de l'activité des isotopes du plutonium ($^{239+240}Pu$) dans les moules récoltées à Faraman (embouchure du Rhône) et à Nice de 1986 à 2008 (mBq/kg de cendres).

Port militaire de Toulon

En dehors des observations faites sur les échantillons de l'ensemble de la façade, aucune activité de radionucléide artificiel supérieure aux seuils de décision n'a été mesurée dans les prélèvements d'algues, mollusques et poissons réalisés dans la rade de Toulon.

IV.4 LES CONSTATS RADIOLOGIQUES RÉGIONAUX

Objectifs et constats en cours

Les constats radiologiques régionaux ont pour objectif d'établir sur un territoire étendu (plusieurs départements), un référentiel actualisé des niveaux de radioactivité dans certains compartiments de l'environnement, en particulier dans les productions agricoles et d'élevage caractéristiques du territoire concerné. Ce référentiel doit rendre compte, d'une part, du « bruit de fond » radiologique lié à la radioactivité naturelle et à la rémanence des retombées atmosphériques anciennes (essais d'armes nucléaires et accident de Tchernobyl) et, d'autre part, de l'influence des rejets actuels ou passés des installations nucléaires présentes sur ce territoire. En cas de rejet accidentel, ce référentiel servirait de base de comparaison et contribuerait à l'orientation du déploiement d'une surveillance renforcée post-accidentelle.

L'établissement d'un constat radiologique régional passe en premier lieu par l'examen de toutes les données déjà disponibles, notamment celles acquises par l'IRSN dans le cadre de la surveillance permanente ou lors d'études radioécologiques antérieures. Ces connaissances sont ensuite complétées ou vérifiées par des prélèvements et des analyses spécifiques. Ces constats doivent ainsi élargir la connaissance radiologique de l'environnement dont on dispose, spatialement et aussi par la diversification des échantillons prélevés, des analyses et des radionucléides recherchés. De plus, pour établir cet état de référence, l'IRSN met en œuvre les méthodes de prélèvement, de traitement et d'analyse des échantillons les plus performantes.

Les membres des CLI, autorités et administrations locales, sont conviés à participer à ces constats, notamment en apportant leurs connaissances de terrain lors de l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage et lors des présentations des résultats, et sont destinataires des rapports édités à l'occasion de chaque étude.

Selon la complexité du territoire, l'établissement d'un constat nécessite de trois à quatre ans entre son démarrage et sa restitution finale. Un constat est destiné à

être actualisé selon une périodicité de l'ordre de cinq à sept années environ.

Après le premier constat radiologique régional, réalisé à titre exploratoire dans le Val de Loire entre 2008 et 2010 (*voir focus et rapports IRSN*), la stratégie a été améliorée et, de manière générale, le contenu augmenté pour les constats en cours : Vallée du Rhône (2009-2012), Sud-Ouest (2009-2012) et Nord-Est (2010-2013).

Stratégie d'échantillonnage et d'analyse

Les constats prennent en compte la localisation des installations nucléaires, en distinguant les zones potentiellement influencées (ZI), des zones éloignées qui peuvent être considérées comme étant, en fonctionnement normal, hors de leur influence (zones non influencées : ZNI).

En milieu terrestre, la zone potentiellement influencée (ZI) n'excède habituellement pas quelques kilomètres. Quelquefois, elle peut être plus étendue, comme à Marcoule où l'influence des rejets atmosphériques de tritium est visible au-delà de cette distance. Les zones non influencées (ZNI) sont, quant à elles, volontairement délimitées à partir d'une distance très supérieure à celle prise en compte pour la zone potentiellement influencée, typiquement au-delà de 15 à 20 km de chacune des installations, dans des endroits qui ne font donc pas habituellement l'objet d'une surveillance régulière.

Le plan de prélèvement des échantillons en milieu terrestre comporte plusieurs catégories :

- **des productions agricoles dominantes** en termes de surfaces, de quantités ou de valeur économique ; dans cette catégorie, les produits communs aux constats « Sud-Ouest » et « Vallée du Rhône » sont par exemple : les fruits de vergers, le vin, les légumes et les produits d'élevages régionaux ;
- **des productions symboliquement importantes**, voire emblématiques : par exemple l'huile d'olive, les noix AOC, les châtaignes et le riz dans la vallée du Rhône, ou encore l'ail, le miel, les noisettes ou le canard dans le Sud-Ouest ;
- **des échantillons du même type que ceux prélevés systématiquement** lors de la surveillance régulière de l'IRSN (salades ou laits...) qui permettent une comparaison du territoire étudié avec les chroniques existantes ;

- **quelques produits végétaux ou animaux caractéristiques** des écosystèmes naturels : champignons, gibiers, baies sauvages... selon l'opportunité du prélèvement ;
- **des indicateurs spécifiques** de certains radionucléides : feuilles d'arbres pour le tritium, mousses pour le plutonium atmosphérique.

En milieu aquatique, les zones potentiellement influencées sont celles situées en aval de chacune des installations, les zones non influencées étant théoriquement situées en amont. Toutefois, la succession d'installations le long des grands fleuves (exemple sur le Rhône) rend plus difficile la détermination de ces dernières, l'amont d'une installation correspondant à l'aval de la précédente. Les échantillons sont constitués d'eau, d'indicateurs radiologiques comme des sédiments, des plantes aquatiques ou des mollusques filtreurs (*corbiculae* dans le Rhône) et de denrées (poissons, moules).

Pour le milieu atmosphérique, la connaissance des niveaux de radioactivité d'origine artificielle est relativement bien établie à l'échelle du territoire. Néanmoins, dans le cadre de ces constats, des équipements plus performants que ceux dédiés à la surveillance de routine autour des installations nucléaires (station Opera-Air bas niveau, voir chapitre IV.1) peuvent être déployés sous les vents dominants de sites d'intérêt.

Différentes analyses sont réalisées au moyen des meilleures techniques disponibles sur les échantillons les plus appropriés pour quantifier les niveaux des principaux radionucléides naturels et artificiels présents en quantité mesurable dans l'environnement : analyses de tritium libre et lié, de carbone 14, spectrométrie gamma, radiochimie et spectrométrie alpha et bêta notamment pour les isotopes du plutonium et pour le strontium 90, ICP-MS pour les isotopes de l'uranium...

Le constat régional « Vallée du Rhône »

Le constat radiologique « Vallée du Rhône » a débuté mi-2009 et s'achèvera en 2012. Ce constat a fait l'objet de deux rapports de présentation méthodologique relatifs aux milieux terrestres (*Rapport IRSN-SESURE 2010-01*) et aquatique (*Rapport IRSN-SESURE 2011-34*). Il porte sur les communes limitrophes du Rhône de l'amont du site de Creys-Malville jusqu'en Camargue.

Des points particuliers supplémentaires, excentrés mais présentant un intérêt spécifique (productions emblématiques), ont également été considérés. Plusieurs installations nucléaires jalonnent ce territoire : les quatre CNPE en activité (Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin), le réacteur de Creys-Malville (en démantèlement), les autres installations du complexe de Tricastin-Pierrelatte et celles du site de Marcoule.

Les figures IV.66 et IV.67 présentent les plans d'échantillonnages retenus respectivement pour les milieux terrestre et aquatique. En milieu terrestre, la stratégie d'échantillonnage de ces productions sous et hors influence est définie à partir :

- **d'outils cartographiques** (analyse de l'occupation des sols par système d'information géographique) ;
- **des données statistiques** publiées par les directions régionales de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (base de données statistiques Agreste) ;
- **des contacts locaux** établis lors des campagnes de prélèvement, qui permettent d'ajuster les données théoriques (parfois obsolètes) à la réalité du terrain.

En ce qui concerne le voisinage de Marcoule, un plan de prélèvement et d'analyses particulier a été élaboré, essentiellement destiné à l'examen du tritium, qui est le radionucléide dominant dans les rejets atmosphériques de ce centre. Des feuilles de peuplier ont été prélevées en 14 points, à distance croissante à partir du site, selon un axe nord-sud et secondairement, est-ouest et sud-est-nord-ouest, pour y mesurer le tritium.

Le milieu aquatique rhodanien faisant l'objet d'un suivi assez complet dans le cadre de la surveillance régulière de l'IRSN (hydrocollecteurs, station observatoire du Rhône en Arles) et des études régulièrement réalisées par l'IRSN dans d'autres cadres, les prélèvements supplémentaires sont peu nombreux, et localisés sur des zones habituellement peu caractérisées. Ainsi, des prélèvements d'eau et de matières en suspension et de poissons seront réalisés à l'amont et l'aval de chacune des installations. En outre, des animaux filtreurs, rarement échantillonnés, sont prélevés en aval des CNPE et de Marcoule (figure IV.67).



Figure IV.66 - Localisation des zones de prélèvement et distribution des échantillons prélevés en milieu terrestre dans le cadre du constat Vallée du Rhône.
(ZI : zone influencée, ZNI : zone non influencée)

À ces prélèvements seront adjoints quelques points particuliers permettant de connaître l'influence des principaux affluents qui jouent un rôle de dilution, mais éventuellement aussi d'apport de radionucléides (par exemple, l'Isère qui recueille les rejets de l'usine FBFC de Romans-sur-Isère et du centre CEA de Grenoble). Enfin, l'étude de l'impact des rejets liquides des services hospitaliers de radiothérapie ou de radiodiagnostic situés le long du fleuve fera l'objet d'un volet annexe ultérieur.

Une station de prélèvements d'aérosols atmosphériques à grand débit est installée depuis début 2012 sous les vents dominants du site du Tricastin. Les filtres seront analysés par spectrométrie gamma (^{137}Cs , ^{60}Co ...), alpha (isotopes du plutonium notamment) et par ICP-MS pour les isotopes de l'uranium.

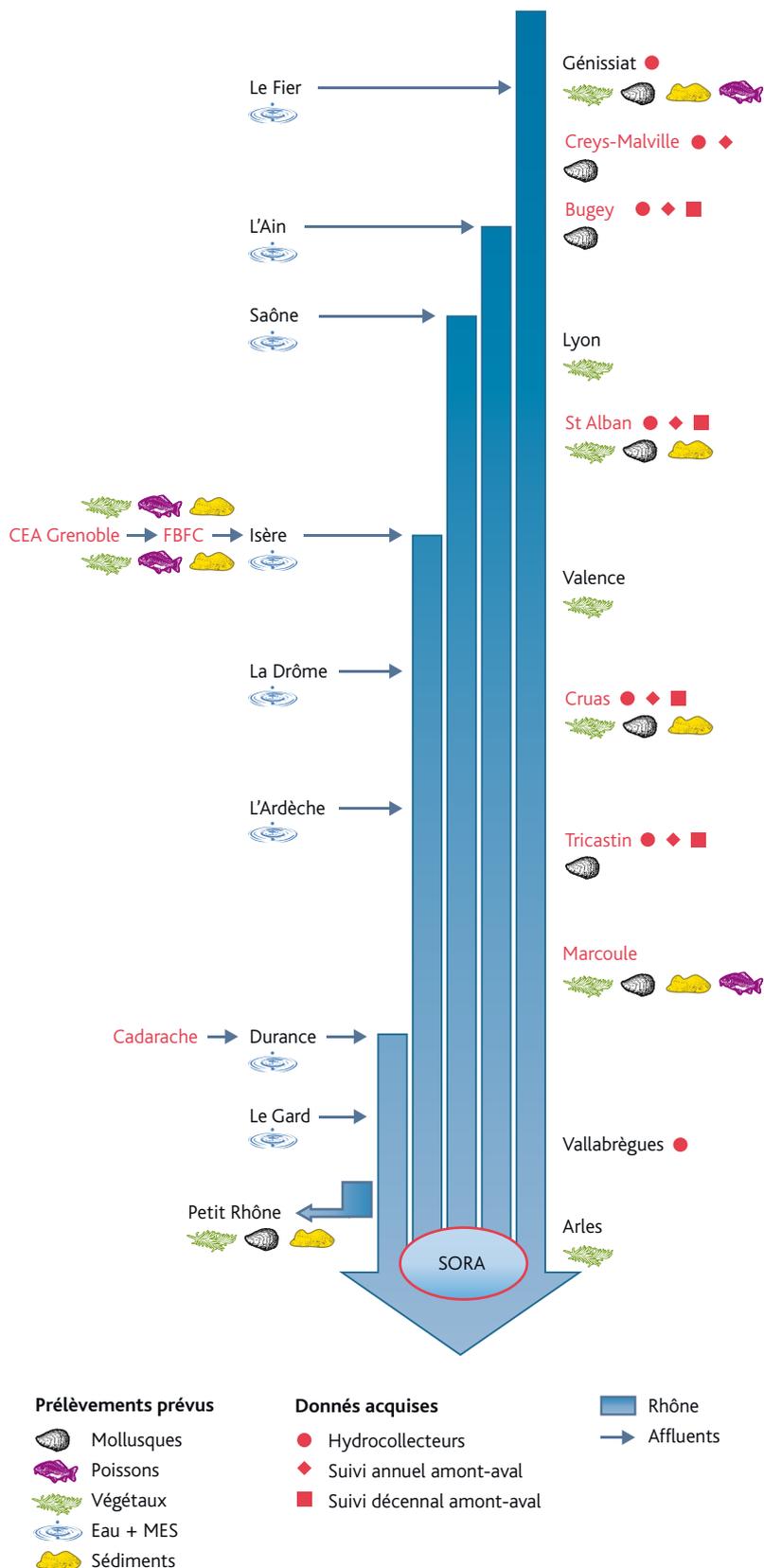


Figure IV.67 - Localisation des prélèvements en milieu aquatique.

Le constat régional « Sud-Ouest »

Le constat radiologique « Sud-Ouest » a débuté à la fin du mois de mai 2009 et s'achèvera en 2012. Il couvre un vaste territoire composé de quatre régions administratives (Poitou-Charentes, Limousin, Aquitaine, Midi-Pyrénées) et 20 départements, bordé au nord par la Loire, à l'est par le Massif central, au sud par les Pyrénées et à l'ouest par 700 km de littoral atlantique.

Les sources potentielles d'exposition radiologique sont les rejets liquides et atmosphériques des trois CNPE en activité (Le Blayais, Golfech et Civaux), les rejets liquides des services de médecine nucléaire d'une quinzaine de grandes agglomérations (Pau, Bayonne, Tarbes, Bordeaux, Toulouse, Agen, Poitiers, Limoges...), les zones uranifères, les zones sous influence des anciens sites miniers et les autres anciens sites industriels (fonderie de résidus, production de gaz...). La stratégie de prélèvements et d'analyse retenue pour le constat « Sud-Ouest » ne concerne cependant pas ces anciennes zones minières qui feront l'objet de constats spécifiques.

La figure IV.68 présente le plan d'échantillonnage en milieu terrestre.

Une station de prélèvement d'aérosols atmosphériques à grand débit, analogue à celles du réseau Opera-Air bas débit, a été installée en 2011 sous les vents dominants du CNPE de Golfech en collaboration avec l'exploitant (figure IV.69). Les premiers prélèvements sur filtre ont débuté en septembre 2011. Ils font l'objet de mesure par spectrométrie gamma à bas bruit de fond. En complément, une campagne de mesure spécifique du tritium dans la vapeur d'eau atmosphérique sera réalisée en 2012.

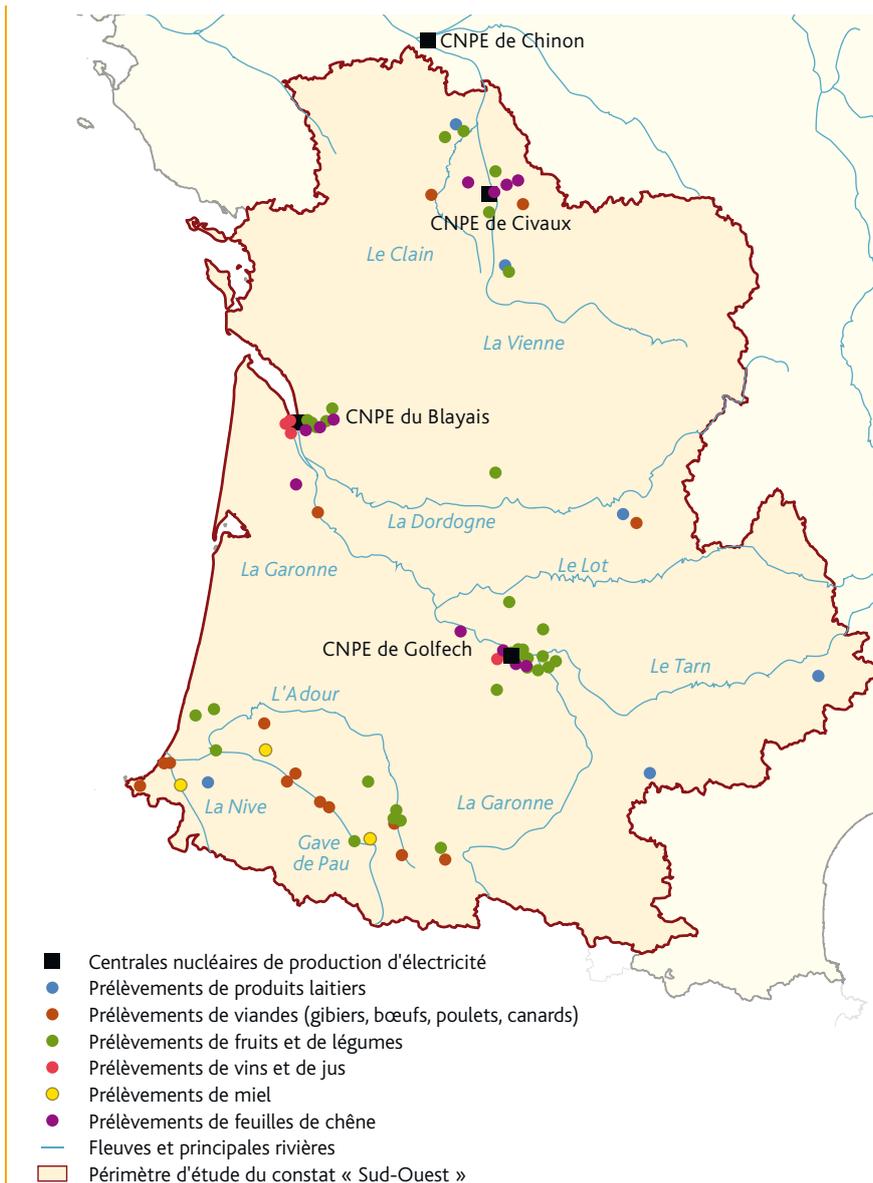


Figure IV.68 - Prélèvements réalisés dans le compartiment terrestre dans le cadre du constat régional « Sud-Ouest ».



Figure IV.69 - Préleveur Opera-Air (300 m³/h) installé sous les vents dominants du CNPE de Golfech.

Pour le milieu aquatique, les points de prélèvements sur les principaux fleuves (Vienne, Garonne, Adour) et leurs affluents ont été définis durant ce constat en prenant en compte les CNPE, les installations de surveillance régulière de l'IRSN (hydrocollecteurs sur la Garonne et la Vienne notamment), mais aussi les installations industrielles inscrites à l'inventaire national des matières et déchets radioactifs de l'Andra, les principaux centres urbains abritant des services de médecine nucléaire, et en tenant compte de la proximité de zones uranifères (figure IV.70). Les prélèvements ont porté, en fonction de la proximité d'installations et de la diversité des milieux, sur l'eau de surface, les sédiments (figure IV.71) et les végétaux aquatiques (figure IV.72). Les échantillons ont été systématiquement analysés par spectrométrie gamma. Ils ont fait l'objet d'analyses complémentaires selon les installations présentes sur le cours d'eau : tritium, carbone 14, uranium, thorium...

Dans le cas de l'étude spécifique des rejets issus des centres de médecine nucléaire, les échantillons ont été analysés par spectrométrie gamma dans les plus brefs délais de manière à pouvoir détecter les radionucléides à courtes périodes caractéristiques de cette activité (iode 131, technétium 99 métastable).

Au total, 164 prélèvements ont été réalisés spécifiquement pour la réalisation du constat radiologique « Sud-Ouest » (tableau IV.22) dont le rapport final sera publié fin 2012.

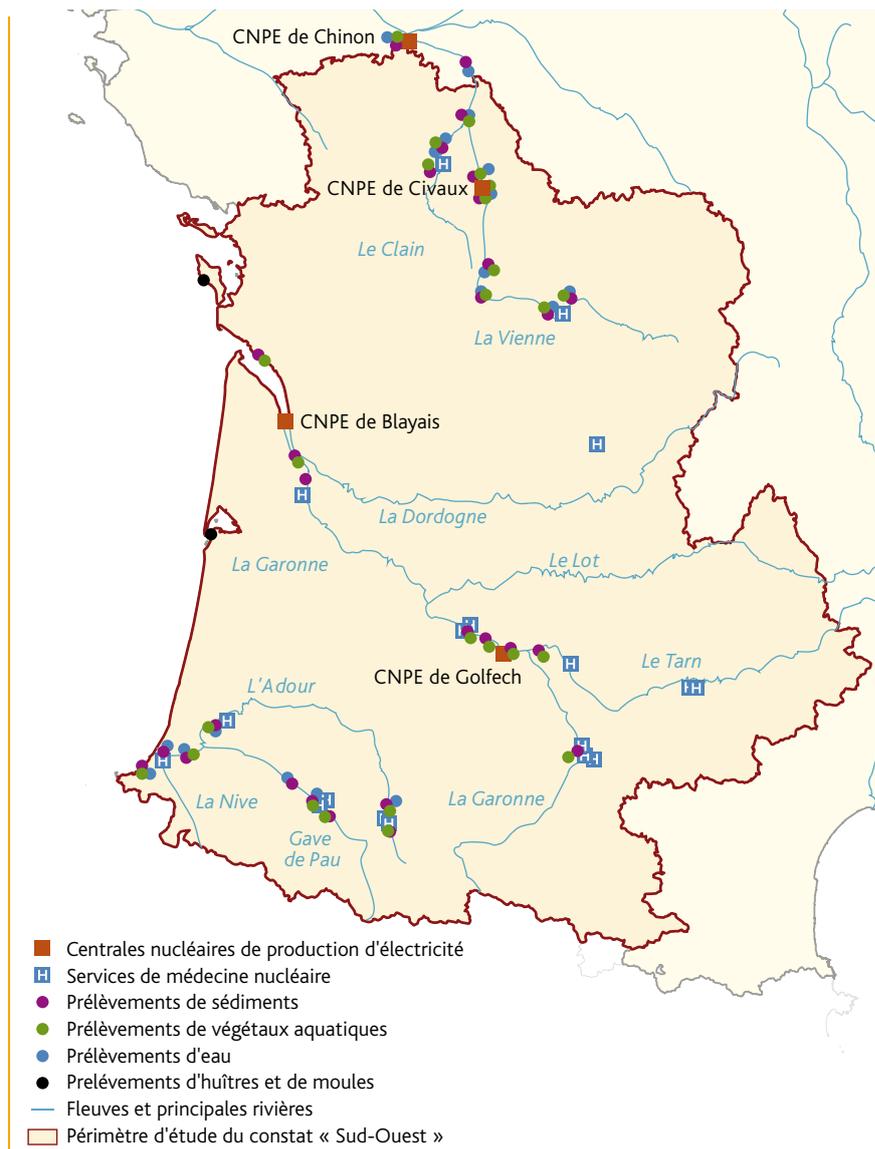


Figure IV.70 - Prélèvements réalisés dans le compartiment aquatique dans le cadre du constat régional « Sud-Ouest ».



© Mechenet/IRSN

Figure IV.71 - Prélèvement de sédiments réalisé dans l'estuaire de l'Adour, en aval de Bayonne, dans le cadre du constat régional « Sud-Ouest ».



© Leprieur/IRSN

Figure IV.72 - Prélèvement de Jussie réalisé dans l'Adour dans le cadre du constat régional « Sud-Ouest ».

Tableau IV.20 - Nombre de prélèvements réalisés dans le cadre du constat « Sud-Ouest ».

Compartiment aquatique			Compartiment terrestre				
Eau	Végétaux et algues	Sédiment	Fruits et légumes	Animaux	Feuilles d'arbres	Produits laitiers	Vins
10	26	30	46	27	13	6	6

Le constat régional « Nord-Est »

La zone couverte par le constat radiologique « Nord-Est » englobe 13 départements sur lesquels se trouvent quatre sites pouvant marquer leur environnement : le centre CEA de Valduc, les CNPE de Chooz, Cattenom et Fessenheim, et 17 installations hospitalières (figure IV.73). Ce constat a débuté en 2010 avec l'identification des radionucléides à prendre en compte, le rassemblement des données préalablement acquises et l'identification des résultats à compléter ou à actualiser.

Essentiellement fondé sur plusieurs milliers de données préexistantes de la surveillance ou des études particulières, antérieures ou concomitantes menées par l'IRSN, ce constat s'appuiera aussi sur un complément de 170 prélèvements et d'environ 300 analyses pour venir étoffer la synthèse globale qui sera réalisée. Les campagnes de prélèvement et les analyses s'échelonnent de 2011 à 2012 pour aboutir à finaliser cette étude en 2013.

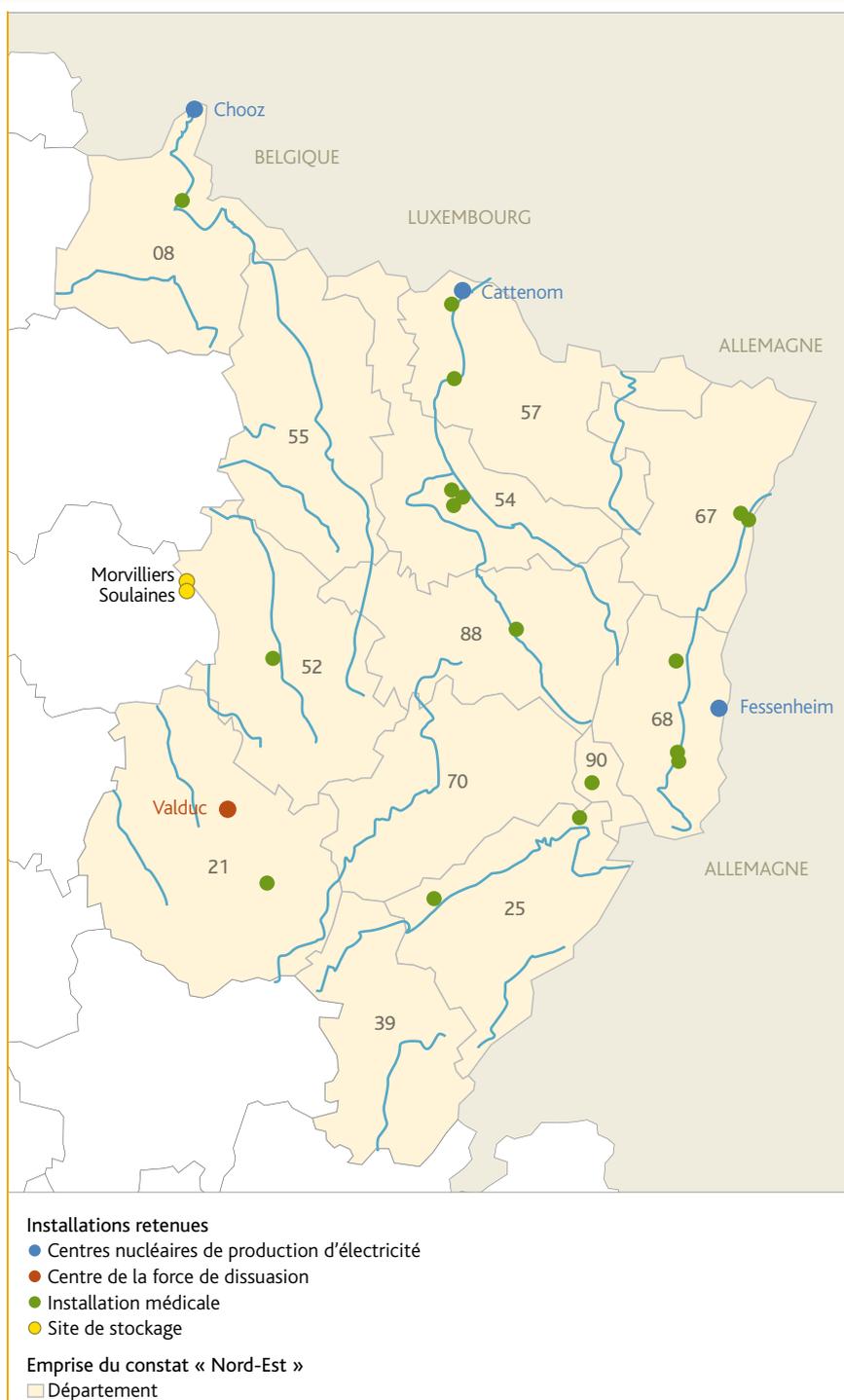


Figure IV.73 - Installations mettant en jeu des radionucléides sur l'emprise de l'étude « Nord-Est ».

IV.5 LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE OUTRE-MER

Mise à part la Polynésie française qui fait l'objet d'une surveillance spécifique de la part de l'IRSN (*voir le focus sur la surveillance de la radioactivité en Polynésie française*) en raison d'un historique particulier lié à la période des essais nucléaires qui se sont déroulés sur deux atolls français du Pacifique (Mururoa et Fangataufa), les départements et régions d'outre-mer et les collectivités d'outre-mer sont des zones hors influence d'installations nucléaires françaises, mais pouvant en revanche être exposées à des installations étrangères.

À ce titre, le plan de redéploiement de la surveillance par l'IRSN vise à couvrir à moyen terme ces territoires uniquement par des moyens de télémessure ainsi que par des prélèvements de bio-indicateurs, hors événement particulier. Comme toutes les régions de métropole, ces territoires feront aussi l'objet de constats radiologiques périodiques. L'IRSN a débuté des études spécifiques à La Réunion et en Nouvelle-Calédonie en 2012.

Entre mars et mai 2011, ces territoires ont fait l'objet d'une surveillance renforcée afin de suivre et d'évaluer l'impact de la centrale accidentée de Fukushima. Les résultats associés à cette surveillance sont présentés dans le chapitre III.

Le compartiment atmosphérique

Afin d'évaluer l'impact des rejets de l'accident de Fukushima sur le débit de dose ambiant, l'IRSN a organisé une vigilance renforcée sur les mesures en temps réel du réseau Téléray, notamment pour les territoires supposés se trouver les premiers sur la trajectoire des masses d'air contaminées (Saint-Pierre-et-Miquelon notamment), et a installé spécifiquement des dosimètres passifs (RPL) en divers points du territoire, pour disposer de mesures intégrées de la dose par irradiation externe pendant la période d'exposition aux masses d'air contaminées.

Toutefois, les prévisions de concentrations dans l'air en France (métropole et outre-mer), obtenues par les simulations de Météo-France

pour le césium 137, indiquaient des niveaux trop faibles (de l'ordre du mBq/m³) pour entraîner une élévation détectable du débit de dose ambiant par les appareils de mesure utilisés, compte tenu du bruit de fond naturel de rayonnement gamma d'origine tellurique, atmosphérique et cosmique.

En 2010 et 2011, aucune mesure anormale relative à un événement radiologique accidentel n'a été détectée par les sondes du réseau Téléray de l'IRSN installées à Saint-Pierre-et-Miquelon, en Guadeloupe (*figure IV.74*), en Martinique, en Guyane, à La Réunion, en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie française.



■ *Figure IV.74 - Sonde Téléray de nouvelle génération installée à Saint-Claude en Guadeloupe.*

Le compartiment terrestre

Le lait

Du lait de vache a été prélevé annuellement en Martinique, en Guyane et à La Réunion (*tableau IV.21*). Comme en métropole, la radioactivité mesurée en 2010 et début 2011 dans le lait est due essentiellement au

potassium 40 d'origine naturelle. Les activités observées fluctuent entre 37 ± 8 Bq/L et $52,9 \pm 4,9$ Bq/L selon la provenance. Du césium 137 d'origine artificielle a été mesurée dans le prélèvement de Guyane ($0,31 \pm 0,08$ Bq/L). La présence de ce radionucléide, à l'état de traces, s'explique par les retombées atmosphériques anciennes des tirs aériens. Aucune autre activité artificielle n'a été mesurée dans le lait prélevé dans les régions d'outre-mer.

■ *Tableau IV.21 - Activités mesurées dans le lait de vache prélevé en 2010 et début 2011 en outre-mer (Bq/L).*

Radionucléide	Martinique	Guyane	Réunion
⁴⁰ K	$47,6 \pm 3,9$	$52,9 \pm 4,9$	37 ± 8
¹³¹ I	< 0,2	< 1,2	< 1
¹³⁴ Cs	< 0,08	< 0,08	< 0,29
¹³⁷ Cs	< 0,1	$0,31 \pm 0,08$	< 0,34
⁹⁰ Sr	nm	nm	< 0,018

nm : non mesuré

La surveillance de la Polynésie française



Figure IV.75 - Carte des archipels de la Polynésie française et des lieux de prélèvements de l'IRSN.

L'IRSN exerce depuis 1962 une surveillance radiologique de la Polynésie française (figure IV.75), à l'exception des atolls de Mururoa et Fangataufa, dont la surveillance radiologique est placée sous l'autorité du ministère de la Défense par l'intermédiaire du Département de suivi des centres d'expérimentations nucléaires (DSCEN) de la Délégation générale pour l'armement qui assure cette mission en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

La surveillance de l'IRSN consiste à prélever régulièrement des échantillons de natures variées dans les différents milieux (air, eau, sol...) avec lesquels la population peut être en contact, ainsi que les denrées locales.

En 2010, 54 prélèvements ont été effectués en milieu physique (air, eaux et sédiments) et 200 pour le domaine biologique (poissons de haute mer – figure IV.76, poissons et autres produits de lagon, prélèvements terrestres tels que légumes, fruits, viandes, lait, boissons diverses). Les denrées prélevées sont représentatives de la ration



Figure IV.76 - Mahi-mahi (ou dorades coryphènes) pêchés au large de Tahiti.

alimentaire des Polynésiens vivant dans les cinq archipels de ce territoire.

L'ensemble de ces prélèvements vise deux objectifs :

- connaître les niveaux de radioactivité d'origine artificielle dans tous les milieux de l'environnement, et pour les principales denrées alimentaires ;
- évaluer l'impact dosimétrique ajouté de cette situation environnementale : pour la dose due à l'ingestion, tous les prélèvements entrant dans la ration alimentaire des Polynésiens sont pris en compte. Pour l'exposition externe et l'inhalation, l'estimation de la dose est fondée sur les mesures du domaine physique.

Principaux résultats

Les mesures de la radioactivité (spectrométries gamma pour le césium 137 et le cobalt 60, mesure des émetteurs alpha pour les isotopes du Pu et des émetteurs bêta pour le strontium 90), couvrent l'essentiel de la gamme des radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être décelés en Polynésie. La quasi-totalité des échantillons prélevés sont mesurés au Laboratoire d'étude et de suivi de l'environnement (LESE) de l'IRSN, implanté sur l'île de Tahiti à Vairao.

Les niveaux mesurés en 2010 ne sont pas différents de ceux obtenus les années précédentes, les quelques variations observées sont dues à une variabilité naturelle importante. C'est le césium 137 qui est le plus souvent décelé. Les valeurs maximales de 2010 sont inférieures à 0,5 Bq/kg frais pour les poissons, dix fois plus faibles pour les autres produits lagunaires. La valeur maximum dans le domaine terrestre est de 1,8 Bq/kg frais pour la papaye à Rangiroa, 3,3 Bq/kg frais pour la viande de porc et 8,8 Bq/kg frais pour la viande de bœuf de Tahiti.

Quand elles ont été détectées, les activités en cobalt 60 et en plutonium sont extrêmement faibles (figure IV.77) :

- le cobalt 60 n'a été détecté que trois fois en 2010, dans des bénitiers prélevés à Tubuai, Hao et Rangiroa ;
- les isotopes du plutonium, ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$, n'ont été détectés, à très faibles concentrations, que dans cinq échantillons de bénitiers (deux de Tubuai, deux de Hao et un de Tahiti) sur les 26 analysés.

La diminution observée ci-dessus s'explique par la décroissance radioactive du cobalt et du césium depuis la fin des essais atmosphériques.

Ainsi, après une diminution régulière des niveaux de radioactivité depuis l'arrêt, en 1974, des essais atmosphériques français, l'état radiologique constaté en 2010 est stable, dans la continuité des années antérieures récentes, et se situe à un très bas niveau.

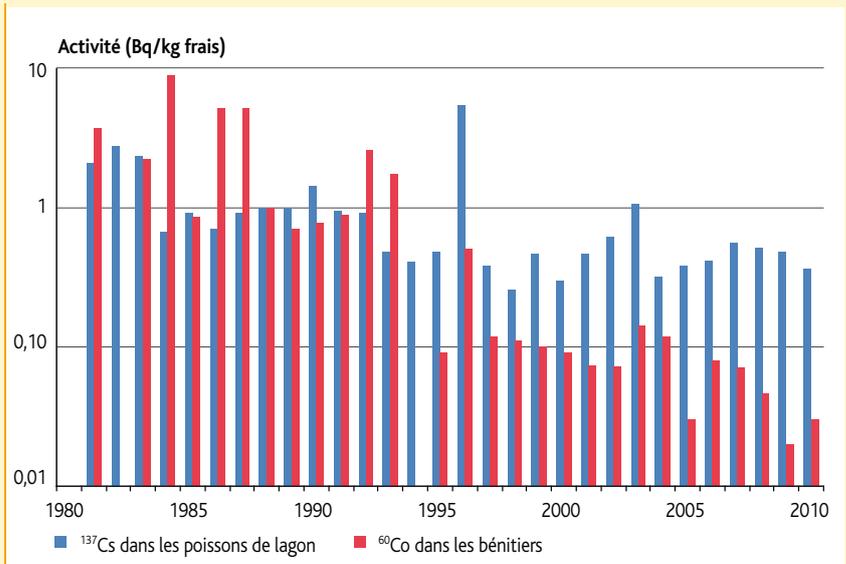


Figure IV.77 - Concentration de césium 137 et de cobalt 60 dans les produits de lagon (toutes îles confondues) (Bq/kg frais).



En savoir plus

Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française en 2010 et suivi de l'impact de l'accident de Fukushima en Polynésie française et Nouvelle-Calédonie de mars à mai 2011 – Rapport DEI/SESURE 2011-40

<http://environnement.irsn.fr>



© IRSN

■ **Figure IV.78** - Prélèvements de sédiments dans une rivière à l'aide du cône de Berthoulet.





V

LA SURVEILLANCE DES SITES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

- V.1 La surveillance de l'environnement à proximité des sites nucléaires
- V.2 La surveillance de l'environnement autour des anciens sites miniers
- V.3 La surveillance de l'environnement des industries situées en amont du cycle du combustible nucléaire
- V.4 La surveillance de l'environnement des centres nucléaires de production d'électricité
- V.5 La surveillance des industries situées en aval dans le cycle du combustible nucléaire
- V.6 La surveillance des centres de stockage des déchets

V.1 LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT À PROXIMITÉ DES SITES NUCLÉAIRES

Jusqu'en 2001, date de fermeture de la dernière mine d'uranium en exploitation, la France était le seul pays à être doté sur son territoire de l'ensemble des industries du cycle regroupant les étapes suivantes :

- **extraction** de l'uranium des mines ;
- **concentration et conversion** des composés d'uranium ;
- **enrichissement** isotopique en uranium 235 ;
- **fabrication et assemblage** du combustible¹ ;
- **utilisation** dans les réacteurs des centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) ;
- **traitement** du combustible usé déchargé des réacteurs ;
- **traitement et stockage** des déchets.

Le cycle du combustible nucléaire français est dit « fermé » ou « semi-ouvert » du fait des étapes de traitement et de réutilisation d'une partie du combustible usé. Tous les sites du cycle du combustible (figure V.1) donnent lieu à une surveillance systématique de leur environnement par les exploitants des installations, dès leur mise en service et pendant toute leur durée de vie, selon un programme contrôlé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Les plans de surveillance mis en œuvre autour des installations du cycle du combustible tiennent compte du type d'installation surveillée et donc de ses rejets. Ces plans varient également en fonction de l'environnement géographique de l'installation surveillée et répondent aux objectifs spécifiés au chapitre I.

Il convient de rappeler que :

- 1 - les résultats exploités dans ce chapitre concernent la période du 1^{er} janvier 2010 au 30 juin 2011, pour les résultats présents dans la base de données du RNM au 10 juillet 2011.
- 2 - Les résultats de la surveillance régulière des installations, impactés par les retombées en France de l'accident de Fukushima, sont présentés séparément afin de ne pas interférer avec les résultats obtenus en dehors de cette période.

¹ – Le combustible peut être « moxé » (Mox), c'est-à-dire constitué d'un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium issu du retraitement.



- Conversion de l'uranium (Comurhex Malvési et Pierrelatte)
- Enrichissement de l'uranium (Eurodif Tricastin)
- Fabrication des assemblages combustibles (FBFC Romans-sur-Isère)
- Centres nucléaires de production d'électricité (EDF, 22 sites dont 19 en exploitation)
- ▲ Traitement du combustible usé, déchargé des réacteurs et recyclage (Areva La Hague) et R&D dans ces domaines (CEA Marcoule)
- Stockage en surface des déchets radioactifs (Andra, centres de la Manche, de Soulaïnes et de Morvilliers)

Figure V.1 - Principales installations du cycle du combustible sur le territoire français (hors anciennes exploitations minières dont la carte est présentée au chapitre V.2).

3 - Les résultats de la surveillance du compartiment marin et littoral (eaux de mer, sédiments, faune et flore aquatiques) à proximité des installations nucléaires sont présentés dans le chapitre IV (Milieu marin et littoral).

4 - Afin d'exploiter tous les résultats transmis au RNM et de restituer une information synthétique et compréhensible en minimisant l'utilisation d'unités diverses, l'IRSN a parfois appliqué des facteurs de conversion aux résultats bruts (Bq/kg frais <-> Bq/kg sec par exemple).

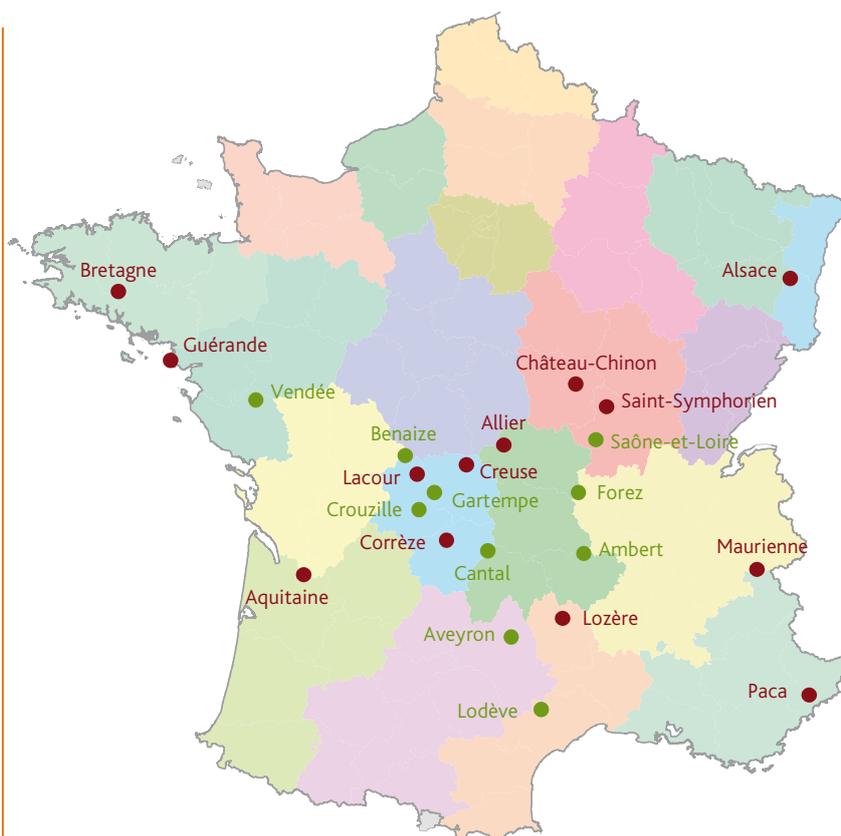
V.2 LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AUTOUR DES ANCIENS SITES MINIERS

L'exploitation industrielle de l'uranium en France a duré près de 50 ans. Bon nombre des anciens sites miniers (figure V.2) sont aujourd'hui sous la responsabilité d'Areva. Un recensement exhaustif de l'ensemble des anciens sites d'exploration, d'exploitation et de traitement de minerai d'uranium, a été entrepris par l'IRSN dans le cadre d'un programme intitulé Mimausa (Mémoire et impact des mines d'uranium : synthèse et archives) à la demande du ministère de l'Écologie. L'ensemble des données disponibles sont accessibles via une interface cartographique sur le site Internet de l'IRSN (<http://mimausa.irsn.fr>).

Les activités d'exploration, d'exploitation et de traitement de minerai d'uranium ainsi que le stockage de résidus de traitement ont concerné, en France, environ 230 sites répartis sur 25 départements. Leur taille ainsi que les quantités de minerais extraits sont très hétérogènes, allant du simple chantier de reconnaissance à des ouvrages importants ayant conduit à la production de plusieurs milliers de tonnes d'uranium. L'exploitation et le traitement du minerai d'uranium ont généré deux types de matériaux ou déchets : les stériles et les résidus de traitement.

- **Les stériles**, roches excavées pour accéder au minerai, se distinguent des autres roches présentes dans les zones concernées uniquement par leur localisation à proximité de zones minéralisées. Ils sont généralement plus riches en uranium que les roches avoisinantes, avec des teneurs en uranium allant de quelques dizaines à quelques centaines de g/t soit quelques Bq à quelques dizaines de Bq/g en activité totale. Les stériles ont été soit conservés en vrac sur leur lieu d'extraction, soit utilisés pour l'aménagement des stockages de résidus de traitement, soit utilisés pour le remodelage des sites. Une fraction a également été réutilisée dans le domaine public.

- **Les résidus de traitement** sont des déchets industriels obtenus après traitement du minerai d'uranium. Ils se différencient de la roche initiale du fait des modifications physiques (broyage) et minéralogiques



- Zones minières faisant l'objet d'une surveillance radiologique réglementaire de l'environnement
- Autres zones minières françaises

Figure V.2 - Localisation des zones minières françaises (programme Mimausa).

induites par les traitements chimiques. Leur activité totale, tous radionucléides confondus, est de l'ordre de la centaine à plusieurs centaines de Bq/g. Ils s'apparentent en cela à des déchets radioactifs de faible à très faible activité et à vie longue. Ainsi, plus de 50 millions de tonnes de résidus sont actuellement déposés dans 17 stockages sur 16 sites. Après exploitation, l'ensemble des sites a été réaménagé de manière à les mettre en sécurité, à réduire leur impact radiologique et à assurer leur intégration paysagère. Les travaux miniers souterrains ont été partiellement remblayés puis noyés. Les accès aux galeries ont été condamnés, les puits scellés. Les mines à ciel ouvert ont été soit noyées, créant ainsi des plans d'eau artificiels, soit remblayées avec des stériles ou encore utilisées comme sites de stockage pour les résidus de traitement.

On retrouve dans les résidus tous les radionucléides initialement présents dans le minerai à l'exception de l'uranium dont l'essentiel a été extrait et concentré sous forme de « yellow cake ». Il s'agit en particulier de tous les descendants de l'uranium 238, dont on peut citer, en particulier, le ^{230}Th (période 77 000 ans) et le ^{226}Ra (période 1 600 ans). Les activités massiques des résidus de traitement de minerais d'uranium sont comparées à différents types de roches ou de minerais dans le tableau V.1.

Tableau V.1 - Ordres de grandeur de la radioactivité associée à plusieurs grands types de roches, de minerais et de résidus miniers (Bq/g).

	Activité en radium	Activité totale
Minerais d'uranium	10 - 70	180 - 900
Résidus miniers	10 - 70	100 - 700
Stériles	0,05 - 5	1 - 100
Roches granitiques	0,04 - 0,3	0,7 - 6
Basaltes ou certaines roches sédimentaires	0,0003 - 0,03	0,005 - 0,5

La gestion des résidus de traitement de minerais d'uranium est soumise à la réglementation concernant les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). En effet, ces résidus constituent une source potentielle de contamination de l'environnement et d'exposition à la radioactivité de par leur potentiel d'émission de radon, mais surtout leur lessivage par des eaux de pluie ou de ruissellement. Ainsi, sur certains sites miniers, les caractéristiques des eaux collectées nécessitent un traitement avant de pouvoir être rejetées vers l'environnement.

Plusieurs stations de traitement de l'eau sont encore aujourd'hui exploitées par Areva. Malgré ces traitements, les rejets d'eau autorisés hors de certains sites peuvent conduire à une augmentation de la radioactivité des cours d'eau en aval ainsi qu'au dépôt de sédiments pouvant présenter des teneurs élevées en uranium, au fond des plans d'eau ou sur les berges. Afin d'être en mesure d'apprécier l'impact radiologique des sites de stockage de ces résidus sur les populations et de vérifier l'efficacité des aménagements mis en place par Areva, un contrôle des eaux d'exhaure avant rejet et une surveillance de différents compartiments de l'environnement (dans l'air notamment) sont imposés par arrêté préfectoral pour chacun des sites de stockage.

En complément de la surveillance exercée par Areva, qui répond aux exigences réglementaires et qui est souvent renforcée à son initiative, des contrôles sont effectués par les Dreal, notamment lors d'inspections inopinées avec prise d'échantillons pour analyse. Des campagnes de mesures ponctuelles sont menées également par plusieurs organismes dont l'IRSN. Ces campagnes peuvent faire suite à des questionnements de la part des populations, d'élus, d'associations locales ou nationales ou en réponse à la demande des autorités. En plus de ces mesures ponctuelles, l'IRSN effectue une surveillance régulière de l'environnement autour de quelques anciens secteurs miniers parmi les plus importants en termes de tonnage d'uranium extrait ou de résidus de minerais stockés. Cette surveillance est focalisée essentiellement sur le milieu aquatique et l'exposition externe.

Dans ce chapitre ne sont traités que les résultats de surveillance des eaux (eaux superficielles, eaux souterraines). Les mesures sur l'air sont traitées dans le

chapitre IV (Compartiment atmosphérique). Sur la période d'analyse de ce rapport, près de 1 300 mesures ont été réalisées sur des eaux prélevées par l'IRSN et Areva (figure V.3) autour des anciens sites miniers français faisant l'objet d'une surveillance réglementaire de l'environnement.

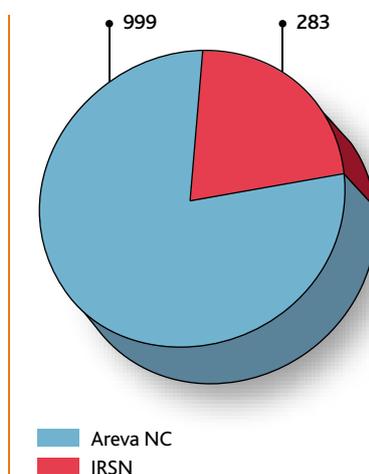


Figure V.3 - Répartition du nombre de prélèvements d'eau par producteurs de données relatifs à la surveillance des sites miniers.

Site minier de Bertholène (zone minière de l'Aveyron)

Localisé sur la commune du même nom, le site de Bertholène a été le siège de travaux miniers souterrains et d'une mine à ciel ouvert de 1977 à 1994. Le minerai était traité par lixiviation statique, à l'origine des résidus stockés actuellement sur le site. Les installations sont démantelées et le site, qui dispose d'une station de traitement des eaux, est en cours de réaménagement.

Les résultats des mesures en radium 226 sur les points de surveillance d'eau de ce site minier en 2010 oscillent entre le seuil de décision (< 0,01 Bq/L) et la valeur maximale de 0,07 Bq/L pour l'eau souterraine analysée. Ces activités sont représentatives du bruit de fond naturel. Les valeurs significatives en uranium 238, comprises entre 141 et 247 µg/L, montrent quant à elles une influence du site minier sur le milieu récepteur dont les teneurs naturelles sont de l'ordre de quelques µg/L.

Site minier de Rophin (zone minière d'Ambert)

Le site minier de Rophin, sur la commune de Lachaux (Puy-de-Dôme) abritait des travaux

miniers souterrains de 1949 à 1955, et une usine de traitement de minerais d'uranium de 1950 à 1955. Les résidus solides provenant du traitement sont stockés sur place. Les installations ont été démantelées et le site a été réaménagé.

Sur les cinq points de surveillance d'eau de surface, seules les activités en radium 226 (1,94 Bq/L) et en uranium 238 (251 µg/L) sur un point de prélèvement de Lachaux montrent une influence du site minier. Les activités en radium 226 (entre 0,02 Bq/L et 0,12 Bq/L) et en uranium 238 (entre < 5 et 6 µg/L) des autres points de surveillance sont représentatives du bruit de fond naturel de ce site.

Site minier de Saint-Pierre (zone minière du Cantal)

Exploité de 1958 à 1981, le site minier de Saint-Pierre disposait d'une mine à ciel ouvert associée à une usine de traitement et de concentration d'uranium. Les résidus sont stockés sur place. Les installations ont été démantelées et le site a été réaménagé.

Les activités en radium 226 mesurées sur les échantillons d'eau de surface des deux points de surveillance oscillent entre le seuil de décision (< 0,01 Bq/L) et la valeur maximale de 0,22 Bq/L. Ces activités sont modérées et pour la plupart liées au bruit de fond naturellement élevé sur cette zone uranifère. Elles témoignent néanmoins, pour les valeurs maximales, d'un marquage en relation avec l'activité passée de ce site minier. Les concentrations en uranium pondéral mesurées, comprises entre 4 et 52 µg/L pour le premier point, et entre 75 et 489 µg/L pour le second point de surveillance, confirment ce constat.

Site minier du Bernardan (zone minière de la Benaize)

La Société des mines de Jouac possédait une douzaine de sites exploités dans la zone minière de la Benaize, à Jouac, Cromac, Saint-Léger-Magnazeix et Mailhac-sur-Benaize en Haute-Vienne (87). Le minerai d'uranium était exploité, selon les caractéristiques du gisement, en mine à ciel ouvert (carrières) ou en mine souterraine.

Le site minier du Bernardan était le plus



© Noak/Le bar floral/IRSN

Figure V.4 - Bassin des eaux d'écoulement qui proviennent du site de stockage de résidus miniers d'uranium, site de Bessines-sur-Gartempe.

important de ces sites. Il a fait l'objet d'une exploitation minière à ciel ouvert (1978-1987) et par travaux miniers souterrains (1983-2001). Sur ce site étaient implantées des installations expérimentales de lixiviation statique en tas (1978-1987) ainsi qu'une usine de traitement de minerais (1979-2001). L'exploitation du gisement a cessé le 30 mai 2001 et l'usine de traitement a été arrêtée en décembre 2001, puis démantelée. Les installations sont démantelées et le site, qui dispose d'une station de traitement des eaux, a été réaménagé.

En 2010, les résultats des mesures en radium 226 sur les six points de surveillance d'eau de surface de ce site minier oscillent entre le seuil de décision ($< 0,01$ Bq/L) et $0,08$ Bq/L. Ces activités sont représentatives du bruit de fond naturel. Les concentrations en uranium pondéral, proches de $30 \mu\text{g/L}$, sont supérieures à celles que l'on observe

généralement dans des eaux de surface, hors influence minière, en contexte géologique similaire.

Zone minière de la Crouzille (Haute-Vienne)

La division minière de la Crouzille a exploité, de 1948 à 1995, un ensemble de gisements uranifères granitiques qui a produit 23 324 tonnes d'uranium. L'exploitation du minerai a été faite par mines à ciel ouvert (MCO) pour les gisements proches de la surface et par travaux miniers souterrains (TMS) pour les gisements situés en profondeur. Elle est constituée de 24 sites miniers situés dans l'emprise de quatre concessions. Entre 1958 et 1993, tout le minerai extrait a été traité à l'usine de traitement de Bessines-sur-Gartempe (figure V.4). Le site, aujourd'hui réaménagé, regroupe notam-

ment les activités du Centre d'études et de suivi des anciennes activités minières (Cesaam), ainsi qu'une infrastructure consacrée à l'entreposage d'oxyde d'uranium appauvri.

L'emprise des sites miniers de la division minière de la Crouzille représente une surface dont les caractéristiques hydrologiques permettent un découpage en bassins versants. Les bassins versants majeurs en regard du nombre de sites recensés, sont ceux de la Gartempe (neuf sites), du Vincou (deux sites), du Ritord (cinq sites) et de la Couze (quatre sites non traités ci-après). La Couze, le Ritord et le Vincou sont tous trois affluents rive gauche de la Gartempe. Les sites miniers les plus importants en regard de l'étendue géographique des travaux et de la production sont les sites du SIB (Site industriel de Bessines) sur la Gartempe, de Fanay-Augères sur le Ritord et de Margnac-Pény sur le Vincou.

Bassin versant du Vincou

Le Vincou qui traverse la division de La Crouzille s'écoule depuis les monts d'Am-bazac. Ce ruisseau est remarquable du

point de vue de l'étude et de la compréhension de la radioactivité à proximité des sites miniers car il traverse plusieurs secteurs miniers au niveau de Margnac (figure V.5).

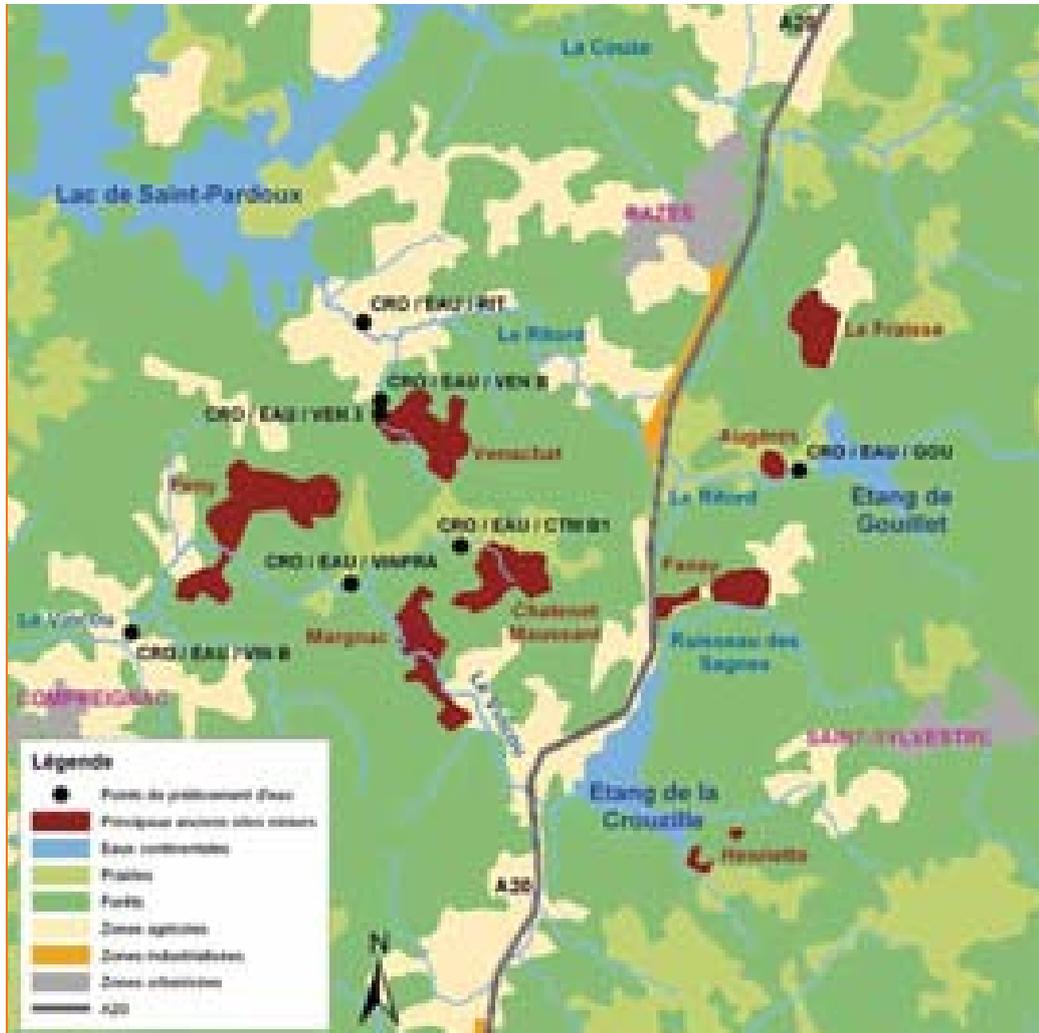


Figure V.5 - Principales rivières et zones minières des bassins versants du Vincou et du Ritord.



Figure V.6 - Étang de la Crouzille.

En aval de l'étang de la Crouzille (figure V.6), l'IRSN réalise des prélèvements d'eau dans le Vincou depuis 1966. Ces prélèvements ont permis un suivi historique de la radioactivité pendant les différentes phases de vie des mines.

Les phases d'exploitation puis de mise sous surveillance du site sont visibles au travers de l'activité alpha globale et du radium 226 de l'eau prélevée dans le Vincou (figure V.7). Pendant la période d'exploitation des sites miniers (1948-1995), l'activité alpha globale annuelle moyenne a varié entre 1 et 11 Bq/L en fonction de l'activité industrielle des sites et de l'amélioration des techniques de traitement des effluents. La valeur maximale mesurée est de 33 Bq/L en juin 1978. Depuis la mise à l'arrêt de l'exploitation

minière en 1995, l'activité alpha globale annuelle moyenne n'a pas dépassé 1,13 Bq/L et décroît régulièrement pour atteindre 0,45 Bq/L en 2010. L'activité en radium 226 est proche de 0,1 Bq/L.

Ces observations sont conformes à celles obtenues en 2010 par Areva sur les points de surveillance des eaux du Vincou en aval de l'étang de la Crouzille (activité en radium 226 comprise entre 0,02 et 0,14 Bq/L). La teneur maximale en uranium 238 dans les eaux du Vincou en aval de tous les sites miniers (point VIN B – voir figure V.5) est de 24 µg/L. Ces valeurs sont légèrement supérieures à celles que l'on observe généralement dans des eaux de surface, hors influence minière, en contexte géologique similaire. Elles sont comparables aux résultats obtenus au point CTM B1 (figure V.5) dans un ruisseau récepteur des eaux du site de Châtenet Maussant qui alimente le Vincou.

Bassin versant du Ritord

L'étang du Gouillet alimente un petit ruisseau, le Ritord (figures V.5 et V.8), qui collecte cinq rejets miniers sur une distance de cinq kilomètres. Ce ruisseau est concerné par un rejet principal issu du site de Fanay-Augères puis par des rejets secondaires d'autres sites miniers (Vénachat...). Il alimente à son tour le lac de Saint-Pardoux, lac artificiel créé en 1976 sur le cours de la Couze.

Globalement, on n'observe pas de différence entre les mesures réalisées dans le Ritord en amont de tous les sites (sortie de l'étang du Gouillet) et le point en aval de tous les sites miniers (au niveau de l'arrivée du Ritord dans le lac de Saint-Pardoux). Des activités de l'ordre de 0,1 Bq/L en radium 226 et 5 µg/L en uranium 238 ont été mesurées en 2010. Seules les mesures alpha globales présentent des activités proches de 0,4 Bq/L supérieures aux valeurs guides recommandées par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/L).

Plus bas dans le bassin versant, la signature minière est observée dans les eaux rejoignant le milieu naturel en aval immédiat du site minier de Vénachat (0,2 Bq/L en radium 226 et entre 15 et 32 µg/L en uranium 238 aux points VENB et VEN3), l'activité maximale alpha globale mesurée en 2010 au point VENB étant de 1,05 Bq/L. Le marquage des eaux de ce ruisseau n'est cependant plus observable au niveau de l'arrivée du Ritord dans le lac de Saint-Pardoux.

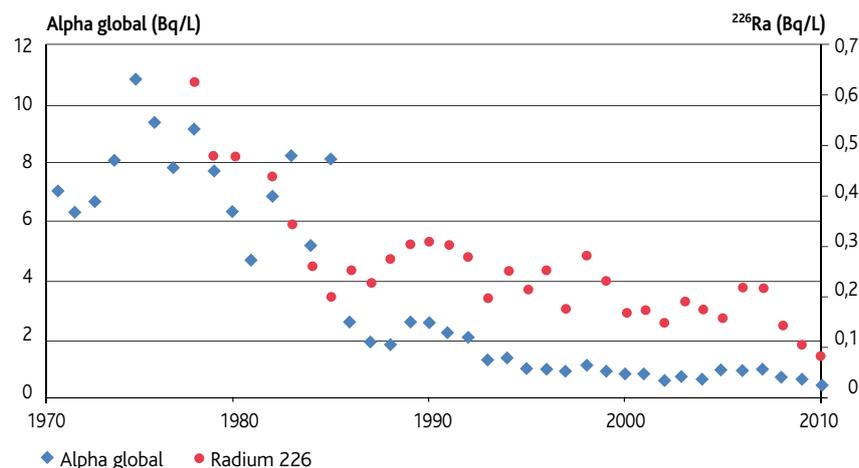


Figure V.7 - Activité alpha globale et du radium 226 dans l'eau en aval des sites miniers du bassin versant du Vincou – données IRSN (Bq/L).



Figure V.8 - Le Ritord au niveau de la commune de Razès, entre l'étang du Gouillet et le lac de Saint-Pardoux.

© IRSN

Bassin versant de la Gartempe

Longue de 206 km pour un bassin versant d'une superficie de 3 922 km², la Gartempe est le principal affluent de la Creuse. Elle prend sa source près de Lépinas dans le département de la Creuse et recueille les eaux de différents sites miniers (Puy Teigneux, Puy de l'Age, Bellezane...) ainsi que du site industriel de Bessines (*figure V.9*). Ces différents sites font l'objet d'une surveillance de la qualité radiologique des eaux de surface et des eaux souterraines réalisée par Areva.

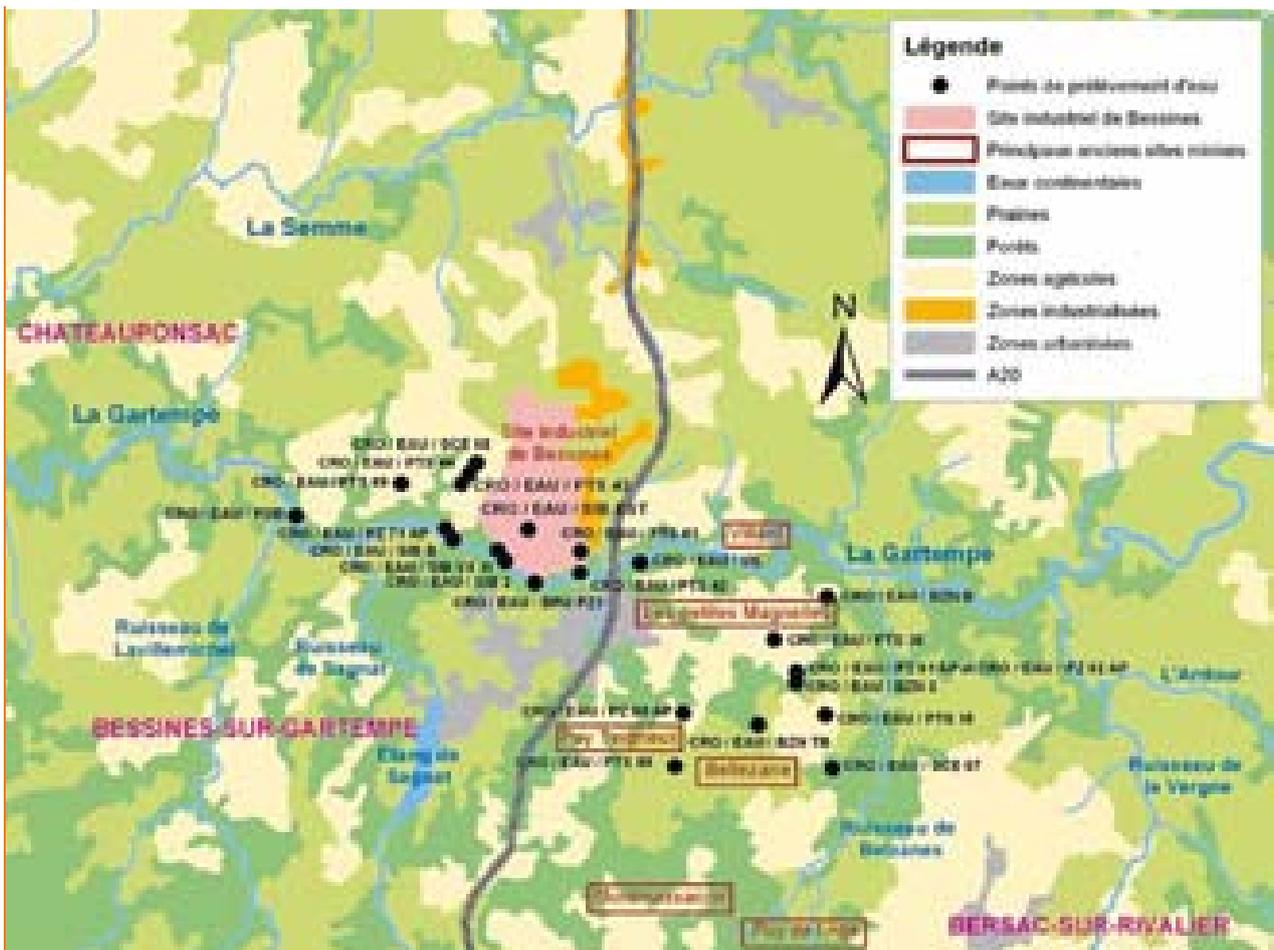


Figure V.9 - Principales rivières et zones minières du bassin versant de la Gartempe et localisation des points de prélèvement Areva.

Sur la douzaine de points de surveillance des eaux souterraines, les activités mesurées ne montrent aucun marquage en uranium (entre le seuil de décision de 0,5 µg/L et 6 µg/L). Pour le radium 226, on observe une charge naturelle systématique variant de 0,1 à 0,3 Bq/L. Les activités alpha globales (0,16 et 0,37 Bq/L) et bêta globales (1,6 et 1,9 Bq/L) des points PTS 42 et PTS 43 sont légèrement supérieures aux valeurs de référence recommandées par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/L en alpha global et 1 Bq/L en bêta global).

Les rejets des sites de stockage de résidus de minerai d'uranium (Le Brugeaud et Lavaugrasse sur le site industriel de Bessines, Bellezane, Montmassacrot) dont les eaux font l'objet d'un traitement d'insolubilisation du radium, ont des concentrations en radium 226 faibles (de l'ordre de 0,1 Bq/L). Les teneurs en uranium 238 dans les eaux de surface prélevées dans le ruisseau récepteur en aval immédiat du site de Bellezane (point BZN 2) sont comprises entre 187 et 375 µg/L et témoignent d'un marquage des rejets dans ce ruisseau à faible débit et donc à faible facteur de dilution. Les activités en radium 226 et

en uranium mesurées dans les eaux de la Gartempe en amont (point VII) et en aval (point SIB B) du site industriel de Bessines sont représentatives du bruit de fond naturel. L'impact de ce site ainsi que des sites miniers de ce bassin versant sur les eaux de la Gartempe n'est donc pas quantifiable en raison de la dilution des rejets (le débit moyen annuel de la Gartempe est d'environ 30 000 m³/h en amont des sites miniers).

Le Groupe d'expertise pluraliste (GEP) sur les mines d'uranium du Limousin

Le Groupe d'expertise pluraliste (GEP) sur les mines d'uranium du Limousin a remis son rapport final (figure V.10) au ministre du Développement durable et au président de l'ASN le 15 septembre 2010. Le rapport apporte pour la première fois l'éclairage d'une expertise pluraliste sur un dossier complexe : celui de l'héritage de l'exploitation de l'uranium en France. Cet héritage concerne 230 sites répartis sur 12 régions et 25 départements. Il est associé à des enjeux multiples : les stockages de résidus de traitement du minerai et leur devenir, les risques liés à la réutilisation de stériles, l'accumulation de radionucléides dans les sédiments des cours d'eau à l'aval des sites, la possibilité de transfert du radon depuis les sites vers les zones habitées... Souvent présents au contact direct des populations, les sites concernés suscitent régulièrement des questionnements et constituent aujourd'hui encore une source d'exposition potentiellement significative pour le public.



Figure V.10 - Rapport final du Groupe d'expertise pluraliste (GEP) sur les mines d'uranium du Limousin.

Parmi les différentes actions engagées par les pouvoirs publics pour aborder ces enjeux et répondre à ces questionnements, la mise en place du GEP par les ministres du Développement durable, de l'Industrie et de la Santé, en 2006, constitue une initiative tout à fait originale. Les compétences multiples rassemblées au sein du groupe lui ont permis d'explorer les différentes facettes techniques du dossier. Il a également et surtout la particularité d'avoir impliqué des acteurs porteurs de cultures et de sensibilités diverses dans un travail de longue haleine. Des experts originaires d'organismes publics (dont l'IRSN et l'InVS), du monde académique, d'Areva, des autorités réglementaires, d'organismes étrangers mais aussi du milieu associatif local et national ont ainsi été réunis pour porter un regard critique sur la surveillance des sites miniers réaménagés et éclairer l'administration et l'exploitant sur les options de gestion à retenir pour le long terme. L'IRSN, en tant qu'expert public, a joué un rôle déterminant dans la mise en place et l'aboutissement de cette démarche originale en prenant notamment en charge le secrétariat scientifique du GEP et la co-animation de ses quatre groupes de travail.

Dans le cadre de ses travaux, le GEP a mené une réflexion méthodologique à partir de l'étude approfondie de la situation de certains sites du Limousin. Cette réflexion l'a conduit à souligner une dynamique d'ouverture et de progrès qui intègre de plus en plus les préoccupations soulevées par les associations, mais également à insister sur la nécessité de poursuivre, d'approfondir et de systématiser le travail déjà engagé de manière à couvrir l'ensemble des sites et des situations et d'inscrire la démarche initiée par les pouvoirs publics dans la durée. Il s'agit à la fois de progresser dans la maîtrise des impacts actuels, mais aussi d'anticiper les impacts futurs en prenant plus systématiquement en compte l'évolution possible des sites. Il formule pour cela de nombreuses recommandations, synthétisées en 15 recommandations majeures et organisées autour de six axes :

- **la perspective** institutionnelle et le cadre réglementaire pour l'après-mine uranium ;
- **la connaissance** des sites et les besoins d'études et recherches pour prévoir leur devenir ;
- **l'évaluation** des impacts radiologiques et chimiques sur les populations et sur l'environnement ;
- **les dispositifs** pour faire évoluer la surveillance ;

- **la robustesse** des réaménagements vis-à-vis du long terme ;
- **l'information** et la participation des instances et des populations locales.

Parmi ses diverses recommandations, le GEP souligne en premier lieu l'importance de l'information et de la participation du public dans la mise en œuvre des efforts de réaménagement des anciens sites miniers d'uranium. Dans cette perspective, le GEP recommande de poursuivre et de compléter la collecte et la mise à disposition des informations relatives à la localisation et à l'état de connaissance des sites, ainsi qu'à leur surveillance. Il appelle ainsi, en particulier, à l'approfondissement des efforts engagés au travers du programme Mimausa (Mémoire et impact des mines d'uranium : synthèse et archives).

À propos de la surveillance réglementaire actuelle des sites miniers, le GEP considère que les dispositifs déployés pour le suivi des sources de rejet, des transferts à l'environnement et des impacts potentiels n'apparaissent pas toujours adaptés aux besoins et à la hiérarchie des enjeux. Ainsi, le GEP juge par exemple nécessaire de renforcer les mesures effectuées à l'aval des principales verses à stériles, dans les zones d'accumulation

potentielles des substances rejetées par les sites (mesures sur les sédiments notamment) ou dans les puits fermiers situés dans leur périmètre d'influence. En complément, il appelle à poursuivre les efforts consacrés à la connaissance de la circulation des eaux à l'échelle d'un site ou à l'évaluation de l'écotoxicité des substances contenues dans les rejets miniers.

Le GEP note par ailleurs que la surveillance actuellement en place est principalement orientée vers des indicateurs d'exposition et

mériterait, dans certains cas, d'être complétée par une surveillance orientée vers les effets (surveillance des écosystèmes).

Le GEP insiste également sur l'importance de garantir la qualité et la crédibilité de la surveillance en renforçant encore le pluralisme, le contrôle et l'accessibilité des données. Il souligne pour cela l'importance des contrôles sur site exercés par les autorités, notamment au travers de contrôles inopinés, et invite l'IRSN à tenir compte des impacts associés aux anciens

sites miniers d'uranium lors du déploiement de sa nouvelle stratégie de surveillance. Dans l'objectif de donner de la visibilité à la surveillance sur les sites et de favoriser l'accessibilité aux résultats, le GEP suggère d'améliorer le balisage des points de mesure sur le terrain, leur repérage dans les documents, mais également de faciliter l'accès aux données, notamment via Internet, soulignant en cela l'avancée notable que constitue la mise en place du Réseau national de mesures (RNM) de la radioactivité de l'environnement.

Site minier des Bois Noirs Limouzat (zone minière du Forez)

Entièrement situé sur le territoire de la commune de Saint-Priest-la-Prugne (Loire), ce site de la division minière du Forez couvre une superficie de 88 hectares dont 18 hectares de bassin en eau et 3 hectares d'emprise des anciennes installations de traitement. Il a été exploité en mine à ciel ouvert et mine souterraine entre 1955 et 1980. Il comportait une usine de traitement/séparation de minerai en fonctionnement de 1960 à 1980. Des résidus de traitement de minerai sont stockés dans le bassin sous eau, derrière un barrage du type « digue homogène en terre », implanté sur la Besbre dont le cours a été dévié par un canal. Une partie des résidus a été réutilisée pour remblayer les travaux miniers souterrains. Les installations ont été démantelées en 1981 et démolies en 2006. Le site, qui dispose d'une station de traitement des eaux, a été réaménagé.

Les résultats des mesures en radium 226 sur les dix points de surveillance d'eau de surface de ce site minier en 2010 oscillent entre le seuil de décision (< 0,01 Bq/L) et 0,16 Bq/L. Ces activités sont représentatives ou proches du bruit de fond naturel. Les teneurs en uranium pondéral (entre < 0,5 µg/L et 8 µg/L) sont dans la gamme des niveaux observés dans des eaux en contact avec des roches uranifères sauf pour les eaux collectées par le drain n° 40, situé en amont du rejet en Besbre, en rive droite. Ces dernières présentent en effet des activités volumiques en uranium supérieures au bruit de fond (entre 107 et 165 µg/L), témoignant d'un marquage en relation avec les activités minières du site.

Site minier du Bosc (zone minière de Lodève)

En 1975, les premiers travaux d'extraction ont commencé à la mine souterraine du site principal de Mas Lavayre dans l'Hérault (commune du Bosc). En 1978, l'extraction débutait dans les mines à ciel ouvert du Mas d'Alary, dont l'exploitation a cessé en 1984. Entre 1989 et 1992, d'autres petites mines ont été exploitées (Rabéjac, La Plane, Puech Bouissou). De 1994 à 1997, seule la mine souterraine du Mas Lavayre était encore exploitée. L'usine a été démantelée en 1999 et les opérations de réaménagement ont été achevées en 2001.

Le site principal accueille aujourd'hui une équipe chargée de la surveillance de l'environnement et du traitement des eaux issues de la mine (entièrement noyée) et des carrières réaménagées contenant les résidus

de minerai traité. Areva procède à une surveillance des eaux superficielles du réseau hydrographique autour du site minier. Des prélèvements d'eau sont ainsi réalisés dans le ruisseau du Riviéral drainant l'ensemble de la zone industrielle et la couverture du stockage des produits de démantèlement des installations, dans le ruisseau du Mas d'Alary drainant l'ensemble de la zone minière et la couverture de stockage des résidus de traitement, et dans la rivière Lergue en amont et en aval du rejet.

Les résultats des mesures en uranium 238 dans les deux ruisseaux drainant les eaux de la zone minière témoignent d'un marquage dû à l'activité minière (entre 530 µg/L et 1 930 µg/L). Dans la Lergue, les teneurs en uranium pondéral en amont et en aval du rejet sont représentatives du bruit de fond naturel (entre < 0,5 et 10 µg/L). Les activités en radium 226 dans les eaux superficielles oscillent entre < 0,01 et 0,23 Bq/L.

■ **Tableau V.2** - Activités minimales et maximales mesurées dans les eaux de surface et les eaux souterraines prélevées en 2010 sur le site de Mas Lavayre et dans son environnement proche (en Bq/L pour le ²²⁶Ra, en µg/L pour le ²³⁸U).

Type d'eau	Point de prélèvement	²²⁶ Ra (en Bq/L)	²³⁸ U (en µg/L)
Eau de rivière	Lergue (amont)	< 0,01 - 0,08	< 0,5 - 1
	Lergue (aval)	0,02 - 0,06	3 - 10
Eau de ruisseau	Ruisseau du Mas d'Alary	0,03 - 0,09	833 - 1 930
	Ruisseau du Riviéral	0,05 - 0,23	530 - 760
Eau souterraine	Piézo Hydro 34	0,89 - 1,17	3 - 14
	Piézo P37	0,26 - 0,30	3 090 - 3 240
	Piézo PZ 1	0,01 - 0,06	162 - 188
	Piézo PZ 2	0,03 - 0,04	19
	Piézo PZ 3	0,03 - 0,07	6 - 30
	Piézo PZ 4	0,04 - 0,05	371 - 368
	Piézo PZ 6	0,04 - 0,08	1 250 - 2 030
	Piézo PZ 7	0,01	11 100
	Piézo PZ 8	0,61 - 0,62	111 - 135
Piézo PZ FS	0,35 - 0,62	73 000 - 164 000	

Ces concentrations sont dans la gamme des niveaux observés dans des eaux en contact avec des roches uranifères. La surveillance de la qualité des eaux souterraines est effectuée par Areva à partir de dix piézomètres répartis sur l'ensemble du site. Les mesures en radium 226 et uranium 238 réalisées sur les eaux prélevées montrent un marquage important des eaux souterraines du site. Les activités maximales en radium 226 sont observées pour les points Hydro 34 et PZ 8 situés entre la zone minière et la zone ouest de la Lergue (entre 0,61 et 1,17 Bq/L). Les teneurs maximales en uranium 238 sont observées au point PZ FS (entre 73 000 et 164 000 µg/L) situé à proximité du stockage des produits de démantèlement. Les points PZ7 (11 100 µg/L), P37 (3 240 µg/L) et PZ 6 (2 030 µg/L) présentent également des teneurs importantes en uranium 238 dues aux activités minières passées du site (*tableau V.2*).

Site de Gueugnon (zone minière de Saône-et-Loire)

En 1954, une usine de traitement de minerais d'uranium a été construite sur la commune de Gueugnon dans le département de la Saône-et-Loire (71). Exploitée de 1955 à 1980, cette usine a produit près de 10 000 tonnes d'uranium puis a fait l'objet d'un démantèlement entre 1980 et 1981. En parallèle de l'exploitation de l'usine, un site de stockage de déchets et de résidus a été créé en 1955. Installé au niveau d'anciennes sablières, il renferme aujourd'hui 225 000 tonnes de résidus de traitement de minerai et de produits de démantèlement de l'usine et fait l'objet d'une surveillance par Areva.

Depuis 1981, les zones de l'ancienne usine et du stockage font l'objet de phases de travaux et de réaménagement. À ce titre, Areva a effectué en 2010 des travaux de réhabilitation au niveau de l'ancienne usine et aux abords du site de stockage, y compris sur le parking sud du stade Jean-Laville avec la mise en place d'une couverture spécifique. Suite à ces travaux, l'IRSN a été saisi en 2010 par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) afin de vérifier que les débits de dose sur les zones réhabilitées sont à un niveau équivalent à celui du milieu naturel environnant (plus d'informations sur www.irsn.fr).

La surveillance de la qualité des eaux superficielles et souterraines est effectuée à partir de six points de prélèvements. Seul

un piézomètre présente des teneurs en radium 226 (0,4 Bq/L) et en uranium (836 µg/L) nettement supérieures au bruit de fond environnant. Les eaux de surface présentent des activités en radium 226 (entre 0,02 et 0,08 Bq/L) et en uranium (entre < 0,5 et 9 µg/L) représentatives du bruit de fond naturel.

Site minier du Bauzot (zone minière de la Saône-et-Loire)

Le site du Bauzot, situé sur la commune d'Issy-l'Évêque (Saône-et-Loire), comprenait une mine souterraine d'uranium, une mine à ciel ouvert et un dépôt de déchets industriels de faible activité. Sa période d'exploitation s'étend de 1950 à 1985. La fosse de la mine à ciel ouvert a été remblayée, le stockage a été recouvert d'une couche de matériau imperméable et d'une couche de terre végétale. Le site a été réaménagé et clôturé.

Des eaux superficielles (rivière, étang, eaux résiduaires) et des eaux souterraines sont prélevées par Areva dans le cadre de la surveillance de ce site de stockage. Les mesures en radium 226 et uranium 238 réalisées en 2010 sur ces eaux montrent globalement un marquage en relation avec les activités passées du site. Les teneurs maximales en radium 226 sont proches ou légèrement supérieures à 1 Bq/L et les teneurs maximales en uranium sont supérieures à 2 000 µg/L pour le point « fosse ». Les autres points présentent des teneurs en uranium proches de 100 µg/L et donc supérieures au bruit de fond environnant.

Zone minière de la Vendée

La zone minière de Vendée (Loire-Atlantique) a été exploitée de 1954 à 1990. Jusqu'en 1991, le site de l'Écarpière accueillait également une usine de traitement des minerais. Des travaux de réaménagement du site ont été réalisés de 1989 à 1996. Le site de l'Écarpière héberge aujourd'hui une équipe Areva chargée de la surveillance de l'environnement des 25 sites exploités par la division minière de Vendée et de 18 anciens sites miniers de Bretagne.

La surveillance menée par l'IRSN sur des prélèvements d'eau de surface réalisés à proximité du site de l'Écarpière n'a pas conduit à la mise en évidence d'anomalies concernant la concentration en uranium et en radium 226.

V.3 LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT DES INDUSTRIES SITUÉES EN AMONT DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Les usines de traitement et concentration situées près des mines délivraient essentiellement des uranates (contenant environ 70 % d'uranium) et parfois des oxydes (pouvant contenir jusqu'à 80 % d'uranium). Aujourd'hui, c'est l' UO_2 faiblement enrichi à 3-5 % en uranium 235 qui constitue la matière finale du combustible des réacteurs à eau sous pression (REP). Dans les usines actuelles, l'opération d'enrichissement se fait sur un composé chimique ultra pur, l'hexafluorure d'uranium (UF_6) obtenu par conversion des concentrés miniers.

En France, deux usines de la société Comurhex (groupe Areva) travaillent en série pour produire l' UF_4 et l' UF_6 . À Malvesi, près de Narbonne, les concentrés de minerai sont transformés en UF_4 . À Pierrelatte, dans la vallée du Rhône, la seconde usine Comurhex assure la conversion de l' UF_4 en UF_6 .

L'uranium est ensuite transféré à l'usine d'enrichissement Georges Besse exploitée par Eurodif (également à Pierrelatte) sous forme d' UF_6 solide. Les trois isotopes de l'uranium présents à l'état naturel (uranium 234, 235 et 238) sont séparés sélectivement lors du passage de l' UF_6 gazeux au travers d'une paroi poreuse (barrière de diffusion gazeuse). Les isotopes les plus légers traversant plus facilement ces barrières que les plus lourds, le procédé permet un enrichissement sélectif et progressif. La technologie d'enrichissement de l'uranium évoluant de la diffusion gazeuse à l'enrichissement par centrifugation, plus performant, une nouvelle installation doit remplacer l'usine Georges Besse. La société d'enrichissement du Tricastin (SET) est le maître d'ouvrage de ce projet et l'exploitant de l'usine Georges Besse II dont la montée en puissance se fera progressivement jusqu'en 2016.

Après l'opération d'enrichissement, l' UF_6 est livré à l'usine franco-belge de fabrication du combustible (FBFC) de Romans-sur-Isère qui réalise la transformation en oxyde d'uranium (UO_2), le pastillage (fabrication des pastilles d' UO_2) puis la fabrication des assemblages de combustible pour les centrales nucléaires dites « à eau légère ».

Usine Comurhex de Malvési

Implantée depuis 1959 à 3 km au nord de Narbonne (*figure V.11*), l'usine Comurhex de Malvési produit annuellement 14 000 tonnes de tétrafluorure d'uranium (UF_4), soit un quart de la production mondiale, à partir de concentrés d'uranium (« *yellow cake* »).

Le procédé industriel mis en œuvre entraîne des rejets d'uranium dans l'air par les cheminées du site et dans le canal de Tauran par la conduite de rejets d'effluents liquides. Entre 1960 et 1980, le site a également utilisé de l'uranium provenant du traitement de combustibles nucléaires irradiés effectué par l'usine de Marcoule (Gard). Des déchets produits à cette époque, contenant notamment du plutonium, de l'américium 241 et du

technétium 99, ont été entreposés dans des bassins, sur le site même de l'usine, et sont toujours en place.

Enfin, depuis la création du site, des changements d'émissaires de rejet sont intervenus et des événements se sont produits (débordements de bassins exutoires des rejets, inondations dues aux intempéries).

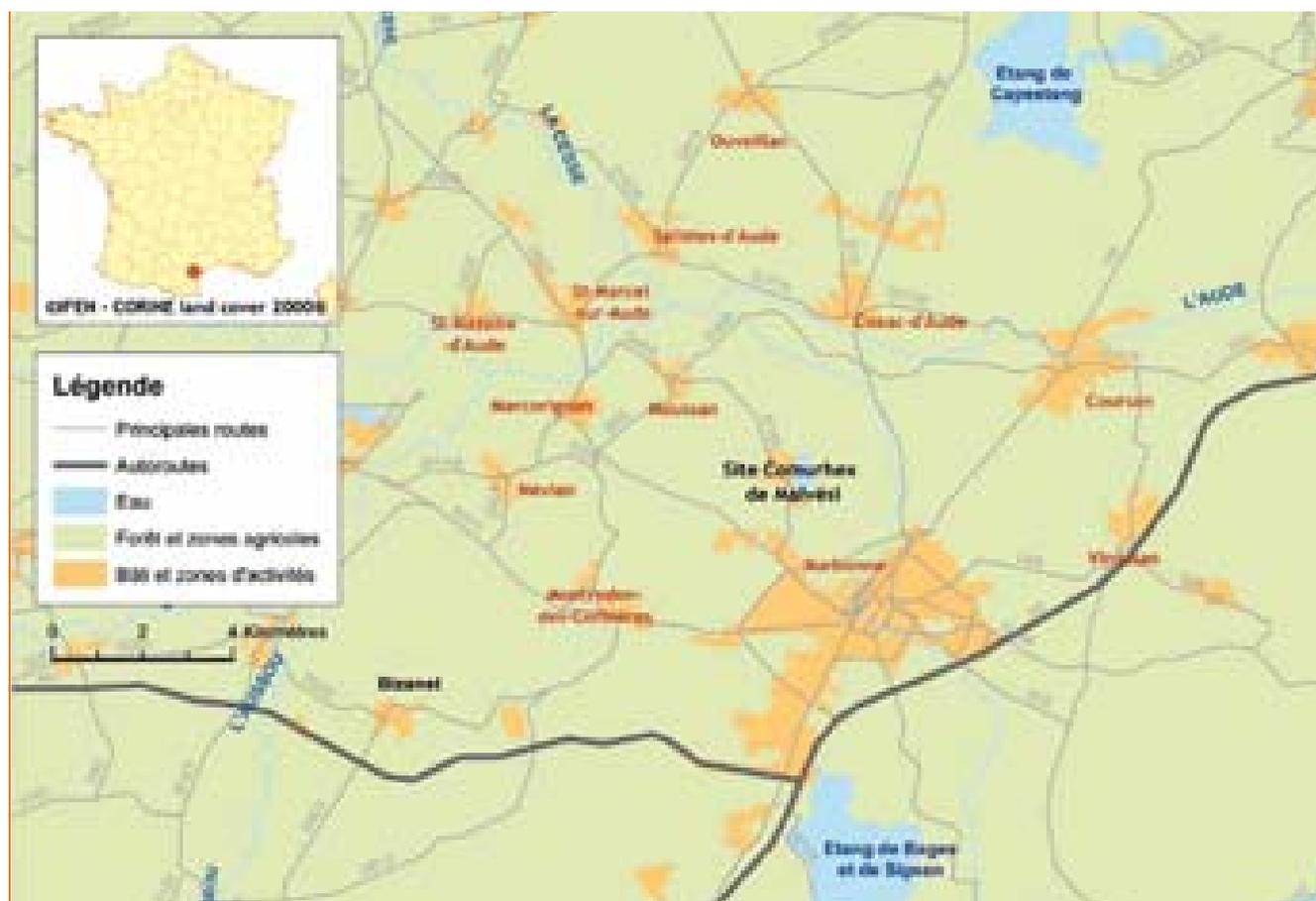


Figure V.11 - Situation géographique du site Comurhex de Malvési.

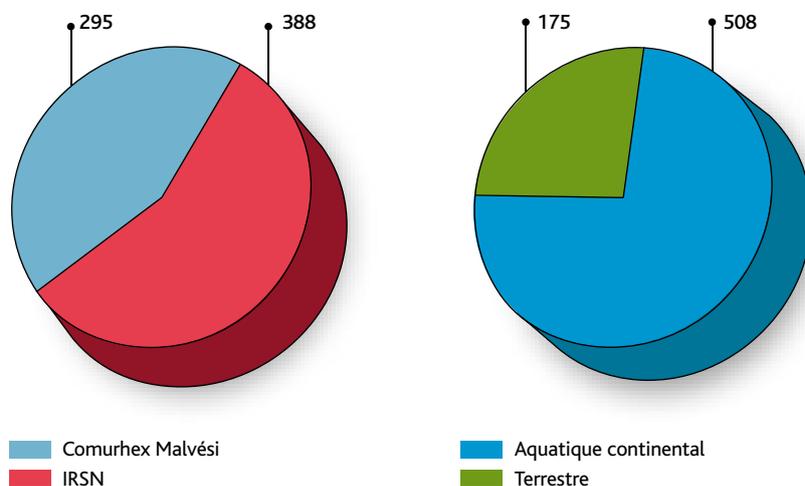


Figure V.12 - Usine Comurhex de Malvési, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Dans l'environnement de l'établissement Comurhex de Malvési, la surveillance des aérosols atmosphériques n'a révélé aucune présence de radionucléide artificiel comme le montre le suivi des indices d'activité alpha et bêta (tableau V.3, figures V.13 et V.14).

Tableau V.3 - Activités mesurées dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement de l'établissement Comurhex de Malvési (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,055 ± 0,001
	Activité bêta	0,39 ± 0,01

Seules deux valeurs inhabituelles ont été observées sur le prélèvement du 25 octobre au 2 novembre 2010 : 12,56 ± 6,66 mBq/m³ pour l'activité alpha globale, et 7,14 ± 1,78 mBq/m³ pour l'activité bêta globale. Aucun événement particulier n'a été enregistré lors de cette période au niveau de l'établissement Comurhex.

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Des végétaux terrestres sont régulièrement prélevés dans la zone potentiellement influencée par les rejets, c'est-à-dire à l'est de l'usine, ainsi que dans les zones hors influence.

Parmi ces végétaux, ce sont les feuilles de cyprès qui montrent les activités des isotopes de l'uranium les plus élevées (tableau V.4). Dans ce bioindicateur, le rapport isotopique ²³⁵U/²³⁸U exprimé en masse (0,68 ± 0,02 %), significativement inférieur au rapport mesuré dans la nature (²³⁵U/²³⁸U = 0,72 %), témoigne d'un appauvrissement en ²³⁵U. La source prépondérante de l'uranium mesuré dans ces végétaux demeure donc l'uranium rejeté par l'usine de Malvési.

Dans les denrées prélevées (épis de blé et feuilles de salade), les activités des isotopes de l'uranium sont globalement plus faibles que dans les feuilles de cyprès, mais demeurent très variables. Dans ces matrices,

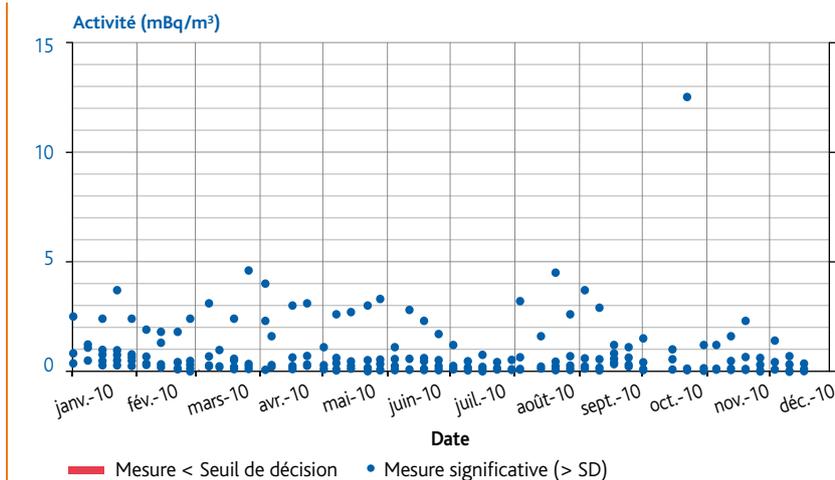


Figure V.13 - Chronique de l'indice d'activité alpha globale des aérosols atmosphériques prélevés à proximité de l'établissement Comurhex de Malvési (mBq/m³).

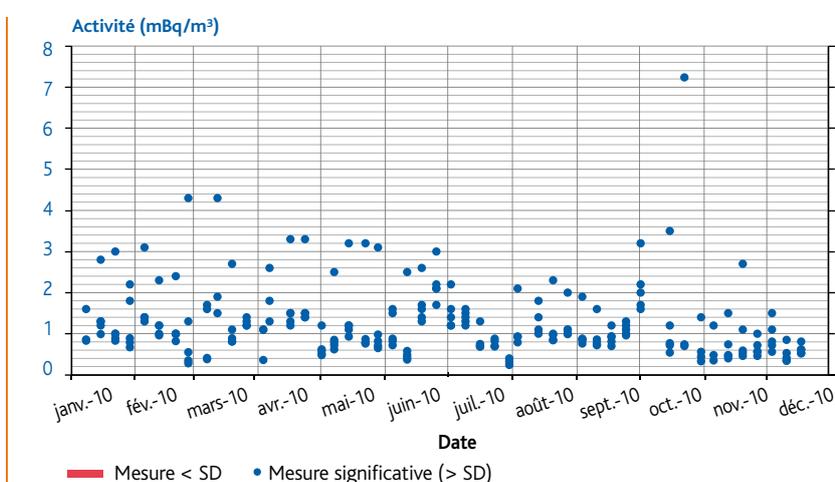


Figure V.14 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols atmosphériques prélevés à proximité de l'établissement Comurhex de Malvési (mBq/m³).

Tableau V.4 - Activités des isotopes de l'uranium des échantillons collectés dans l'environnement du site de Malvési en 2011 dans les feuilles de cyprès (Bq/kg sec).

Station	Nature	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U	²³⁵ U/ ²³⁸ U en masse (%)
Est Malvési	Feuilles de cyprès	34 ± 4	1,6 ± 0,1	< 0,02	37 ± 3	0,68 ± 0,02

le rapport isotopique ²³⁵U/²³⁸U exprimé en masse est comparable au rapport mesuré dans la nature (²³⁵U/²³⁸U = 0,72 %).

En milieu terrestre, des analyses réalisées par l'IRSN en 2007 (Étude radioécologique de l'environnement du site de Malvési – rapport IRSN/DEI/SESURE 2008-20) avaient souligné le marquage des feuilles de cyprès (figure V.15) et des épis de blé par l'uranium provenant du rejet atmosphérique à la cheminée ainsi que pour les ²³⁰Th, ²⁴¹Am et les isotopes du plutonium, issus des rejets diffus provenant des bassins du site.

Les résultats obtenus par l'ASN dans le cadre d'une inspection radiologique effectuée en juin 2011 dans l'environnement de l'usine Comurhex montrent une diminution du marquage du milieu terrestre (et du milieu aquatique) par les rejets provenant de cette installation. En milieu terrestre, le marquage des aiguilles de cyprès et des denrées alimentaires (blé et salades) par l'uranium rejeté dans l'atmosphère par l'installation a diminué en comparaison de 2007, année de la dernière étude radioécologique menée par l'IRSN. Par ailleurs, ces matrices témoignent sur la même

période de temps d'une diminution encore plus accentuée du marquage par les radionucléides provenant des bassins d'entreposage (isotopes du plutonium) ou de décantation (^{230}Th) situés sur le site.

Les productions agricoles et les aliments

Les fruits et les légumes

L'impact des rejets atmosphériques du site de Malvési diminue très rapidement dès que l'on s'écarte de la direction des vents dominants ou que l'on s'éloigne de l'installation. Aussi, les fruits et légumes cultivés à plus de 4 km du site présentent des activités en uranium 234 et 238 compatibles avec une origine naturelle (tableau V.5).

Les activités moyennes mesurées en France, exception faite des végétaux provenant de zones uranifères, sont de l'ordre de quelques milli-becquerels par kilogramme de matière fraîche, avec une importante variabilité en fonction des types de sols.

Compartiment aquatique

Le site de Malvési est implanté sur le bassin hydrographique de 6 000 km² de l'Aude. L'hydrologie à proximité du site est caractérisée par un ensemble important de canaux d'irrigation alimentés par l'Aude qui s'écoule dans une plaine alluviale. Les canaux d'irrigations qui sont situés à proximité du site sont les suivants :

- **le canal de la Robine**, cheminant au plus près à 1,7 km à l'est de l'usine ;
- **le canal de Cadariège** et ses affluents aboutissent dans le ruisseau de la Mayral ;
- **le canal de Tauran**, qui passe à l'est de l'usine, aboutit également dans la Mayral.

Les mesures réalisées dans les échantillons d'eau prélevés dans les canaux du Tauran donnent une activité alpha globale de l'ordre de 0,15 Bq/L en 2009-2010 (figure V.16).

L'IRSN réalise des mesures d'activité alpha globale dans le canal de Cadariège depuis 1975. Dans l'eau de ce canal, l'activité alpha globale est corrélée à la concentration en uranium pondéral (figure V.17).

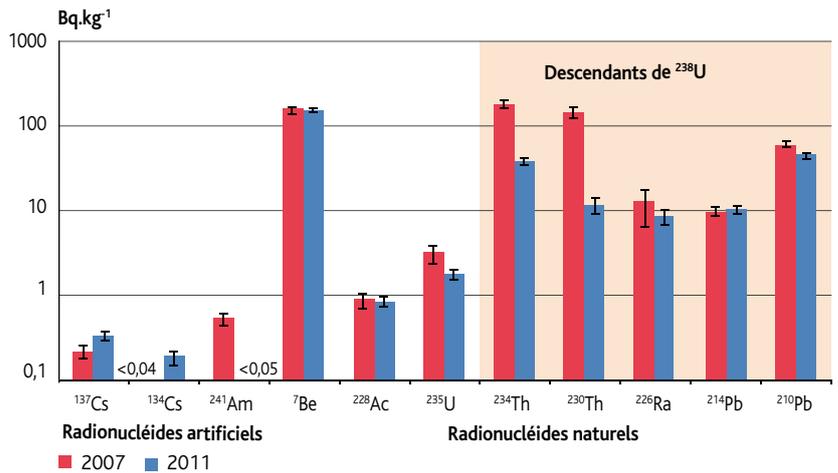


Figure V.15 - Comparaison des activités massiques des principaux radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle et naturelle dans les feuilles de cyprès en 2007 et 2011 (Bq/kg⁻¹).

Tableau V.5 - Activités mesurées dans les fruits et les légumes cultivés à proximité du site Comurhex de Malvési (Bq/kg frais).

Localisation	À 4 km à l'ouest, sous les vents dominants secondaires	À 9,5 km au nord-ouest, hors zone d'influence des vents dominants
Radionucléide	Salade	Pêche
^{210}Pb	< 0,56	< 0,62
^{226}Ra	0,029 ± 0,009	< 0,0043
^{234}U	0,04 ± 0,01	< 0,0086
^{235}U	< 0,008	< 0,0052
^{238}U	0,018 ± 0,006	< 0,0074

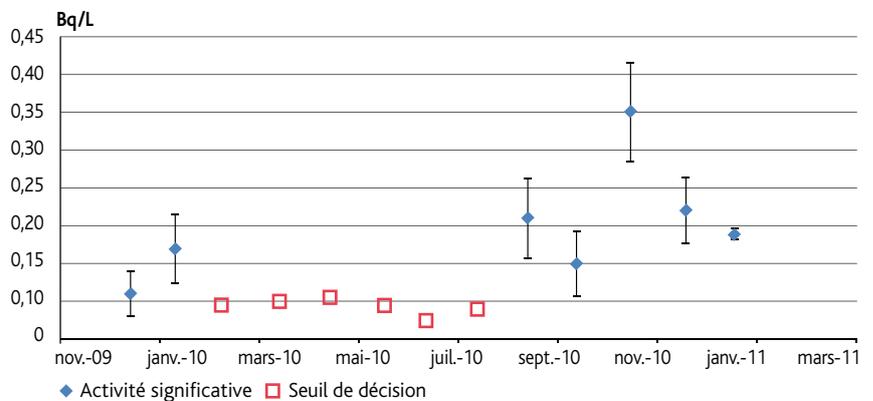


Figure V.16 - Activité alpha globale mesurée dans le canal du Tauran (Bq/L).

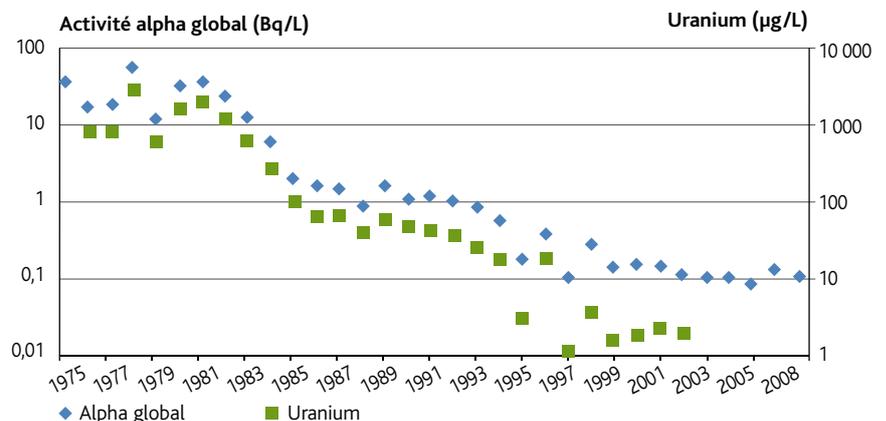


Figure V.17 - Activité alpha globale (Bq/L) et concentration de l'uranium pondéral (µg/L) mesurées dans le canal de Cadariège – mesures IRSN.

Surveillance regroupée des établissements Areva du Tricastin

Le site industriel du Tricastin regroupe depuis les années 1960 plusieurs activités liées à la fabrication (Comurhex, Eurodif, FBFC, Socatri)

et à l'exploitation du combustible nucléaire (Areva, CEA, EDF). Dans ce paragraphe sont présentés les résultats de la surveillance spécifique aux installations exploitées par Areva (Comurhex, Eurodif, Set, Socatri et Areva NC), industries de l'amont et de l'aval du cycle du combustible (figure V.18). Le chapitre suivant présente les résultats

de la surveillance des centres nucléaires de production d'électricité, dont celui du Tricastin.

Usine Comurhex de Pierrelatte

L'usine Comurhex de Pierrelatte a pour activité la conversion de l'uranium (UF_4) en hexafluorure d'uranium (UF_6), étape de transformation se situant entre l'extraction du minerai et celle de l'enrichissement de l'uranium.

Usine Eurodif Production

L'usine Eurodif Production est également nommée usine Georges Besse. Depuis 1982, par un procédé de diffusion gazeuse, elle permet de produire de l'uranium dont le taux d'enrichissement en uranium 235 est suffisant pour être utilisé dans les réacteurs nucléaires.

Usine Areva de Pierrelatte

Le site Areva de Pierrelatte intervient à plusieurs étapes industrielles du cycle de l'énergie nucléaire, et notamment dans la chimie de l'uranium. D'autres activités sont assurées sur cet établissement : maintenance des conteneurs de transport d'uranium, démantèlement des usines de diffusion gazeuse.

Usine Georges Besse II de la Set

La Société d'enrichissement du Tricastin (Set) du groupe Areva exploite la nouvelle usine d'enrichissement d'uranium par centrifugation sur le site nucléaire du Tricastin. Entrée en fonctionnement en 2010, elle remplacera progressivement l'usine Eurodif.

Usine Socatri

Socatri est une installation d'assainissement et de récupération d'uranium. Ses activités sont la maintenance et le démantèlement de matériels nucléaires, le traitement d'effluents liquides et de déchets nucléaires.

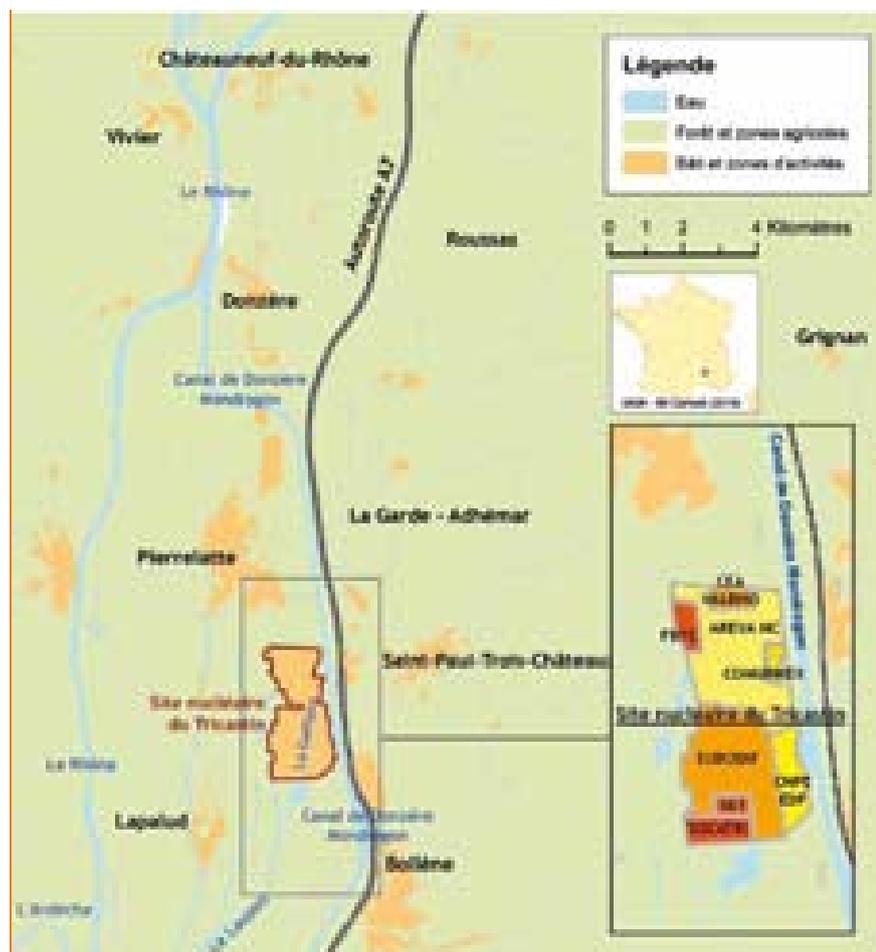


Figure V.18 - Situation géographique du site nucléaire du Tricastin.

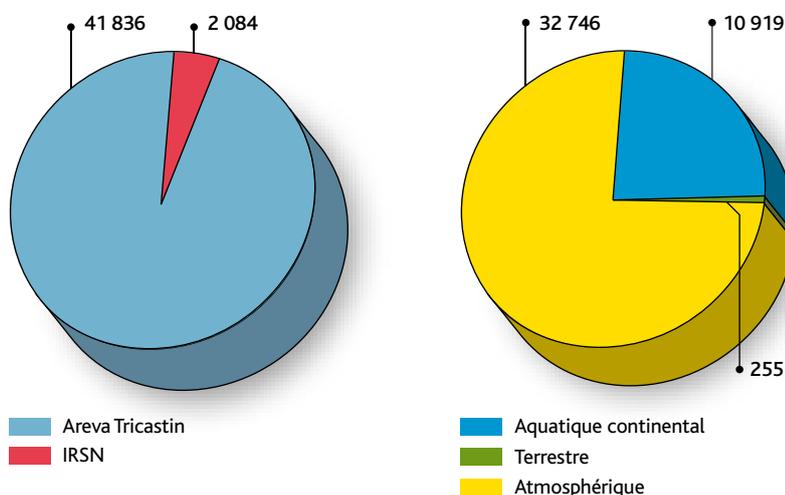


Figure V.19 - Site nucléaire du Tricastin, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Dans l'environnement du site du Tricastin, la surveillance des aérosols atmosphériques est réalisée quotidiennement par la mesure des indices d'activité alpha et bêta, par une mesure par spectrométrie gamma, puis par des analyses complémentaires en cas de constatation d'une anomalie.

Des activités en isotopes de l'uranium au-dessus des valeurs habituelles ont été mesurées sur les prélèvements réalisés par Areva et l'IRSN sur la commune de Pierrelatte (tableau V.6). Cette anomalie ponctuelle est due à un incident, intervenu le 1^{er} août 2010, de rejet d'uranium par l'exutoire des effluents gazeux de l'usine W du site Areva (cette usine est spécialisée dans la défluoruration de l'hexafluorure d'uranium (UF₆) appauvri).

Cet événement avait été signalé le 3 août 2010 à l'ASN par Areva.

Tableau V.6 - Activité mesurée sur le prélèvement effectué entre le 1^{er} et le 2 août 2010 par une station de surveillance de l'IRSN sur la commune de Pierrelatte (mBq/m³).

Radionucléide	Activité (mBq/m ³)
Uranium 234	0,14 ± 0,05
Uranium 235	0,011 ± 0,009
Uranium 236	< 0,0064
Uranium 238	0,83 ± 0,2

Lors d'un contrôle réalisé par Areva, une valeur anormale de l'indice d'activité alpha a été observée sur un prélèvement d'aérosol effectué dans la commune de Bollène entre le 3 et le 4 février 2010 (1,7 ± 0,5 mBq/m³). Les investigations complémentaires par spectrométrie ont permis de conclure que cette valeur inhabituelle n'était pas due à des radionucléides artificiels (absence d'isotopes du plutonium et activités normales des isotopes de l'uranium) (tableau V.7).

Tableau V.7 - Activité mesurée sur le prélèvement effectué entre le 3 et le 4 février 2010 par une des stations de surveillance d'Areva sur la commune de Bollène (mBq/m³).

Radionucléide	Activité (mBq/m ³)	Radionucléide	Activité (mBq/m ³)
Plutonium 238	< 0,063	Uranium 234	0,098
Plutonium 239	< 0,0081	Uranium 235	< 0,012
Plutonium 240	< 0,0081	Uranium 238	0,021

Outre ces constatations, aucune activité anormale n'a été mise en évidence (figures V.20 et V.21).

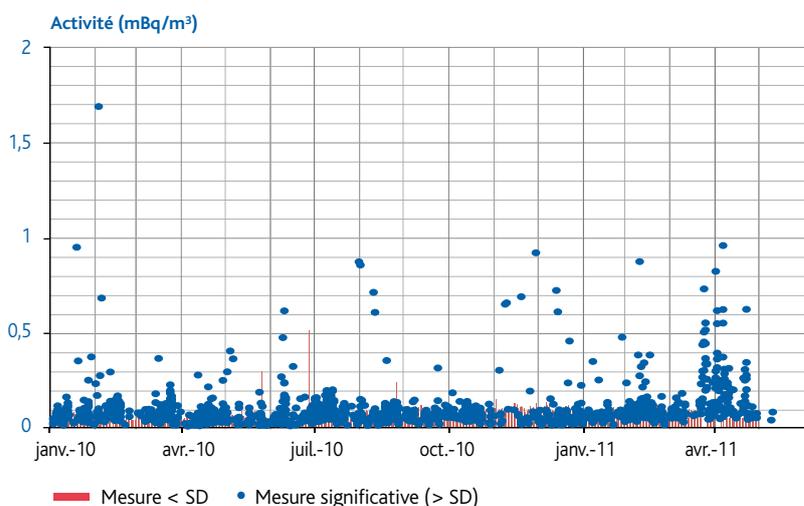


Figure V.20 - Chronique de l'indice d'activité alpha des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site du Tricastin (mBq/m³).

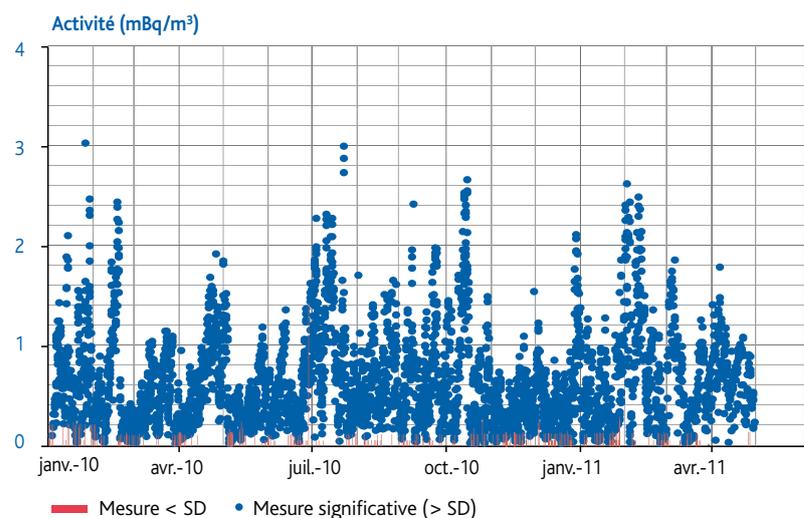


Figure V.21 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site du Tricastin (mBq/m³).

Une augmentation de l'indice d'activité bêta a également été observée entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableau V.8). Cette hausse est attribuée à la présence de radionucléides artificiels liés aux retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les gaz prélevés par barboteurs

Des collecteurs de tritium atmosphérique sont installés au nord (Pierrelatte) et au sud (Bollène) du site du Tricastin, selon l'axe principal des vents. Le tritium sous forme de vapeur d'eau est mesuré dans 20 % des prélèvements d'air à des valeurs comprises entre 0,19 et 0,87 Bq/m³ (figure V.22). L'activité moyenne de l'ensemble des prélèvements, en prenant en compte les seuils de décision, est de l'ordre de 0,15 Bq/m³.

Les eaux de pluie

Les eaux de pluie collectées à proximité du CNPE du Tricastin présentent des activités en tritium comprises entre les seuils de décision et 7,8 Bq/L entre 2009 et 2011 (figure V.23).

Tableau V.8 - Indice d'activité alpha et bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site du Tricastin (mBq/m³).

Établissement	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Areva NC Pierrelatte Comurhex Pierrelatte Eurodif Production	Indice d'activité alpha	0,011 ± 0,001
Société d'enrichissement du Tricastin Socatri	Indice d'activité bêta	0,25 ± 0,01 0,54 ± 0,01*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima entre le 22 mars et le 6 mai 2011.

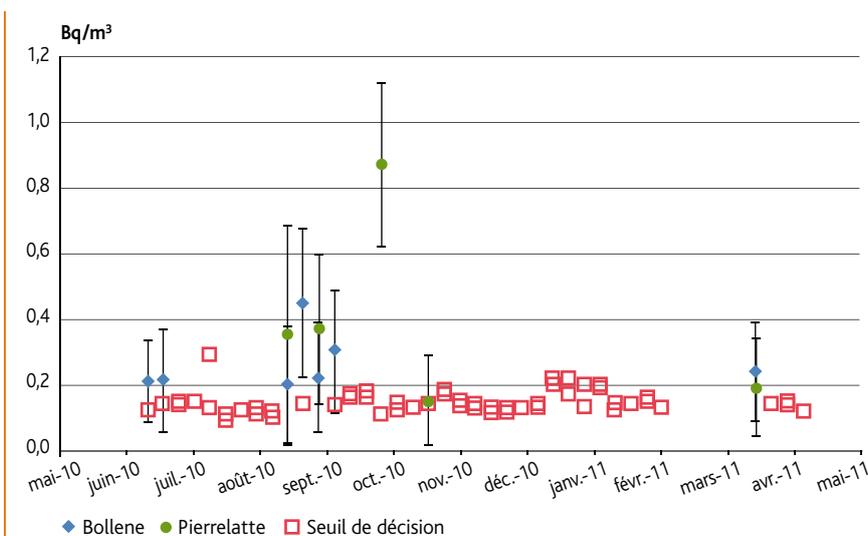


Figure V.22 - Activité du tritium sous forme de vapeur d'eau dans l'air ambiant (Bq/m³).

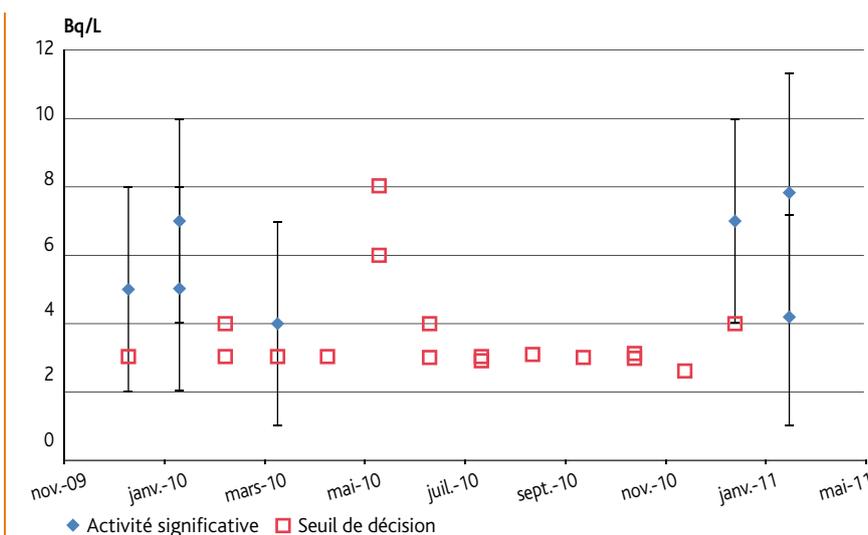


Figure V.23 - Activité du tritium dans les eaux de pluie collectées à proximité du site du Tricastin (Bq/L).

Compartiment terrestre

L'environnement terrestre du site du Tricastin fait l'objet d'une surveillance régulière comprenant des prélèvements d'herbes et de productions végétales sous et hors zones d'influence des vents dominants.

La flore terrestre

Des prélèvements semestriels d'herbes sont effectués à proximité du site du Tricastin, sur un axe nord-sud. De l'uranium est mesuré sur la plupart des prélèvements, dans des gammes d'activités identiques à celles des herbes prélevées hors influence potentielle des rejets (*tableau V.9*). Les activités en plutonium, américium et tritium libre sont restées inférieures aux seuils de décision. De même, les radionucléides artificiels émetteurs gamma (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co ...) n'ont pas été détectés par les appareils de mesure utilisés.

Les résultats en carbone 14 ne diffèrent pas des activités mesurées sur des matrices identiques dans des zones hors influence des rejets d'installation.

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Les résultats d'analyse en uranium pondéral et isotopique sont inférieurs aux seuils de décision sur l'ensemble des trois échantillons de maïs prélevés en 2010 à proximité du site du Tricastin (*tableau V.10*).

Aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans l'échantillon de blé collecté sur la commune de Chantemerle-lès-Grignan. Les isotopes de l'uranium n'ont pas été recherchés sur cet échantillon.

Les légumes-feuilles

En 2010, un échantillon de salade prélevé à 4 km au nord-ouest du complexe du Tricastin, dans une zone située hors influence des rejets gazeux, a fait l'objet d'analyses radiologiques. Les résultats indiquent que l'activité majeure est celle du potassium 40, d'origine naturelle (*tableau V.11*). Des traces d'uranium ont été mesurées à des activités similaires à ce que l'on peut observer naturellement dans l'environnement. Le césium 137 mesuré à une activité massique de $0,078 \pm 0,036$ Bq/kg frais provient de la rémanence de l'accident de Tchernobyl.

■ **Tableau V.9** - Activités moyennes mesurées dans les herbes prélevées à proximité du site du Tricastin (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	La Garde-Adhemar 4 km au nord du site, hors zone d'influence	Lamotte-du-Rhône 4 km au sud du site, sous les vents dominants
^{137}Cs	< 1,6	< 1,6
^{238}Pu	< 0,005	< 0,006
$^{239+240}\text{Pu}$	< 0,005	< 0,006
^{241}Am	< 0,0075	< 0,011
^{234}U	$0,5 \pm 0,12$	$0,6 \pm 0,14$
^{235}U	< 0,18	< 0,27
^{238}U	< 0,35	$0,3 \pm 0,14$
^3H libre (Bq/kg frais)	< 2,2	< 2,5
^{14}C (Bq/kg C)	$235,2 \pm 1$	$234,8 \pm 1,1$

* Sauf indication contraire

■ **Tableau V.10** - Activités moyennes mesurées dans le maïs collectés autour du site du Tricastin (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Pierrelatte 2,5 km au nord du site, hors zone d'influence	Bollène 1,5 km au sud du site, sous les vents dominants
U (mg/kg sec)	< 0,006	< 0,0021
^{232}U	< 0,023	< 0,008
^{234}U	< 0,015	< 0,008
^{235}U	< 0,015	< 0,008
^{236}U	< 0,015	< 0,008
^{238}U	< 0,015	< 0,008

* Sauf indication contraire

■ **Tableau V.11** - Activités moyennes mesurées dans la salade prélevée à Pierrelatte (Bq/kg frais).

Radionucléide	Salade
^{137}Cs	$0,078 \pm 0,036$
^{40}K	99 ± 13
Autres RN émetteurs gamma (^{124}Sb , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{106}Ru , ^{131}I)	< 1
^3H libre	$2,8 \pm 1,8$
^{234}U	$0,06 \pm 0,008$
^{235}U	$0,0033 \pm 0,0015$
^{238}U	$0,06 \pm 0,008$

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Le contre-canal rive droite (*figure V.25*), qui longe le site du Tricastin, a pour fonction de collecter les eaux de ruissellement et de drainer les pertes du canal de Donzère-Mondragon. Ce contre-canal collecte les eaux de la rive gauche par l'intermédiaire de trois différents siphons combinés à un partiteur qui permet de répartir les eaux entre le contre-canal et le point de départ de la Gaffière.

La Gaffière s'écoule du nord vers le sud et traverse le site du Tricastin dans sa partie orientale avec en son milieu une zone d'étalement constituant un plan d'eau. À l'aval immédiat du site, la Gaffière longe le plan d'eau du Trop Long au niveau duquel un déversoir a été aménagé en rive gauche en cas de crues. Passé ce déversoir, la Gaffière continue de longer le Trop Long et rejoint la Mayre Girarde pour former le Lauzon.

Le canal de Donzère-Mondragon est un canal de dérivation du Rhône de 24 km entre Donzère et Mondragon. Situé à l'est du Rhône, ce canal permet d'améliorer la navigation fluviale sur le Rhône, de contrôler son débit et d'alimenter en eau de refroidissement le site nucléaire du Tricastin.

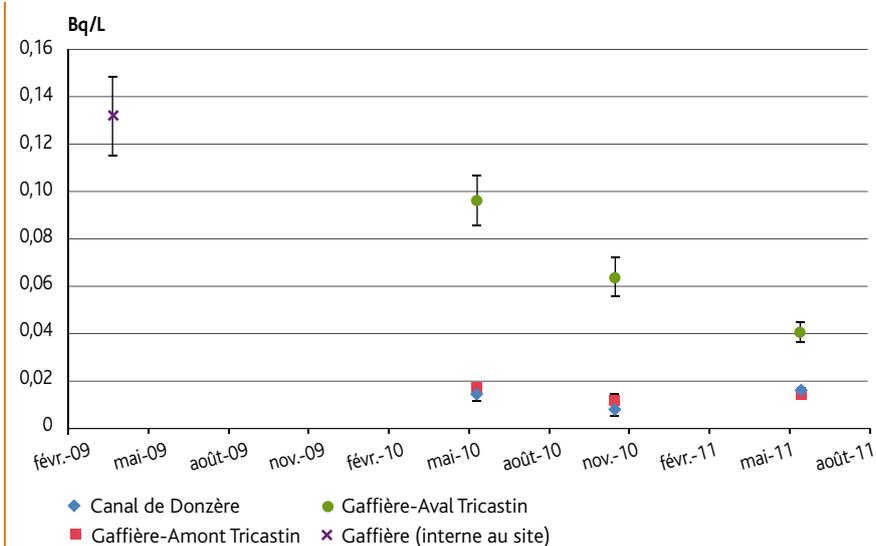


Figure V.24 - Activité de l'uranium 238 dans l'eau de la Gaffière et du canal de Donzère-Mondragon (Bq/L).

Un marquage en uranium 238 de l'eau de la Gaffière est observé sur le site du Tricastin (0,13 Bq/L) ainsi qu'en aval (0,06 Bq/L). L'amont de la Gaffière ou le canal de Donzère-Mondragon présentent des activités de l'ordre de 0,015 Bq/L (*figure V.24*).



Figure V.25 - Contre-canal rive droite en amont du site nucléaire du Tricastin.

Les sédiments

Des prélèvements de sédiments des cours d'eau situés à proximité du complexe nucléaire du Tricastin font l'objet d'analyses radiologiques régulières. L'échantillonnage a lieu annuellement en cinq stations de prélèvement : deux en amont hydraulique du site (Gaffière et canal de Donzère-Mondragon – *figure V.26*) et trois en sortie de site (Gaffière, Lauzon et Canal de Donzère-Mondragon).

Les activités en césium 137, seul radionucléide d'origine artificielle mesuré dans tous les prélèvements de sédiments, ne témoignent pas d'une différence entre l'amont et l'aval du site (*tableau V.12*). Cette présence en césium 137 est à mettre en relation avec les retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires passés et de l'accident de Tchernobyl, la minéralogie et les caractéristiques physiques, en particulier la granulométrie, étant à l'origine des variations d'activités mesurées dans les différents échantillons. Les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma

(^{124}Sb , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{106}Ru) n'ont été pas détectés par les appareils de mesures utilisés.

Le prélèvement de sédiment en aval du site, dans la Gaffière, présente des concentrations en uranium plus de trois fois supérieures à celles mesurées en amont, témoignant des rejets actuels d'uranium

de retraitement par le site. Malgré la dilution, la concentration en uranium est encore élevée dans le Lauzon, à 3,5 km en aval du complexe nucléaire.

La détection de traces d'américium et de plutonium en aval de la Gaffière est à mettre en relation avec les activités nucléaires passées du site du Tricastin.



Figure V.26 - Prélèvement de sédiments dans le canal de Donzère-Mondragon en amont du site nucléaire du Tricastin.

© IRSN

Tableau V.12 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments de milieu dulçaquicole à proximité du site du Tricastin (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Canal de Donzère-Mondragon		Gaffière		Lauzon
	Amont Tricastin 3,2 km	Aval Tricastin 5 km	Amont Tricastin 1,5 km	Aval Tricastin 100 m	Aval Tricastin 3,5 km
^{137}Cs	nm	$2,07 \pm 0,43$	$2,8 \pm 0,6$	$6,8 \pm 2,4$	$4,5 \pm 0,9$
^{131}I	nm	< 4,3	< 4,3	< 5	< 4,9
^{40}K	31 ± 6	47 ± 8	310 ± 50	76 ± 10	106 ± 15
^{210}Pb	nm	51 ± 31	nm	nm	nm
Autres RN émetteurs gamma (^{124}Sb , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{106}Ru)	nm	< 19	< 17	< 21	< 21
^{90}Sr	nm	< 18	nm	nm	nm
^{241}Am	nm	< 0,15	< 0,017	$0,29 \pm 0,12$	< 0,017
^{238}Pu	nm	< 0,16	< 0,11	$0,11 \pm 0,07$	< 0,15
$^{239+240}\text{Pu}$	nm	< 0,16	< 0,11	$0,11 \pm 0,07$	< 0,16
U pondéral calculé** (mg/kg sec)	nm	$0,93 \pm 0,11$	$0,62 \pm 0,07$	$1,97 \pm 0,2$	$1,83 \pm 0,19$
^{234}U	nm	$12,2 \pm 1,3$	$7,7 \pm 0,9$	$27,1 \pm 2,7$	$24,1 \pm 2,4$
^{235}U	nm	$0,8 \pm 0,17$	$0,51 \pm 0,13$	$2,18 \pm 0,31$	$1,94 \pm 0,29$
^{238}U	nm	$11,5 \pm 1,3$	$7,6 \pm 0,8$	$24,2 \pm 2,4$	$22,5 \pm 2,3$

* Sauf indication contraire

** U pondéral calculé à partir des isotopes mesurés de l'uranium

nm : non mesuré

La faune aquatique continentale

En 2010, l'uranium pondéral a été mesuré sur des poissons pêchés en amont et en aval hydraulique du site nucléaire du Tricastin. Les résultats d'analyse sont restés inférieurs aux seuils de décision (*tableau V.13*).

Des analyses complémentaires ont été effectuées sur des anguilles pêchées dans le canal de Donzère-Mondragon, en aval du complexe du Tricastin. Ces poissons présentent des activités, pour les isotopes 234 et 238 de l'uranium, compatibles avec une origine naturelle (*tableau V.14*).

Un marquage en carbone 14 est également observé sur cet échantillon. Celui-ci est attribuable aux rejets liquides des centres nucléaires de production d'électricité de la vallée du Rhône (*chapitre V-4*).

La flore aquatique continentale

Quatre prélèvements de potamots sont réalisés semestriellement à proximité du complexe nucléaire du Tricastin : deux en amont hydraulique du site et deux en sortie de site dans la Gaffière et le canal de Donzère-Mondragon. Un prélèvement est également effectué une fois par an dans le Lauzon, en aval hydraulique des rejets d'effluents du site du Tricastin (*tableau V.15*).

L'analyse de ces phanérogames aquatiques indique une activité essentiellement due au potassium 40 de l'ordre de 620 Bq/kg sec. Des traces de césium 137 issues des retombées atmosphériques des tirs passés et de l'accident de Tchernobyl sont décelées en amont comme en aval du site. La présence d'iode 131 observée sur le prélèvement en amont du site du Tricastin est attribuable aux rejets des services de médecine nucléaire qui utilisent ce radionucléide pour le diagnostic ou la radiothérapie. Les autres radionucléides émetteurs gamma recherchés (¹²⁵Sb, ¹²⁵Sb, ^{110m}Ag, ¹³⁴Cs, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵⁴Mn, ¹⁰⁶Ru) dans les différents cours d'eau, en amont et en aval du site du Tricastin, n'ont pas été détectés par les appareils de mesures utilisés.

Les activités en uranium isotopique mesurées sont significativement plus élevées en aval qu'en amont du site et témoignent des rejets d'uranium de retraitement par le site. L'amplitude de ces variations est davantage prononcée sur les végétaux prélevés dans la Gaffière dans laquelle s'effectuent les rejets.

Tableau V.13 - Concentrations moyennes en uranium mesurées dans les poissons pêchés dans l'environnement proche du site du Tricastin (mg/kg frais).

	Canal de Donzère amont – 3,2 km	Canal de Donzère aval – 5 km	Gaffière aval – 100 m	Lauzon aval – 3,5 km
Anguille	< 0,007	< 0,006	< 0,0046	< 0,0035
Chevesne	< 0,008	Non prélevé	< 0,007	< 0,009

Tableau V.14 - Activités massiques mesurées dans les anguilles pêchées en aval du site du Tricastin dans le canal de Donzère-Mondragon (Bq/kg frais).

Radionucléide	Activité
¹⁴ C	128 ± 42
¹³⁷ Cs	< 0,1
⁴⁰ K	65 ± 13
⁹⁰ Sr	< 0,045
²³² U	< 0,01
²³⁴ U	0,01 ± 0,01
²³⁵ U	< 0,01
²³⁶ U	< 0,01
²³⁸ U	0,02 ± 0,01
Autres RN émetteurs gamma (¹²⁵ Sb, ¹⁴⁴ Ce, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁶⁰ Co, ¹²⁹ I, ⁵⁴ Mn, ⁹⁵ Nb, ¹⁰⁶ Ru, ⁹⁵ Zr, ²³³ Pa)	< 0,8

Les prélèvements de végétaux aquatiques effectués en aval du site dans le canal de Donzère-Mondragon et dans la Gaffière présentent des traces d'activités en américium et plutonium légèrement supérieures à celle mesurée en amont dans le canal, suggérant un léger marquage par les rejets du site.

L'activité en tritium libre mesurée dans les végétaux prélevés dans le canal de Donzère-Mondragon en novembre 2010, de l'ordre de 6 Bq/kg frais en amont et en aval hydraulique du complexe du Tricastin traduit une légère contamination des eaux du Rhône par les rejets liquides des installations nucléaires situées en amont (CNPE du Bugey, de Saint-Alban et de Cruas notamment). Au même moment, l'activité en tritium dans les végétaux prélevés dans la Gaffière, alimentée par le canal, était de 3,6 ± 1,8 Bq/kg frais. En juin 2010, le marquage observé était moindre : l'activité mesurée en amont du site du Tricastin était de 1,9 ± 1,6 Bq/kg frais.

On observe enfin un léger marquage en carbone 14, dans tous les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du complexe du Tricastin (*tableau V.15*), attribuable aux rejets liquides des centres nucléaires de la vallée du Rhône.

Tableau V.15 - Activités moyennes mesurées dans les phanérogames aquatiques (potamots) prélevées dans les eaux de surfaces avoisinant le site du Tricastin (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Canal de Donzère-Mondragon		Gaffière		Lauzon
	Amont Tricastin 5 km	Aval Tricastin 5 km	Amont Tricastin 1,5 km	Aval Tricastin 100 m	Aval Tricastin 3,5 km
¹³⁷ Cs	< 1,1	1,44 ± 0,46	1,7 ± 0,6	< 2,4	nm
¹³¹ I	6,5 ± 1,4	< 9	< 7	< 9	nm
⁴⁰ K	570 ± 60	420 ± 60	680 ± 70	820 ± 100	nm
Autres RN émetteurs gamma (¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁶⁰ Co, ⁵⁴ Mn, ¹⁰⁶ Ru)	< 18	< 17	< 25	< 36	nm
²³⁸ Pu	< 0,015	< 0,024	nm	< 0,026	nm
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,015 ± 0,006	0,049 ± 0,021	nm	0,027 ± 0,011	nm
²⁴¹ Am	0,018 ± 0,009	0,026 ± 0,019	nm	0,063 ± 0,022	nm
⁹⁰ Sr	nm	< 0,31	nm	nm	nm
U pondéral (mg/kg sec)	1,05 ± 0,21 (3,2 km en amont du site)	0,76 ± 0,16	nm	1,49 ± 0,23	0,64 ± 0,13
²³⁴ U	4,22 ± 0,29	8,8 ± 0,8	10 ± 0,7	23,5 ± 1,6	nm
²³⁵ U	0,31 ± 0,041	0,59 ± 0,11	0,73 ± 0,09	2,61 ± 0,22	nm
²³⁸ U	3,85 ± 0,26	8,8 ± 0,8	9,7 ± 0,6	20,3 ± 1,4	nm
³ H libre (Bq/kg frais)	3,8 ± 1,2	6,2 ± 1,7	nm	3,8 ± 1,3	nm
¹⁴ C (Bq/kg C)	251,4 ± 1,2	267,2 ± 1,7	nm	258,7 ± 1,4	nm

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré

Les eaux souterraines

La nappe phréatique s'écoule dans les alluvions sablo-graveleuses du Rhône d'une dizaine de mètres d'épaisseur et très perméables. L'aquifère est limité à sa base par une couche de marnes imperméable. La nappe est drainée par de nombreux ruisseaux et par le fleuve. Les écoulements sont orientés du nord-est vers le sud-ouest, voire est-ouest au droit du site.

Les piézomètres au droit du site du Tricastin et à proximité présentent une concentration moyenne en uranium pondéral de 2,2 µg/L (figure V.27). Ponctuellement, certains points présentent des concentrations supérieures à 30 µg/L.

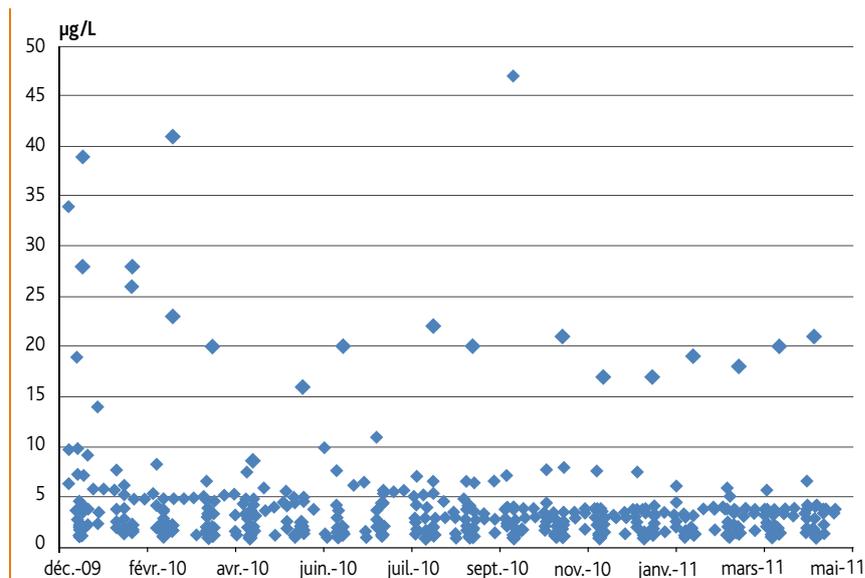


Figure V.27 - Concentration en uranium pondéral dans l'eau de nappe prélevée à proximité et au droit du site du Tricastin (µg/L).

Usine FBFC de Romans-sur-Isère

Située dans le département de la Drôme (figure V.28), la société FBFC de Romans-sur-Isère exploite deux installations nucléaires de base : l'unité de fabrication d'éléments combustibles pour les réacteurs de recherche (INB 63) et l'unité de fabrication

de combustibles nucléaires destinés aux réacteurs à eau sous pression (INB 98). Le site accueille également une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE 6 bis), l'atelier dit « des Cavités », où sont fabriqués des composants spécifiques, comme les « cavités » ou les « collimateurs LHC » pour le Centre européen pour la recherche nucléaire (Cern).

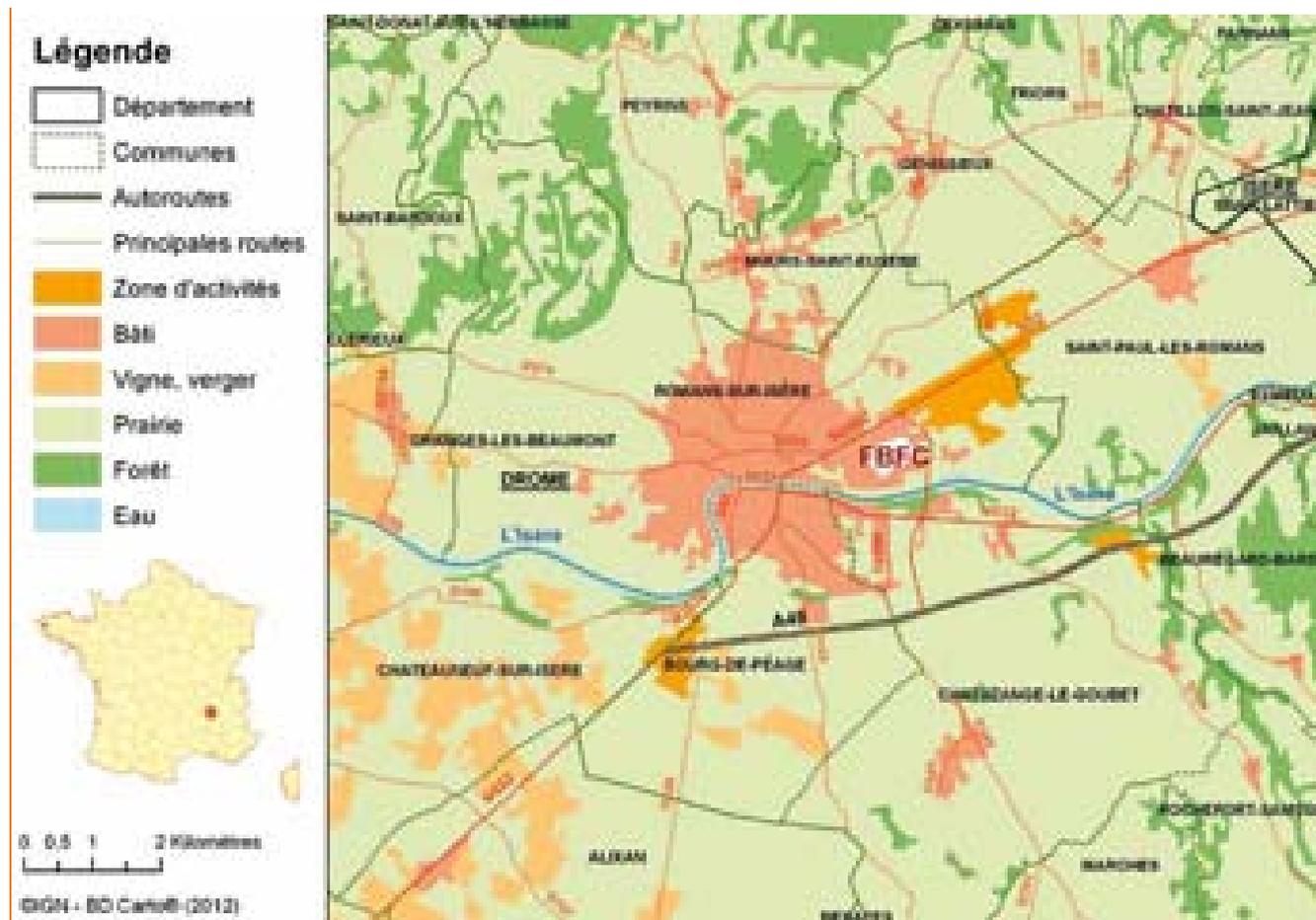


Figure V.28 - Situation géographique du site FBFC de Romans-sur-Isère.

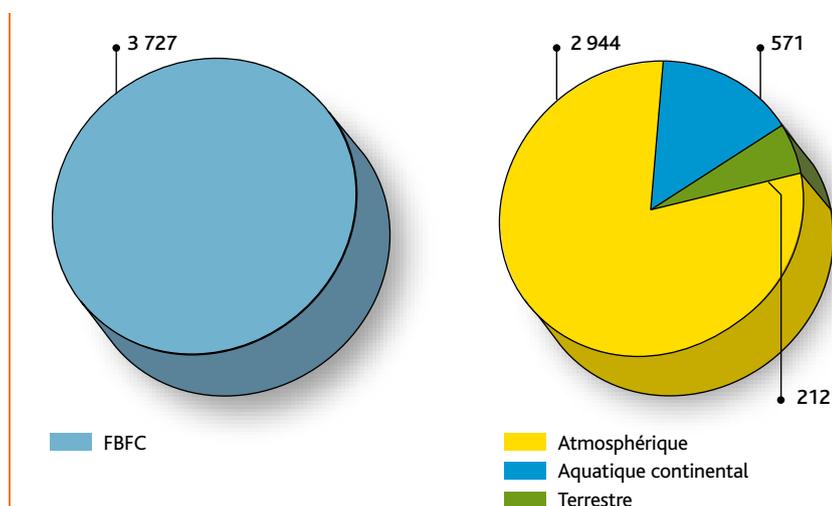


Figure V.29 - Usine FBFC de Romans-sur-Isère, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Dans l'environnement du site FBFC de Romans-sur-Isère, la surveillance des aérosols atmosphériques (figure V.30) est réalisée quotidiennement par un contrôle des indices d'activité alpha et bêta (tableau V.16) suivi d'analyses complémentaires en cas de constatation d'une anomalie, par la recherche systématique de radionucléides par des spectrométries gamma, ainsi que par des analyses par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (mesure des isotopes de l'uranium).

Ces contrôles ont mis en évidence une présence significative de niobium 95 sur le prélèvement d'aérosols réalisé entre le 1^{er} et le 31 janvier 2010 dans la commune de Romans-sur-Isère ($0,034 \pm 0,018$ mBq/m³). Toutefois, compte tenu de l'incertitude associée à cette mesure et de l'absence de mesure significative pour le zirconium 95 (père du niobium 95), la présence effective de traces de niobium 95 est par conséquent très peu probable.

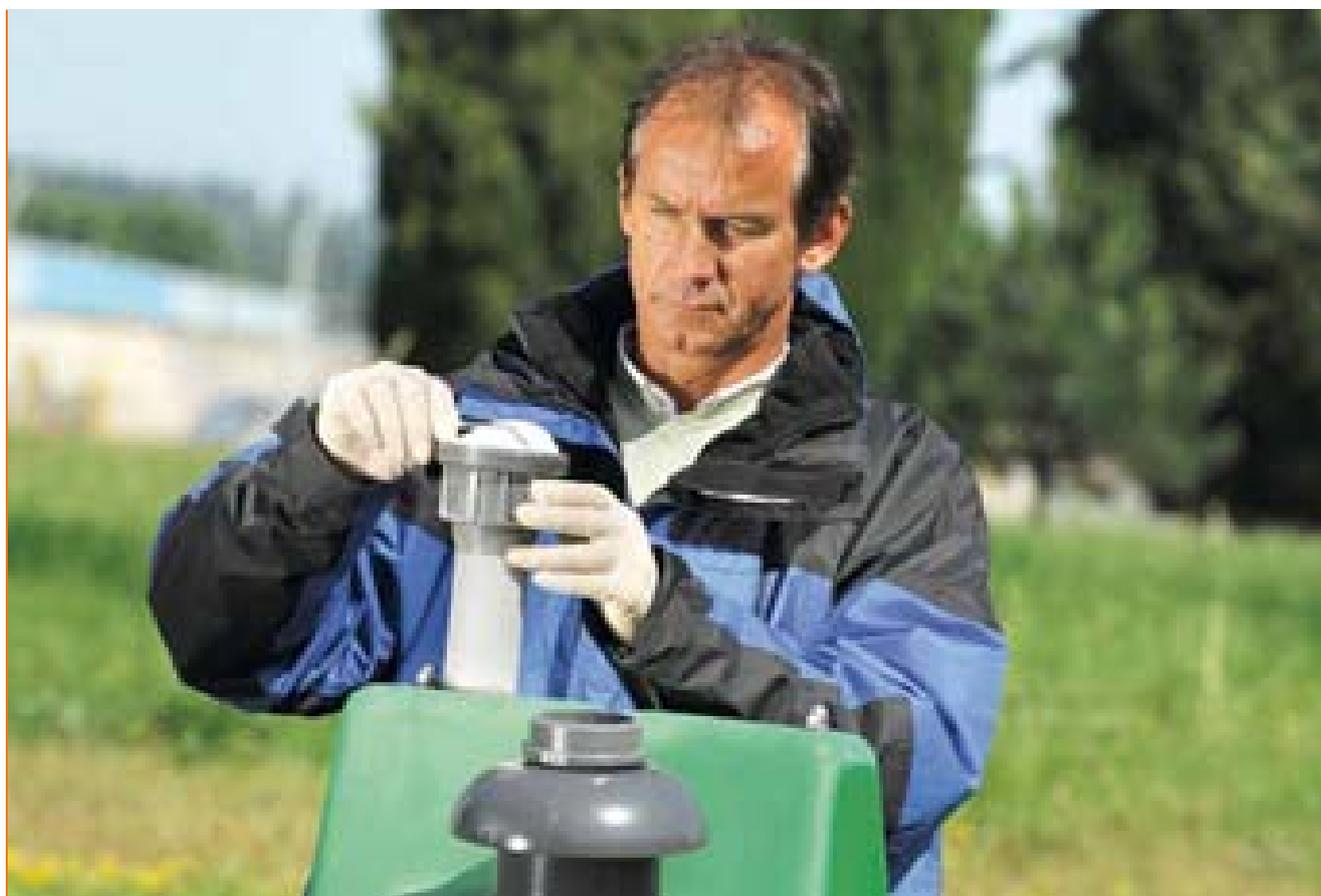
■ **Tableau V.16** - Indices d'activité alpha et bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site FBFC de Romans-sur-Isère (mBq/m³).

Établissement	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
FBFC Romans-sur-Isère	Indice d'activité alpha	$0,047 \pm 0,001$
	Indice d'activité bêta	$0,60 \pm 0,01$

■ **Tableau V.17** - Isotopes de l'uranium mesurés dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site FBFC de Romans-sur-Isère (mBq/m³).

Établissement	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
FBFC Romans-sur-Isère	Uranium 234	$0,015 \pm 0,001$
	Uranium 235	$0,00040 \pm 0,00002$
	Uranium 236	$0,00032 \pm 0,00002$
	Uranium 238	$0,0015 \pm 0,0001$

Outre cette constatation, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité bêta ni de l'indice alpha n'a été mise en évidence. Les spectrométries gamma et les spectrométries de masse ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels, aucun radionucléide artificiel n'était détecté dans l'environnement. En particulier, les résultats des mesures des isotopes de l'uranium présentent des activités compatibles avec une origine naturelle (tableau V.17).



© Areva/Y. Geoffray

■ **Figure V.30** - Récupération du filtre utilisé pour le prélèvement des aérosols atmosphériques sur le site FBFC de Romans-sur-Isère.

Compartiment terrestre

La teneur éventuelle en éléments radioactifs due aux rejets atmosphériques des installations nucléaires de l'usine FBFC de Romans-sur-Isère est déterminée à l'issue de campagnes de prélèvements de végétaux, mensuelles en quatre points sur le site et annuelles en quatorze points autour du site. Le choix des végétaux (pins noirs d'Autriche, chênes, mûriers, platane, graminées, mousses et céréales) répond à différents critères liés aussi bien à leur capacité de fixation des substances rejetées qu'à leur représentativité dans l'environnement du site nucléaire (tableau V.18).

D'une manière générale, la zone sud du site FBFC de Romans, directement sous les vents dominants, présente les concentrations en uranium les plus élevées révélant ainsi un léger marquage de l'environnement immédiat de l'installation (figure V.31). Au-delà de quelques centaines de mètres, les mesures sous et hors influence sont voisines et présentent de très faibles valeurs.

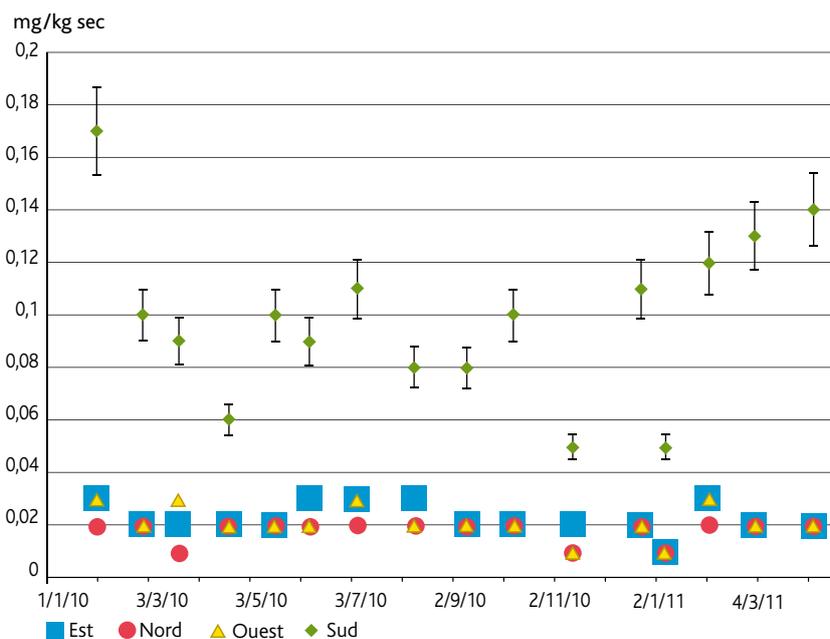


Figure V.31 - Concentration en uranium pondéral dans les aiguilles de pin prélevées sur le site FBFC de Romans-sur-Isère (mg/kg sec).

Tableau V.18 - Concentrations moyennes en uranium mesurées dans les végétaux terrestres prélevés à proximité du site FBFC de Romans-sur-Isère (mg/kg sec).

Localisation des prélèvements		Nord	Est	Sud	Ouest
Aiguilles de pin	Distance	Sur site	Sur site (nord-est)	Sur site	Sur site
	mg/kg sec	0,0152 ± 0,0004	0,0189 ± 0,0005	0,0782 ± 0,0021	0,01685 ± 0,00045
Feuilles de chêne	Distance	750 m	1000 m	500 m	np
	mg/kg sec	0,011 ± 0,0022	0,006 ± 0,0012	0,026 ± 0,0049	np
Feuilles de mûrier	Distance	np	np	np	750 m
	mg/kg sec	np	np	np	0,00219 ± 0,00042
Herbe	Distance	200 m	200 m (sud-est)	750 m	1 200 m
	mg/kg sec	< 0,002	0,011 ± 0,0011	< 0,004	< 0,001
Mousse terrestre	Distance	750 m	1 000 m	1 250 m	np
	mg/kg sec	0,237 ± 0,047	0,38 ± 0,08	0,198 ± 0,04	np
Céréales	Distance	1 200 m	200 m (sud-est)	2 000 m	np
	mg/kg sec	0,003 ± 0,0006	< 0,002	0,004 ± 0,0008	np

np : prélèvement non prévu au plan de surveillance

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Les rejets de l'usine FBFC de Romans-sur-Isère sont régis par l'arrêté du 22 juin 2000 qui définit la nature et les caractéristiques des rejets radioactifs liquides. Les rejets d'eaux comprennent les eaux industrielles et chimiques potentiellement contaminées par de l'uranium (eaux de lavage des sols des ateliers nucléaires, eaux de procédés, eaux de lavage du linge...) et les autres effluents des procédés chimiques collectés vers la station de traitement du site. Après traitement physico-chimique de piégeages des matières en suspension, ces effluents liquides sont rejetés dans l'Isère. Les eaux pluviales et les eaux vannes (eaux domestiques) sont évacuées par

le réseau domestique de la ville de Romans et dirigées vers la station d'épuration communale dans le cadre d'une convention de rejets.

Les concentrations en uranium pondéral mesurées dans l'eau de l'Isère au-dessus du barrage de Pizançon ou dans le centre-ville de Romans sont faibles, de l'ordre de 1,5 à 2 µg/L.

Les sédiments, la faune et la flore

L'impact des rejets liquides sur le milieu naturel aquatique est surveillé au moyen de prélèvements et mesures annuelles de poissons, mousses aquatiques, végétaux aquatiques et sédiments de l'Isère, en différents points en amont et en aval de l'émissaire de rejet. Les principaux résultats de mesure de l'année 2010 sont présentés dans le tableau V.19.

Les échantillons mesurés présentent des activités pour les isotopes 234 et 238 de l'uranium du même ordre de grandeur pour chacune des matrices, et des rapports isotopiques ($^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$) compatibles avec une origine naturelle. L'absence de variation entre l'amont et l'aval ne permet pas de quantifier l'éventuel impact des rejets liquides du site sur l'environnement. L'uranium mesuré provient de l'érosion naturelle. L'Isère charrie annuellement environ 16 tonnes de MES.

Des traces d'uranium 236, radionucléide caractéristique des rejets du site FBFC, sont toutefois observées dans tous les poissons pêchés dans l'Isère.

Tableau V.19 - Activités mesurées dans les sédiments, la flore et la faune aquatique de l'Isère.

Radionucléide		Amont Émissaire de rejet 1,5 km	Amont Émissaire de rejet 250 m	Aval Émissaire de rejet 2,5 km	Aval Émissaire de rejet 6 km	Aval Émissaire de rejet 9 km
		Amont Barrage de Pizançon	Barrage de Pizançon	Centre-ville de Romans	Aval Step de Romans	Barrage de Beaumont- Monteux
Roseau (Bq/kg sec)	^{137}Cs	2 ± 0,9	np	2,1 ± 0,8	2,6 ± 0,9	np
	^{234}U	< 0,8	np	< 0,67	< 0,54	np
	^{235}U	0,004 ± 0,001	np	0,0027 ± 0,0008	0,0027 ± 0,0006	np
	^{236}U	< 0,008	np	< 0,0074	< 0,0054	np
	^{238}U	0,047 ± 0,01	np	0,054 ± 0,012	0,054 ± 0,013	np
Mousse fontinale (Bq/kg sec)	^{137}Cs	np	< 0,47	np	np	< 1,2
	^{234}U	np	< 8,4	np	np	< 2,8
	^{235}U	np	0,62 ± 0,13	np	np	0,31 ± 0,047
	^{236}U	np	< 0,022	np	np	< 0,022
	^{238}U	np	16,4 ± 3,5	np	np	5,6 ± 1,1
Sédiment (Bq/kg sec)	^{137}Cs	3,5 ± 2,1	np	4 ± 1,5	3,3 ± 2	np
	^{234}U	20,2 ± 4,5	np	15,8 ± 4	75 ± 14	np
	^{235}U	0,88 ± 0,16	np	0,66 ± 0,13	4,2 ± 0,9	np
	^{236}U	< 0,07	np	< 0,062	< 0,073	np
	^{238}U	18,7 ± 3,7	np	12,3 ± 2,5	84 ± 17	np
Poisson (Bq/kg frais)	^{137}Cs	0,093 ± 0,039	np	0,1 ± 0,035	0,056 ± 0,025	np
	^{234}U	< 0,12	np	< 0,13	< 0,11	np
	^{235}U	0,000067 ± 0,000019	np	0,000061 ± 0,000019	0,00006 ± 0,000011	np
	^{236}U	< 0,0012	np	< 0,0013	< 0,0012	np
	^{238}U	0,00043 ± 0,00006	np	0,00031 ± 0,00006	0,00068 ± 0,00008	np

np : prélèvement non prévu au plan de surveillance

SICN Annecy

Créée en 1957, la Société industrielle de combustible nucléaire (SICN) d'Annecy (Haute-Savoie) produisait les combustibles pour la filière uranium naturel graphite-gaz (UNGG). La SICN (groupe Areva) a fabriqué ce combustible jusqu'en 1990 en utilisant de l'uranium naturel et retraité. Elle a également fabriqué des pièces métalliques en séries industrielles pour des éléments combustibles nucléaires autres que l'UNGG. En 2002, suite à son désengagement définitif du marché du nucléaire qui a entraîné l'arrêt de son activité métallurgie de l'aluminium, l'usine SICN d'Annecy a été rebaptisée Gemma. Le site se consacre maintenant exclusivement à des activités de sous-traitance mécanique et d'usinage pour des secteurs comme l'aéronautique, l'électronique, la mécanique...

Areva surveille la radioactivité dans l'eau de la nappe phréatique sur le site SICN d'Annecy. Dans le piézomètre n° 3, l'uranium est mesuré à des concentrations proches du bruit de fond ambiant (entre 3 et 10 µg/L). En revanche, l'uranium pondéral est en moyenne de l'ordre de 80 µg/L dans les eaux du piézomètre 2, et de 20 µg/L pour le piézomètre 1 avec une valeur maximale de 100 µg/L mesurée en février 2010 (figure V.33). Les teneurs en uranium pondéral mesurées dans les piézomètres 1 et 2 montrent donc un marquage des eaux souterraines lié aux activités passées du site SICN d'Annecy.

SICN Veurey-Voroize

Installé sur la commune de Veurey-Voroize dans le département de l'Isère, ce site de la Société industrielle de combustible nucléaire a été créé en 1960 dans le but de seconder le site d'Annecy. Il comprend deux installations nucléaires (une usine de fabrication de combustible nucléaire et un atelier de pastillage) arrêtées depuis le début des années 2000. Les opérations de cessation définitive d'exploitation se sont déroulées entre 2000 et fin 2005. Les décrets autorisant les opérations de démantèlement sont parus en février 2006, permettant ainsi le démarrage des opérations.

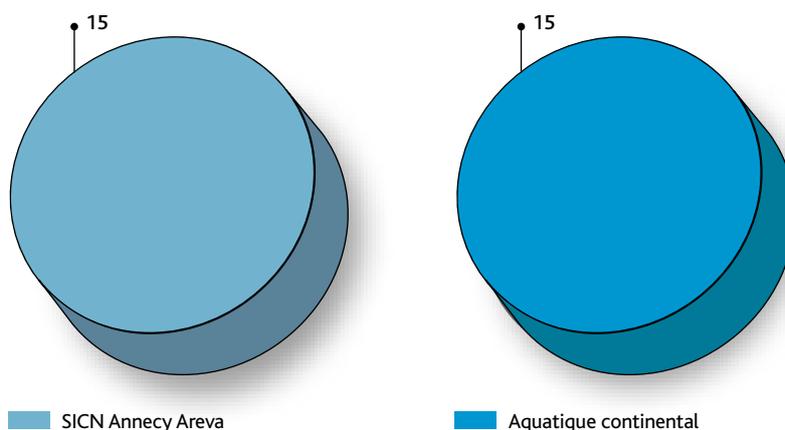


Figure V.32 - SICN Annecy, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

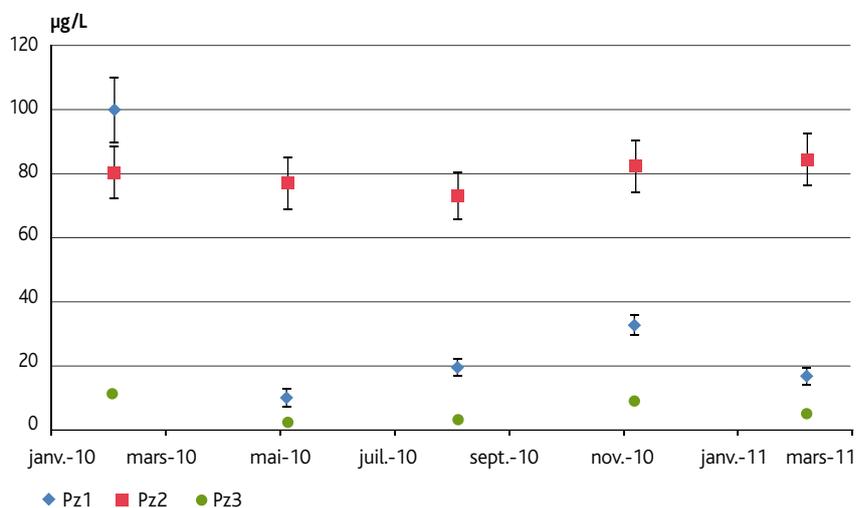


Figure V.33 - Teneur en uranium pondéral dans l'eau de nappe prélevée sur le site SICN à Annecy (µg/L).

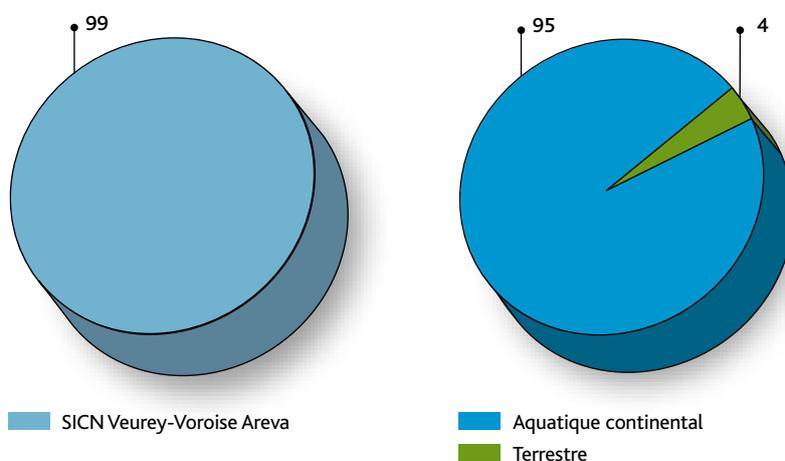


Figure V.34 - SICN Veurey-Voroize, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Les eaux de surface et les eaux souterraines

Des prélèvements d'eau sont réalisés dans l'Isère, en aval, au droit et en amont de la canalisation de rejet des deux installations nucléaires de base n° 65 et n° 90. La concentration en uranium mesurée, de l'ordre de 2 µg/L, est équivalente au bruit de fond de l'Isère.

De nombreux piézomètres dispersés sur le site permettent le suivi radiologique de la nappe phréatique. La teneur en uranium varie dans ces piézomètres entre 10 et 239 µg/L. Des puits perdus, créés lors de l'aménagement du site pour permettre l'évacuation des eaux pluviales, facilitent l'infiltration vers la nappe.

La nappe est en relation étroite avec l'Isère qui constitue son exutoire. L'exploitant a identifié, autour de l'aire dénommée S6, une zone localisée de contamination en uranium (voisine de 2 g/kg) en limite sud du site entre le niveau du sol et celui de la nappe (23 m). Au niveau du piézomètre Pz6, la teneur en uranium dans l'eau de nappe suit une croissance régulière passant de 94 µg/L en janvier 2010 à 239 µg/L en janvier 2011, et tend à décroître en avril 2011 à 222 µg/L (figure V.35).

Les mesures réalisées par l'exploitant confirment cette décroissance à 209 µg/L au troisième trimestre puis 194 µg/L au dernier trimestre 2011. Ce point de prélèvement est

situé au voisinage immédiat du puits perdu PP2, historiquement marqué en uranium par des eaux de ruissellement des goudrons, eux-mêmes marqués par la circulation des engins de manutention. Dans le cadre du projet d'assainissement des INB du site de Veurey, il a été procédé de septembre à décembre 2011 au retrait de ces surfaces goudronnées à proximité du PP2 et à son curage. Cette opération de curage, par retrait du drain, a occasionné des travaux susceptibles de modifier la structure de sol et ainsi d'augmenter temporairement la diffusion du marquage en uranium au niveau de la nappe à proximité du point Pz6.

Les sédiments

Aucune variation significative n'est observée entre l'amont et l'aval du site nucléaire de SICN (tableau V.20). La teneur en uranium est légèrement plus importante au droit de la canalisation de rejet, de l'ordre de $2,6 \pm 0,26$ mg/kg sec contre $1,4 \pm 0,14$ mg/kg sec en amont du site.

La flore aquatique

En 2010, quatre prélèvements annuels de phanérogames aquatiques ont été réalisés en amont et en aval hydraulique du site SICN de Veurey-Voroize : trois dans l'Isère (roseaux de la berge la plus proche de l'émissaire) et un dans le Ruisset (mélange de roseaux de la berge et de phanérogames aquatiques immergées au fond du cours d'eau). La concentration en uranium pondéral mesurée dans l'Isère en aval est inférieure à celle mesurée en amont du site (tableau V.20). L'impact des rejets de l'installation nucléaire de SICN Veurey-Voroize sur la flore aquatique n'est pas observable.

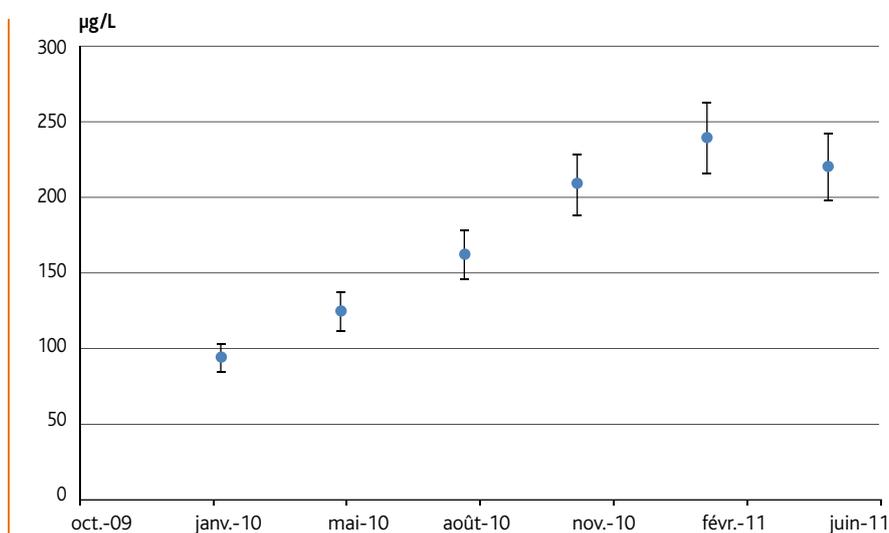


Figure V.35 - Concentration en uranium pondéral dans l'eau de nappe prélevée au point Pz6 du site SICN de Veurey-Voroize (µg/L).

Tableau V.20 - Concentrations moyennes en uranium mesurées à proximité du site SICN Veurey-Voroize (mg/kg sec).

	Isère			Ruisset
	Amont de la canalisation de rejet	Droit de la canalisation de rejet	Aval de la canalisation de rejet	Aval hydraulique du site
Phanérogames aquatiques immergées et non immergées	$8,8 \pm 0,9$	$6,1 \pm 0,6$	$3,6 \pm 0,36$	$11 \pm 1,1$
Sédiments	$1,4 \pm 0,14$	$2,6 \pm 0,26$	$1,8 \pm 0,18$	$1 \pm 0,1$

V.4 LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT DES CENTRES NUCLÉAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Le parc français de centrales nucléaires est constitué de 58 réacteurs à eau pressurisée (REP) en exploitation, répartis sur 19 centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) exploités par EDF. Ils sont tous situés à proximité d'un cours d'eau ou du littoral maritime, car l'eau constitue une source réfrigérante indispensable au bon

fonctionnement des REP. En plus de ces réacteurs en exploitation, neuf réacteurs (UNGG, RNR, REP) sont en démantèlement et un réacteur est en construction (EPR) (figure V.36).

Un exemple d'obligations réglementaires imposées à l'exploitant d'un centre nucléaire de production d'électricité en matière de surveillance de l'environnement est présenté au Chapitre I (tableau I.6).

Pour faciliter la présentation des sites et l'analyse des résultats, les CNPE sont regroupés soit par bassin versant (ex : Rhône, Loire), soit par zone géographique (CNPE du nord-est de la France).

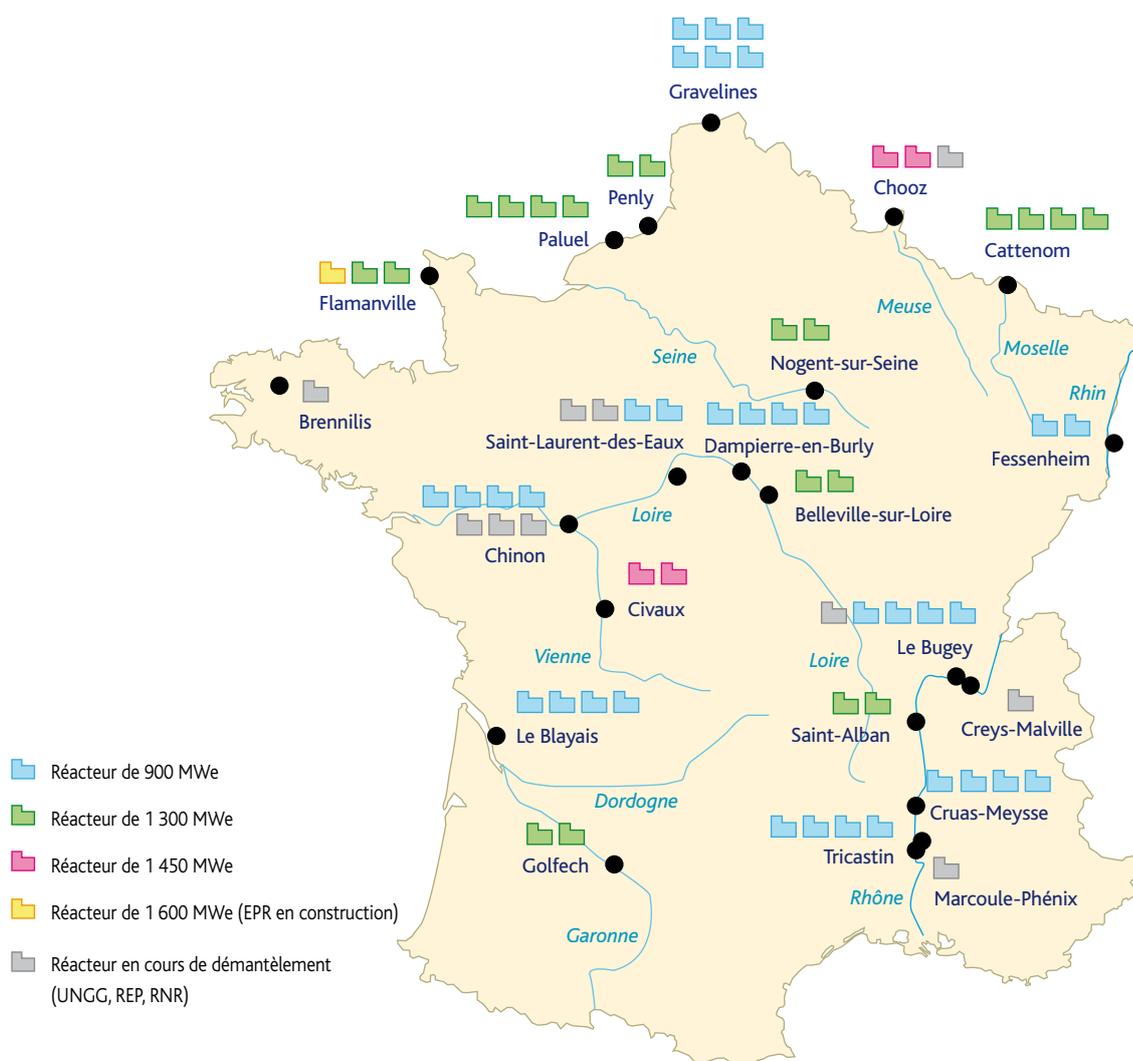


Figure V.36 - Implantation et typologie des CNPE français.

La surveillance des centres nucléaires de production d'électricité du bassin versant de la Loire

Le bassin versant de la Loire comprend cinq centres nucléaires de production d'électricité (figure V.37) : quatre sur les rives de la Loire (Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon) et un sur la Vienne (Civaux).



Figure V.38 - CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux.

© EDF/Médiathèque

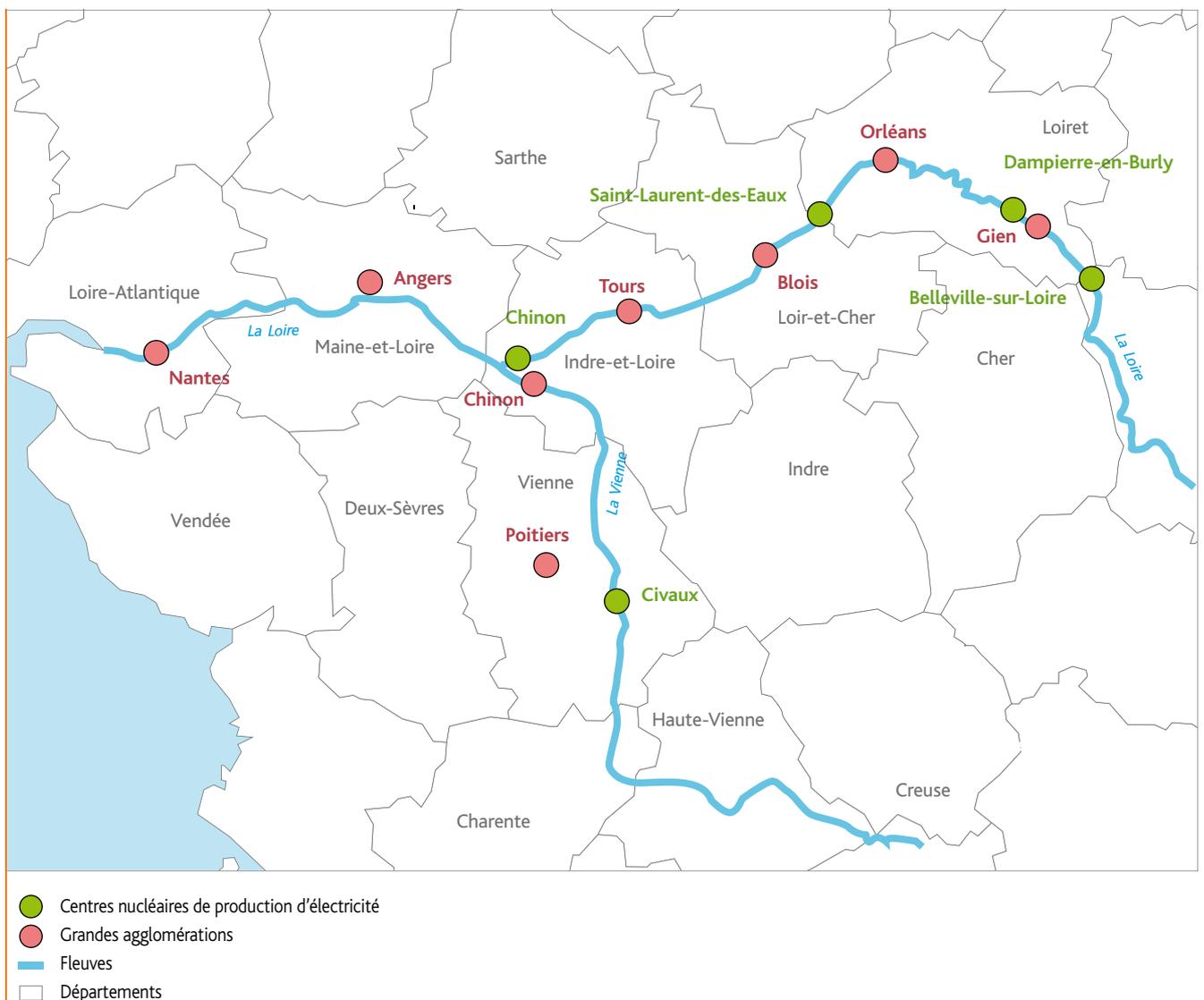


Figure V.37 - Localisation des CNPE du bassin versant de la Loire.

Le CNPE de Civaux

Située au sud de Poitiers sur la rive gauche de la Vienne, dans le département de la Vienne, la centrale nucléaire de Civaux est constituée de deux réacteurs à eau pressurisée de 1 450 MW respectivement mis en service en 1997 et 1999.

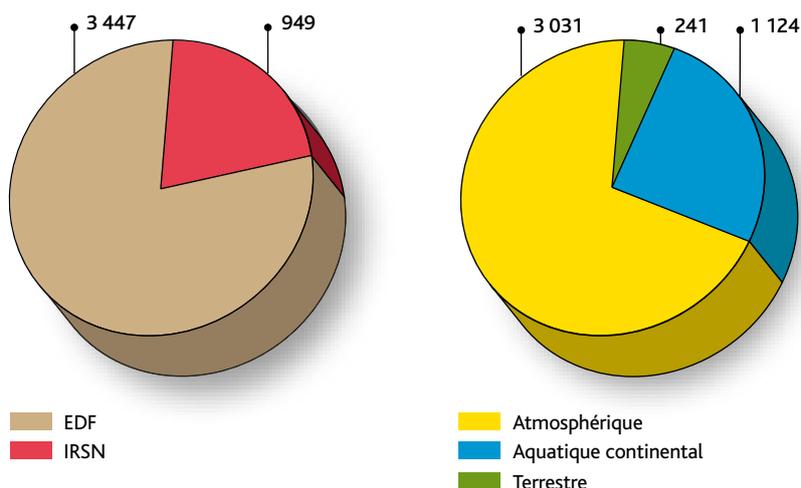


Figure V.39 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Civaux.

Le CNPE de Belleville-sur-Loire

La centrale nucléaire de Belleville est située au nord-est du département du Cher sur la rive gauche de la Loire, à la limite des départements du Loiret, de la Nièvre et de l'Yonne. Elle comprend deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW, chacun mis en service en 1987 et 1988.

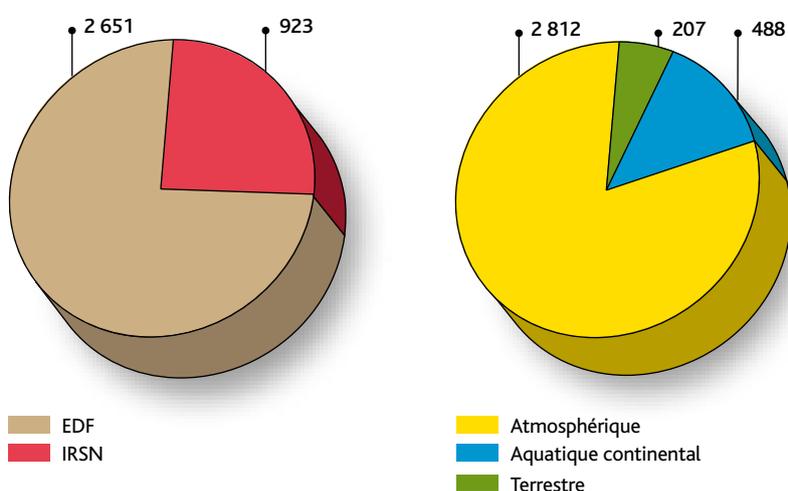


Figure V.40 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Belleville-sur-Loire.

Le CNPE de Dampierre-en-Burly

La centrale nucléaire de Dampierre-en-Burly est implantée dans la région Centre, à l'est du département du Loiret, 45 km en amont d'Orléans. Elle dispose de quatre réacteurs d'une puissance de 900 MW chacun, mis en service en 1980 et 1981.

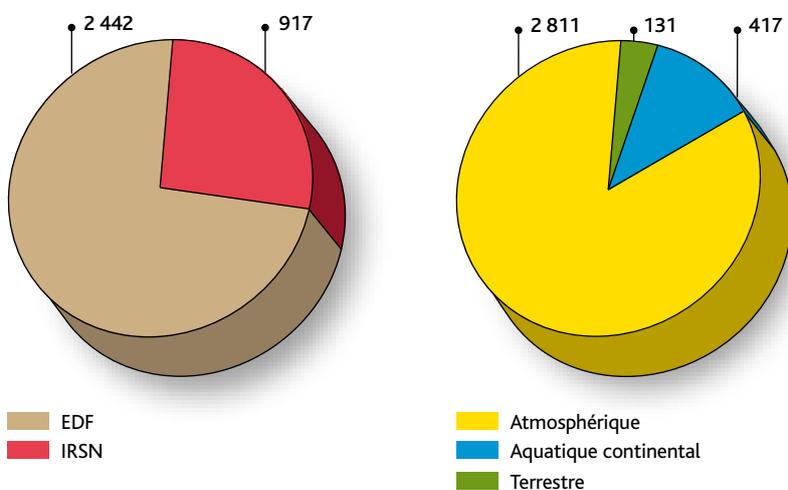


Figure V.41 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Dampierre-en-Burly.

Le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux

La centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux (figure V.38) se situe à l'est du département du Loir-et-Cher, sur la rive gauche de la Loire, entre Blois (30 km) et Orléans (24 km). Elle possède deux réacteurs à eau pressurisée (B1 et B2) d'une puissance de 900 MW chacun, mis en service en 1981. Deux autres unités de production de la filière UNGG (A1 et A2), respectivement mises en service en 1969 et 1971, sont définitivement arrêtées depuis 1990 et 1992.

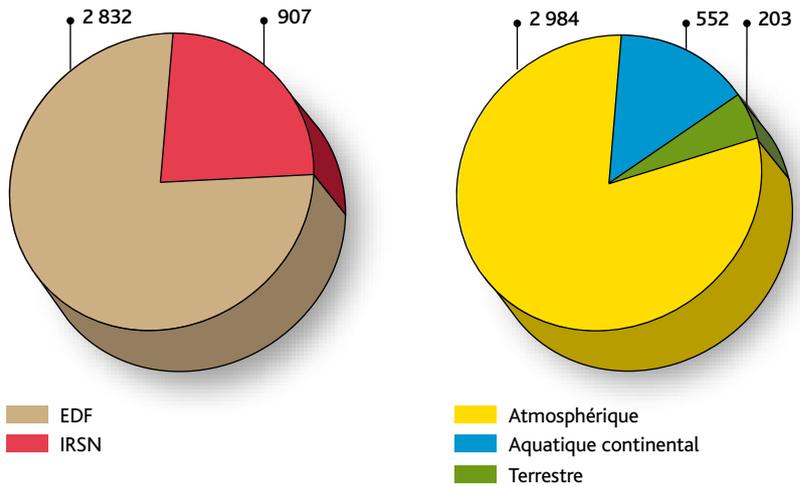


Figure V.42 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux.

Le CNPE de Chinon

La centrale nucléaire de Chinon est installée à l'ouest du département d'Indre-et-Loire. Située à mi-chemin entre Tours et Angers, elle comprend quatre réacteurs à eau pressurisée de 900 MW mis en service en 1982, 1983, 1986 et 1987. Elle regroupe également trois réacteurs de la filière UNGG en déconstruction (Chinon A construit de 1956 à 1966), un atelier de matériaux irradiés et un magasin de stockage de combustible neuf destiné au parc nucléaire français.

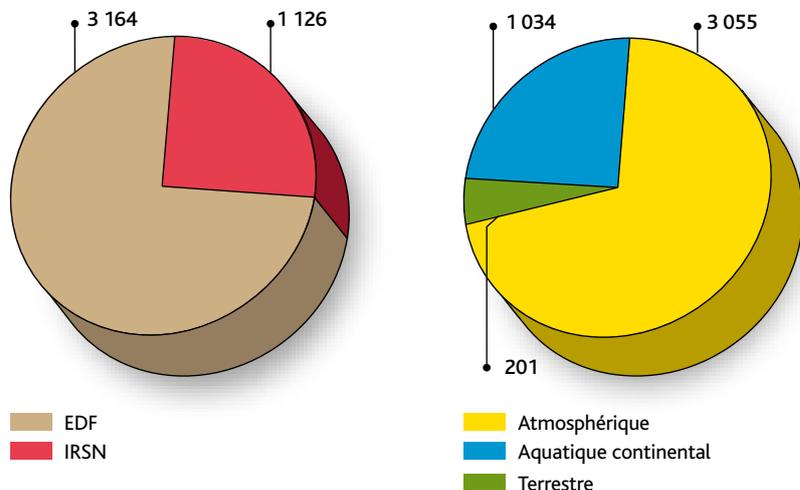


Figure V.43 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Chinon.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale (figure V.44). Les spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels (⁷Be, ²¹⁰Pb), aucun radionucléide émetteur gamma artificiel n'a pu être mesuré au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés.

Des présences significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées par spectrométrie gamma entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011 (tableau V.21). Ces observations sont attribuables aux retombées radioactives sur le territoire français issues de l'accident de la centrale nucléaire japonaise de Fukushima. Pendant cette même période, une augmentation de l'indice d'activité bêta a également été constatée (tableau V.22). Cette hausse ponctuelle est essentiellement liée à la présence de radionucléides artificiels dans l'air suite à l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

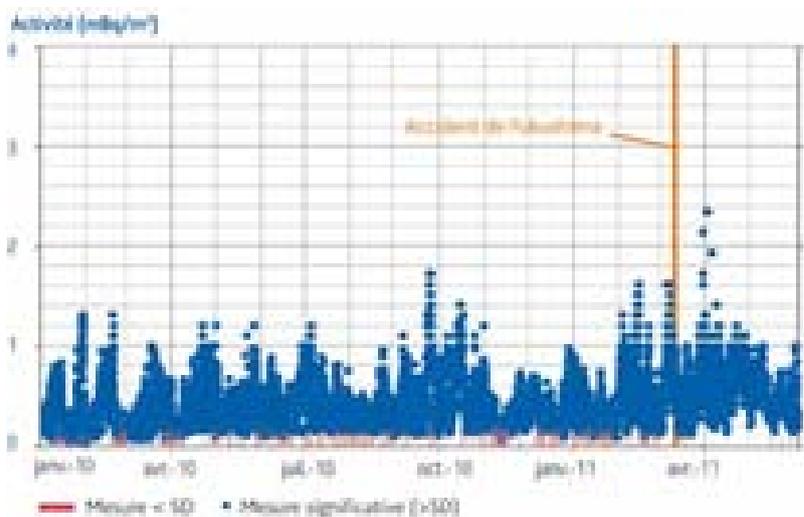


Figure V.44 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques dans l'environnement des CNPE du bassin versant de la Loire (mBq/m³).

■ **Tableau V.21** - Radionucléides mesurés dans les aérosols de l'environnement des CNPE du bassin versant de la Loire pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (22 mars au 6 mai 2011) (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE de Belleville-sur-Loire, Chinon, Civaux, Dampierre-en-Burly, et Saint-Laurent-des-Eaux.	Césium 134	0,034 ± 0,008
	Césium 137	0,050 ± 0,008
	Iode 131	0,42 ± 0,05

Les eaux de pluie

Dans les eaux de pluie collectées à proximité des CNPE du bassin versant de la Loire, deux mesures significatives du tritium sont observées à Civaux et à Chinon (*figure V.45*), à des niveaux très proches des seuils de décision pour ce radionucléide. Ces activités sont à relier avec les rejets gazeux effectués par ces CNPE.

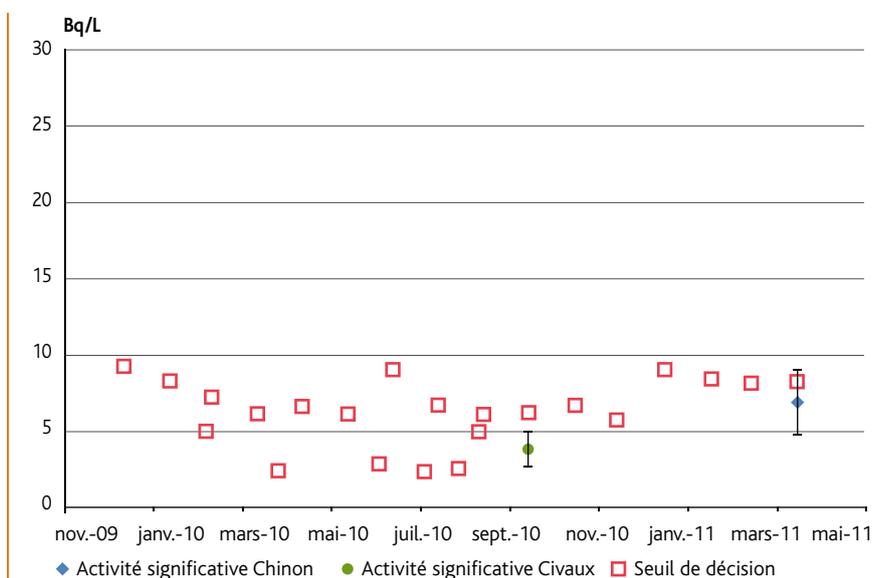
Les gaz prélevés par barboteurs

La mesure du tritium et du carbone 14 atmosphériques prélevés dans l'environnement à proximité immédiate des sites nucléaires ne présente pas de valeurs supérieures aux seuils de décision pour l'ensemble des CNPE du bassin versant de la Loire.

■ **Tableau V.22** - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du bassin versant de la Loire (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE de Belleville-sur-Loire	Indice d'activité bêta	0,29 ± 0,01
		0,53 ± 0,02*
CNPE de Chinon		0,26 ± 0,01
		0,64 ± 0,02*
CNPE de Civaux		0,35 ± 0,01
		0,65 ± 0,02*
CNPE de Dampierre	0,28 ± 0,01	
	0,52 ± 0,02*	
CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux	0,34 ± 0,01	
	0,75 ± 0,02*	

* Mesures effectuées du 22 mars au 6 mai 2011 pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.



■ **Figure V.45** - Activité du tritium dans l'eau de pluie collectée à proximité des CNPE du bassin versant de la Loire (les seuils de décision sont moyennés pour l'ensemble des CNPE – données IRSN et EDF) (Bq/L).

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Des prélèvements d'herbe sont réalisés mensuellement dans deux communes situées à proximité des centrales nucléaires. En situation normale, les résultats d'analyse par spectrométrie gamma ne révèlent pas, pour la majorité de ces échantillons, de traces de radioactivité artificielle attribuables aux rejets des installations. Seul un échantillon d'herbe, prélevé à proximité de la centrale de Civaux, présente une activité significative en césium 137 ($1,7 \pm 0,47$ Bq/kg sec le 8 janvier 2010) sur les 34 échantillons prélevés autour de ce site entre janvier 2010 et juin 2011.

Au début du mois d'avril 2011, des traces d'iode 131, de césium 134 et 137 ont été détectées à proximité du CNPE de Civaux. Des traces d'iode 131 ont également été mesurées dans les environs de la centrale nucléaire de Chinon. Ces activités sont dues aux rejets faisant suite à l'accident survenu sur la centrale de Fukushima au Japon le 11 mars 2011.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les sols

Le césium 137 est mesuré systématiquement dans les échantillons de sols prélevés à proximité des CNPE de Civaux, Belleville, Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon, à des activités comprises entre $2 \pm 0,15$ Bq/kg sec et $9,1 \pm 0,12$ Bq/kg sec.

Ces activités (tableau V.23) sont principalement dues aux retombées atmosphériques passées (accident de Tchernobyl notamment).

■ **Tableau V.23** - Activités en césium 137 mesurées dans les sols à proximité du CNPE de Civaux (Bq/kg sec).

Localisation du prélèvement	Leignes-sur-Fontaine	Lhonnaize	Sillars
Distance par rapport au CNPE de Civaux	8,5 km sous les vents dominants principaux	5,5 km sous les vents dominants secondaires	12 km, hors zone d'influence
Activité en ¹³⁷ Cs (en Bq/kg sec)	$9,1 \pm 1,1$	$5,3 \pm 0,49$	$3,7 \pm 0,6$

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

L'ensemble des résultats indique que la radioactivité mesurée dans le lait de vache est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle, dont l'activité volumique est comprise en moyenne entre $46,8 \pm 1,5$ Bq/L et $54,7 \pm 1,9$ Bq/L. Aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'est détecté au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés. Les mesures de tritium libre sont également inférieures aux seuils de décision.

Parmi les 32 analyses effectuées, une seule mesure significative en strontium 90 a été observée sur du lait prélevé à proximité du CNPE de Belleville. L'activité mesurée pour ce radionucléide ($0,4 \pm 0,35$ Bq/L) est faible et attribuable aux retombées anciennes des tirs atmosphériques.

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma rejetés ou susceptibles d'être rejetés par les CNPE ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collecté aux abords des sites.

Les légumes-feuilles

En 2010, des prélèvements de salade ont été réalisés à proximité des CNPE de Belleville, Chinon et Civaux. La radioactivité dans ces échantillons est principalement due à la présence de potassium 40, d'origine naturelle, dont les activités fluctuent entre 80 ± 8 Bq/kg et 190 ± 20 Bq/kg frais selon le secteur géographique.

L'activité massique en carbone 14 mesurée aux abords de la centrale de Civaux s'élève à $232 \pm 1,3$ Bq/kg de carbone. Cette activité est comparable aux mesures réalisées dans des zones non influencées par les rejets des CNPE.

Des traces de césium 137, proches des seuils de décision, sont quasi-systématiquement détectées (activités comprises entre 0,02 et 0,04 Bq/kg frais). Ces activités sont imputables aux retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Les activités massiques des autres radionucléides d'origine artificielle (^{110m}Ag, ⁶⁰Co, ³H libre...) susceptibles d'être rejetés par ces CNPE restent inférieures aux seuils de décision (tableau V.24).

■ **Tableau V.24** - Activités mesurées dans les salades des CNPE du bassin versant de la Loire (Bq/kg frais*).

Radionucléide	CNPE de Civaux	CNPE de Belleville-sur-Loire	CNPE de Chinon
⁴⁰ K	91 ± 7	101 ± 17	134 ± 9
¹³⁷ Cs	$0,023 \pm 0,004$	$0,04 \pm 0,007$	$0,023 \pm 0,005$
Autres RN émetteurs gamma (⁵⁴ Mn, ⁵⁸ Co, ⁶⁰ Co, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs)	< 0,024	< 0,029	nm
¹⁴ C (en Bq/kg de carbone)	$232 \pm 1,3$	nm	nm
³ H libre	< 9	nm	nm

* Sauf indication contraire

Le vin

Les analyses réalisées sur du vin rouge produit dans les environs de la centrale de Chinon révèlent l'absence de radionucléides gamma artificiels au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés. Seul le potassium 40 d'origine naturelle est mesuré à une activité volumique moyenne de $36 \pm 2,7$ Bq/L.

Compartiment aquatique continental

Les installations nucléaires du bassin versant de la Loire sont implantées sur deux cours d'eau : la Loire et son affluent la Vienne. Le premier CNPE bordant la Loire apparaît environ 500 km en aval de sa source, c'est ici que le fleuve se courbe en se tendant vers l'ouest, son lit s'élargit alors considérablement à travers la plaine, arrivant à une largeur moyenne de 300 mètres ; des bas-fonds de sables et de cailloux mouvants apparaissent. L'emprise du bassin versant, l'influence du climat océanique dans sa partie ouest et nord, ainsi que le relief plat impliquent une forte variation des débits avec des crues brutales. Un barrage a été érigé à Villerest permettant d'écrêter les grandes crues jusqu'à 8 500 m³/s et de maintenir un débit minimum en période d'étiage. Le débit annuel moyen de la Loire est de 350 m³/s à Orléans et de 900 m³/s à l'embouchure (figure V.46).

La Vienne, qui trouve son origine au plateau de Millevaches, conflue avec la Loire à Candès, après un cours de 500 kilomètres. Sa largeur moyenne est de 100 mètres dans le département de la Vienne. Sa particularité est de recevoir une immense quantité de ruisseaux et de petites rivières, et ses affluents principaux sont la Creuse et le Clain. Certains de ces nombreux affluents sont sous l'influence d'anciens sites miniers d'uranium.

Les eaux de surface

La Loire

Le tritium rejeté par les quatre CNPE dans la Loire y est détectable en quasi-permanence. L'ensemble des CNPE rejette une activité en tritium de 160 TBq/an sous forme liquide, soit 17 % des rejets liquides en tritium du parc EDF. Le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux coordonne les rejets de l'ensemble des CNPE rejetant dans ce fleuve. Sauf dérogation, deux rejets de réservoir ne peuvent être réalisés simultanément.

Les chroniques d'activité en tritium mesurées par l'IRSN depuis les années 1970 mettent en évidence la baisse de l'activité du tritium rejeté par les installations nucléaires dans l'environnement dans la Loire avec un effet de cumul marqué à Chinon jusqu'en 2000 (figure V.47). Des explications peuvent trouver leur origine

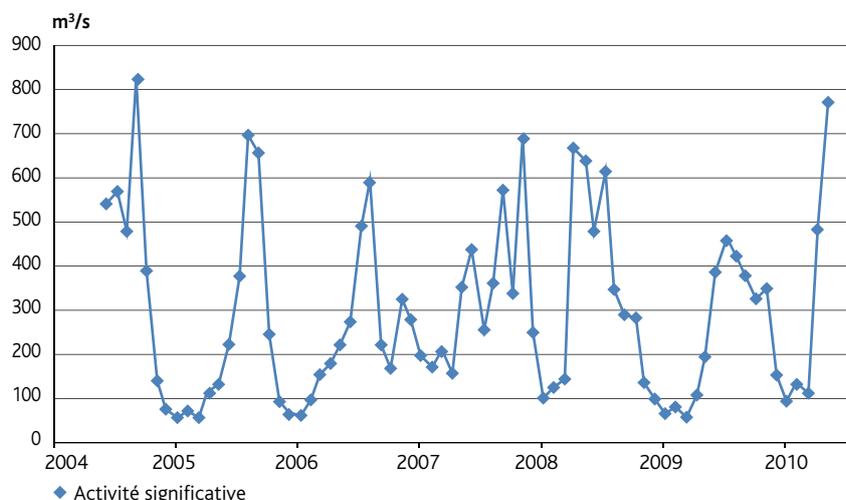


Figure V.46 - Débit de la Loire à Orléans – source : banque Hydro (m³/s).

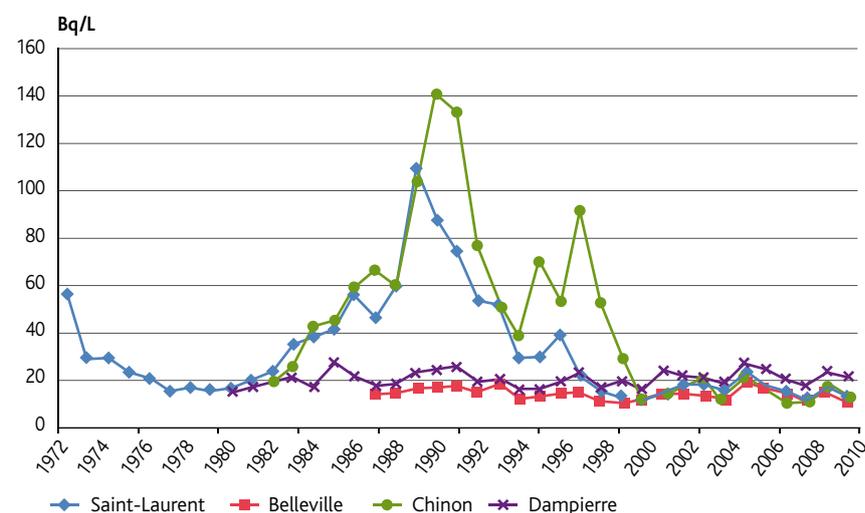


Figure V.47 - Activité en tritium en aval des CNPE de la Loire (Bq/L).

dans la concertation des rejets et le renouvellement des autorisations de rejet et de prélèvement d'eau qui ont abouti à partir de 1999 à un lissage des activités mesurées dans la Loire.

Un phénomène de saisonnalité est observable avec des activités plus marquées à l'étiage et plus faibles en période de crue hivernale (figure V.48). Toutefois, cette manifestation naturelle est lissée par le mode opératoire des rejets d'effluents liquides des CNPE qui détermine le débit d'activité maximum aux points de rejet principaux pour un débit D (en L/s) de la Loire en valeur moyenne sur 24 heures. Ainsi, pour le tritium, cette valeur est de $80 \times D$ pour le CNPE de Dampierre-en-Burly.

Les conditions climatiques sévères en mai-juin 2011, avec un déficit pluviométrique important, ont conduit à une augmentation de l'activité en tritium dans le fleuve qui n'avait pas été observée depuis 1996. Cependant, ces activités restent conformes aux autorisations de rejets imposées aux exploitants.

Hormis le tritium, seul le strontium 90 est détecté à proximité des CNPE de Chinon et de Saint-Laurent-des-Eaux, à des activités proches des seuils de décision (figure V.49). Ces mesures sont réalisées historiquement en raison de l'exploitation de la filière UNGG à Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon A. Il existe également des silos d'entrepôts des graphites usés sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux. Cependant, les activités en strontium 90 mesurées ici sont à mettre en rapport avec les retombées atmosphériques des tirs d'armes nucléaires militaires.

La Vienne

Les rejets du CNPE de Civaux sont surveillés par l'intermédiaire de prélèvements automatisés réalisés dans la Vienne. Depuis 2001, une augmentation de l'activité en tritium est observée dans l'eau prélevée en aval du CNPE, passant d'environ 9 Bq/L en 2000 à 27 Bq/L en 2010 en moyenne annuelle (figure V.50).

Les eaux souterraines

Les eaux de nappe phréatique prélevées à proximité des CNPE qui jouxtent la Loire présentent un marquage en tritium de l'ordre de 10 Bq/L, avec une valeur maximale de 49 Bq/L mesurée à Dampierre-en-Burly en juillet 2010. Il n'apparaît pas de variabilité ou d'évolution de tendance dans le temps (figure V.51).

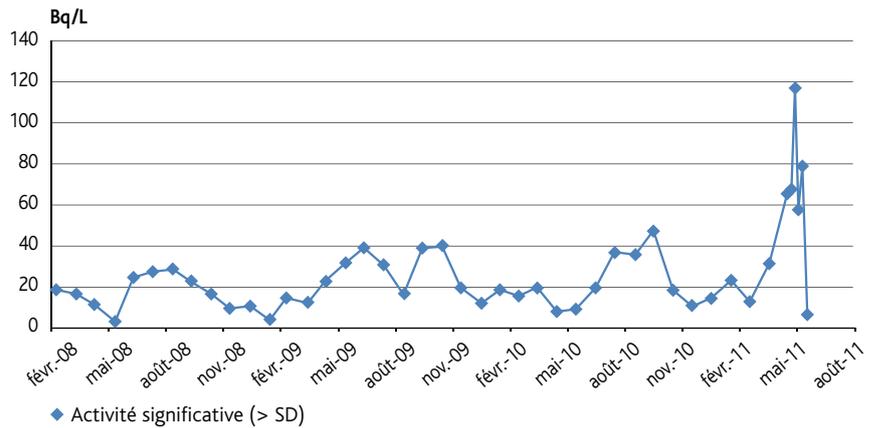


Figure V.48 - Activité en tritium en aval du CNPE de la Dampierre illustrant la cyclicité des activités mesurées.

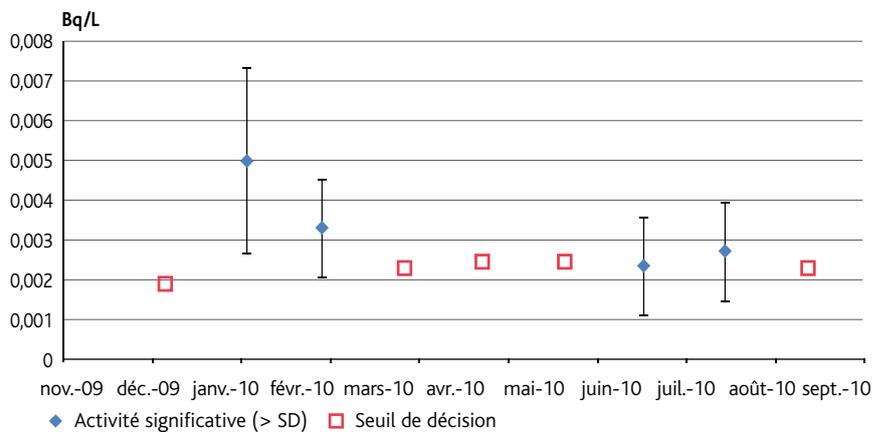


Figure V.49 - Activité du strontium dans l'eau prélevée dans la Loire (Bq/L).

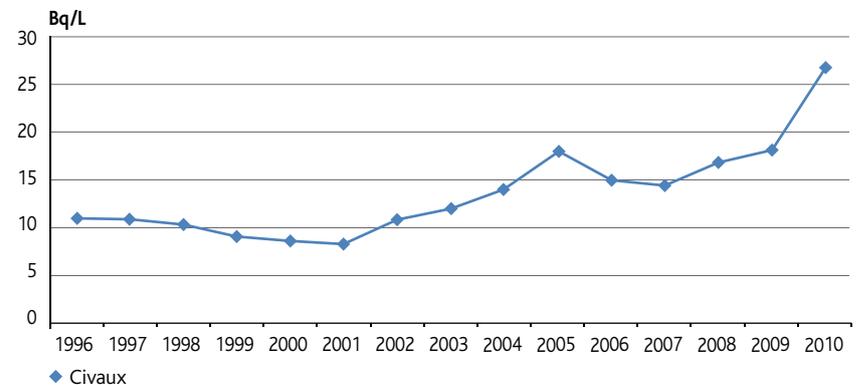


Figure V.50 - Activité moyenne annuelle du tritium dans la Vienne en aval du CNPE de Civaux (Bq/L).

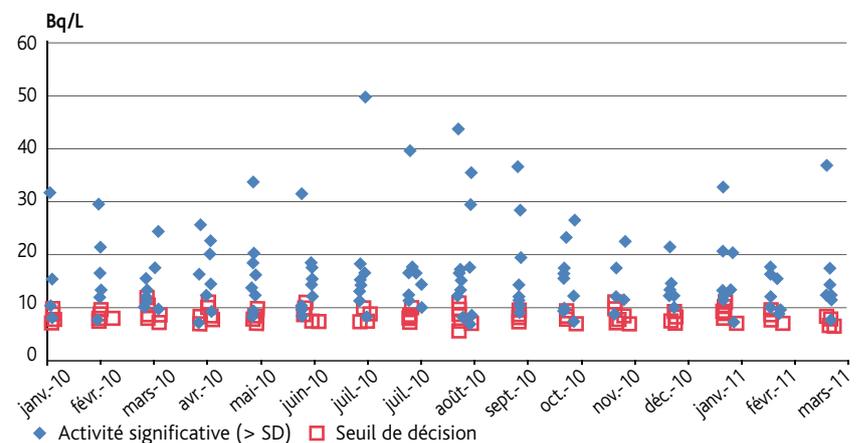


Figure V.51 - Activité du tritium dans les eaux de nappe phréatique sous ou proches des CNPE de la Loire (Bq/L).

Les sédiments

Les résultats d'analyses sur les sédiments prélevés en amont et en aval des CNPE de Belleville-sur-Loire, Chinon et Civaux ne présentent pas de différences significatives entre les stations amont et aval (tableau V.25). On observe une augmentation des activités en césium 137 sur le cours de la Loire : $5,6 \pm 0,8$ Bq/kg sec en amont de la centrale de Belleville-sur-Loire et $9,6 \pm 1,2$ Bq/kg sec en aval de Chinon. Cependant, ces résultats ne permettent pas de discriminer la part attribuable aux rejets des CNPE de celle liée à la rémanence des retombées de l'accident de Tchernobyl.

En 2010, du cobalt 60 a été détecté sur un des deux prélèvements effectués en aval de

la centrale de Civaux à une activité massique de $0,68 \pm 0,35$ Bq/kg sec. Ce faible niveau de radioactivité est attribuable aux rejets chroniques autorisés du CNPE.

Les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les CNPE n'ont pas été détectés par les appareils de mesures utilisés.

La faune aquatique continentale

En 2010, des analyses ont été réalisées sur des poissons pêchés en amont et/ou en aval des quatre CNPE suivants : Belleville-sur-Loire, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon et Civaux.

Parmi les radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle rejetés ou susceptibles

d'être rejetés par les CNPE, seul le césium 137 est systématiquement mesuré à des activités massiques moyennes comprises entre $0,033 \pm 0,018$ et $0,283 \pm 0,037$ Bq/kg frais (tableau V.26). Il n'est pas observé de différence significative d'activité entre l'amont et l'aval des installations. Cette remarque est à mettre en relation avec les déplacements saisonniers ou les migrations des poissons au cours de leur vie. Les analyses réalisées sur les poissons pêchés en aval du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux ont en revanche révélé la présence de tritium en faible quantité (activité proche du seuil de décision), imputable aux rejets chroniques de cette installation, ainsi que de carbone 14 avec une activité de $350 \pm 1,7$ Bq/kg de carbone supérieure au bruit de fond (235 Bq/kg de carbone).

Tableau V.25 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments de milieu dulçaquicole des CNPE du bassin versant de la Loire (Bq/kg sec).

Radionucléide	CNPE de Belleville-sur-Loire		CNPE de Chinon			CNPE de Civaux	
	Amont 2,5 km La-Celle-sur-Loire	Aval 5,5 km Beaulieu-sur-Loire	Amont 15 km Bréhémont	Aval 5 km Savigny-en-Véron	Aval 10 km Varenes-sur-Loire	Amont 2,5 km Civaux	Aval 6 km Valdivienne
¹³⁷ Cs	$5,6 \pm 0,8$	$5,4 \pm 0,9$	$6,7 \pm 1,5$	$6,1 \pm 0,7$	$9,6 \pm 1,2$	$10 \pm 0,8$	$9 \pm 1,1$
⁶⁰ Co	< 0,12	< 0,13	nm	nm	nm	< 0,14	$0,23 \pm 0,08$
⁴⁰ K	980 ± 140	$1\ 000 \pm 100$	620 ± 90	660 ± 90	770 ± 110	710 ± 70	660 ± 70
Autres RN émetteurs gamma (⁵⁴ Mn, ⁵⁸ Co, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs)	< 0,68	< 0,65	nm	nm	nm	< 0,81	< 0,6

nm : non mesuré

Tableau V.26 - Activités moyennes mesurées dans les poissons des CNPE du bassin versant de la Loire (Bq/kg frais*).

Radionucléide	CNPE de Belleville-sur-Loire		CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux	CNPE de Chinon		CNPE de Civaux	
	Carpe commune		Poisson	Carpe commune		Carpe commune	
	Amont 1 km Sury-près-Léré	Aval 12,5 km Châtillon-sur-Loire	Aval 16 km Fontaines-en-Sologne	Amont 8 km Rigny Usse	Aval 4 km Chouze-sur-Loire	Amont 7 km Lussac-les-Châteaux	Aval 4 km Valdivienne
¹³⁷ Cs	$0,033 \pm 0,018$	$0,039 \pm 0,028$	$0,062 \pm 0,015$	$0,045 \pm 0,021$	$0,065 \pm 0,021$	$0,283 \pm 0,037$	$0,236 \pm 0,026$
⁴⁰ K	150 ± 20	140 ± 20	90 ± 11	140 ± 20	150 ± 20	165 ± 14	118 ± 9
Autres RN émetteurs gamma (⁵⁴ Mn, ⁵⁸ Co, ⁶⁰ Co, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs)	< 0,31	< 0,21	< 0,23	nm	nm	< 0,13	< 0,1
³ H libre	nm	nm	$5,4 \pm 1,5$	nm	nm	nm	nm
¹⁴ C (Bq/kg de carbone)	nm	nm	$350,3 \pm 1,7$	nm	nm	nm	nm

* Sauf indication contraire

nm : non mesuré

La flore aquatique continentale

En 2010, des analyses par spectrométrie gamma ont été réalisées sur des phanérogames aquatiques prélevées en amont et en aval des CNPE de Belleville-sur-Loire, Chinon et Civaux.

Des radionucléides d'origine artificielle (^{110m}Ag , ^{58}Co , ^{60}Co) sont mesurés, à des niveaux proches des seuils de décision, en aval du CNPE de Civaux (tableau V.27). Ceux-ci ne sont pas détectés en amont du site et traduisent un léger marquage du milieu aquatique par les rejets d'effluents liquides de cette installation. Le césium 137 est mesuré en amont et en aval de ce site à des activités massiques respectives de $0,445 \pm 0,038$ Bq/kg frais et $0,328 \pm 0,045$ Bq/kg frais.

En ce qui concerne les CNPE situés sur les bords de la Loire, les activités en césium 137 sont assez variables, même si globalement celles mesurées en aval des installations sont légèrement plus élevées que celles effectuées sur les prélèvements amont. Cependant, l'apport de radiocésiums des CNPE dans le milieu aquatique ne permet pas de distinguer cette source éventuelle du marquage environnemental principal en France dû aux retombées de Tchernobyl et aux essais aériens d'armes nucléaires.

Tableau V.27 - Activités moyennes mesurées dans les phanérogames aquatiques des CNPE de Belleville-sur-Loire, Chinon et Civaux (Bq/kg sec).

Radionucléide	CNPE de Belleville-sur-Loire			CNPE de Chinon			CNPE de Civaux	
	Potamot Amont 15 km Cosne Cours-sur-Loire	Baldirguère Amont 2,5 km La Celle- sur-Loire	Potamot Aval 11 km Ousson- sur-Loire	Baldirguère Amont 15 km Bréhémont	Baldirguère Aval 11 km Varennes- sur-Loire	Baldirguère Aval 13 km Parnay	Renoncule aquatique Amont 2,5 km Civaux	Renoncule aquatique Aval 6,5 km Valdivienne
^{110m}Ag	< 0,037	< 0,061	< 0,04	nm	nm	nm	< 0,035	$0,067 \pm 0,017$
^{134}Cs	< 0,032	< 0,046	< 0,043	nm	nm	nm	< 0,032	< 0,031
^{137}Cs	$0,232 \pm 0,037$	$0,11 \pm 0,06$	$0,5 \pm 0,06$	$0,56 \pm 0,07$	$0,53 \pm 0,07$	$1,01 \pm 0,13$	$0,445 \pm 0,038$	$0,328 \pm 0,045$
^{58}Co	< 0,048	< 0,23	< 0,048	nm	nm	nm	< 0,046	$0,047 \pm 0,016$
^{60}Co	< 0,046	< 0,058	< 0,055	nm	nm	nm	< 0,042	$0,095 \pm 0,042$
^{54}Mn	< 0,056	< 0,064	< 0,063	nm	nm	nm	< 0,05	< 0,05
^{40}K	920 ± 130	$1\ 210 \pm 200$	$1\ 220 \pm 240$	620 ± 70	940 ± 130	870 ± 130	900 ± 90	804 ± 47

nm : non mesuré

La surveillance des centres nucléaires de production d'électricité du nord-est de la France

Le nord-est de la France comprend trois centres nucléaires de production d'électricité (figure V.52) implantés sur les rives de la Meuse (CNPE de Chooz), de la Moselle (CNPE de Cattenom) et du grand canal d'Alsace (CNPE de Fessenheim).



Figure V.52 - Localisation des CNPE du nord-est de la France.

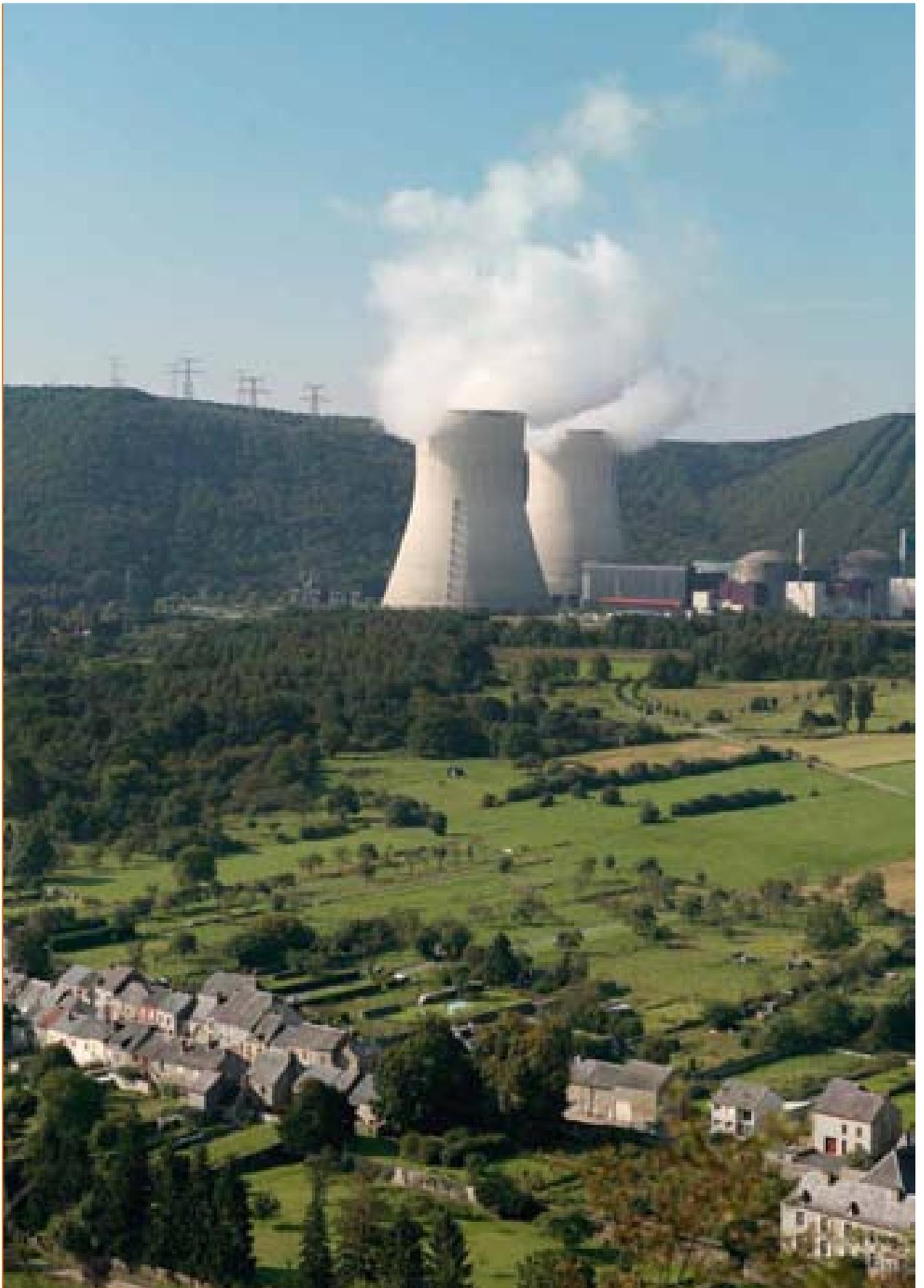


Figure V.53 - CNPE de Chooz.

© EDF Médiathèque/S.Brandstrom

Le CNPE de Chooz

La centrale nucléaire de Chooz (figure V.53) est située en bordure de la Meuse dans une petite enclave française des Ardennes, près de la frontière belge. Le site de Chooz B possède deux réacteurs nucléaires à eau pressurisée de 1 450 MW chacun, mis en service en 1996. Quant à la centrale de Chooz A, exploitée entre 1967 et 1991, son réacteur à eau sous pression (REP) est en cours de déconstruction.

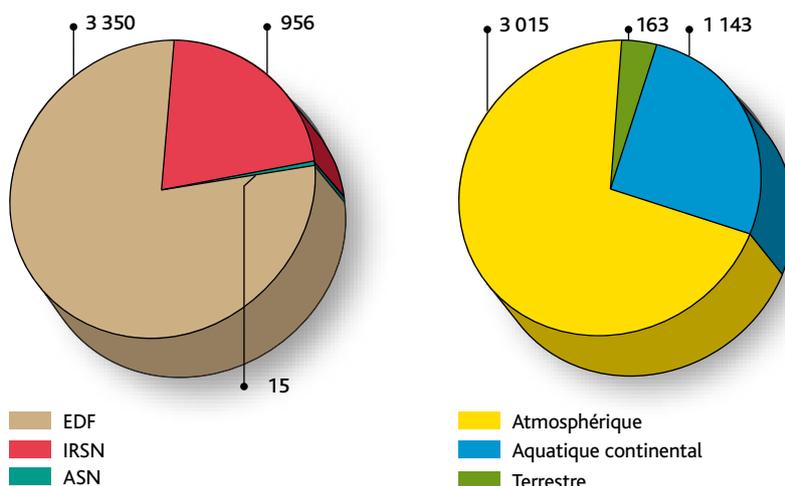


Figure V.54 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Chooz.

Le CNPE de Fessenheim

Dans le département du Haut-Rhin, la centrale nucléaire de Fessenheim est située en bordure du Grand Canal d'Alsace, à une trentaine de kilomètres au nord-est de Mulhouse et à proximité des frontières suisse et allemande. Elle possède deux réacteurs de 900 MW mis en service en 1977.

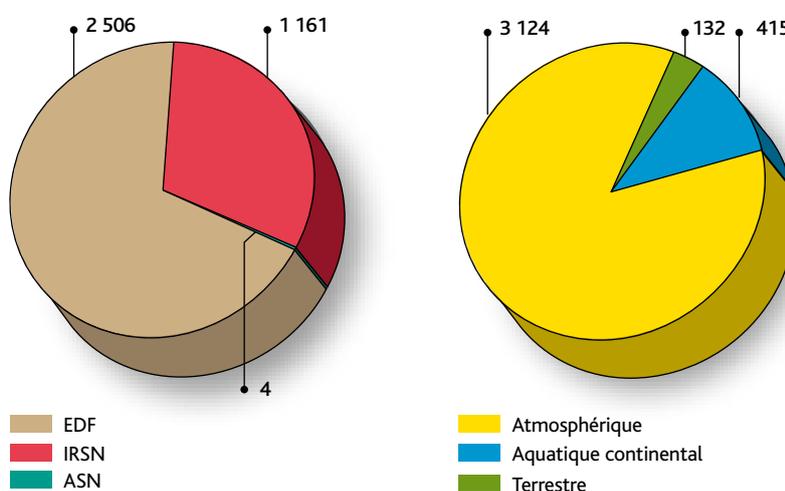


Figure V.55 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Fessenheim.

Le CNPE de Cattenom

La centrale nucléaire de Cattenom se situe en Lorraine entre la Moselle et la forêt domaniale de Garche, non loin des frontières allemande et luxembourgeoise. La centrale dispose de ses quatre réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW mis en service en 1986, 1987, 1990 et 1991.

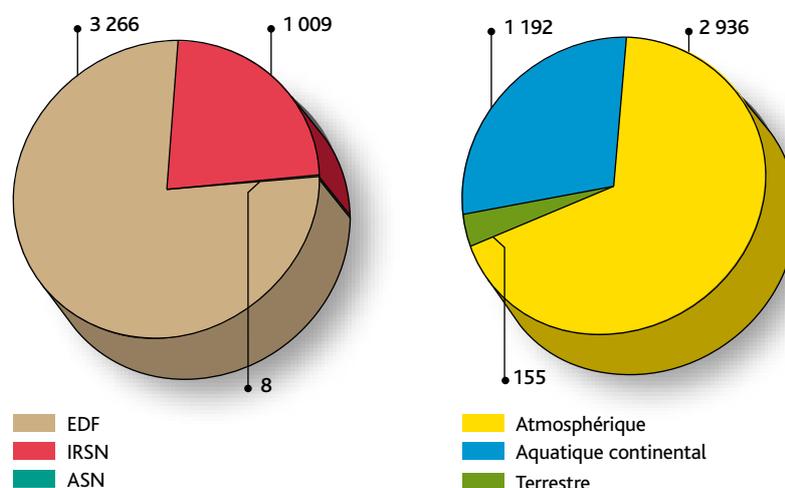


Figure V.56 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Cattenom.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale (figure V.57). Les spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels (^7Be , ^{210}Pb), aucun radionucléide émetteur gamma artificiel n'a pu être mesuré au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés.

Des présences significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées par spectrométrie gamma entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011 (tableau V.28). Celles-ci sont dues aux retombées radioactives de l'accident de Fukushima sur le territoire français. Pendant cette même période, une augmentation de l'indice d'activité bêta a été constatée (tableau V.29). Cette hausse ponctuelle est également liée à la présence de radionucléides artificiels dans l'air suite à l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les eaux de pluie

L'IRSN a mesuré des activités significatives en tritium dans les eaux de pluie collectées à proximité immédiate du CNPE de Cattenom, de l'ordre de 5 Bq/L (figure V.58). Aucune autre activité significative d'origine anthropique n'a été mesurée dans les eaux de pluie collectées à proximité immédiate des CNPE de Fessenheim, Chooz et Cattenom, ni dans l'air ambiant.

Les gaz prélevés par barboteurs

Aucune activité significative en tritium sous forme gazeuse n'a été détectée à proximité des CNPE du nord-est de la France sur la période janvier 2010 - juin 2011.

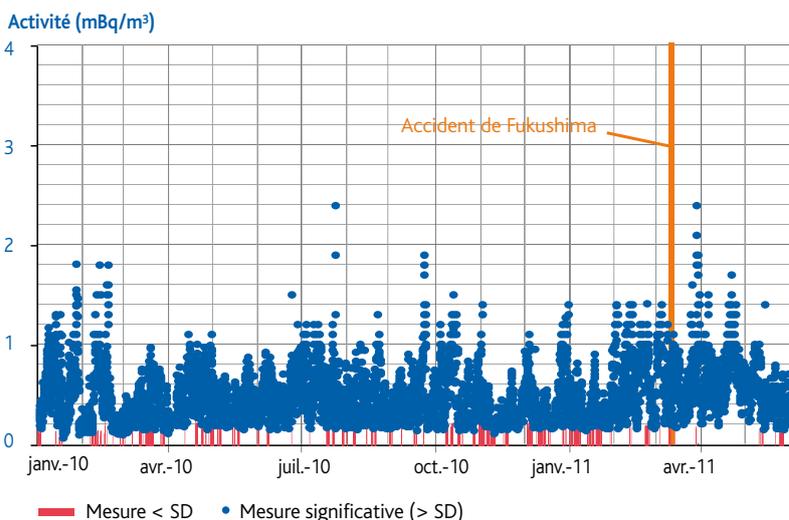


Figure V.57 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du nord-est de la France (mBq/m³).

Tableau V.28 - Radionucléides mesurés dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du nord-est de la France pendant la période de Fukushima (22 mars au 6 mai 2011) (mBq/m³).

Installations	Radionucléide	Activité (mBq/m ³)
CNPE de Cattenom, Chooz et Fessenheim	Césium 134	0,030 ± 0,004
	Césium 137	0,034 ± 0,004
	Iode 131	0,11 ± 0,02

Tableau V.29 - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du nord-est de la France (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE de Cattenom	Indice d'activité bêta	0,38 ± 0,01
CNPE de Chooz		0,73 ± 0,02*
		0,26 ± 0,01
CNPE de Fessenheim		0,49 ± 0,02*
		0,38 ± 0,01
		0,60 ± 0,02*

* Mesures effectuées du 22 mars au 6 mai 2011 pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima.

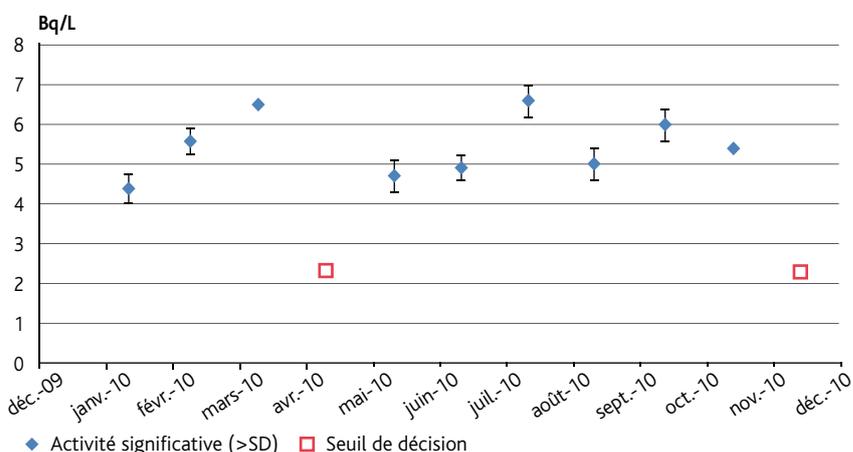


Figure V.58 - Activité du tritium dans l'eau de pluie collectée à proximité du CNPE de Cattenom (mesures IRSN) (Bq/L).

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Deux échantillons d'herbe sont prélevés mensuellement autour des CNPE. Leur analyse n'a pas mis en évidence la présence de radionucléides émetteurs gamma potentiellement émis par ces installations. Une seule valeur significative en césium 137 ($2,8 \pm 1,6$ Bq/kg sec le 4 janvier 2011) a été mesurée à proximité du CNPE de Chooz sur les 34 analyses effectuées autour de cette installation.

Des traces d'iode 131, imputables à l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima, ont été observées ponctuellement au début du mois d'avril 2011 sur de l'herbe prélevée autour des CNPE de Cattenom et de Fessenheim.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma rejetés ou susceptibles d'être rejetés par les CNPE ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collectés à proximité des sites. Seul le potassium 40, d'origine naturelle, est mesuré à une activité moyenne de 132 ± 12 Bq/kg sec.

Le lait

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans le lait de vache prélevé autour des CNPE de Chooz, Fessenheim et Cattenom est principalement due au potassium 40 dont l'activité volumique moyenne s'élève à $50,7 \pm 1,4$ Bq/L.

Aucune trace de radioactivité artificielle n'a été observée. Tous les résultats de mesures (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H libre) sont restés inférieurs aux seuils de décision des appareils de mesure utilisés.

Les légumes-feuilles

Concernant la salade prélevée à proximité du CNPE de Fessenheim, la seule activité significative mesurée concerne le potassium 40 d'origine naturelle dont l'activité massique s'élève à 131 ± 17 Bq/kg frais. Les activités des radionucléides d'origine artificielle (émetteurs gamma, tritium) sont restées inférieures aux seuils de décision des appareils utilisés.

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Le CNPE de Chooz

La Meuse est un fleuve de 950 km de long dont le bassin versant de 36 000 km² est orienté sud-nord. Elle prend sa source en France à Pouilly-en-Bassigny, à proximité du Plateau de Langres qui donne entre autre naissance à la Seine.

La Meuse présente des fluctuations saisonnières de débit, les hautes eaux sont en hiver (débits mensuels moyens de 250 m³/s de décembre à mars), l'étiage a lieu en août-septembre (débits mensuels moyens de 50,5 m³/s).

L'activité en tritium mesurée en aval du CNPE (figure V.59) est à mettre en relation avec les rejets liquides du CNPE. L'activité moyenne dans la Meuse en aval en 2010 a été mesurée à 22 Bq/L avec un *minima* de 8,4 Bq/L et un maxima de 36 Bq/L, mesurés par l'IRSN. L'arrêt définitif d'exploitation de Chooz A en 1991 a entraîné une forte baisse de l'activité du tritium dans la Meuse jusqu'au début des années 1990, puis une légère augmentation depuis mais en moyenne inférieure ou proche de 20 Bq/L.

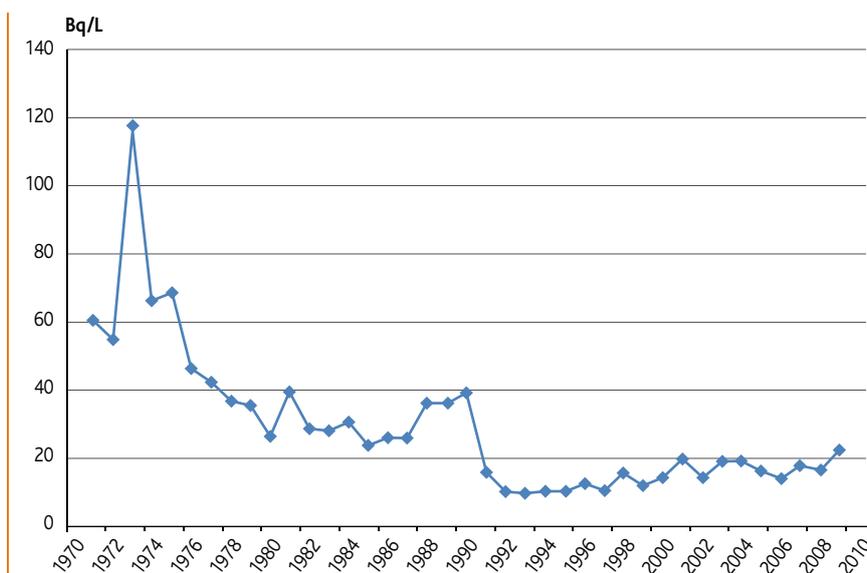


Figure V.59 - Activité annuelle du tritium dans la Meuse en aval du CNPE de Chooz (Bq/L).

Le CNPE de Cattenom

La Moselle, rivière affluent du Rhin, prend sa source dans le massif des Vosges, à Bussang. Sur le territoire français son bassin versant est d'environ 11 500 km². À Bertrange-Imeldange situé à 20 km en amont hydraulique du CNPE, le débit mensuel moyen de la Moselle est d'environ 250 m³/s, de décembre à mars, tandis qu'en période estivale, le débit moyen mensuel décroît jusqu'à 50 m³/s.

Aucune activité anormale alpha global ou bêta global n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en amont et en aval du

CNPE et aucun radionucléide artificiel autre que le tritium n'a été mis en évidence.

Les concentrations de ce radionucléide mesurées en aval du CNPE sont à mettre en relation avec les rejets liquides chroniques de l'installation. L'activité moyenne dans la Moselle en aval du CNPE en 2010 a été mesurée à 36 Bq/L avec un *minima* de 14,4 Bq/L et un *maxima* de 51 Bq/L. Historiquement, l'activité mesurée en aval de ce CNPE tend à augmenter (figure V.60), passant de 15 Bq/L en 1985 à 35 Bq/L en 2010.

Le CNPE de Fessenheim

Le Rhin prend sa source sur les flancs du massif du Saint-Gothard, dans le canton des Grisons situé à l'est de la Suisse. Son régime hydrologique est régulier. À hauteur de Lauterbourg, l'amplitude annuelle sur les débits mensuels est de l'ordre de 1 000 m³ (figure V.61). Le CNPE de Fessenheim est implanté à proximité du Grand Canal d'Alsace, creusé parallèlement au Rhin à quelques centaines de mètres de celui-ci, d'une longueur de 50 km entre Kembs et Vogelgrün.

L'activité du tritium mesurée en aval du CNPE de Fessenheim n'est pas significativement différente de celle mesurée en amont (figure V.62). L'activité du tritium décroît régulièrement depuis 1976. L'amélioration des performances métrologiques permet à l'IRSN de mesurer à nouveau le tritium dans l'eau du Rhin depuis 2008, à des niveaux proches de 5 Bq/L.

Les activités de ce radionucléide sont à mettre en relation avec les rejets liquides chroniques de l'installation. La présence de tritium dans l'eau du Rhin trouve également son origine dans l'industrie horlogère suisse qui a rejeté du tritium sous forme organique fixé aux sédiments à des activités de l'ordre de 3 000 à 8 000 Bq/L dans le Rhin et le Rhône, la dégradation lente et rémanente des matières organiques induisant une mobilité du tritium de la phase solide vers la phase aqueuse.

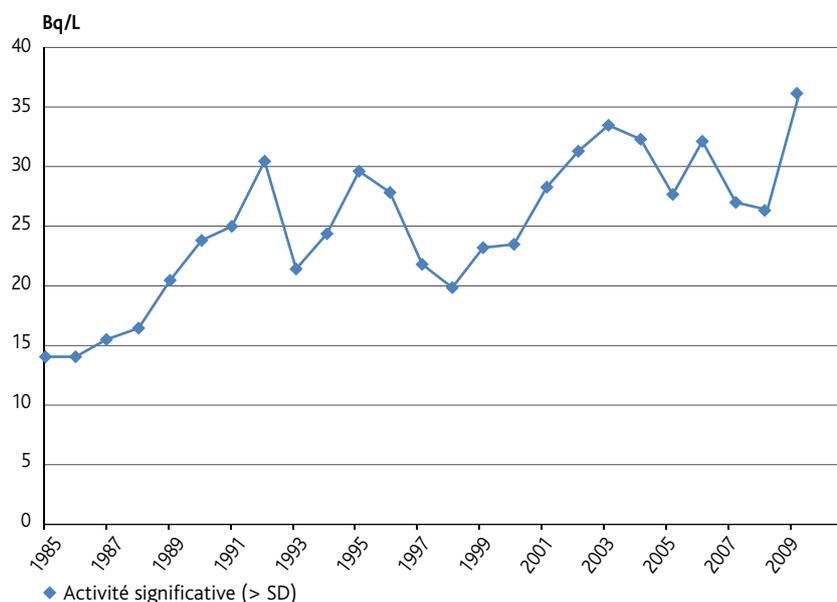


Figure V.60 - Activité annuelle du tritium dans la Moselle en aval du CNPE de Cattenom (Bq/L).

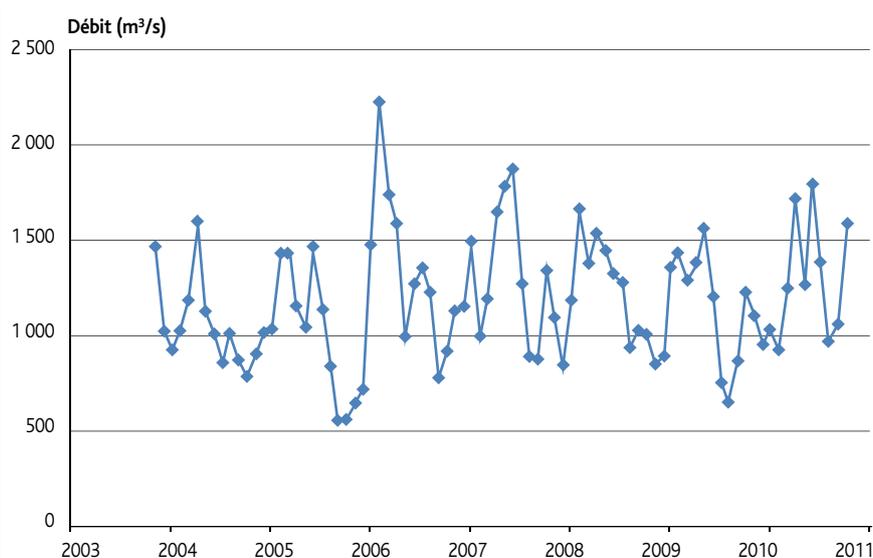


Figure V.61 - Débit mensuel moyen du Rhin à Lauterbourg (données Banque Hydro) (m³/s).

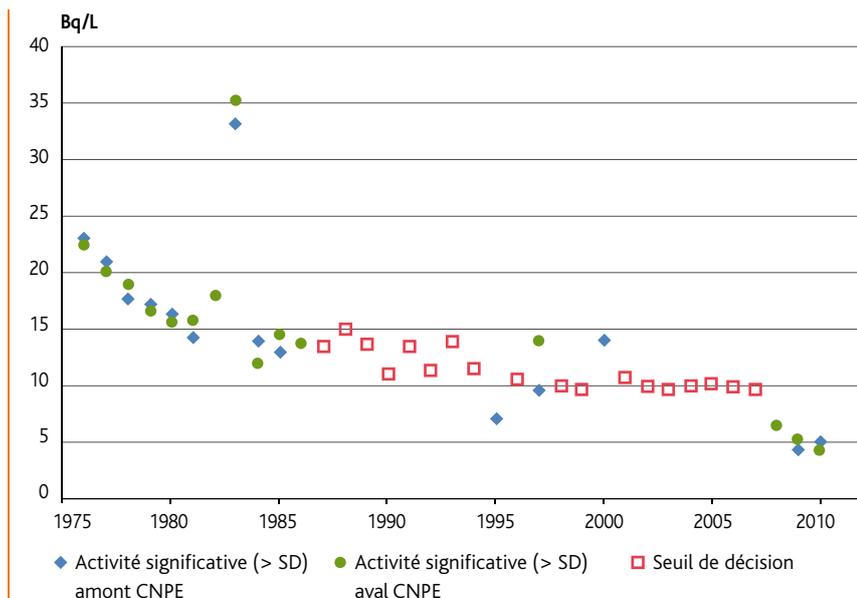


Figure V.62 - Activité annuelle du tritium dans le grand canal d'Alsace en amont et en aval du CNPE de Fessenheim (Bq/L).

Les eaux souterraines

La surveillance de la nappe phréatique réalisée par l'exploitant du CNPE de Chooz démontre l'absence de radionucléides anthropiques en quantité détectable.

L'exploitant du CNPE de Fessenheim analyse l'eau des nappes phréatiques environnantes via différents points de surveillance (piézomètres). Les activités alpha et bêta globales se situent au niveau du bruit de fond et les produits de fission tels que les césiums 134 et 137 n'y sont pas détectés. Le point « BTN EST » présente une activité en tritium exceptionnelle en avril 2011 de 460 Bq/L (figure V.63) qui décroît ensuite rapidement en raison de la mise en place d'un pompage (sur le puits N08) pour récupérer l'eau tritiée. Les investigations menées par EDF sur les installations ont permis d'isoler les causes expliquant ces augmentations d'activité en tritium : la première a été identifiée au niveau d'une aire de récupération d'effluents du réservoir d'eau servant au remplissage des piscines du réacteur de la tranche 2. La seconde est liée au débordement, le 6 mars 2011, d'un réservoir d'effluents. Le CNPE de Fessenheim a déclaré le 30 mars 2011 un écart significatif environnemental (ESE) à l'ASN suite à cette augmentation d'activité en tritium.

En ce qui concerne le CNPE de Cattenom, l'exploitant surveille au travers de huit piézomètres la qualité de l'eau des nappes phréatiques. Trois points de prélèvement font l'objet d'un léger marquage en tritium dont le piézomètre « NAPPE N2 » situé au droit du site (figure V.64).

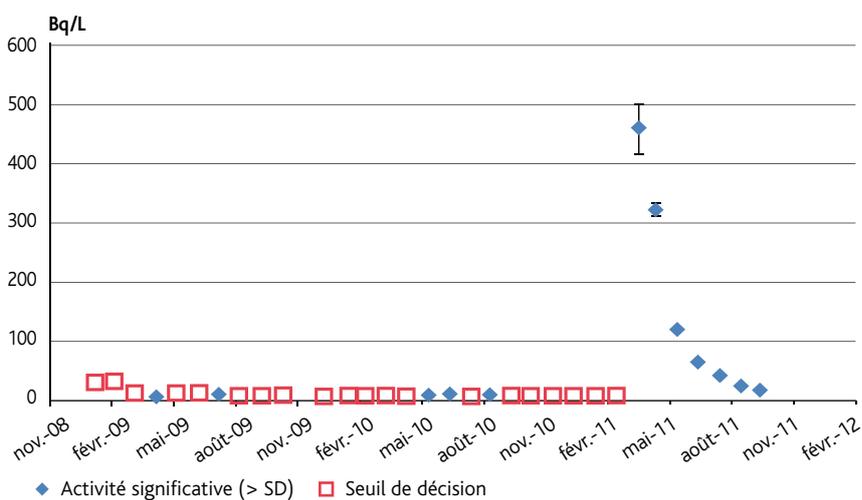


Figure V.63 - Activité du tritium dans l'eau de nappe prélevée au point « BTN EST » du CNPE de Fessenheim (Bq/L).

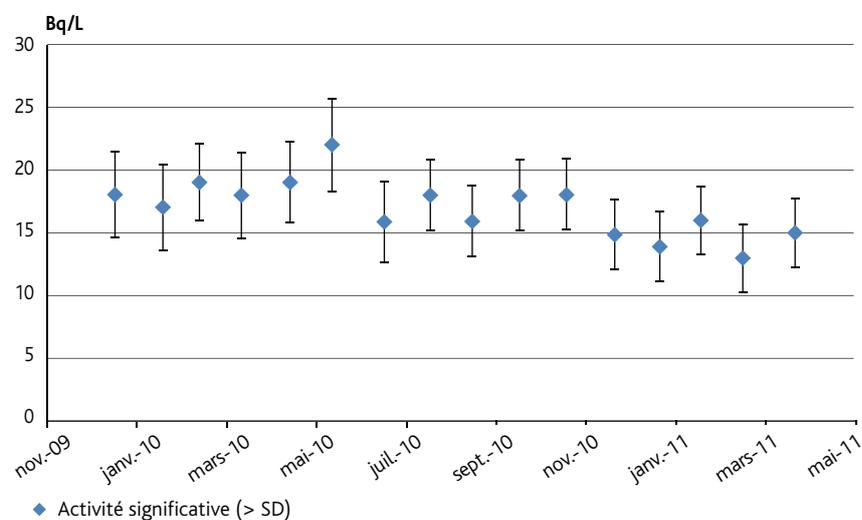


Figure V.64 - Activité du tritium dans l'eau prélevée au point « NAPPE N2 » du CNPE de Cattenom (Bq/L).

La surveillance des centres nucléaires de production d'électricité du bassin versant de la Garonne

Le bassin versant de la Garonne comprend deux centres nucléaires de production d'électricité (figure V.65) implantés sur les rives de la Garonne (CNPE de Golfech) et dans l'estuaire de la Gironde (CNPE du Blayais).

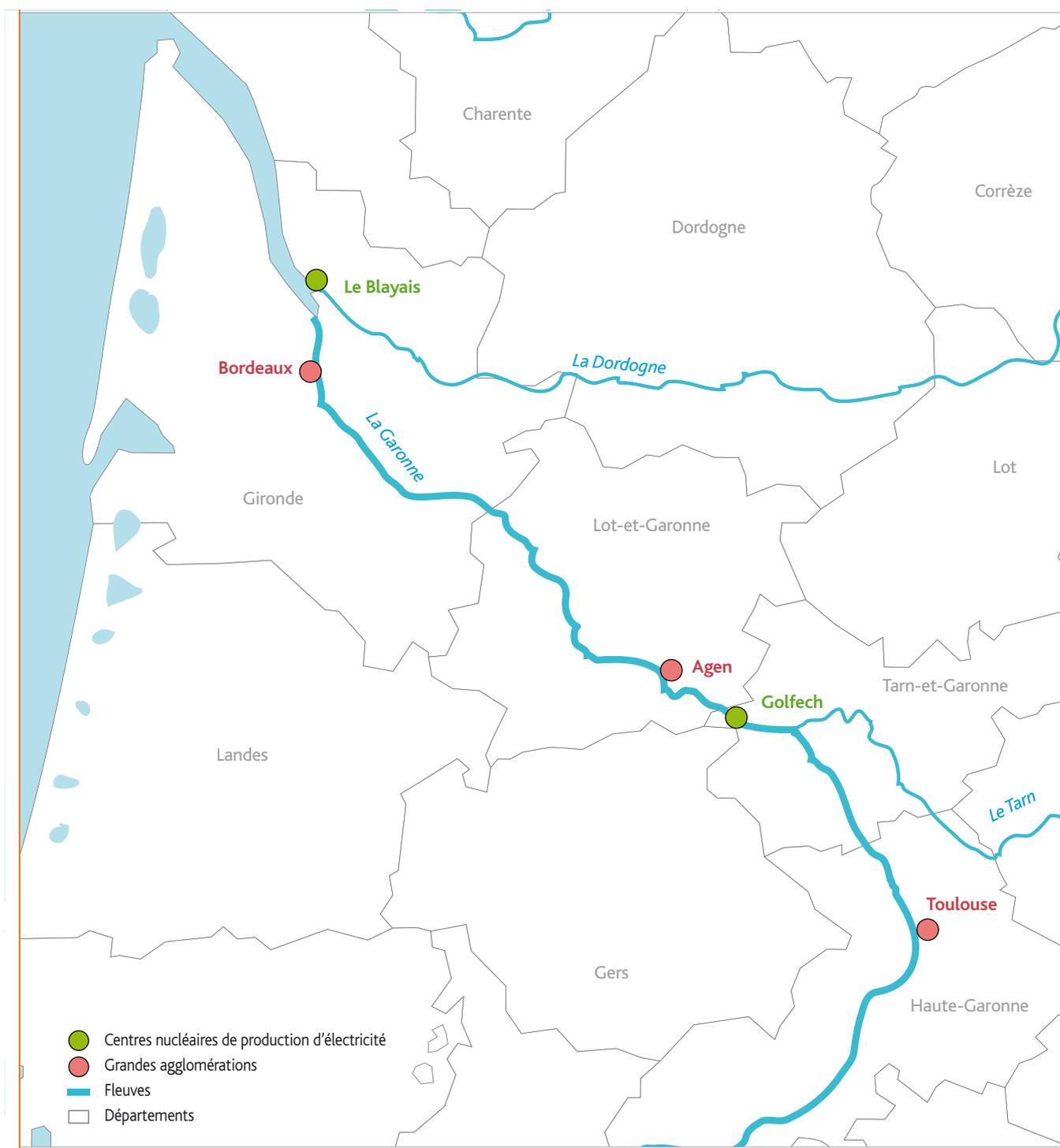


Figure V.65 - Localisation des CNPE du bassin versant de la Garonne.



© EDF

Figure V.66 - CNPE du Blayais.

Le CNPE du Blayais

Situé en rive droite de l'estuaire de la Gironde, le CNPE du Blayais (figure V.66) a été construit à mi-chemin entre Bordeaux et Royan, sur la commune de Braud-et-Saint-Louis, au cœur d'un marais de 6 000 hectares. Il se compose de quatre réacteurs à eau pressurisée de 900 MW mis en service en 1981, 1982, et 1983.

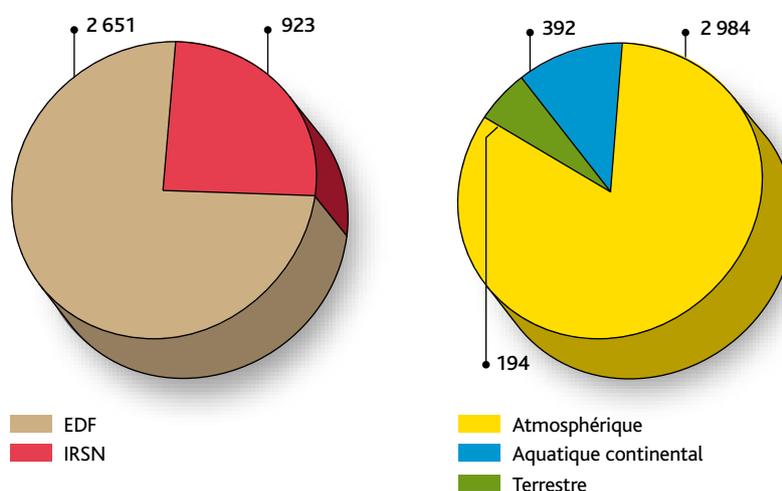


Figure V.67 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE du Blayais.

Le CNPE de Golfech

Située en aval de la confluence du Tarn et de la Garonne, cette centrale nucléaire est implantée sur la commune de Golfech, entre Agen (20 km) et Toulouse (80 km), dans le département du Tarn-et-Garonne. Elle possède deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW, mis en service en 1990 et 1994.

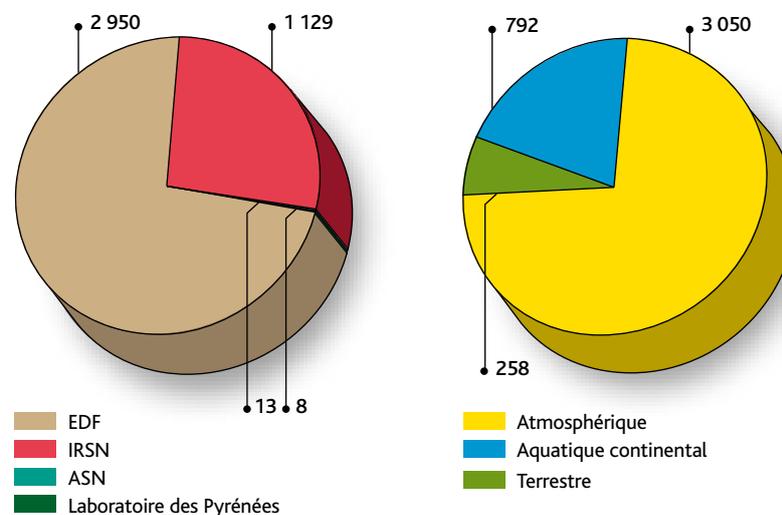


Figure V.68 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Golfech.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale (figure V.69). Les spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels (^7Be , ^{210}Pb), aucun radionucléide émetteur gamma artificiel n'a pu être mesuré au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés.

Des présences significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011 (tableau V.30). Pendant cette même période, une augmentation de l'indice d'activité bêta a été constatée (tableau V.31). Cette hausse ponctuelle est essentiellement liée à la présence de radionucléides artificiels dans l'air suite à l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

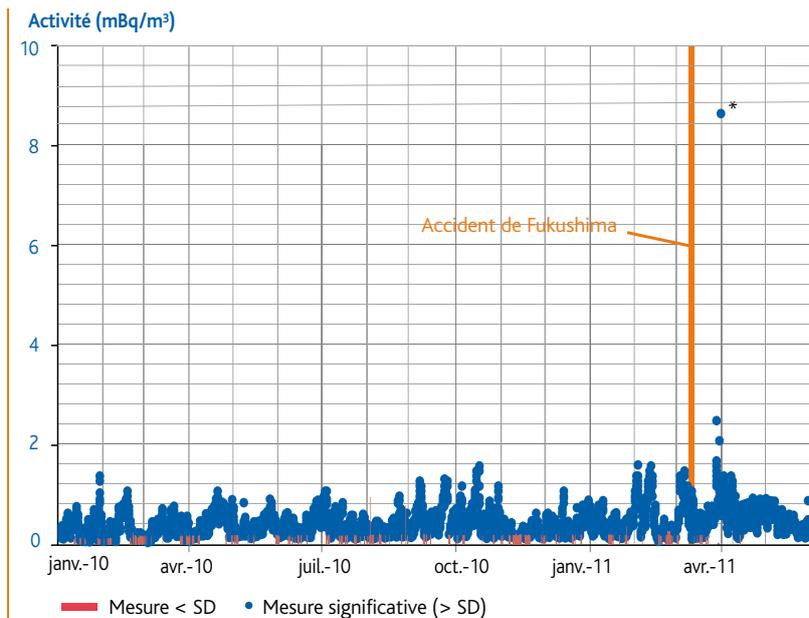


Figure V.69 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du bassin versant de la Garonne (mBq/m^3).

* Valeur anormale ($8,6 \pm 2,1 \text{ mBq}/\text{m}^3$ le 31 mars 2011) ayant fait l'objet de mesures complémentaires qui ont conduit l'IRSN à exclure ce résultat de son étude sur l'impact en France des retombées de l'accident de Fukushima.

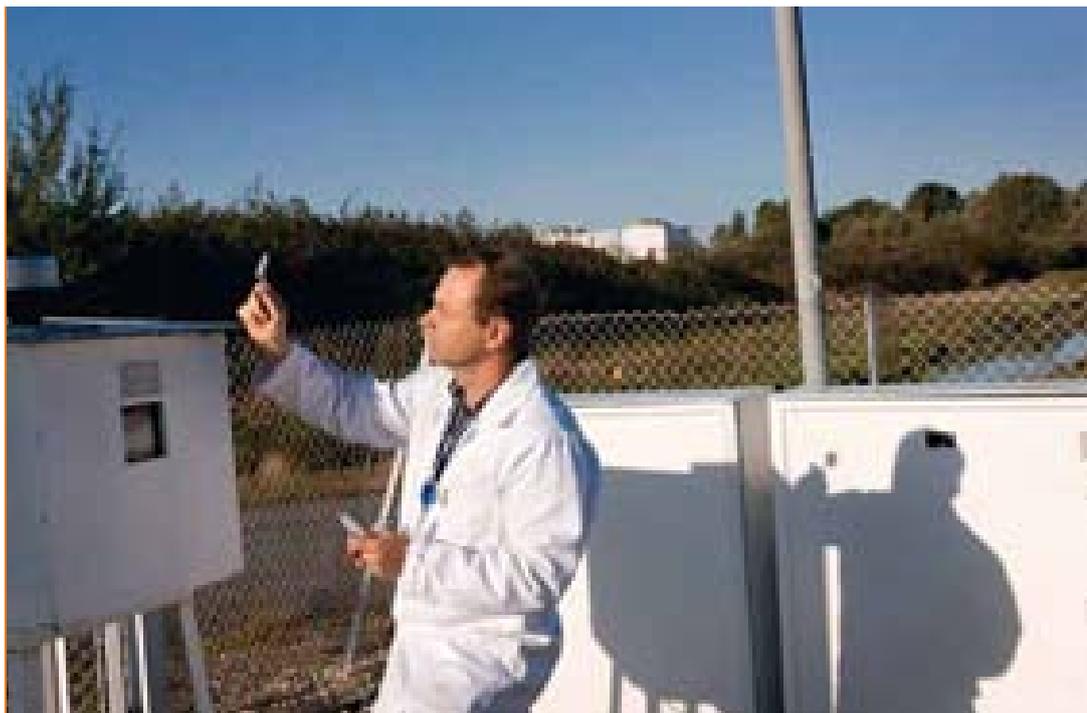
Tableau V.30 - Radionucléides mesurés par spectrométrie gamma dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du bassin versant de la Garonne pendant la période de l'accident de Fukushima (22 mars au 6 mai 2011) (mBq/m^3).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m^3)
CNPE du Blayais et de Golfech	Césium 134	$0,033 \pm 0,007$
	Césium 137	$0,043 \pm 0,007$
	Iode 131	$0,83 \pm 0,07$

Tableau V.31 - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE du bassin versant de la Garonne (mBq/m^3).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m^3)
CNPE du Blayais	Indice d'activité bêta	$0,31 \pm 0,01$
		$0,53 \pm 0,02^*$
CNPE de Golfech		$0,33 \pm 0,01$
		$0,59 \pm 0,02^*$

* Mesures effectuées du 22 mars au 6 mai 2011 pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima.



© EDF Médiathèque/Eranian Philippe

Figure V.70 - Récupération par un technicien EDF d'un prélèvement d'aérosols atmosphériques sur filtre réalisé dans l'environnement proche du CNPE du Blayais.

Les eaux de pluie et les gaz prélevés par barboteurs

Aucun radionucléide artificiel autre que le tritium (5 Bq/L) n'a été mesuré dans les eaux de pluie ou dans les gaz collectés à proximité immédiate des CNPE du Blayais et de Golfech.

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Les résultats d'analyses par spectrométrie gamma sur les échantillons d'herbe prélevés aux abords des centrales de Golfech et du Blayais sont en majorité inférieurs aux seuils de décision des appareils de mesure utilisés.

Du césium 137 a toutefois été ponctuellement détecté sur deux échantillons (sur un total de 66 échantillons analysés entre janvier 2010 et mai 2011). Les activités massiques mesurées à proximité des CNPE de Golfech et du Blayais sont respectivement de $2 \pm 0,9$ Bq/kg sec et de $0,13 \pm 0,04$ Bq/kg sec.

À la suite de l'accident survenu le 11 mars 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima, des traces d'iode 131 et de césium 134 et 137 ont été détectées sur les prélèvements d'herbes du mois d'avril 2011 de ces deux CNPE.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les sols

Le césium 137 est détecté systématiquement dans les échantillons de sol prélevés à proximité des CNPE de Golfech et du Blayais à des activités massiques respectives de $4,3 \pm 0,6$ et $0,59 \pm 0,1$ Bq/kg sec. Ces activités sont principalement attribuables aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Les autres radionucléides d'origine artificielle rejetés ou potentiellement rejetés par les CNPE n'ont pas été détectés à l'issue de l'analyse par spectrométrie gamma.

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté dans l'échantillon de blé collecté dans les environs de la centrale de Golfech.

Le lait

Un échantillon de lait de vache est prélevé et analysé tous les mois dans deux exploitations proches des CNPE de Golfech et du Blayais. Aucune trace de radioactivité artificielle imputable aux rejets atmosphériques de ces installations nucléaires (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{14}C , ^3H) n'est mesurée dans ces prélèvements de lait. Seul le potassium 40, d'origine naturelle, est détecté à une concentration moyenne de $52,2 \pm 1,2$ Bq/L.

Les légumes-racines

Des radis prélevés à proximité de la centrale du Blayais ne présentent aucune trace de radionucléides artificiels (émetteurs gamma, ^3H libre) imputables aux rejets de cette installation.

Le vin

En 2010, un vin rouge produit sur les côteaux du Blayais (Saint-Estèphe) a fait l'objet d'une analyse par spectrométrie gamma. La radioactivité mesurée est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle ($36,4 \pm 3,8$ Bq/L). Aucun radionucléide artificiel n'a été détecté. Les analyses effectuées sur le jus de raisin recueilli par broyage de la pulpe, produit sur la commune de Saint-Estèphe, amènent aux mêmes conclusions (activité volumique en potassium 40 de $50,5 \pm 4,8$ Bq/L).

Les mesures de radioactivité effectuées dans du jus de pomme produit à Donzac (82), près du CNPE de Golfech, restent inférieures aux seuils de décision pour les radionucléides d'origine artificielle. Le potassium 40 est présent à une activité volumique de 55 ± 5 Bq/L.

Compartiment aquatique continental

La Garonne prend sa source au Val d'Aran dans les Pyrénées espagnoles et coule sur 647 km. Son bassin versant couvre environ 55 000 km².

Le débit de la Garonne, observé depuis 2004 en aval immédiat du CNPE de Golfech implanté en rive droite, est de l'ordre de 320 m³/s (figure V.71). Le débit mensuel moyen d'étiage est situé vers 60 m³/s alors que celui des crues hivernales est d'environ 700 m³/s avec des valeurs instantanées pouvant atteindre 1 500 m³/s en 2010. La Garonne présente ainsi des fluctuations saisonnières de débit marquées.

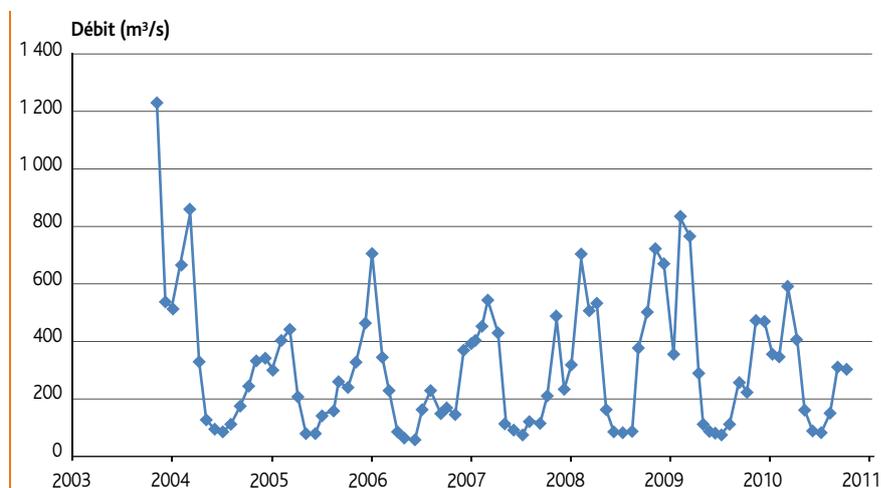


Figure V.71 - Débit mensuel moyen de la Garonne à Lamagistère (source : Banque Hydro) (m³/s).

Les eaux de surface

L'activité du tritium mesurée dans l'eau de la Garonne en aval de Golfech est d'environ 10 Bq/L et fluctue entre 8 et 14 Bq/L depuis 1990 (figure V.72).

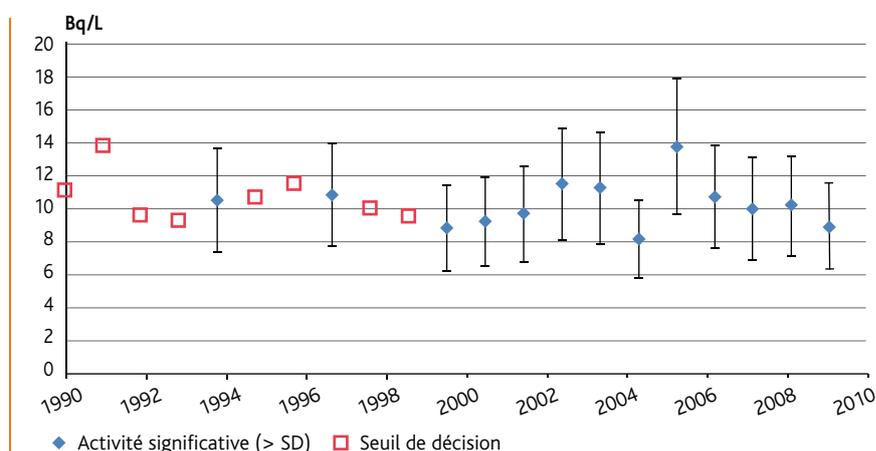


Figure V.72 - Activités annuelles moyennes en tritium mesurées dans l'eau de la Garonne à Laspeyres, en aval du CNPE de Golfech (Bq/L).

Le CNPE du Blayais prélève, pour le refroidissement de ses condenseurs, l'eau dans l'estuaire de la Gironde. La rencontre de l'eau douce riche en alluvions (la Garonne et la Dordogne apportent 900 m³/s d'eau douce) avec l'eau salée (la marée montante apporte 20 000 m³ d'eau de mer) floccule les particules argileuses et forme un bouchon vaseux caractéristique des eaux estuariennes.

Les prélèvements réalisés directement dans le canal de rejet du CNPE montrent des activités en tritium de 5 à 40 Bq/L qui, après dilution dans l'estuaire, ne sont en général plus détectables à Vitrezay ou à Pauillac (figure V.73).

Les eaux souterraines

L'analyse des résultats relatifs à cinq piézomètres du CNPE du Blayais montre que l'eau de nappe du point N01 fait l'objet d'un marquage en tritium (figure V.74), dont l'activité a évolué à la hausse depuis 2009, passant de 10 Bq/L à 25 Bq/L. L'activité bêta globale, de l'ordre de 0,8 à 1 Bq/L, est attribuable au potassium 40 de l'eau de mer présente dans les nappes.

Les sédiments

En 2010, des prélèvements de sédiments ont été effectués en amont et en aval du CNPE du Blayais (tableau V.32). Les résultats d'analyse indiquent la présence de césium 137 à des niveaux sensiblement similaires sur les deux points de prélèvements. L'impact des rejets liquides n'est donc pas quantifiable, le césium 137 mesuré provenant principalement des retombées des tirs nucléaires atmosphériques des années 1960 ainsi que de celles de l'accident de Tchernobyl. À noter que les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par le CNPE (⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag, ⁵⁴Mn...) n'ont pas été détectés par les appareils de mesure utilisés.

La faune aquatique continentale

De faibles niveaux en césium 137 sont mesurés dans des poissons pêchés en amont et en aval de la centrale du Blayais (tableau V.33). Les autres radionucléides artificiels susceptibles d'être rejetés dans les effluents liquides des centrales REP (⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag, ⁵⁴Mn, ¹⁴C, ³H...) n'ont pas été quantifiés.

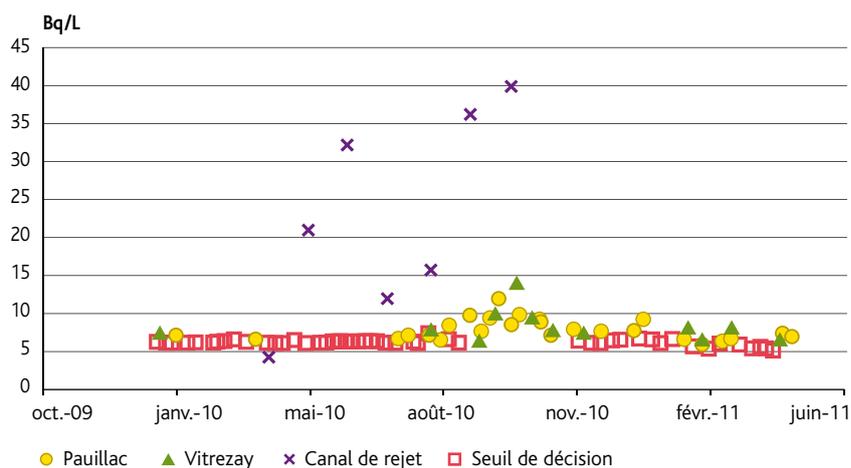


Figure V.73 - Activités en tritium mesurées dans l'eau de l'estuaire de la Gironde et dans le déversoir du CNPE du Blayais (Bq/L).

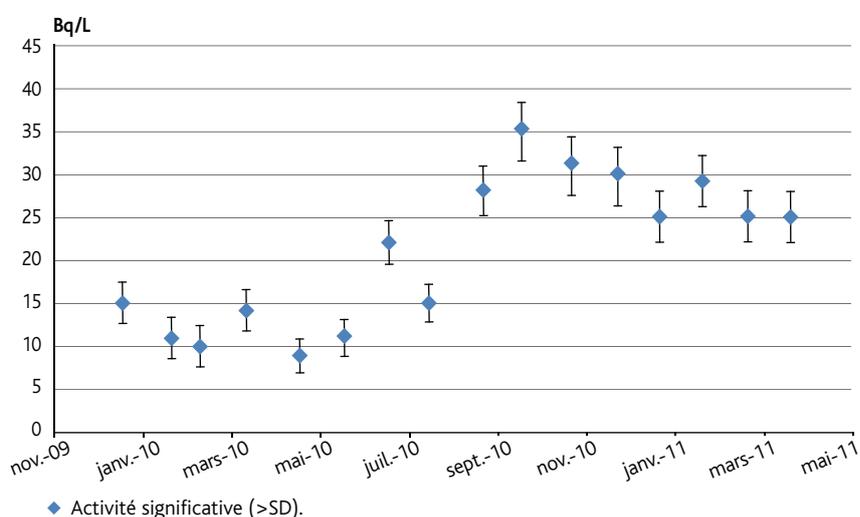


Figure V.74 - Activité du tritium dans l'eau de nappe dénommée « nappe N01 » sur le site du CNPE du Blayais (Bq/L).

Tableau V.32 - Activités mesurées dans les sédiments de milieu dulçaquicole en amont et en aval du CNPE du Blayais (Bq/kg sec).

Radionucléide	7,5 km - Sud Saint-Androny	8 km - Nord Saint-Sorlin-de-Conac
¹³⁷ Cs	6,1 ± 0,9	5,4 ± 0,7
⁴⁰ K	840 ± 120	830 ± 120

Tableau V.33 - Activités mesurées dans les poissons en amont et en aval du CNPE du Blayais (Bq/kg frais).

Radionucléide	Poisson	Poisson
	7,5 km - Sud Saint-Androny	3 km - Nord Saint-Ciers-sur-Gironde
¹³⁷ Cs	0,081 ± 0,36	0,066 ± 0,029
⁴⁰ K	180 ± 0,20	140 ± 10

La surveillance des centres nucléaires de production d'électricité du bassin versant du Rhône

Le bassin versant du Rhône comprend cinq centres nucléaires de production d'électricité (figure V.75) implantés sur les rives du Rhône en amont de Lyon (CNPE de Creys-Malville et du Bugey) et en aval (CNPE de Saint-Alban, de Cruas et du Tricastin).

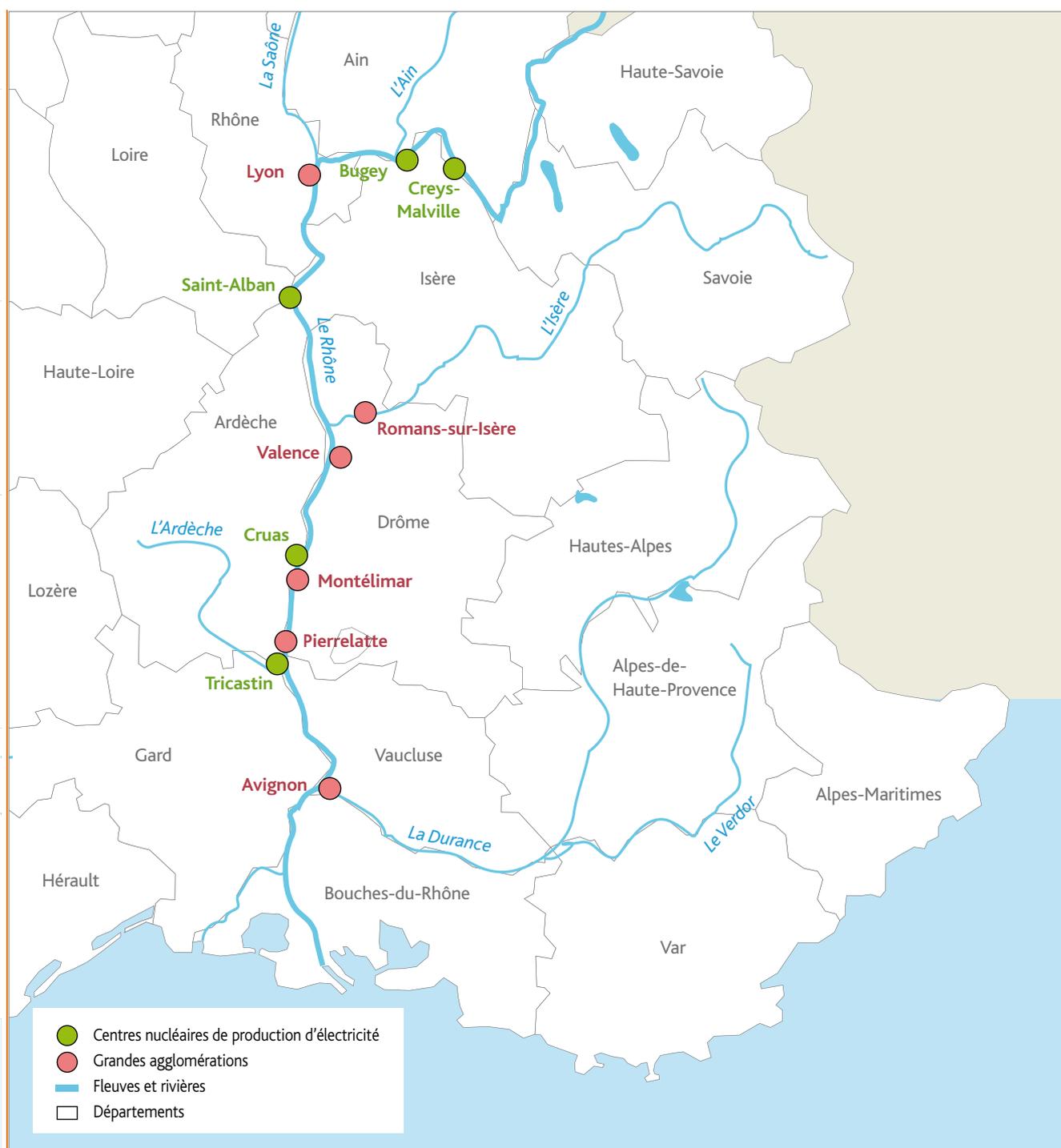


Figure V.75 - Localisation des CNPE du bassin versant du Rhône.



© Grégoire Maisonneuve/IRSN

Figure V.76 - CNPE de Cruas.

Le site de Creys-Malville

Le site nucléaire de Creys-Malville est implanté dans le département de l'Isère, à 50 km à l'est de Lyon et à 60 km à l'ouest de Chambéry. Il se trouve en bordure du Rhône à 30 km en amont de la centrale nucléaire du Bugey. Ce site abrite un prototype industriel de la filière des réacteurs à neutrons rapides et à caloporteur sodium de grande puissance. Le réacteur Superphénix, d'une puissance de 1 200 MW, a été mis en service en 1985. Sur décision gouvernementale, il a été mis à l'arrêt définitif en décembre 1998, et aujourd'hui il est en phase de démantèlement.

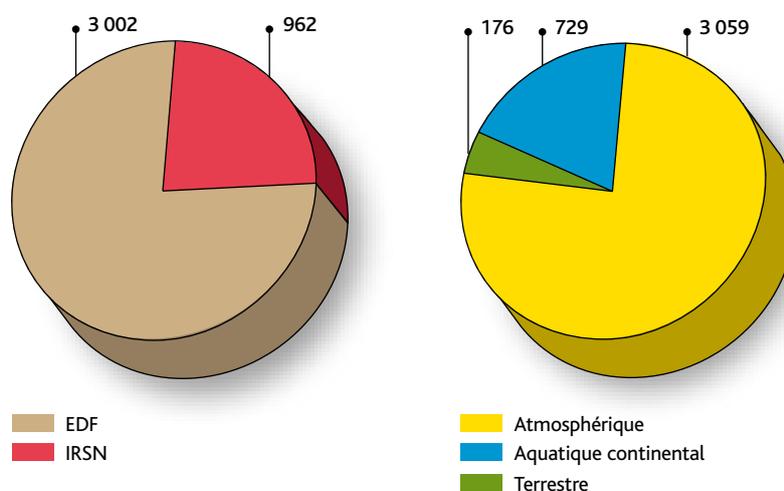


Figure V.77 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le site de Creys-Malville.

Le CNPE du Bugey

Situé sur la rive droite du Rhône, dans le département de l'Ain, à une trentaine de kilomètres de Lyon, le CNPE du Bugey comprend quatre réacteurs à eau pressurisée de 900 MW mis en service en 1978 et 1979. Il comprend également un réacteur de la filière UNGG arrêté en 1994 et en cours de déconstruction.

NB : Suite à un incident technique lié à la transmission des données du CNPE de Bugey au RNM, seules les mesures réalisées par l'IRSN ont pu être exploitées pour ce bilan 2010-2011. Les résultats des mesures de surveillance réalisées par EDF sont à présent consultables sur le site Internet du RNM : www.mesure-radioactivite.fr

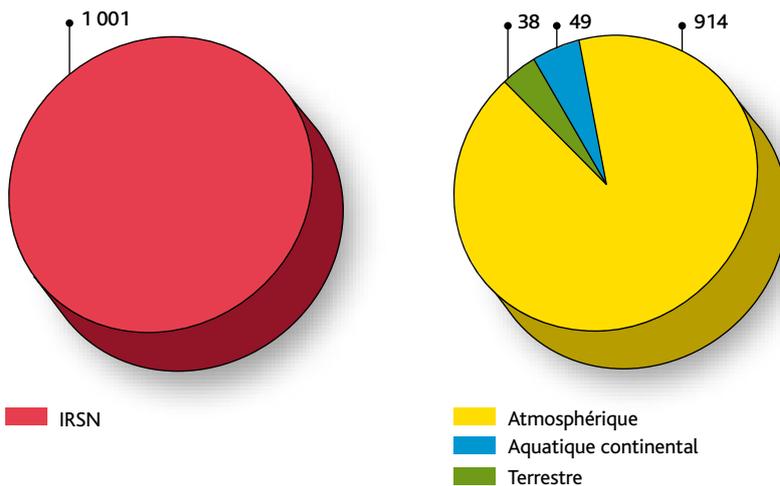


Figure V.78 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE du Bugey.

Le CNPE de Saint-Alban

Situé sur la rive gauche du Rhône, dans le département de l'Isère, à 50 km au sud de Lyon, le CNPE de Saint-Alban comprend deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW mis en service en 1985 et 1986.

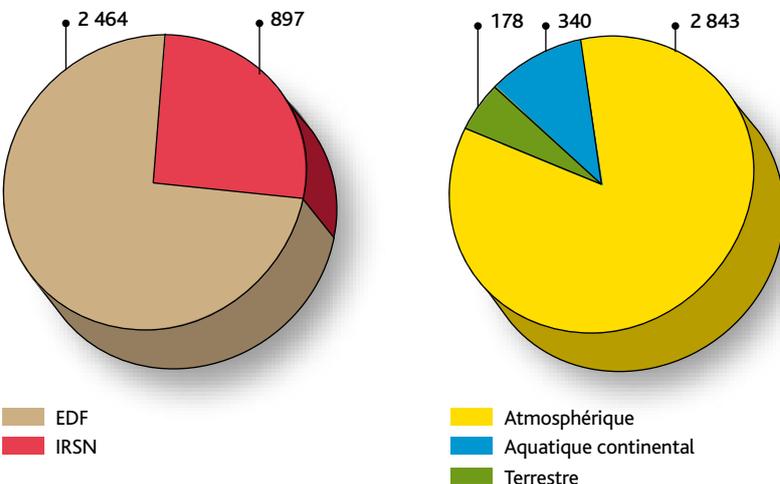


Figure V.79 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Saint-Alban.

Le CNPE de Cruas

La centrale de Cruas-Meysses (figure V.76) est située sur rive droite du Rhône, dans le département de l'Ardèche, à proximité de Montélimar. Elle comprend quatre réacteurs à eau pressurisée de 900 MW, mis en service en 1983 et 1984.

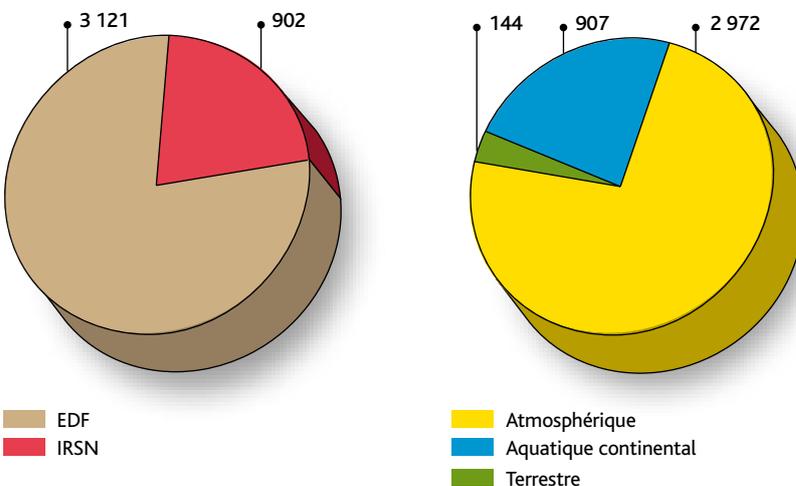


Figure V.80 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Cruas.

Le CNPE du Tricastin

Situé sur la rive droite du canal de dérivation du Rhône, dans le département de la Drôme, le CNPE du Tricastin comprend quatre réacteurs à eau pressurisée de 900 MW mis en service en 1980 et 1981.

NB : Suite à un incident technique lié à la transmission de données du CNPE du Tricastin au RNM, la majorité des mesures exploitées pour ce bilan 2010-2011 sont celles de l'IRSN. Les résultats des mesures de surveillance réalisées par EDF sont désormais toutes consultables sur le site Internet du RNM : www.mesure-radioactivite.fr

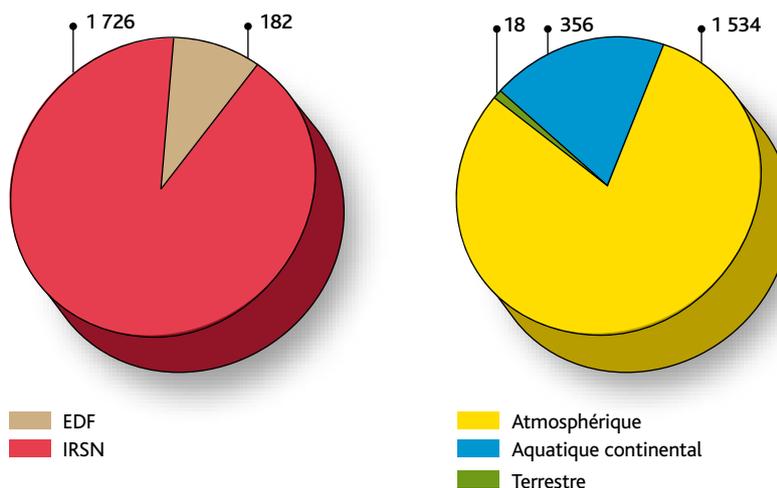


Figure V.81 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieu pour le CNPE du Tricastin.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

En 2010, la surveillance des aérosols atmosphériques a mis en évidence quelques valeurs anormales de l'indice d'activité bêta sur des prélèvements effectués dans l'environnement du CNPE de Creys-Malville, dans la commune de Creys-Mépieu entre le 3 et le 4 juin 2010 : $9,2 \pm 1,1$ mBq/m³ et $5,0 \pm 0,7$ mBq/m³. Les investigations complémentaires effectuées par l'exploitant ont permis de conclure que ces activités inhabituelles n'étaient pas dues à des radionucléides artificiels.

Outre ces constatations et les résultats obtenus pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale (figure V.82). Les spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels (⁷Be et ²¹⁰Pb), aucun radionucléide artificiel n'était présent dans l'environnement.

Des présences significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011 (tableau V.34). Ces résultats témoignent des retombées radioactives sur le territoire français de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Pendant cette même période, une augmentation ponctuelle de l'indice d'activité bêta a été constatée (tableau V.35), essentiellement liée à la présence de radionucléides artificiels dans l'air suite à l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

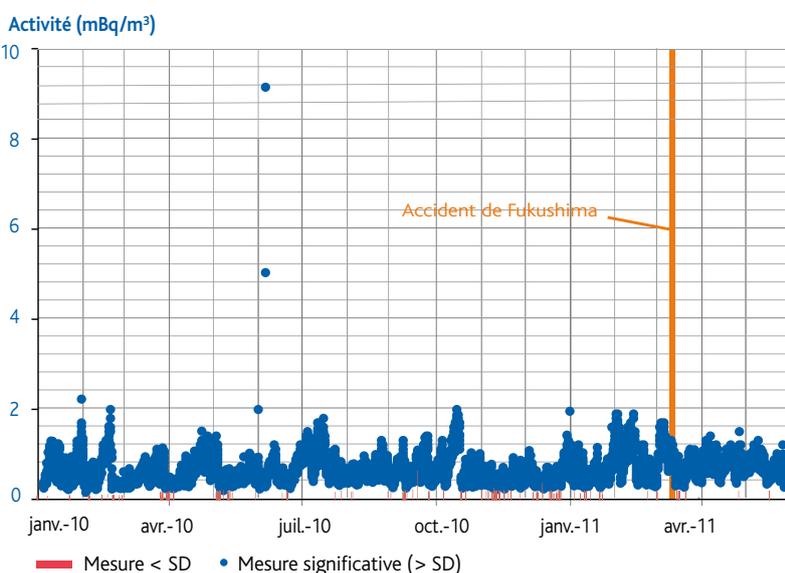


Figure V.82 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE de la vallée du Rhône (mBq/m³).

Tableau V.34 - Radionucléides mesurés dans les aérosols de l'environnement des CNPE de la vallée du Rhône pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011 (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE du Bugey, Creys-Malville, Cruas, Saint-Alban et Tricastin	Césium 134	0,025 ± 0,005
	Césium 137	0,028 ± 0,005
	Iode 131	0,15 ± 0,02

Tableau V.35 - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE de la vallée du Rhône (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE du Bugey	Indice d'activité bêta	0,38 ± 0,01
CNPE de Creys-Malville		0,32 ± 0,01
CNPE de Cruas		0,57 ± 0,02*
CNPE de Saint-Alban		0,40 ± 0,01
CNPE de Saint-Alban		0,68 ± 0,02*
CNPE de Saint-Alban		0,40 ± 0,01
CNPE du Tricastin	0,62 ± 0,02*	
CNPE du Tricastin	0,37 ± 0,01	
CNPE du Tricastin	0,50 ± 0,02*	

* Mesures effectuées du 22 mars au 6 mai 2011 pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

Les eaux de pluie

La répartition des activités significatives en tritium observées en 2010 dans les eaux de pluie varie pour l'ensemble des CNPE entre les seuils de décision et 40 Bq/L (valeur mesurée au CNPE du Tricastin). La mise en perspective de ces résultats aux regard des chroniques dont dispose l'IRSN montre une baisse des activités mesurées au fil des décennies, pouvant être mise en relation avec la baisse des rejets gazeux en tritium du site de Marcoule. Cette tendance est illustrée sur la figure V.83 qui présente la moyenne annuelle des activités significatives en tritium tous CNPE confondus implantés dans la vallée du Rhône.

La chronique de l'activité annuelle du tritium mesurée dans les eaux de pluie à proximité du CNPE du Tricastin (figure V.84) démontre une assez forte variabilité entre les valeurs minimales et maximales. Cette variabilité s'explique par la proximité géographique des sites de Marcoule et Pierrelatte, à laquelle il faut ajouter des facteurs environnementaux influents tels que la vitesse du vent, la pluviométrie...

Les gaz prélevés par barboteur

Du tritium sous forme HTO (vapeur d'eau tritiée) est détectable à des valeurs proches des seuils de décision à proximité immédiate du CNPE de Cruas (figure V.85). Les résultats disponibles pour les autres CNPE du Rhône ne présentent que des seuils de décision.

Les niveaux habituellement observés dans l'air en France sont de 0,01 à 0,05 Bq/m³ à l'écart de toute source d'émission de tritium, et entre 0,5 et quelques Bq/m³ dans l'environnement proche de sites nucléaires autorisés à rejeter du tritium dans l'atmosphère.

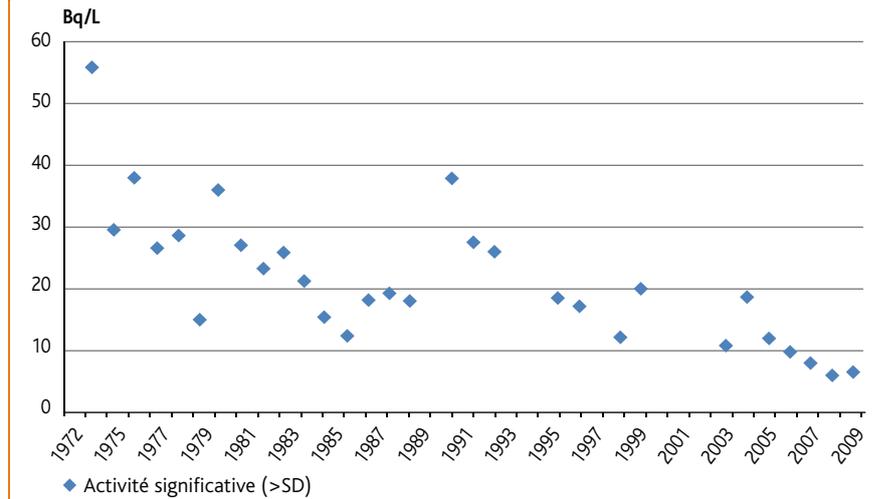


Figure V.83 - Chronique historique d'activité moyenne annuelle du tritium mesuré par l'IRSN dans les eaux de pluie collectées à proximité des CNPE du Rhône (Bq/L).

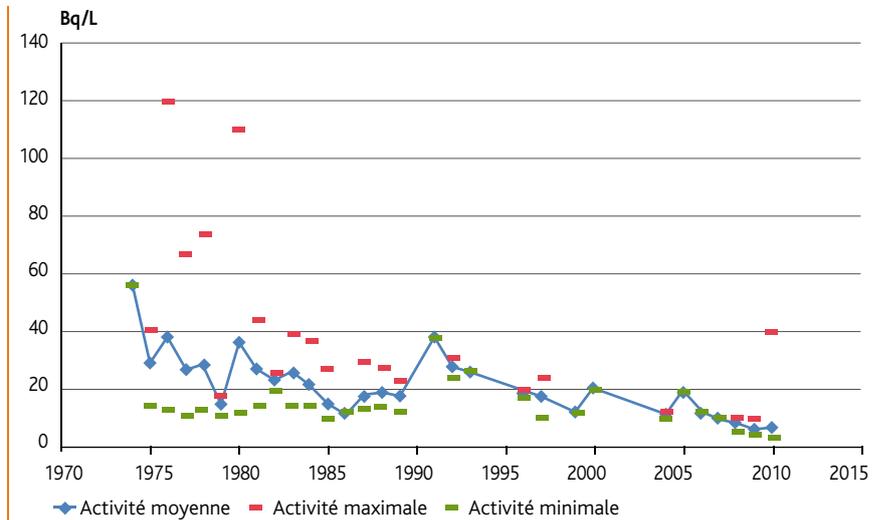


Figure V.84 - Variabilité historique de l'activité du tritium dans les eaux de pluie collectées au CNPE du Tricastin (Bq/L).

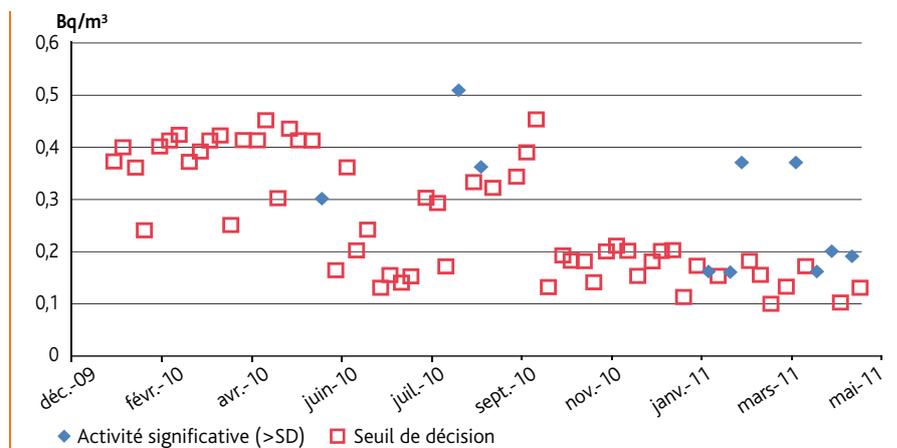


Figure V.85 - Activité du tritium mesuré dans l'air à proximité du CNPE de Cruas (Bq/m³).

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Du césium 137 est détecté ponctuellement dans les herbes prélevées mensuellement à moins de 4 km des CNPE de Creys-Malville et de Cruas (tableau V.36). Les activités massiques moyennes des résultats significatifs mesurés oscillent entre $1,3 \pm 0,5$ Bq/kg sec et $4,2 \pm 2$ Bq/kg sec. Ces intervalles de variations, proches des moyennes calculées pour les résultats inférieurs aux seuils de décision (entre 0,5 et 1,3 Bq/kg sec), sont compris dans la fourchette des valeurs caractéristiques de l'accident de Tchernobyl et ne permettent pas de déceler un impact éventuel du fonctionnement de ces installations.

Des traces d'iode 131 ont été détectées début avril 2011 sur les herbes prélevées à proximité des CNPE de Creys-Malville et de Saint-Alban. Ces activités sont liées aux rejets de la centrale de Fukushima au Japon accidentée le 11 mars 2011.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les sols

En 2010, un prélèvement de sol a été effectué à 5,5 km sous les vents dominants du CNPE de Saint-Alban. Celui-ci présente une activité en césium 137 de 21 ± 2 Bq/kg sec.

Ce résultat s'explique majoritairement par les retombées des essais nucléaires atmosphériques passés et de l'accident de Tchernobyl. La part attribuable aux rejets du CNPE ne peut être quantifiée.

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les centrales REP ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collecté aux abords des CNPE de Creys-Malville, Bugey, Saint-Alban et Cruas.

Le lait

La radioactivité mesurée dans le lait produit à proximité des CNPE du bassin de la vallée du Rhône est principalement due au potassium 40 dont les activités moyennes sont de $48,4 \pm 1,3$ Bq/L pour le lait de vache et de $57,9 \pm 2,9$ Bq/L pour le lait de chèvre. Aucune trace de radioactivité artificielle imputable aux rejets des CNPE (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H) n'a pu être mesurée par les appareils de mesure utilisés.

Une mesure significative en strontium 90 a été observée dans le lait de chèvre produit dans la région du Tricastin. Cette activité, proche des seuils de décision ($0,056 \pm 0,011$ Bq/L), est attribuable aux retombées anciennes des tirs nucléaires atmosphériques des années 1960.

Tableau V.36 - Activités en ^{137}Cs mesurées dans les herbes des CNPE du bassin versant du Rhône (Bq/kg sec).

Communes de prélèvement	CNPE de Creys-Malville		CNPE de Saint-Alban		CNPE de Cruas	
	Creys-Mépieu (1,36 km sous les vents dominants principaux)	Bouvesse-Quirieu (3,7 km, légèrement hors influence des vents dominants secondaires)	Pélussin	Saint-Pierre-de-Boeuf	Meysse (500 m sous le vent dominant principal)	Tourrettes (4 km sous les vents dominants secondaires)
Nombre de mesures significatives sur le nombre total de mesures	2 mesures significatives sur 18	0 mesure significative sur 18	0 mesure significative sur 15	0 mesure significative sur 14	1 mesure significative sur 17	4 mesures significatives sur 17
Activité moyenne en ^{137}Cs – résultats significatifs *	$1,3 \pm 0,5$	/	/	/	$4,2 \pm 2$	$3,9 \pm 0,7$
Activité moyenne en ^{137}Cs – résultats inférieurs aux seuils de décision	< 0,5	< 0,5	< 1,2	< 1,3	< 1,3	< 1,3

* Hors valeurs imputables à l'accident de Fukushima.

Les fruits

Les radionucléides rejetés ou susceptibles d'être rejetés par les installations EDF (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^3H ...) ont été recherchés dans la rhubarbe, les fraises, les poires et les pêches produites à proximité des CNPE respectifs du Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin. Les résultats d'analyses présentent des activités inférieures aux seuils de décision des appareils utilisés. Seul du tritium a été mesuré dans les pêches produites dans la région du Tricastin à une activité de $5,1 \pm 1,8$ Bq/kg frais. Bien que faible, cette valeur est caractéristique d'un environnement sous influence industrielle.

Le vin

Aucune activité significative d'origine anthropique n'a été mesurée dans le vin rouge produit à proximité immédiate des CNPE de Saint-Alban et de Cruas. Seul le potassium 40 d'origine naturelle est mesuré à une activité volumique moyenne de $37,7 \pm 2,7$ Bq/L.

Compartiment aquatique continental

Le Rhône s'écoule depuis le versant méridional du Saint-Gothard, alimente le lac Léman en Suisse puis de l'embouchure à Genève rejoint la frontière française qu'il délimite de Challex à Pougny. En France, la surveillance radiologique du Rhône commence à Injoux-Génissiat où sied un barrage hydro-électrique de la CNR. La radioactivité transportée par le Rhône en amont de la frontière est principalement fixée sur les matières en suspension. Les rejets en tritium de l'industrie horlogère suisse sont responsables d'une radioactivité rémanente du Rhône.

En France, le bassin versant du Rhône est richement nucléarisé (4 CNPE, site de Creys-Malville, site de Marcoule, complexe industriel de Pierrelatte...). Certains de ses affluents sont aussi nucléarisés, tels que l'Isère (FBFC à Romans-sur-Isère) ou encore la Durance (CEA de Cadarache). Les affluents du Rhône sont importants et contribuent à augmenter grandement le volume de ses eaux, induisant ainsi un effet de dilution considérable.

Le Rhône est très différent de la Loire d'un point de vue hydrodynamique. Le débit y est nettement plus important et régulier. À la station de Beaucaire en Arles, le débit annuel moyen du Rhône s'est élevé à 1 790 m³/s en 2010 avec un débit instantané maximal de 5 950 m³/s en décembre. Des cycles sont

observés sur les débits mensuels calculés par la moyenne des débits journaliers obtenus par une mesure des hauteurs ou des débits (figure V.86). Par comparaison avec la Loire, la faible amplitude des cycles saisonniers ne se reflète pas dans les activités mesurées en aval des CNPE. Ce phénomène serait d'autant plus difficile à mettre en évidence que la dilution de rejets liée au débit élevé du Rhône est importante.

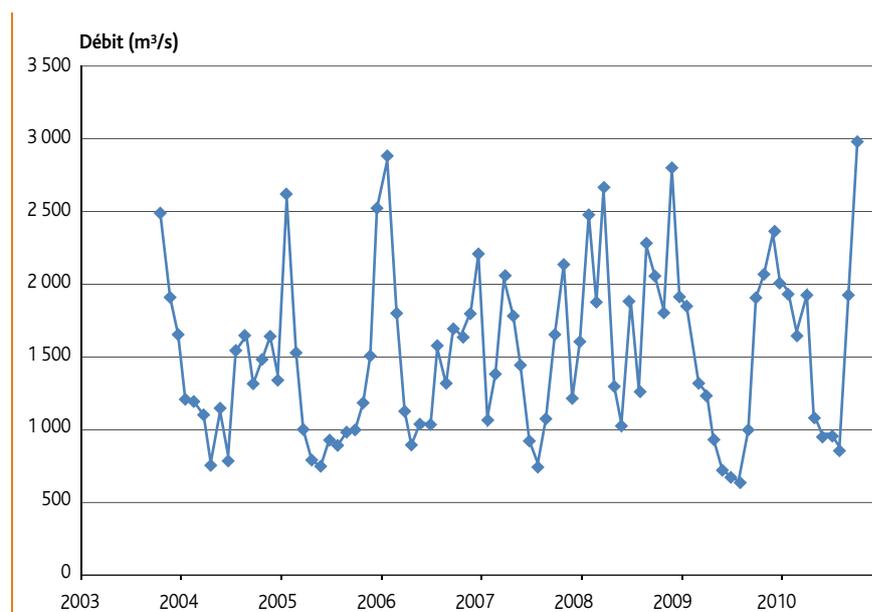


Figure V.86 - Débit mensuel moyen du Rhône à Beaucaire (source : Banque Hydro) (m³/s)

Les eaux de surface

La surveillance chronique des CNPE du Rhône par l'IRSN débute en 1972 (Bugey I-UNGG) par l'installation d'un hydrocollecteur en aval du site (figure V.87). L'activité mesurée en 1973 d'environ 32 Bq/L décroît rapidement sous 20 Bq/L en 1976. À partir des années 1980, l'ensemble des CNPE est surveillé par l'IRSN. L'activité décroît encore d'un facteur 2 jusqu'en 1998. Les performances métrologiques ont montré leur limite entre cette période et 2008, lorsque l'activité en tritium dans le Rhône est passée sous 10 Bq/L en moyenne. C'est à partir de 2008 que les seuils de décision ont été améliorés (5 Bq/L puis 1 Bq/L en 2010) et que l'activité dans le Rhône est devenue à nouveau quantifiable.

Du strontium 90 est mesuré ponctuellement en aval du CNPE du Bugey à des activités proches des seuils de décision de l'ordre de 0,004 Bq/L. La mesure du strontium 90 en aval du CNPE du Bugey trouve son origine

dans l'exploitation de la filière UNGG développée dans les années 1950 en France. Les activités en strontium 90 mesurées ici sont caractéristiques des retombées atmosphériques des tirs d'armes nucléaires militaires.

Les eaux souterraines

Les nappes phréatiques en circulation sous les CNPE de la vallée du Rhône et qui font l'objet d'une surveillance présentent un marquage en tritium de l'ordre de 8 Bq/L, avec une activité maximale mesurée au CNPE du Tricastin de 14 Bq/L. L'activité moyenne en tritium à proximité de chaque CNPE reste stable dans le temps (figure V.88).

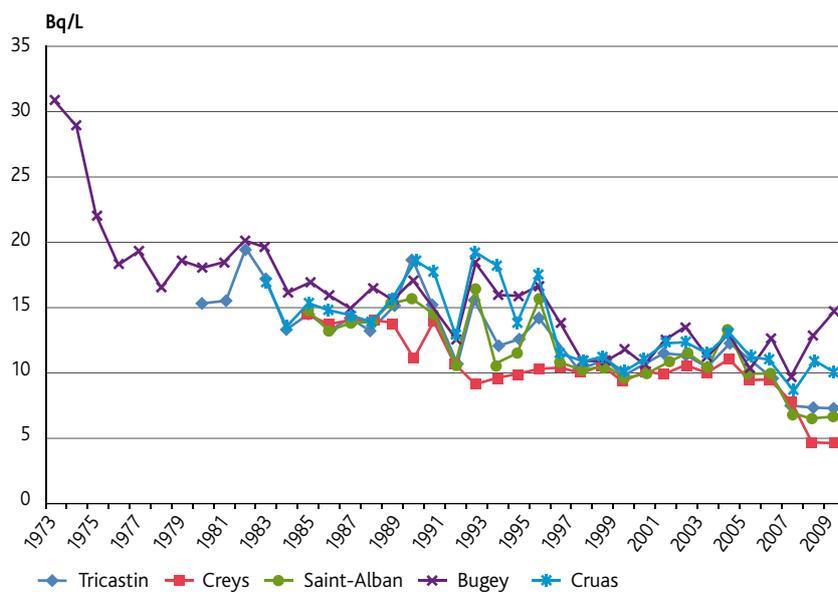


Figure V.87 - Activités significatives (> SD) annuelles moyennes en tritium mesurées dans l'eau du Rhône en aval des CNPE (Bq/L).

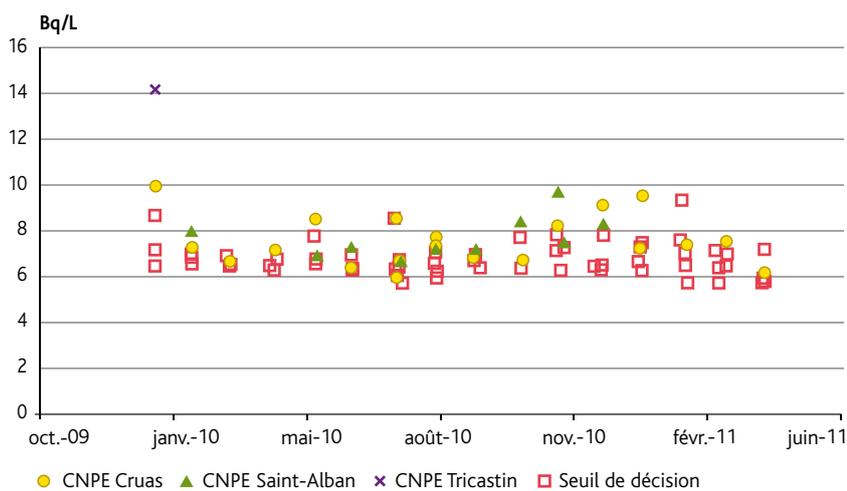


Figure V.88 - Activité moyenne du tritium dans les eaux de nappe à proximité des CNPE de la vallée du Rhône (Bq/L).

La surveillance des centres nucléaires de production d'électricité de la Manche et de la mer du Nord

La façade Manche – mer du Nord regroupe quatre centres nucléaires de production d'électricité (figure V.89) implantés dans le Cotentin (CNPE de Flamanville), en Normandie (CNPE de Penly et Paluel) et dans le Nord (CNPE de Gravelines).



Figure V.89 - Localisation des CNPE de la façade Manche - mer du Nord.



Figure V.90 - CNPE de Flamanville.

Le CNPE de Flamanville

Situé dans le département de la Manche sur la côte ouest du Cotentin, à 30 km au sud-ouest de Cherbourg, le CNPE de Flamanville (figure V.90) regroupe deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW mis en service en 1985 et 1986, ainsi qu'une unité de type EPR d'une puissance de 1 650 MW dont la construction a débuté en 2006.

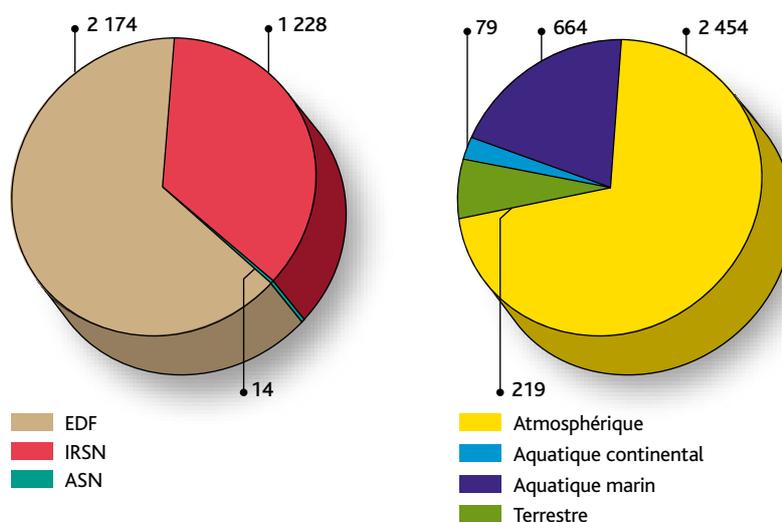


Figure V.91 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Flamanville.

Le CNPE de Paluel

Situé entre Dieppe et Fécamp dans le département de la Seine-Maritime, en bordure du littoral du Pays de Caux, le CNPE de Paluel comprend quatre réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW mis en service en 1984, 1985 et 1986.

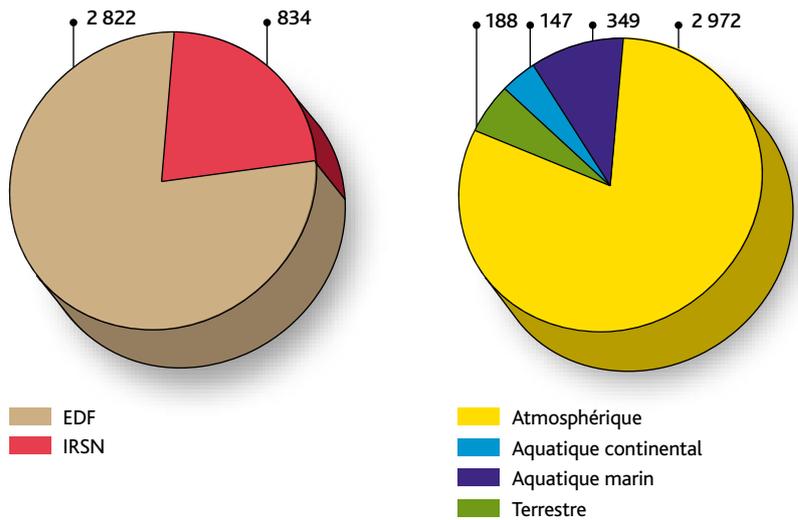


Figure V.92 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Paluel.

Le CNPE de Penly

Situé entre Dieppe et le Tréport dans le département de la Seine-Maritime, sur la côte de la Manche, le CNPE de Penly comprend deux réacteurs à eau pressurisée de 1 300 MW mis en service en 1990 et 1992.

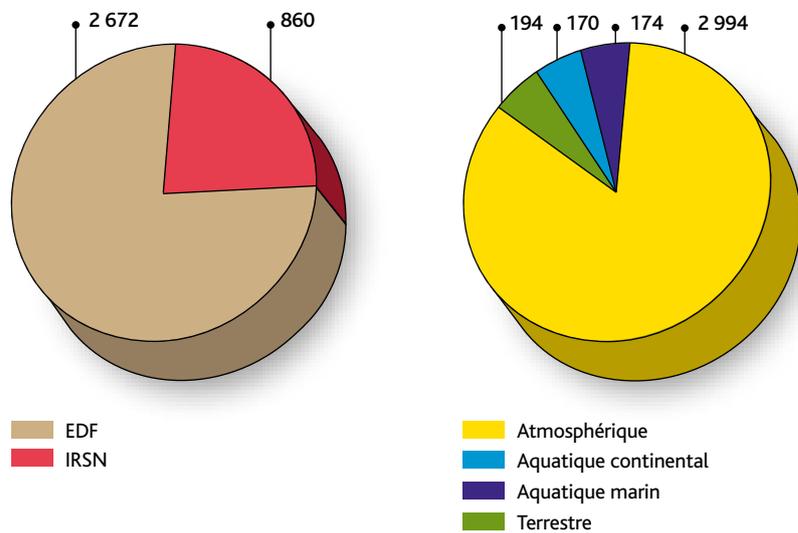


Figure V.93 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Penly.

Le CNPE de Gravelines

Situé dans le département du Nord entre Dunkerque et Calais, en bordure de la mer du Nord, le CNPE de Gravelines comprend six réacteurs à eau pressurisée de 900 MW mis en service en 1980, 1981, 1984 et 1985.

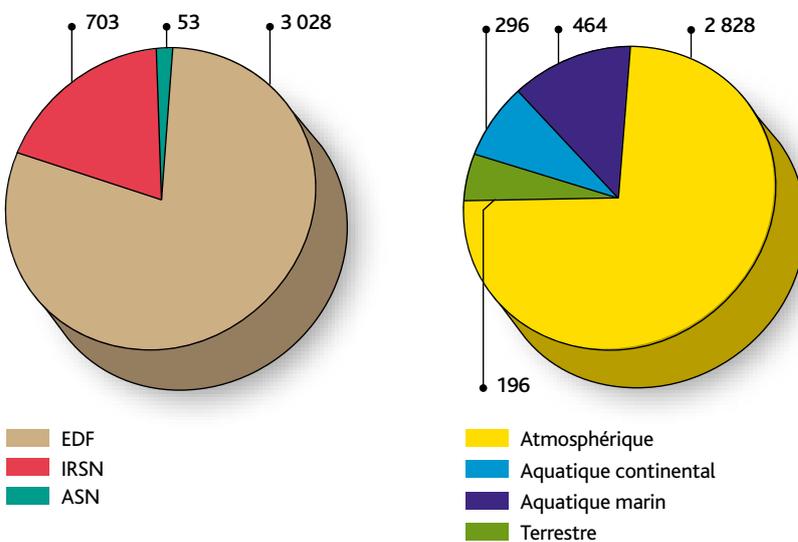


Figure V.94 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Gravelines.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations réalisées pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale (figure V.95). Les spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels (^7Be et ^{210}Pb), aucun radionucléide artificiel n'était mesuré dans l'environnement au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés.

Des présences significatives d'iode 131 ont été observées dans les aérosols entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011 (tableau V.37). Comme pour le reste du territoire français, ces résultats témoignent des retombées radioactives de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. L'augmentation de l'indice d'activité bêta entre la fin du mois de mars 2011 et la fin du mois d'avril 2011 (tableau V.38) est ainsi essentiellement due à la présence de radionucléides artificiels issus des retombées de l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

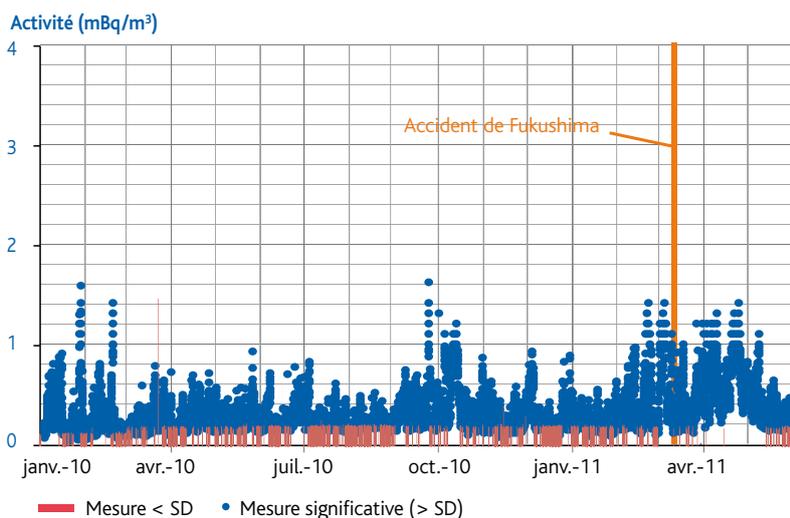


Figure V.95 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE de la Manche et de la mer du Nord (mBq/m³).

Tableau V.37 - Radionucléides mesurés dans les aérosols de l'environnement des CNPE de la Manche et de la mer du Nord pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011 (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE de Flamanville, Gravelines, Paluel, et Penly	Césium 134	< 0,037
	Césium 137	< 0,040
	Iode 131	0,085 ± 0,03

Tableau V.38 - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement des CNPE de la Manche et de la mer du Nord (mBq/m³).

Établissement	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
CNPE de Flamanville	Indice d'activité bêta	0,23 ± 0,01
		0,56 ± 0,02*
CNPE de Gravelines		0,24 ± 0,01
		0,47 ± 0,02*
CNPE de Paluel	0,24 ± 0,01	
	0,59 ± 0,02*	
CNPE de Penly	0,25 ± 0,01	
	0,48 ± 0,02*	

* Mesures effectuées entre le 22 mars et le 6 mai 2011 pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima.

Les eaux de pluie et les gaz prélevés par barboteurs

Le tritium mesuré dans les eaux de pluie collectées à proximité des CNPE de la Manche et de la mer du Nord est détecté épisodiquement à des valeurs proches des seuils de décision (figure V.96).

Aucune activité en tritium n'a été détectée dans l'air ambiant prélevé par barboteurs dans l'environnement de ces CNPE.

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Outre les observations réalisées pendant la période de l'accident de Fukushima, les résultats d'analyse d'herbe par spectrométrie gamma sont restés inférieurs aux seuils de décision des appareils utilisés.

À la suite de l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima, des traces d'iode 131 ont été détectées dans les herbes prélevées par les exploitants des CNPE de Flamanville, Paluel et Penly entre fin mars et début avril 2011. De même, les césiums 134 et 137 ont été mesurés à proximité de la centrale de Flamanville à des niveaux proches des seuils de décision des appareils utilisés.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les sols

Le césium 137 est détecté systématiquement dans les échantillons de sol prélevés à proximité des CNPE de Paluel, Penly et Gravelines (tableau V.39). Celui-ci a principalement pour origine les retombées radioactives des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl.

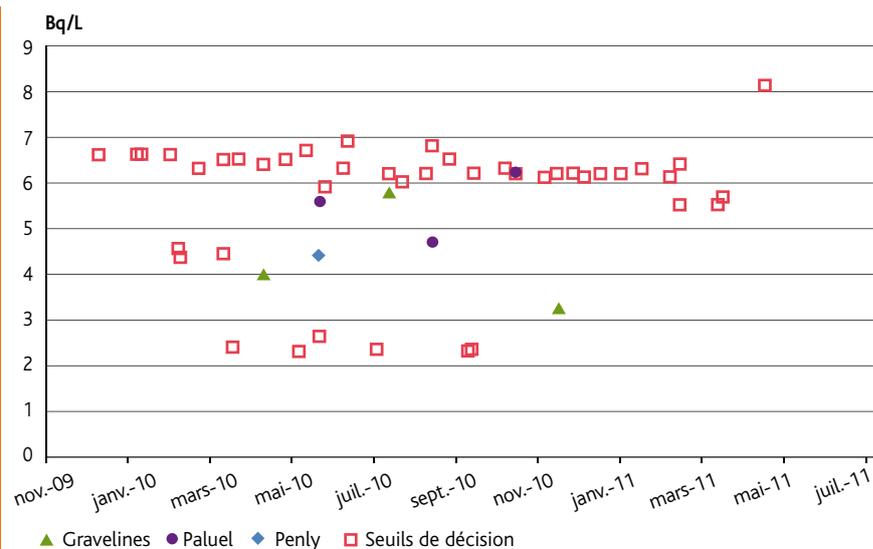


Figure V.96 - Activité du tritium dans l'eau de pluie collectée à proximité des CNPE de la Manche et de la mer du Nord (Bq/L).

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les centrales REP ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collectés aux abords des CNPE.

Le lait

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans le lait de vache est principalement due au potassium 40 dont l'activité volumique moyenne est comprise entre $45,8 \pm 1,7$ et $54,3 \pm 2,6$ Bq/L, selon le secteur géographique. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées dans les laits collectés à l'échelle du territoire. Pour les radionucléides d'origine artificielle (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H), les activités volumiques sont inférieures aux seuils de décision des appareils utilisés. Seule une mesure significative en carbone 14 est

observée dans un prélèvement de lait produit près du CNPE de Penly, à des activités proches de celles mesurées hors influence des installations nucléaires ($16 \pm 4,9$ Bq/L).

Les légumes

En 2010, les salades produites à proximité des sites de Paluel, Penly et Gravelines ont fait l'objet d'un contrôle de radioactivité. Des poireaux et des pommes de terre ont également été prélevés dans la zone d'influence respective des CNPE de Flamanville et Gravelines. Aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté dans les légumes prélevés à proximité des centrales de Flamanville, Paluel et Gravelines. Des traces de césium 137, proches des seuils de décision, ont été mesurées sur les laitues prélevées à proximité de Penly à des activités de $0,035 \pm 0,007$ Bq/kg frais.

Tableau V.39 - Activités mesurées dans les sols (Bq/kg sec).

Radionucléide	CNPE de Gravelines	CNPE de Paluel	CNPE de Penly
^{137}Cs	$3,29 \pm 0,19$	$5,5 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,9$

Compartiment aquatique

Les mesures réalisées sur les eaux prélevées dans les ouvrages de rejet et dans la Manche pour ces CNPE sont présentées dans le chapitre IV – Milieu marin et littoral.

Les eaux souterraines

CNPE de Flamanville

La nappe phréatique du CNPE de Flamanville présente des activités ponctuelles en tritium comprises entre 6 et 16 Bq/L et une activité médiane pour l'ensemble des points de prélèvement de 6,9 Bq/L (figure V.97).

CNPE de Paluel

Les circulations d'eau au sein de la nappe phréatique sont liées à la fracturation particulièrement importante dans les valleuses, où des réseaux karstiques se développent préférentiellement. L'influence des marées sur les niveaux de la nappe à l'intérieur des terres est très variable à l'échelle du site. Aucune activité significative n'a été mesurée hormis l'activité bêta globale qui peut varier en fonction de la salinité de la nappe selon l'influence des marées (figure V.98) en lien avec le ^{40}K .

CNPE de Penly

Le marquage en tritium de la nappe phréatique superficielle sous le CNPE de Penly, considérée comme fermée hydrauliquement à sa base, est de l'ordre de 15 Bq/L aux points dénommés « nappe N1 » et « nappe N2 », prélevés par l'exploitant.

Au niveau du piézomètre N1 (figure V.99), la rémanence du tritium est faible hormis entre novembre 2010 et février 2011, période au cours de laquelle l'activité en tritium a augmenté jusqu'à 94 Bq/L avant de décroître à des valeurs inférieures à 30 Bq/L. L'exploitant n'a pas identifié l'origine de cette élévation d'activité temporaire.

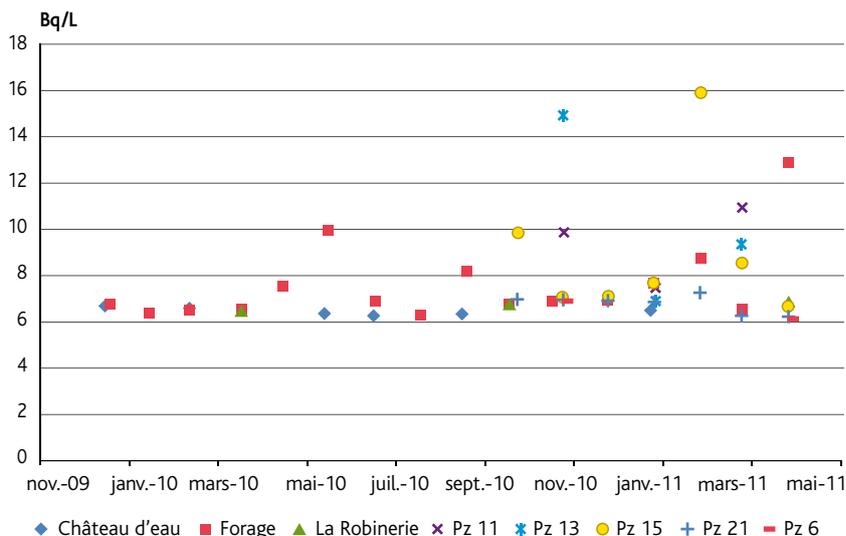


Figure V.97 - Activité du tritium dans l'eau de nappe au droit et à proximité du CNPE de Flamanville (Bq/L).

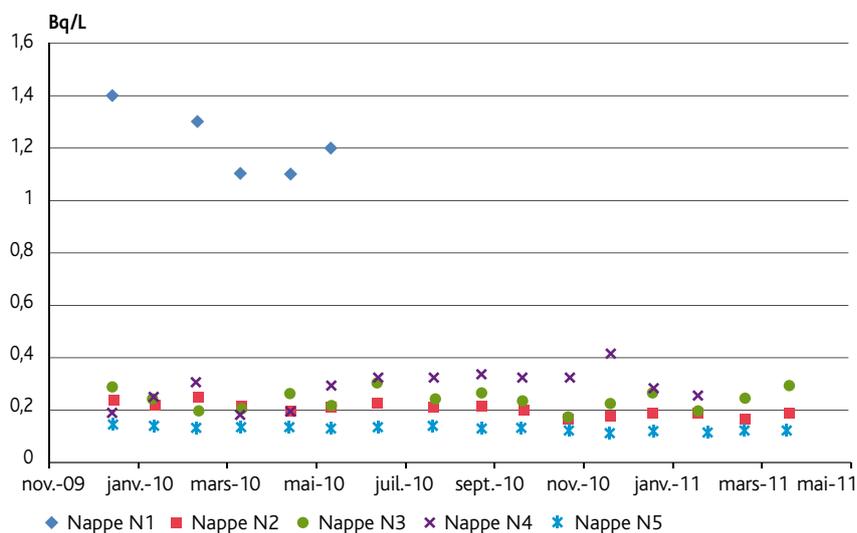


Figure V.98 - Activité bêta globale dans l'eau de la nappe sur le site du CNPE de Paluel (Bq/L).

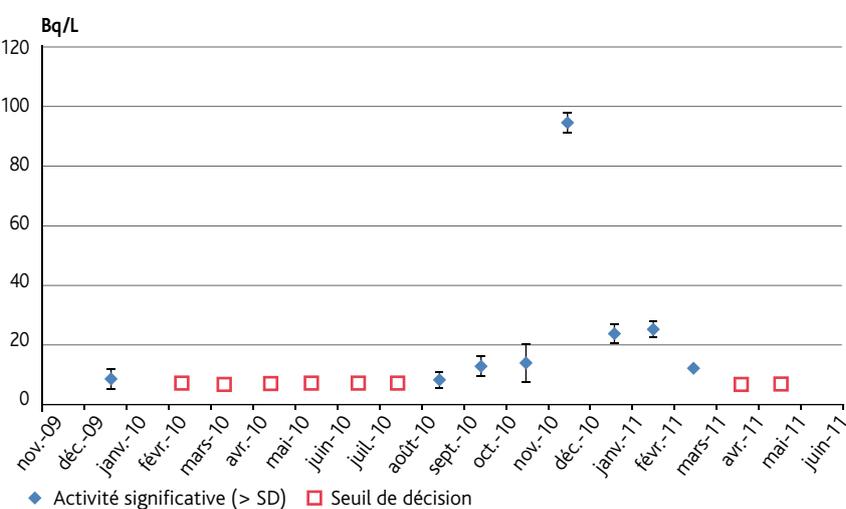


Figure V.99 - Activité du tritium dans l'eau de la nappe N1 sur le site du CNPE de Penly (Bq/L).

Le piézomètre N2 (figure V.100) présente une rémanence du tritium moyenne de 16 Bq/L en décroissance sur la période étudiée.

CNPE de Gravelines

Deux aquifères superficiels du quaternaire sont situés au-dessus d'une couche d'argile des Flandres d'environ 100 mètres d'épaisseur et fortement imperméable. Sous-jacents à cet ensemble figurent trois aquifères profonds de calcaires carbonifères, de craie et de sables d'Ostricourt.

Un marquage en tritium des nappes phréatiques est observé pour sept des onze points de prélèvement. L'activité moyenne observée pour l'ensemble de ces points est de 20 Bq/L. Le point N5 présente un niveau moyen tritié d'environ 20 Bq/L, perturbé entre avril et juillet 2010 par une hausse de l'activité en tritium (figure V.101).

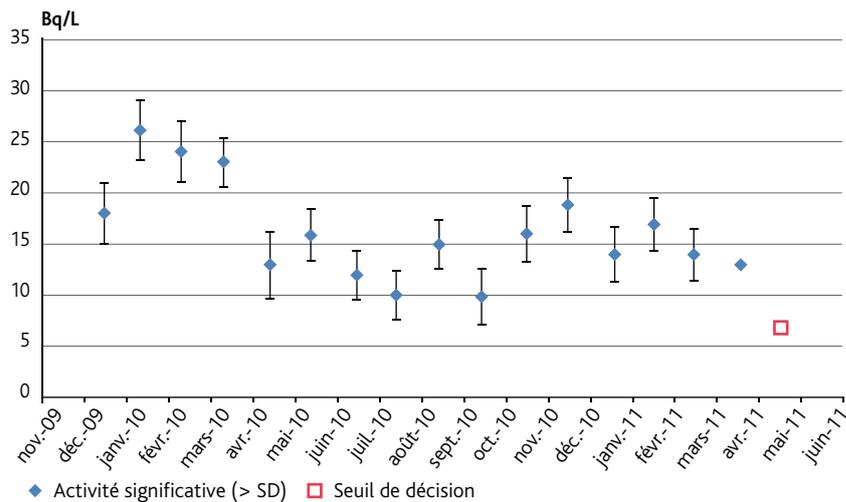


Figure V.100 - Activité du tritium dans l'eau de la nappe N2 sur le site du CNPE de Penly (Bq/L).

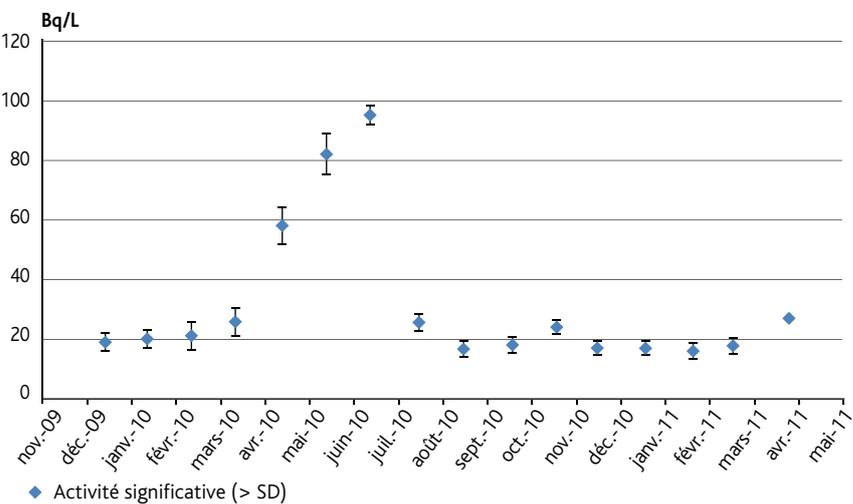


Figure V.101 - Activité du tritium dans l'eau de la nappe N5 sur le site du CNPE de Gravelines (Bq/L).

La surveillance du centre nucléaire de production d'électricité de Nogent-sur-Seine

Il est implanté sur la rive droite de la Seine, à l'ouest de Troyes dans le département de l'Aube, à 120 km au sud-est de Paris. Ce CNPE comprend deux réacteurs à eau pressurisée d'une puissance de 1 300 MW, mis en service en 1987 et 1988.

La Seine accueille un centre nucléaire de production d'électricité implanté à Nogent-sur-Seine (figures V.102 et V.103).

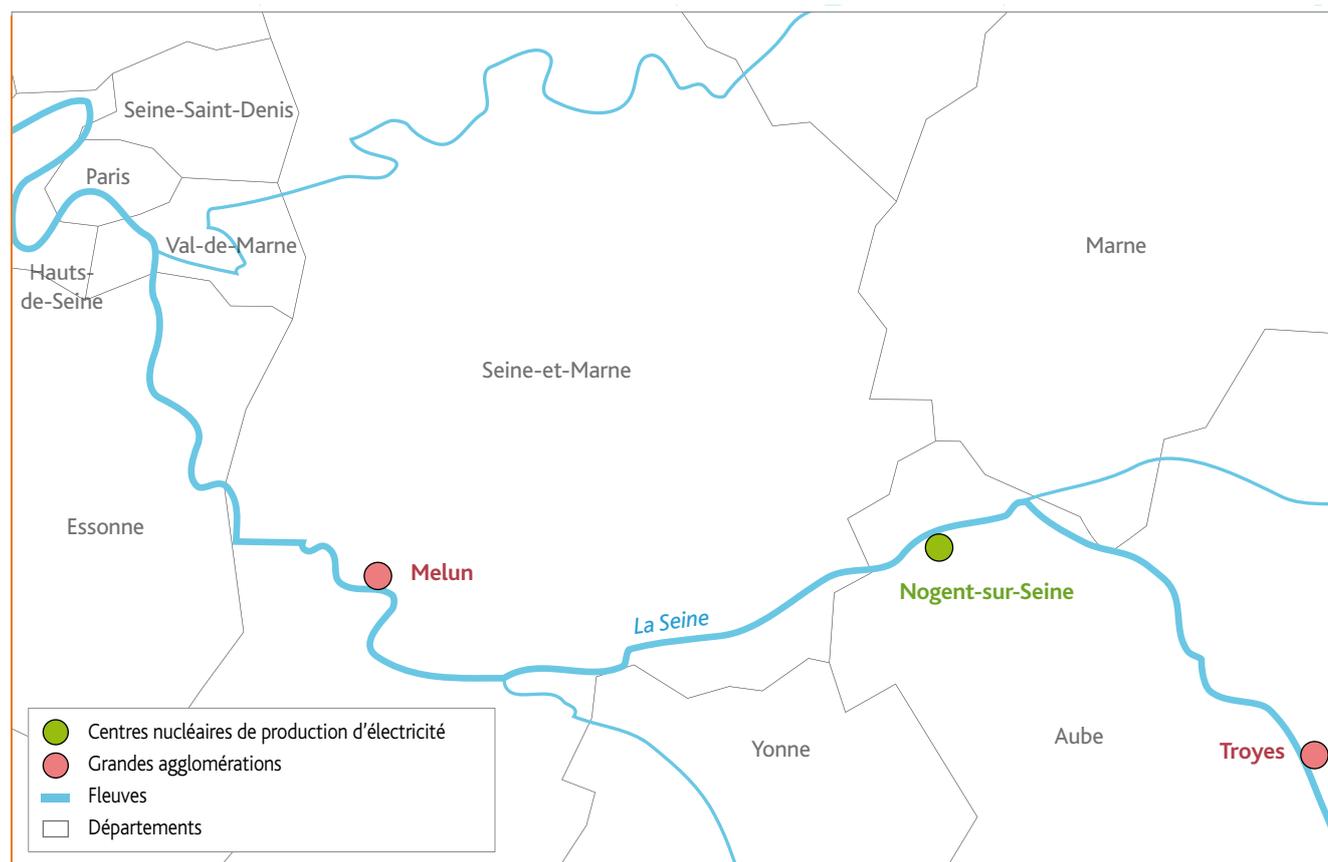


Figure V.102 - Localisation du CNPE de Nogent-sur-Seine.



Figure V.103 - CNPE de Nogent-sur-Seine.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Les spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels, aucun radionucléide artificiel n'était présent dans l'environnement au-dessus des seuils de décision des appareils de mesure utilisés.

Comme pour les autres CNPE, une augmentation de l'indice d'activité bêta essentiellement liée aux retombées de l'accident de Fukushima a été observée entre la fin du mois de mars 2011 et la fin du mois d'avril 2011 (tableau V.40 et figure V.105).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

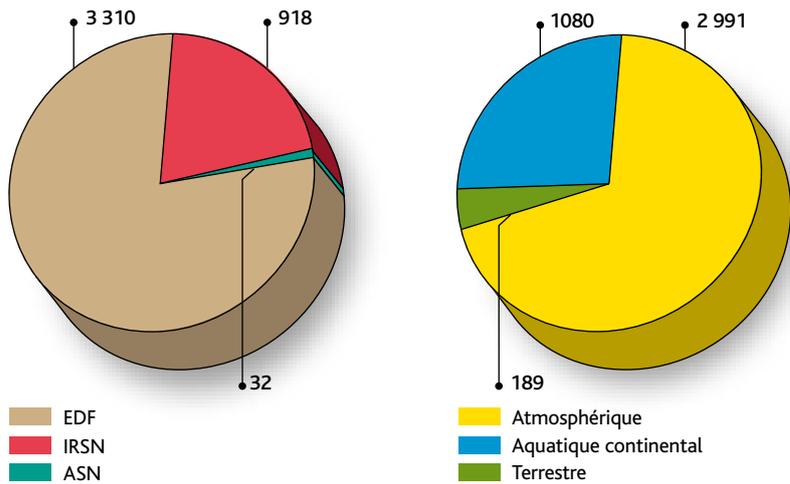


Figure V.104 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Nogent-sur-Seine.

Tableau V.40 - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m³)
CNPE de Nogent-sur-Seine	Indice d'activité bêta	0,31 ± 0,01 0,62 ± 0,02*

* Mesures effectuées du 22 mars au 6 mai 2011 pendant la période de l'accident de Fukushima.

Les eaux de pluie et les gaz prélevés par barboteurs

Les eaux de pluie collectées en champ proche du CNPE présentent des activités en tritium proches des seuils de décision et dont la valeur maximale est de 4,8 Bq/L entre 2009 et 2010.

Le prélèvement d'air par barboteur, à des fins d'analyse du tritium sous forme de vapeur d'eau, n'a pas mis en évidence d'activité significative en 2010.

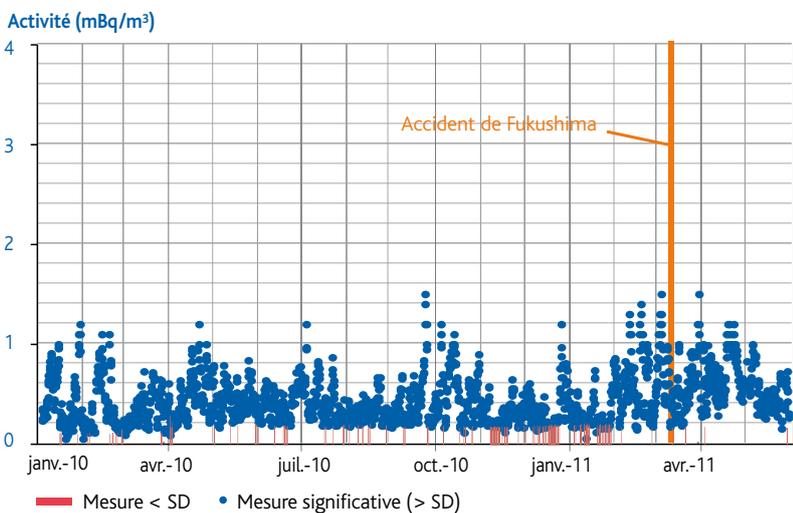


Figure V.105 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du CNPE de Nogent-sur-Seine (mBq/m³).

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Les échantillons d'herbe prélevés mensuellement autour de la centrale de Nogent-sur-Seine ne présentent aucune trace de radioactivité artificielle attribuable aux rejets gazeux émis par cette installation.

Des traces d'iode 131 ainsi que de césiums 134 et 137 ont été mesurées au début du mois d'avril 2011. Celles-ci sont imputables à l'accident survenu le 11 mars 2011 sur la centrale nucléaire japonaise de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les REP ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collectés autour du CNPE de Nogent-sur-Seine.

Le lait

Aucune trace de radioactivité artificielle (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H , ^{90}Sr) n'est mesurée dans les échantillons de lait de vache prélevé à proximité de la centrale de Nogent-sur-Seine. Seul le potassium 40, d'origine naturelle, présente des activités significatives de l'ordre de $51,8 \pm 1,9$ Bq/L.

Les légumes

La radioactivité mesurée dans les légumes est due au potassium 40 d'origine naturelle : son activité est de 130 ± 17 Bq/kg frais dans les salades et de 112 ± 15 Bq/kg frais dans les poireaux prélevés autour de la centrale de Nogent-sur-Seine. Les radionucléides d'origine artificielle (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H ...) ne sont pas détectés par les appareils de mesure utilisés.

Compartiment aquatique continental

La Seine prend sa source à 446 mètres d'altitude à Source-Seine, sur le plateau de Langres en Côte-d'Or. La Seine et son principal affluent, l'Yonne, confluent à Montereau-Fault-Yonne. L'Yonne présente un débit et un bassin versant supérieurs à ceux de la Seine : le débit de l'Yonne est en moyenne de $93 \text{ m}^3/\text{s}$ contre à peine $80 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la Seine. Le CNPE de Nogent-sur-Seine, implanté dans

la partie dénommée « Petite Seine », est situé à 44 km en amont de cette confluence. Le débit du fleuve mesuré à proximité du CNPE à Pont-sur-Seine est présenté sur la figure V.106. À cet endroit, la Seine offre une faible déclivité et forme de multiples et profonds méandres. La Seine a un régime relativement régulier, lié au climat océanique de son bassin hydrographique. Elle est néanmoins sujette à des crues importantes qui ont nécessité d'importants travaux de régulation dans la partie supérieure de son cours et de ses affluents. Son débit moyen à Paris est d'environ $328 \text{ m}^3/\text{s}$ et peut dépasser $1\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ en période de crue.

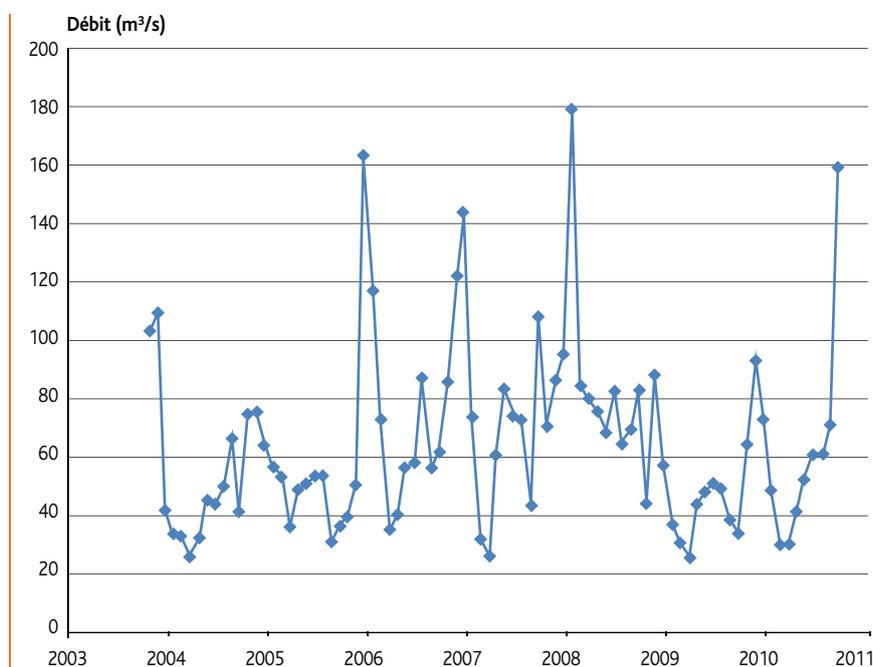


Figure V.106 - Débit mensuel moyen de la Seine à Pont-sur-Seine (source : Banque Hydro) (m^3/s).

Les eaux de surface

En 2010, aucune activité alpha globale ou bêta globale anormale n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en amont et en aval du CNPE de Nogent-sur-Seine. Les analyses réalisées sur les eaux de la Seine prélevées en aval du CNPE ont mis en évidence la présence de tritium de l'ordre de 50 Bq/L en moyenne (figure V.108), avec à l'étiage (figure V.107) en juin 2010 une activité maximale de 110 Bq/L, due aux rejets liquides du CNPE.

Le marquage en tritium de l'eau de Seine prélevée en aval du CNPE est caractéristique du fonctionnement de l'installation (figure V. 109).

Les sédiments

Un prélèvement de sédiments a été réalisé en 2010 en aval du CNPE de Nogent-sur-Seine, à la station à mi-rejet. Les analyses réalisées par spectrométrie gamma révèlent la présence de césium 137 à une activité de $4,6 \pm 0,8$ Bq/kg sec. Les autres radionucléides émetteurs gamma potentiellement présents dans les rejets d'effluents liquides des REP (^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs ...) n'ont pas été détectés.

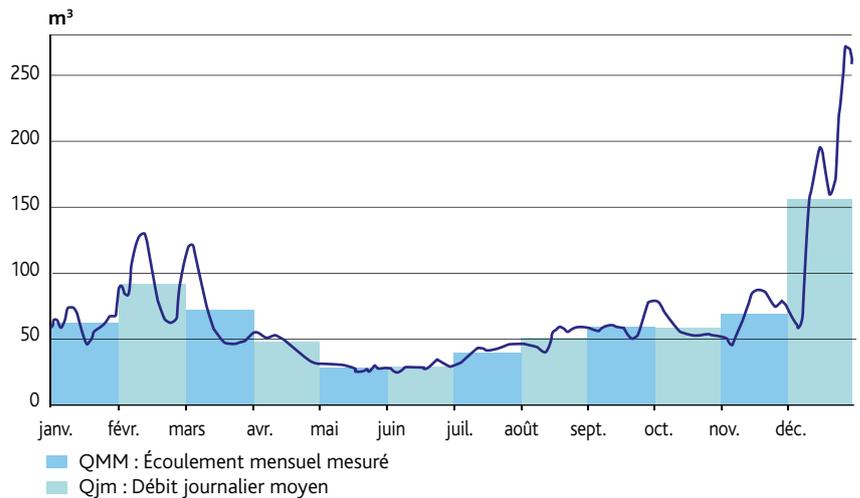


Figure V.107 - Débit journalier de la Seine à Pont-sur-Seine en 2010 (source : Banque Hydro) (m³).

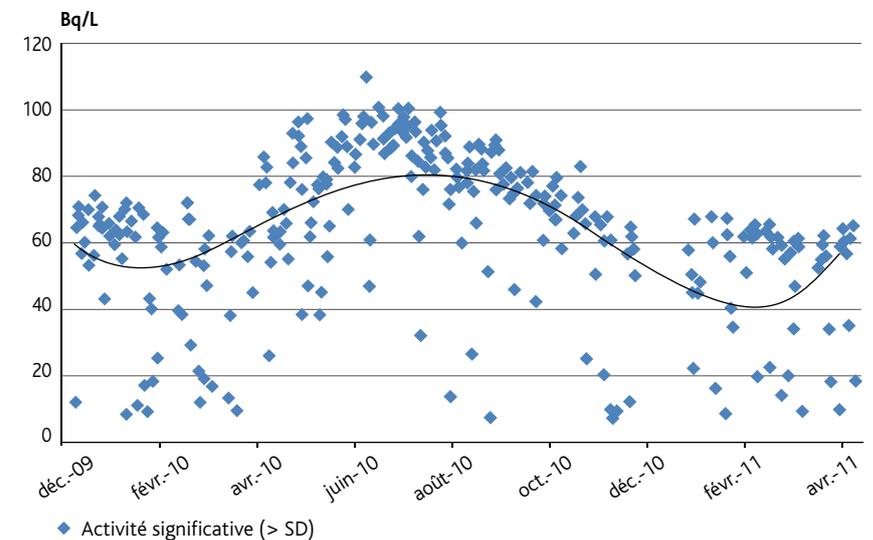


Figure V.108 - Activité du tritium mesurée à la station aval du CNPE de Nogent-sur-Seine (Bq/L).

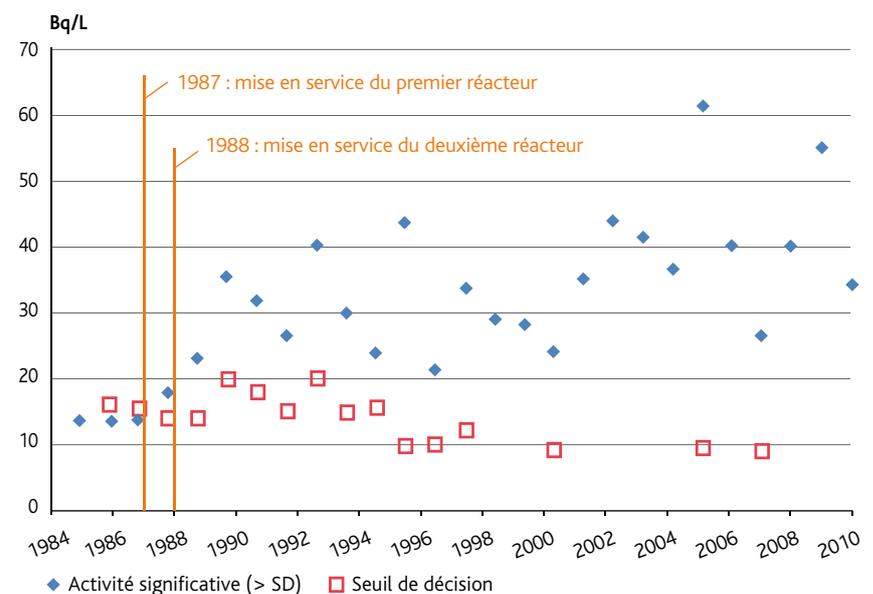
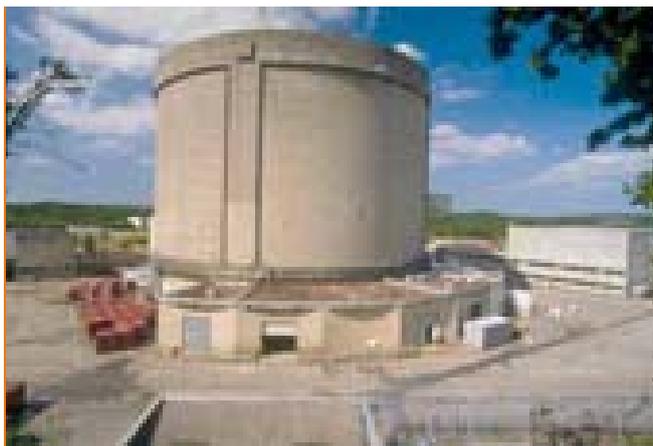


Figure V.109 - Activité annuelle du tritium mesurée historiquement en aval du CNPE de Nogent-sur-Seine (Bq/L).

La surveillance du centre nucléaire de production d'électricité de Brennilis

Le site nucléaire de Brennilis est situé en Bretagne sur les communes de Loqueffret et Brennilis dans le Finistère, dans les Monts d'Arrée, à environ 25 km de Carhaix-Plouguer, à 25 km au sud de Morlaix et 60 km de Brest (figure V.110).



© EDF

Figure V.111 - CNPE de Brennilis.

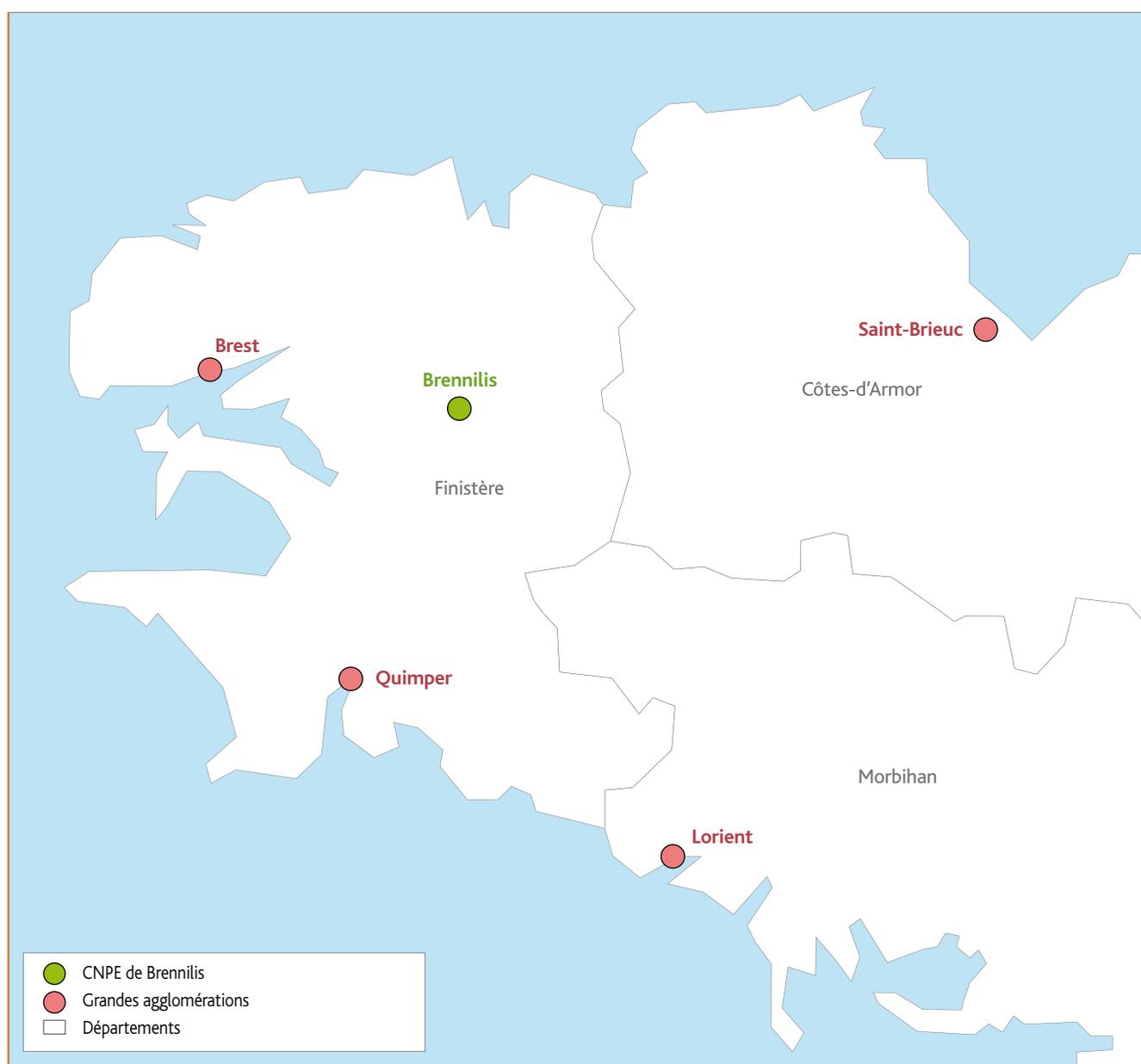


Figure V.110 - Localisation du CNPE de Brennilis.

Le réacteur de Brennilis (figure V.111), prototype industriel de la filière à eau lourde d'une puissance de 70 MWe, a été mis en service en 1967 et exploité conjointement par EDF et le CEA jusqu'à son arrêt définitif en 1985, date à laquelle les opérations de démantèlement du réacteur ont débuté. Le site des Monts d'Arrée (SMA) est devenu, fin octobre 1996, une installation d'entreposage des matériels de l'ancienne centrale nucléaire dont EDF, en septembre 2000, est devenu le seul exploitant.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale (figure V.113) et, à l'exception des radionucléides naturels (^7Be , ^{210}Pb), aucun autre radionucléide n'a été détecté par spectrométrie gamma au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés.

Des présences significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont également été observées à Brennilis entre la fin du mois de mars 2011 et le début du mois de mai 2011 suite à l'accident de Fukushima (tableau V.41). L'augmentation de l'indice d'activité bêta liée aux retombées de l'accident de Fukushima a été observée pendant cette même période (tableau V.42).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les eaux de pluie et les gaz prélevés par barboteurs

Le tritium mesuré dans les eaux de pluie collectées à proximité du CNPE de Brennilis n'a pas été détecté au-dessus des seuils de décision des appareils de mesure utilisés. Par ailleurs, aucune activité en tritium n'a été détectée dans l'air ambiant.

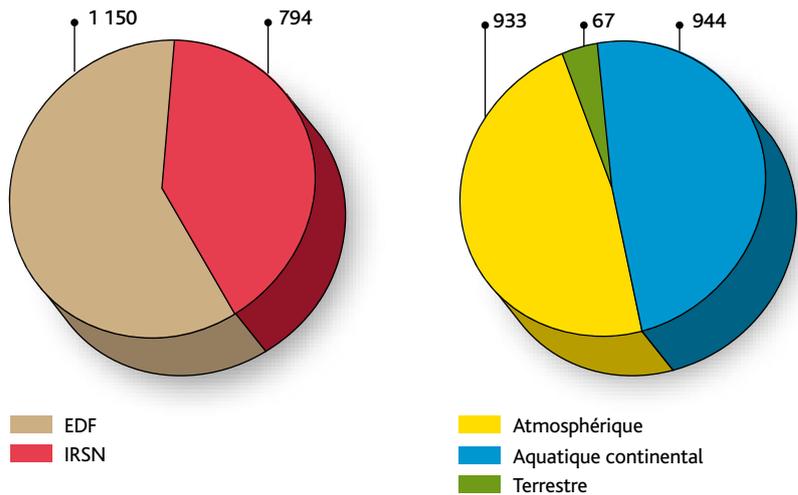


Figure V.112 - Répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux pour le CNPE de Brennilis.

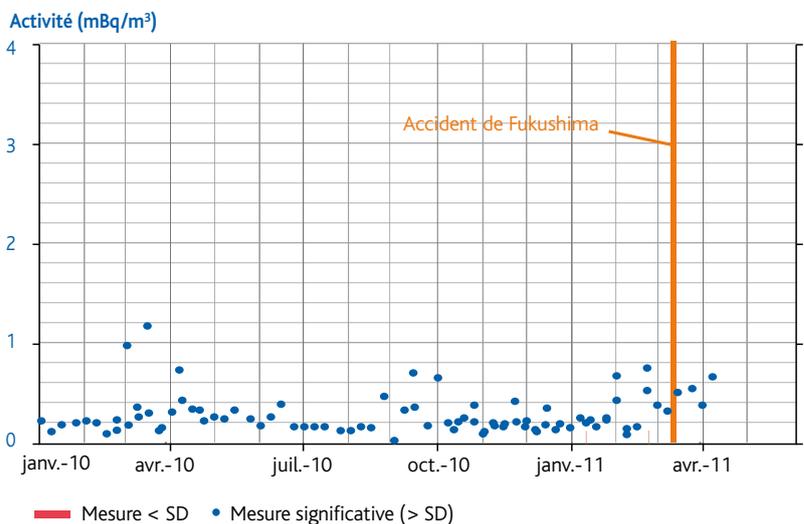


Figure V.113 - Chronique de l'indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du CNPE de Brennilis (mBq/m³).

Tableau V.41 - Radionucléides mesurés dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site de Brennilis et mesurés pendant la période de l'accident de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011 (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m³)
CNPE Brennilis	Césium 134	0,042 ± 0,010
	Césium 137	0,048 ± 0,008
	Iode 131	0,40 ± 0,09

Tableau V.42 - Indice d'activité bêta des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site de Brennilis (mBq/m³).

Installation	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m³)
CNPE Brennilis	Indice d'activité bêta	0,18 ± 0,01 0,51 ± 0,05*

* Mesures effectuées du 22 mars au 6 mai 2011 pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima.

Compartiment terrestre

La flore terrestre

Trois valeurs significatives en césium 137 ont été mesurées sur les herbes prélevées à proximité du CNPE de Brennilis sur les huit mesures effectuées en 2010 (prélèvements trimestriels sur deux points de surveillance). Les activités massiques significatives mesurées s'élèvent à $5,4 \pm 1,1$ Bq/kg sec en juin 2010 et 13 ± 3 Bq/kg sec en septembre 2010 à 1,5 km sous les vents dominants de l'installation, et à $4,3 \pm 1,2$ Bq/kg sec à 4 km sous les vents dominants. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus hors influence des rejets atmosphériques et témoignent donc de l'absence d'influence des rejets passés du site pour les radionucléides analysés.

Les productions agricoles et les aliments

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par la centrale nucléaire de Brennilis ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collectés à proximité de cette installation.

Le lait

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans le lait de vache est principalement due au potassium 40 dont l'activité volumique moyenne s'élève à $49,1 \pm 3,3$ Bq/L. Pour les radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être rejetés par le site de Brennilis et transférés dans le lait (^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^3H), les activités volumiques sont inférieures aux seuils de décision.

Les légumes

En 2010, aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté dans l'échantillon de chou pommé analysé par spectrométrie gamma.

Le cidre

La radioactivité mesurée dans le cidre produit dans les environs de la centrale de Brennilis est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle, dont l'activité s'élève à $36,4 \pm 3,7$ Bq/L. Aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté.

Compartiment aquatique

Le sous-sol du site est constitué de remblais, d'alluvions, d'arènes granitiques, de granites altéré et sain. La nappe au droit du site circule essentiellement dans les arènes et les remblais, mais également dans les alluvions et le granite altéré.

Aucune activité significative en tritium n'a été mesurée entre 2010 et 2011 dans les eaux de surface ou dans les eaux souterraines analysées.

V.5 LA SURVEILLANCE DES INDUSTRIES SITUÉES EN AVAL DANS LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

L'industrie de cette partie du cycle reçoit le combustible déchargé des réacteurs, réalise des opérations de maintenance ou de démantèlement de matériels nucléaires, et effectue le traitement d'effluents liquides et de déchets.

Le site Areva de La Hague assure la première étape du recyclage des combustibles usés provenant des réacteurs nucléaires. Le site jouxte le Centre de stockage de la Manche (CSM) de l'Andra. La surveillance radiologique environnementale étant commune à ces deux sites, elle est restituée ici dans un seul et même chapitre.

Dans ce chapitre sont également présentés les résultats de la surveillance de l'usine de maintenance nucléaire Somanu située à Maubeuge. Les résultats de la surveillance de l'usine Socatri située sur le site industriel du Tricastin sont regroupés avec les autres établissements de ce site exploités par Areva (*chapitre V.3*). Les résultats de la surveillance de l'usine Centraco située sur le site de Marcoule sont regroupés avec ceux du CEA (*chapitre VI*).

Site de La Hague : installations Areva et Andra

Du point de vue de la surveillance environnementale, le site de La Hague est considéré ici comme l'ensemble formé par l'usine Areva de La Hague et le centre de stockage de la Manche de l'Andra.

Le site de La Hague est implanté à la pointe nord-ouest de la presqu'île du Cotentin, à 20 km environ à l'ouest de la communauté urbaine de Cherbourg-Octeville et à 6 km de l'extrémité du Cap de La Hague. Il est situé sur les territoires des communes de Digulleville,

Jobourg, Omonville-la-Petite et Herqueville, dans le département de la Manche (*figure V.114*).

Créée à partir de 1962, initialement pour traiter les combustibles usés des premières centrales à uranium-naturel-graphite-gaz (UNGG), l'actuelle usine Areva de La Hague traite aujourd'hui les combustibles usés des réacteurs à eau sous pression (REP) français et de quelques installations étrangères.

Les rejets gazeux du centre Areva de La Hague sont essentiellement représentés par les gaz rares (226 000 TBq en 2010 soit 48,2 % de l'autorisation de rejet), le tritium (56,8 TBq en 2010 soit 37,9 % de l'autorisation de rejet) et le carbone 14 (16 TBq en 2010 soit 57 % des autorisations).

Les effluents liquides, rejetés en mer, sont dominés par le tritium (9 960 TBq en 2010 soit 53,8 % de l'autorisation) et le carbone 14 (7,34 TBq en 2010). Dans ces rejets, les iodes et les autres produits de fissions (césium, ruthénium 106...) et d'activation représentent environ 5 TBq pour l'année 2010.



Figure V.114 - Implantation du site industriel de La Hague.



© Andra

Figure V.115 - Site industriel de La Hague avec au premier plan le CSM de l'Andra.

Créé en 1969, le centre de stockage de l'Andra couvre une superficie de 15 ha (figure V.115). Il a accueilli son dernier colis en 1994 (près de 530 000 m³ de déchets au total). Après plusieurs années de travaux de couverture, le centre est passé en phase de surveillance en 2003. Les rejets radioactifs (dits « à risques »), issus des eaux de drainage sur et sous les ouvrages stockés, sont collectés avant d'être orientés vers le centre Areva voisin pour être rejetés en mer (4,04 GBq de ³H rejeté en 2010 soit 3,2 % de l'autorisation).

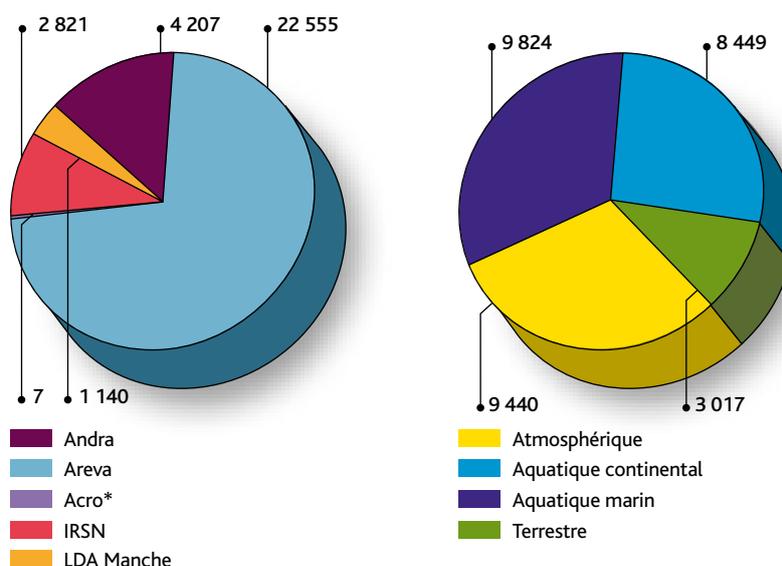


Figure V.116 - Site de La Hague, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux.

* Des prélèvements supplémentaires d'eau douce et d'eau de mer ont été transmis par l'Acro au RNM pour l'année 2010. Les mesures n'ont pas pu être exploitées dans ce bilan (transmission après juillet 2011) mais sont consultables sur le site Internet du RNM (www.mesure-radioactivite.fr).

Compartiment atmosphérique

Les aérosols

En dehors des observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, aucune activité en radionucléide artificiel n'a été décelée dans l'environnement sur la période 2010-2011 (figure V.116 et figure V.117).

Comme pour la majorité des prélèvements d'aérosols effectués dans l'environnement, des activités significatives en césium 134, césium 137 et en iode 131 ont été observées à proximité du site de La Hague entre la fin du mois de mars et le début du mois de mai 2011 (tableau V.43). Elles s'expliquent par l'arrivée sur le territoire français des masses d'air contaminées issues de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Celles-ci ont également entraîné une augmentation de l'indice d'activité bêta sur la même période (figure V.118).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

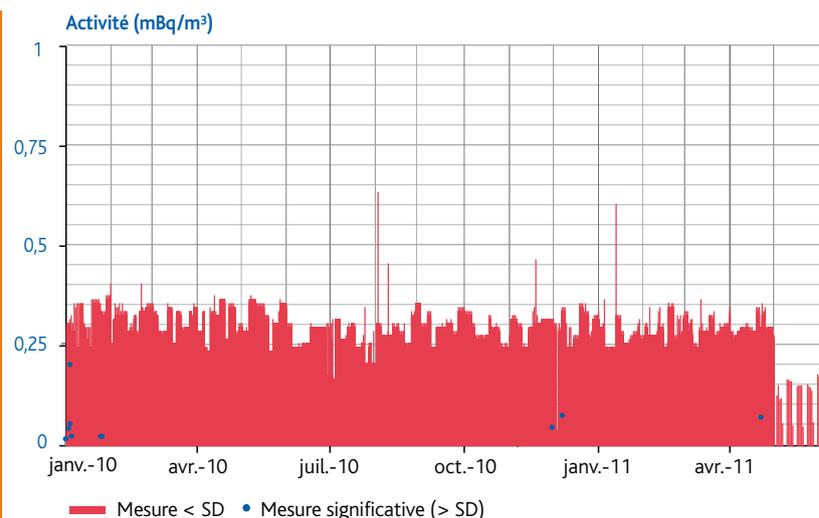


Figure V.117 - Chronique de l'indice d'activité alpha globale des aérosols à proximité du site de La Hague (mBq/m³).

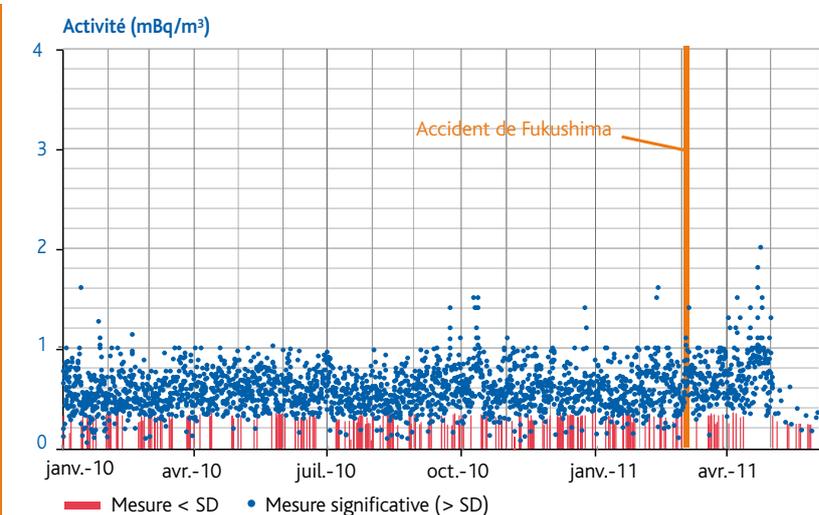


Figure V.118 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité du site de La Hague (mBq/m³).

Tableau V.43 - Activités mesurées dans les aérosols prélevés dans l'environnement du site de La Hague (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,077 ± 0,002
	Activité bêta	0,34 ± 0,01 0,60 ± 0,03*
Radionucléides d'origine artificielle	Césium 134	0,045 ± 0,006*
	Césium 137	0,050 ± 0,007*
	Iode 131	0,077 ± 0,012*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima entre le 22 mars et le 6 mai 2011.

Le tritium et le carbone 14 atmosphériques

Les rejets d'effluents gazeux sont réglementés par l'arrêté de 2007 pour l'exploitation du site nucléaire de La Hague. Les rejets gazeux proviennent de la ventilation des ateliers et des appareils de procédé. Ils subissent divers traitements successifs d'épuration en fonction de la nature physico-chimique des éléments.

La majeure partie du tritium est piégée sous forme d'eau tritiée qui constituera les effluents liquides rejetés en mer. Une faible fraction du tritium est évacuée sous forme gazeuse. Dans l'atmosphère, le tritium mesuré à l'aide de barboteurs n'est pas mesuré à des niveaux significatifs. Le seuil de décision moyenne observée à La Hague est comprise entre 0,60 et 0,78 Bq/m³.

Le prélèvement du carbone 14 atmosphérique dans l'environnement par barbotage met en évidence une activité moyenne de l'ordre de 0,05 Bq/m³ d'air mesurée au niveau de cinq stations de prélèvement situées à proximité du site Areva (figure V.119).

À titre de comparaison, l'activité du carbone 14 dans l'air en zone non influencée par une activité nucléaire est d'environ 0,03 Bq/m³. Une étude à laquelle l'IRSN a participé (Fontugne *et al*) attribue au dégazage de ¹⁴CO₂ de l'eau de mer contaminée par les effluents de La Hague, une partie de la teneur en carbone 14 dans la végétation à proximité de la côte.

Les autres gaz (krypton 85, iode 129, iode 131)

La surveillance de l'iode 129 et 131 sous forme gaz n'a pas mis en évidence des rejets significatifs d'iode dans l'environnement par les établissements de La Hague.

Le krypton 85 rejeté par ces mêmes installations lors du traitement des barres de combustible usagé est par contre régulièrement détecté dans l'atmosphère (tableau V.44).

Tableau V.44 - Krypton 85 et isotopes de l'iode sous forme gaz mesurés dans l'environnement proche du site de La Hague (Bq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou limite de détection (Bq/m ³)
Radionucléides sous forme gazeuse d'origine artificielle	Iode 129	< 0,009
	Iode 131	< 0,001
	Krypton 85	130 ± 4

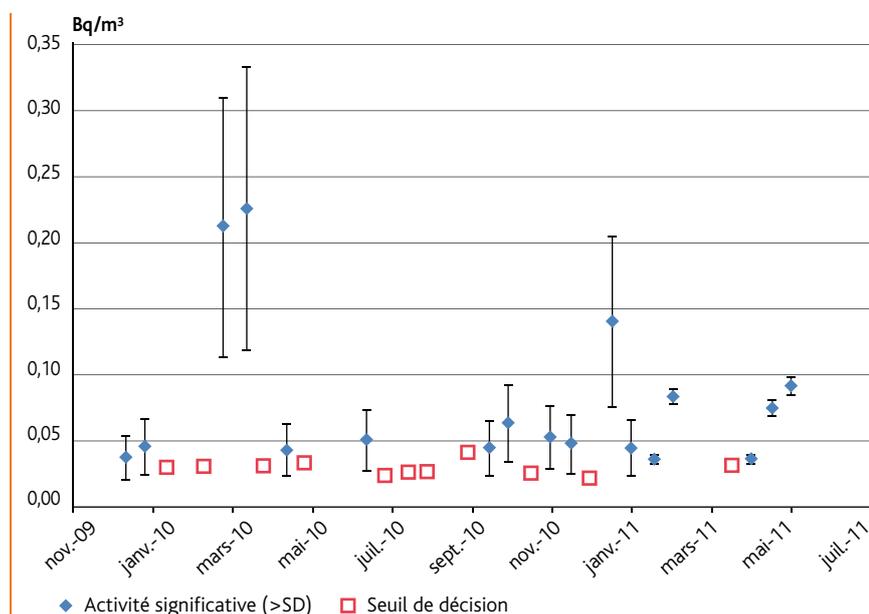


Figure V.119 - Activité du carbone 14 mesurée dans l'air à proximité du site de La Hague (Bq/m³).

Les eaux de pluie

Le climat dominant du Cotentin est de type océanique (900 millimètres de pluie en 2010, répartis sur 150 jours en moyenne). Les eaux de pluie sont collectées dès qu'il pleut en différents points à proximité du site de La Hague. Les mesures sont réalisées à fréquence hebdomadaire sur le mélange mensuel.

Aucune activité en radionucléides artificiels, hors tritium, n'a été mesurée dans les eaux de pluie au-dessus des seuils de décision. En champs proche du site, il est observé une activité moyenne de 11,5 Bq/L de tritium avec une valeur maximale mesurée à 52,5 Bq/L par Areva.

L'IRSN mesure depuis 1975 l'activité en tritium de l'eau de pluie collectée à une fréquence hebdomadaire sur la commune de Gréville-Hague (figure V.120). Il apparaît clairement que le tritium n'est plus détecté depuis les années 1980 et ce, malgré l'amélioration des seuils de décision des appareils de mesure qui sont actuellement de l'ordre de 5 Bq/L.

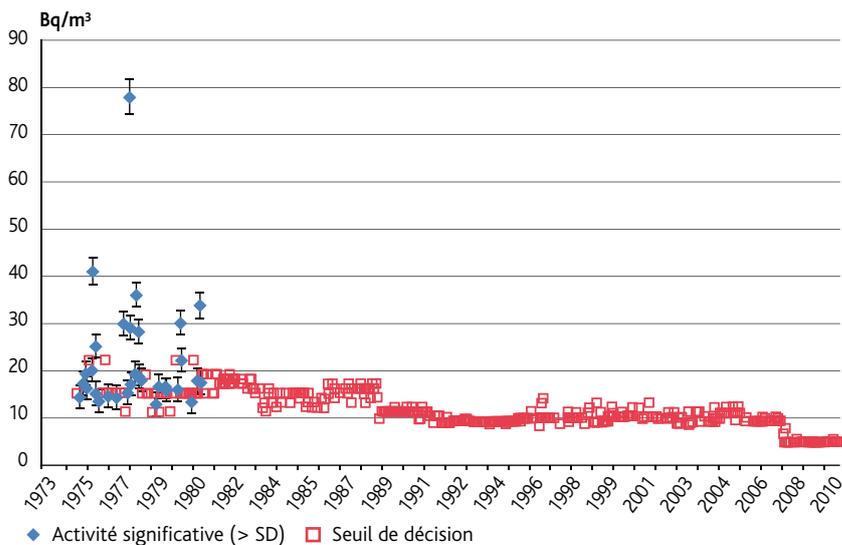


Figure V.120 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de pluie à proximité du site de La Hague (Bq/m³).

Compartiment terrestre

La surveillance de l'environnement autour du site nucléaire de La Hague comprend des prélèvements réguliers de végétaux terrestres, sols, laits et de productions agricoles diverses (légumes, cidre, viande...) à proximité immédiate du site et dans des zones situées sous influence potentielle des rejets des installations.

La flore

Des prélèvements de végétaux terrestres (herbe, pâturage) sont réalisés régulièrement sur douze stations de prélèvement autour du site, sur les communes de Herqueville, Beaumont-Hague, Digulleville, Omonville-la-Petite, Jobourg et Biville (prélèvements mensuels ou trimestriels). En 2011, un prélèvement ponctuel supplémentaire a été effectué à Vauville suite à l'accident de Fukushima (tableau V.45).

La radioactivité d'origine naturelle observée dans les végétaux est majoritairement due au potassium 40. Plusieurs radionucléides d'origine artificielle sont mesurés dans les végétaux : césium 137, tritium lié, carbone 14 et iode 129. Les niveaux relevés présentent

une grande variabilité dans le temps et sont notamment corrélés aux activités rejetées par les installations de La Hague ainsi qu'aux conditions météorologiques au moment du rejet (figure V.121).

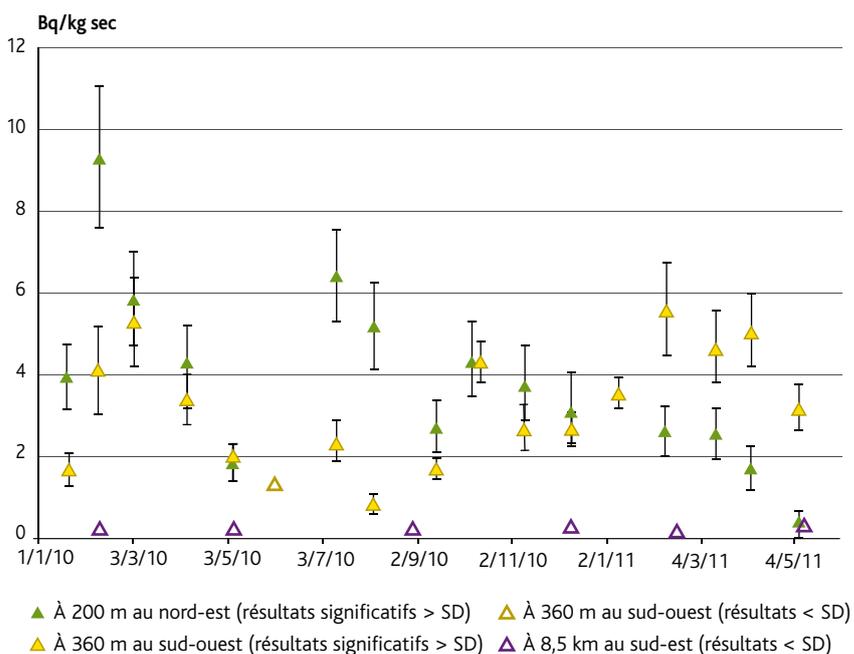


Figure V.121 - Évolution temporelle des activités en iode 129 mesurées dans les herbes prélevées sur les stations les plus influencées (Bq/kg sec).

Tableau V.45 - Activités moyennes mesurées dans les herbes prélevées autour du site de La Hague (Bq/kg sec).

Radionucléide	Jobourg				Digulleville		
	Ouest limite de site	Sud-ouest 360 m	Sud-ouest 1 km	Nord-ouest 1,1 km	Est 110 m	Nord-est 200 m	Nord-est 1,1 km
⁴⁰ K	610 ± 16	644 ± 15	491 ± 22	826 ± 33	759 ± 33	734 ± 19	755 ± 31
¹²⁹ I	0,41 ± 0,06	2,34 ± 0,12	0,71 ± 0,13	< 0,28	nm	2,01 ± 0,12	1,04 ± 0,15
¹³⁷ Cs*	1,79 ± 0,16	< 0,6	< 0,42	< 0,42	< 3,1	0,59 ± 0,08	0,64 ± 0,14
¹⁰⁶ Ru	< 9	< 9	< 7	< 7	< 50	< 8	< 10
Autres radionucléides émetteurs gamma (¹²⁵ Sb, ¹³⁴ Cs, ⁶⁰ Co)	< 2,4	< 2,5	< 1,9	< 1,8	< 13	< 2,3	< 2,6
³ H lié	8,85 ± 0,41	9,4 ± 0,41	4,46 ± 0,41	3,23 ± 0,34	nm	12,19 ± 0,5	8,3 ± 0,6
¹⁴ C	137 ± 6	349 ± 9	120 ± 8	77 ± 7	nm	268 ± 8	205 ± 12
²⁴¹ Am	< 0,37	< 0,41	< 0,26	< 0,23	nm	< 0,5	< 0,41
²³⁸ Pu	< 0,08	< 0,05	< 0,021	< 0,014	nm	< 0,06	< 0,09
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,08	< 0,035	< 0,025	< 0,019	nm	< 0,06	< 0,06
²⁴⁴ Cm	< 0,046	< 0,039	< 0,014	< 0,021	nm	< 0,027	< 0,048
Radionucléide	Omonville-la-Petite		Herqueville	Beaumont-Hague	Vauville	Biville	
	Nord 660 m		Sud 250 m	Sud-est 1,1 km	Sud-est 6 km	Sud-est 8,5 km	
⁴⁰ K	710 ± 18		719 ± 18	580 ± 26	800 ± 90	830 ± 32	
¹²⁹ I	1,79 ± 0,12		0,71 ± 0,07	0,45 ± 0,09	nm	< 0,32	
¹³⁷ Cs*	0,51 ± 0,07		0,82 ± 0,1	< 0,5	< 1,7	< 0,45	
¹⁰⁶ Ru	< 8		< 8	< 9	nm	< 7	
Autres radionucléides émetteurs gamma (¹²⁵ Sb, ¹³⁴ Cs, ⁶⁰ Co)	< 2,2		< 2,1	< 2,3	< 1,3	< 2	
³ H lié	7,5 ± 0,34		6,95 ± 0,34	5,4 ± 0,5	nm	2,72 ± 0,35	
¹⁴ C	271 ± 8		207 ± 7	139 ± 10	nm	91 ± 9	
²⁴¹ Am	< 0,42		< 0,42	< 0,28	nm	< 0,42	
²³⁸ Pu	< 0,027		< 0,025	< 0,02	nm	< 0,08	
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,027		< 0,025	< 0,033	nm	< 0,08	
²⁴⁴ Cm	< 0,039		< 0,042	< 0,023	nm	< 0,031	

* Hors valeurs imputables à l'accident de Fukushima
nm : non mesuré

Les autres radionucléides artificiels émetteurs gamma (^{125}Sb , ^{106}Ru , ^{60}Co ...) n'ont pas été mesurés à des activités significatives. De même, les activités des radionucléides artificiels émetteurs alpha (^{241}Am , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{244}Cm) sont restées inférieures aux seuils de décision.

D'une manière générale, les plus fortes activités des radionucléides artificiels sont relevées sur les stations situées directement sous les vents dominants, c'est-à-dire sur les échantillons prélevés au sud-ouest et nord-est du site de La Hague (figures V.122 à V.124).

En champ proche, c'est-à-dire dans un rayon inférieur à 1 km autour du site, les concentrations en carbone 14, tritium lié et iode 129 témoignent d'un marquage des végétaux terrestres lié aux rejets gazeux du site de La Hague. Ces niveaux décroissent toutefois rapidement avec l'éloignement au site (figure V.125).

Le césium 137 n'est mesuré que ponctuellement en champ proche et n'est plus mesuré en champ plus lointain. Le marquage en iode 129 est également restreint à une zone proche du site.

Sur la station la plus influencée, les activités mesurées fluctuent entre 208 ± 25 et 710 ± 60 Bq/kg sec pour le carbone 14 et entre $6 \pm 1,2$ et $42 \pm 4,4$ Bq/kg sec pour le tritium lié. Ces valeurs sont supérieures aux activités habituellement observées dans les zones non influencées par les rejets d'une installation nucléaire. À 8,5 km au sud-est du site de La Hague, les niveaux d'activités observés oscillent autour de 100 Bq/kg sec pour le carbone 14, et entre $1,8 \pm 0,7$ et $5,3 \pm 1$ Bq/kg sec pour le tritium lié.

Des traces de césiums 134 et 137 ont été mesurées début avril 2011 à Herqueville, Digulleville, Omonville-la-Petite et Jobourg. Celles-ci sont liées à l'évènement survenu à la centrale de Fukushima le 11 mars 2011. Les niveaux d'activités mesurées en césium 134 s'échelonnent de $0,79 \pm 0,34$ à $1,7 \pm 0,47$ Bq/kg sec.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

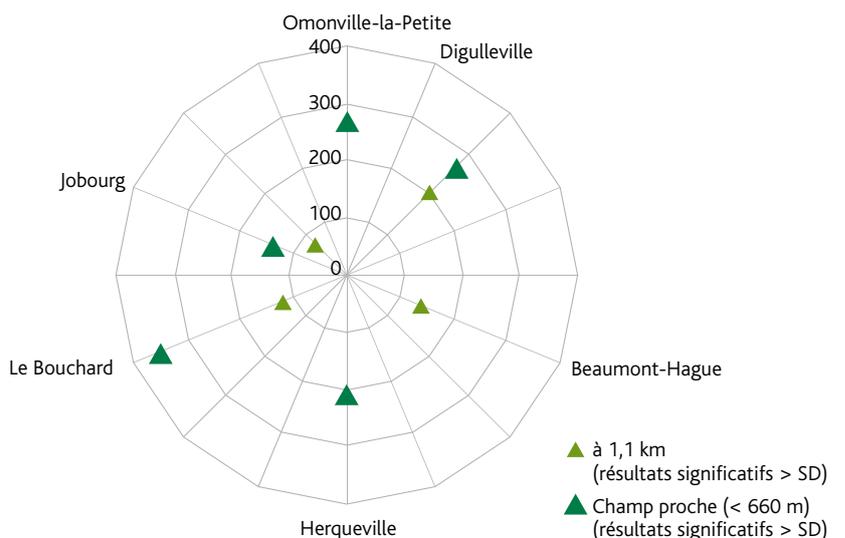


Figure V.122 - Distribution des activités moyennes en carbone 14 mesurées dans les herbes prélevées autour du site de La Hague (Bq/kg sec).

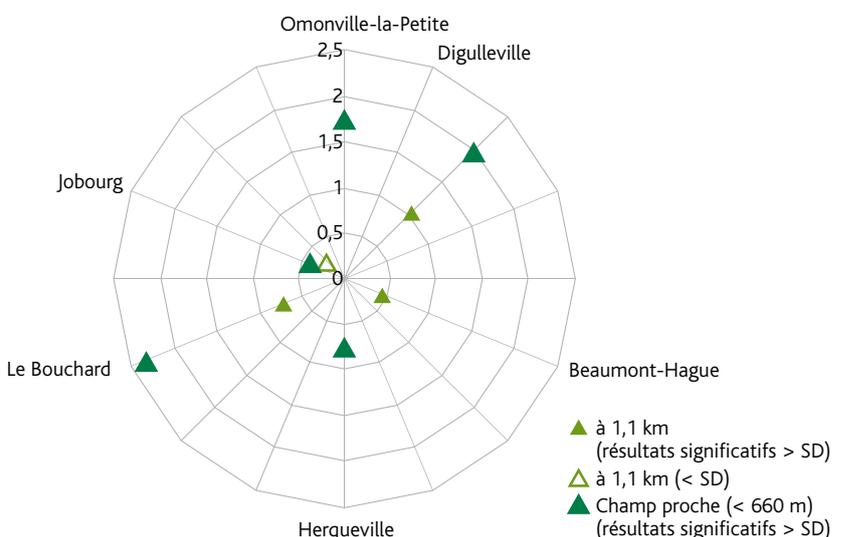


Figure V.123 - Distribution des activités moyennes en iode 129 mesurées dans les herbes prélevées autour du site de La Hague (Bq/kg sec).

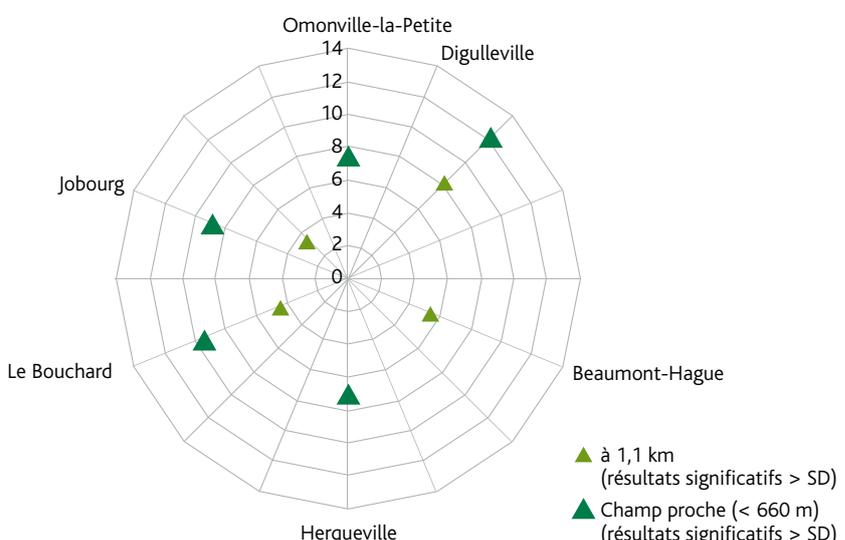


Figure V.124 - Distribution des activités moyennes en tritium organiquement lié (OBT) mesurées dans les herbes prélevées autour du site de La Hague (Bq/kg sec).

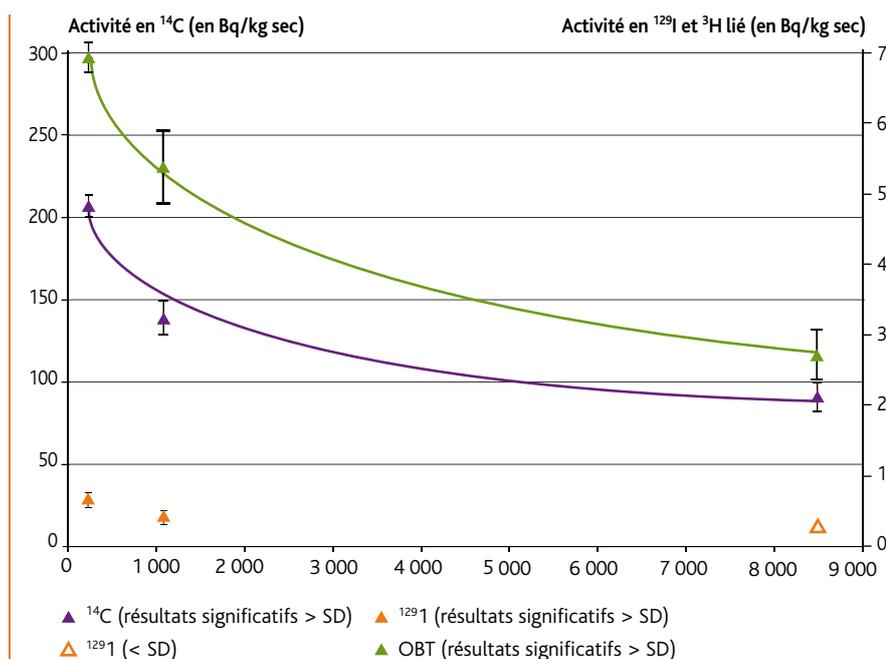


Figure V.125 - Diminution des activités moyennes en carbone 14, iode 129 et tritium organiquement lié mesurées dans les herbes prélevées selon l'axe sud-est avec l'éloignement au site de La Hague (Bq/kg sec).

Tableau V.46 - Activités moyennes mesurées dans les sols à proximité immédiate du site de La Hague (Bq/kg sec).

Radionucléide	Omonville-la-Petite			Jobourg		Digulleville	Herqueville
^{40}K	994 ± 48	670 ± 38	902 ± 46	822 ± 42	847 ± 46	644 ± 36	845 ± 43
^{137}Cs	7,6 ± 0,9	8,9 ± 1,1	6,3 ± 0,9	14,5 ± 1,3	18,3 ± 1,7	11,2 ± 1,2	44,3 ± 2,7
^{134}Cs	< 1,8	< 1,7	< 1,8	< 1,7	< 1,7	< 1,5	< 1,5
^{106}Ru	< 24	< 24	< 24	< 24	< 25	< 21	< 25
^{125}Sb	< 3,8	< 3,7	< 3,8	< 3,6	< 4	< 3,2	< 4
^{60}Co	< 1,5	< 1,2	< 1,4	< 1,5	< 1,5	< 1,2	< 1,2

Tableau V.47 - Activités moyennes mesurées dans les laits de vache produits autour du site de La Hague (Bq/L).

Radionucléide	Beaumont-Hague	Digulleville	Herqueville	Jobourg
^{40}K	46,9 ± 0,7	49,9 ± 1	51,8 ± 1	49,1 ± 1
^{129}I	0,0188 ± 0,0017	0,0048 ± 0,001	0,0165 ± 0,0023	< 0,018
^{137}Cs	< 0,039	< 0,04	< 0,04	< 0,04
^{106}Ru	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{60}Co)	< 0,18	< 0,18	< 0,18	< 0,18
^{90}Sr	0,0646 ± 0,0028	0,0491 ± 0,0034	0,0452 ± 0,0012	0,0577 ± 0,0038
^3H libre	< 9	6 ± 0,8	5,5 ± 0,7	< 9
^{14}C	19 ± 0,5	25,6 ± 0,8	27 ± 0,9	17,5 ± 0,8

Les sols

Le césium 137 est systématiquement mesuré dans les échantillons de sols prélevés trimestriellement à proximité immédiate du site de La Hague (à moins de 750 m des limites de propriété) à des activités moyennes comprises entre $6,3 \pm 0,9$ et $44,3 \pm 2,7$ Bq/kg sec (tableau V.46). Ces niveaux d'activités s'expliquent majoritairement par les retombées des essais nucléaires passés et de l'accident de Tchernobyl. La part attribuable aux rejets du site de La Hague, même si elle ne peut être exclue, ne peut être quantifiée.

Les activités des autres radionucléides artificiels émetteurs gamma (^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{106}Ru + ^{106}Rh) sont restées inférieures aux seuils de décision.

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

Des échantillons de lait de vache sont collectés régulièrement dans quatre fermes situées à Herqueville, Beaumont-Hague, Digulleville et Jobourg. Parmi les radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être rejetés par le site de La Hague, des traces d'iode 129, de carbone 14 et de tritium ont été observées sur quelques échantillons (tableau V.47).

D'une manière générale, les activités les plus élevées sont observées sur les laits collectés dans les communes situées directement sous les vents dominants (secteurs sud-ouest et nord-est) (figures V.126 à V.129).

L'iode 129 est détecté assez régulièrement dans les échantillons prélevés sur les communes de Herqueville et Diguelleville, et ponctuellement dans ceux prélevés à la station de Beaumont-Hague (deux valeurs significatives mesurées entre janvier 2010 et mai 2011).

Pour les autres radionucléides émetteurs gamma, les résultats restent inférieurs aux seuils de décision pour l'ensemble des stations. Les concentrations en strontium 90 mesurées dans le lait sont comprises entre $0,023 \pm 0,016$ et $0,14 \pm 0,023$ Bq/L, c'est-à-dire dans la gamme des valeurs mesurées dans les zones non influencées par les rejets industriels.

En outre, des traces d'iode 131, liées à l'accident nucléaire survenu à la centrale de Fukushima au Japon en mars 2011, ont été détectées sur les laits collectés début avril 2011 dans les fermes de Herqueville, Beaumont-Hague et Jobourg (activités comprises entre $0,144 \pm 0,049$ et $0,23 \pm 0,1$ Bq/L). Du césium 137 a également été mesuré dans le lait collecté début mai 2011 sur la commune de Jobourg avec une activité volumique de $0,059 \pm 0,035$ Bq/L.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

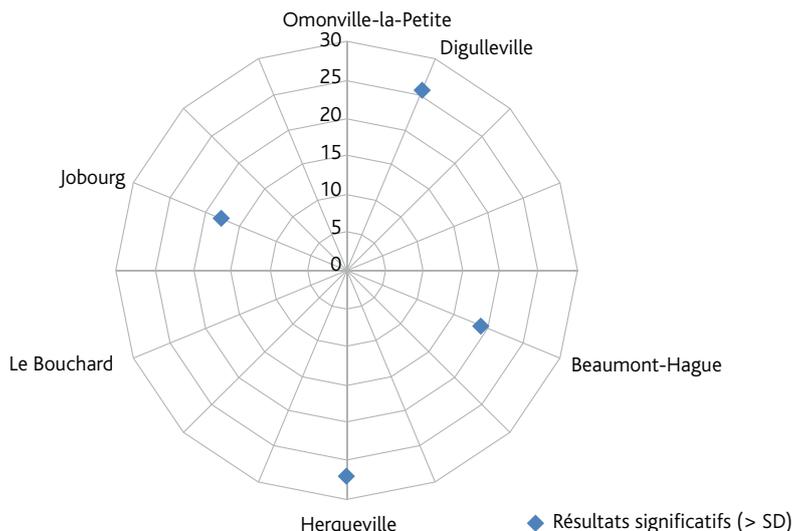


Figure V.126 - Distribution des activités moyennes en carbone 14 mesurées dans le lait des vaches élevées à proximité du site de La Hague (Bq/L).

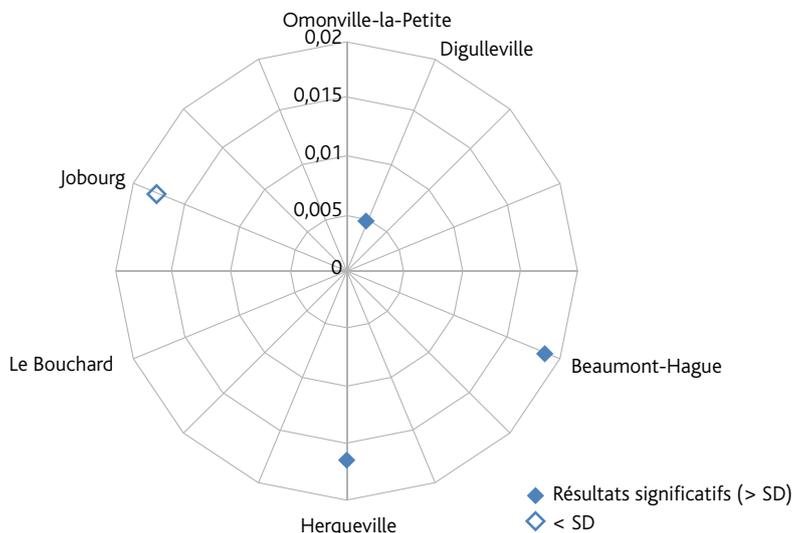


Figure V.127 - Distribution des activités moyennes en iode 129 mesurées dans le lait des vaches élevées à proximité du site de La Hague (Bq/L).

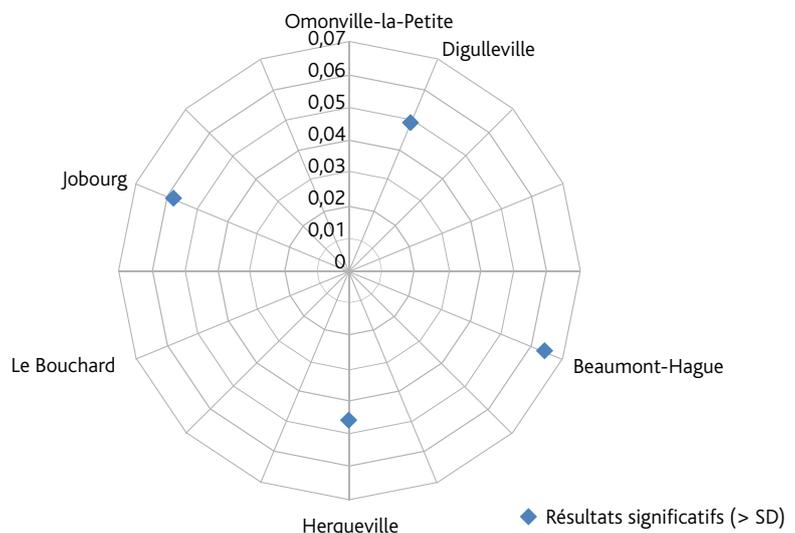


Figure V.128 - Distribution des activités moyennes en strontium 90 mesurées dans le lait des vaches élevées à proximité du site de La Hague (Bq/L).

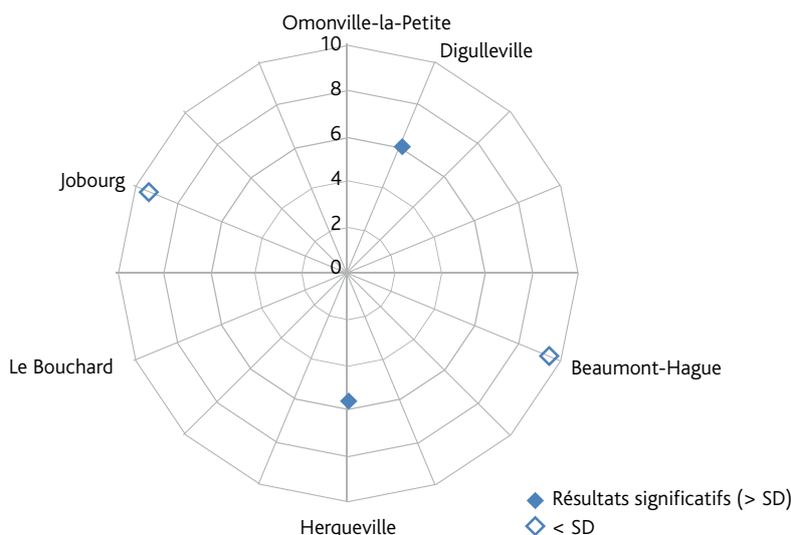


Figure V.129 - Distribution des activités moyennes en tritium organiquement lié (OBT) mesurées dans le lait des vaches élevées à proximité du site de La Hague (Bq/L).

Les viandes

La radioactivité mesurée dans les viandes d'élevage prélevées à proximité du site nucléaire de La Hague est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle (tableau V.48).

Le lapin de garenne élevé à Herqueville présente des traces de strontium 90 (activité massique de $0,087 \pm 0,033$ Bq/kg frais). Il est difficile de distinguer la part attribuable aux rejets des installations nucléaires de La Hague de celle due aux retombées anciennes des tirs atmosphériques.

L'activité massique en carbone 14 mesurée sur de la viande de bœuf en 2010 ($528,5 \pm 2$ Bq/kg C) témoigne d'un marquage du bétail lié aux rejets gazeux du site de La Hague : cette valeur est près de deux fois supérieure aux valeurs usuellement observées dans les zones non influencées par les rejets des installations.

Ces analyses montrent également la présence de tritium lié, à de faibles niveaux, attribuable aux activités de l'usine de retraitement de La Hague. Les activités des autres radionucléides sont restées inférieures aux seuils de décision des appareils utilisés.

Tableau V.48 - Activités moyennes mesurées dans les viandes élevées à proximité du site de La Hague (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	Omonville-la-Petite	Herqueville	Jobourg	Abattoir à proximité du site	Abattoir à proximité du site
	Volaille	Lapin de garenne	Mouton	Bœuf	Bœuf
^{40}K	128 ± 13	126 ± 9	92 ± 9	105 ± 13	104 ± 12
^{129}I	< 0,07	< 0,07	< 0,045	nm	nm
^{137}Cs	< 0,11	< 0,09	< 0,07	< 0,18	< 0,15
^{106}Ru	< 1,8	< 1,6	< 1,2	< 1,5	< 2,1
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{60}Co)	< 0,46	< 0,41	< 0,32	< 0,8	< 0,9
^3H lié	nm	$6,3 \pm 0,5$	$0,81 \pm 0,38$	$1,11 \pm 0,36$	$0,344 \pm 0,019$
^{14}C	27 ± 5	$49,7 \pm 5$	26 ± 8	$86,47 \pm 0,33$ ($528,5 \pm 2$ Bq/kg C)	$32,53 \pm 0,17$ ($243,8 \pm 1,3$ Bq/kg C)
^{90}Sr	nm	$0,087 \pm 0,033$	nm	< 0,035	< 0,026
^{241}Am	< 0,08	< 0,08	< 0,05	nm	nm
^{238}Pu	nm	< 0,005	nm	nm	nm
$^{239+240}\text{Pu}$	nm	< 0,008	nm	nm	nm
^{244}Cm	nm	< 0,0042	nm	nm	nm

nm : non mesuré

*sauf indication contraire

Les céréales

Des prélèvements de blé sont réalisés lors de la récolte annuelle sur la commune de Digulleville. Les concentrations des émetteurs gamma, hors potassium 40, sont restées inférieures aux seuils de décision.

Du tritium, sous forme liée à la matière organique, a été mesuré à une activité massique de $4,9 \pm 0,25$ Bq/kg sec, traduisant un léger marquage du blé par les rejets du site de La Hague.

Les légumes, les champignons et les plantes aromatiques

Des prélèvements de végétaux terrestres destinés à la consommation humaine (légumes, champignons, plantes aromatiques) sont réalisés sous les principaux vents dominants, sur les communes de Herqueville, Digulleville et Omonville-la-Petite (tableau V.49).

Plusieurs radionucléides artificiels attribuables aux rejets du site de La Hague sont mesurés dans les végétaux : tritium, carbone 14, iode 129.

Les pommes de terre cultivées à Herqueville présentent une activité en strontium 90 comprise dans la gamme de valeurs mesurées dans les zones non influencées par les rejets industriels. Celle-ci est attribuable aux retombées anciennes des tirs atmosphériques.

Le césium 137 mesuré dans les champignons prélevés à Digulleville (activité de $0,55 \pm 0,07$ Bq/kg frais) est attribuable aux retombées passées faisant suite à l'accident de Tchernobyl. Les activités des autres radionucléides sont restées inférieures aux seuils de décision.

À la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima le 11 mars 2011, des traces de césium 134 et 137 ont été mesurées sur l'échantillon de thym prélevé le 20 avril 2011 à Herqueville à des activités massiques respectives de $0,34 \pm 0,16$ et $0,44 \pm 0,21$ Bq/kg frais.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Tableau V.49 - Activités moyennes mesurées dans les végétaux terrestres destinés à la consommation humaine produits à proximité du site de La Hague (Bq/kg frais).

Radionucléide	Digulleville	Herqueville				Omonville-la-Petite	
	Champignon	Poireau	Pomme de terre	Persil	Thym	Carotte	Chou-fleur
^{40}K	82 ± 7	139 ± 13	169 ± 15	255 ± 25	275 ± 27	119 ± 11	81 ± 5
^{129}I	$0,053 \pm 0,021$	$< 0,037$	$< 0,044$	$< 0,09$	$0,39 \pm 0,14$	$< 0,031$	$< 0,018$
$^{137}\text{Cs}^*$	$0,55 \pm 0,07$	$< 0,042$	$< 0,05$	$< 0,14$	$0,44 \pm 0,21$	$< 0,033$	$< 0,018$
^{106}Ru	$< 0,39$	$< 0,8$	$< 0,8$	$< 2,1$	$< 2,9$	$< 0,6$	$< 0,32$
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{125}Sb , $^{134}\text{Cs}^*$, ^{60}Co)	$< 0,11$	$< 0,21$	$< 0,24$	$< 0,54$	$< 0,62$	$< 0,16$	$< 0,09$
^3H lié	$0,68 \pm 0,11$	$1,46 \pm 0,16$	$0,75 \pm 0,24$	$2,31 \pm 0,32$	$3,8 \pm 0,5$	$2,23 \pm 0,21$	$1,22 \pm 0,09$
^{14}C	$9,4 \pm 1,6$	$16,4 \pm 2,2$	34 ± 5	$26,9 \pm 4,7$	45 ± 7	$15,2 \pm 2,2$	$9,7 \pm 1,1$
^{90}Sr	nm	nm	$0,29 \pm 0,11$	nm	nm	nm	nm
^{241}Am	$< 0,019$	$< 0,033$	$< 0,041$	$< 0,09$	$< 0,14$	$< 0,028$	$< 0,016$
^{238}Pu	nm	nm	$< 0,01$	nm	nm	nm	nm
$^{239+240}\text{Pu}$	nm	nm	$< 0,0048$	nm	nm	nm	nm
^{244}Cm	nm	nm	$< 0,009$	nm	nm	nm	nm

* Hors résultats significatifs imputables à l'accident de Fukushima
nm : non mesuré

Le cidre

L'analyse du cidre prélevé à Saint-Germain-des-Vaux a révélé l'absence de radionucléides d'origine artificielle : seul le potassium 40 d'origine naturelle a été mesuré à une activité volumique de $44,2 \pm 3,7$ Bq/L.

Les autres productions agricoles (œufs, miel)

En 2010, des prélèvements annuels d'œufs et de miel ont été réalisés à proximité immédiate du centre nucléaire de La Hague, sur les communes de Herqueville et de Beaumont-Hague (tableau V.50).

La radioactivité mesurée dans le miel et les œufs provient essentiellement du carbone 14 et du potassium 40. Des traces de tritium lié attribuables aux rejets du site de La Hague ont été décelées dans les deux échantillons, ainsi que des traces de strontium 90 dans les œufs prélevés à Herqueville.

Tableau V.50 - Activités moyennes mesurées dans les œufs et le miel produits près du site de La Hague (Bq/kg frais).

Radionucléide	Beaumont-Hague	Herqueville
	Miel	Œufs
^{40}K	$16,2 \pm 4,3$	51 ± 6
^{129}I	$< 0,07$	$< 0,047$
^{137}Cs	$< 0,12$	$< 0,07$
^{106}Ru	$< 1,8$	$< 1,2$
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{60}Co)	$< 0,52$	$< 0,31$
^3H lié	$4,2 \pm 1,3$	$2,9 \pm 0,6$
^{14}C	102 ± 22	35 ± 15
^{90}Sr	nm	$0,27 \pm 0,11$
^{241}Am	$< 0,08$	$< 0,046$
^{238}Pu	nm	$< 0,013$
$^{239+240}\text{Pu}$	nm	$< 0,013$
^{244}Cm	nm	$< 0,011$

nm : non mesuré

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

La configuration générale du relief de l'isthme du Cotentin et l'étroitesse de la presqu'île ne laissent place qu'à de petites rivières côtières qui se jettent toutes dans la Manche. Il est ainsi possible de citer les ruisseaux de la Sainte-Hélène, des Landes et des Moulins qui sont sous influence du site de La Hague. Ils constituent des sites de référence historique du marquage radiologique lié au site industriel de La Hague. Les eaux pluviales et les eaux de drainage du site, lorsqu'elles ne représentent pas de risque de contamination radioactive, sont d'abord recueillies puis dirigées vers un bassin d'orage situé sur l'établissement d'Areva, avant d'être rejetées dans le ruisseau de la Sainte-Hélène.

Les analyses réalisées sur ces eaux, à proximité du site de La Hague, ne permettent pas de détecter la présence de l'américium 241, du cobalt 60 et des plutoniums 238, 239 ou 240 à des niveaux quantifiables. En revanche, le césium 137, le radium 226 et les uraniums isotopiques sont détectés de manière ponctuelle.

d'eau de surface au ruisseau des Landes qui s'écoule au nord-ouest du site. Celui-ci présente un marquage en strontium 90, radionucléide artificiel, d'une période radioactive de 28 ans, produit lors des réactions de fission. Ces niveaux d'activités sont à mettre en relation avec la contamination en strontium 90 de la nappe phréatique par des déchets entreposés en surface sur le site dans les années 1980 (figure V.130).

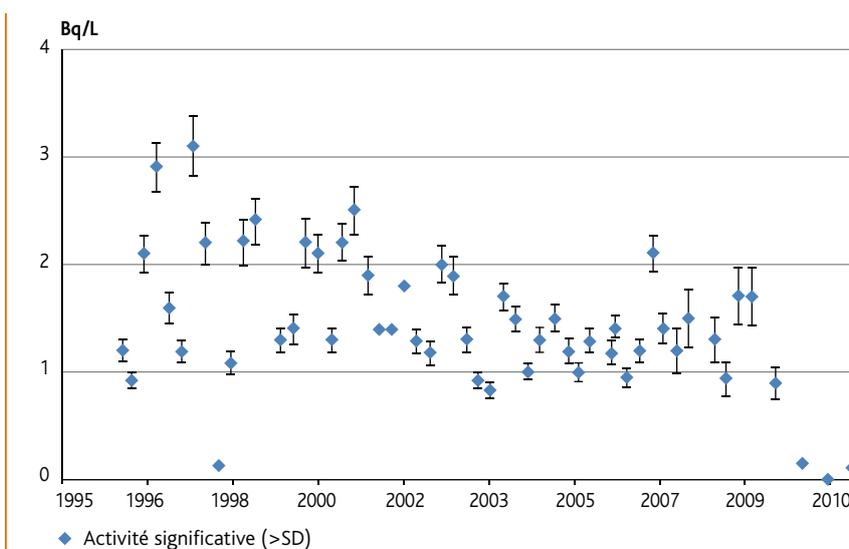


Figure V.130 - Activité du strontium 90 dans l'eau du ruisseau des Landes (Bq/L).

L'IRSN réalise depuis 1996 des prélèvements

Le tritium est rémanent à proximité du site de La Hague. Ce dernier est détecté dans l'eau de tous les ruisseaux situés dans l'environnement immédiat du site avec des *maxima* enregistrés dans le ruisseau de la Sainte-Hélène à Digulleville (figure V.131). Cette contamination est liée à la présence historique de tritium dans les eaux de la nappe phréatique contaminée par un incident de stockage survenu en 1976 sur le centre de l'Andra. Les mesures réalisées par l'IRSN depuis 1973 mettent en évidence ce phénomène. On observe une décroissance de l'activité à partir des années 1990. Depuis cette période, l'activité en tritium mesurée est de l'ordre de 100 Bq/L.

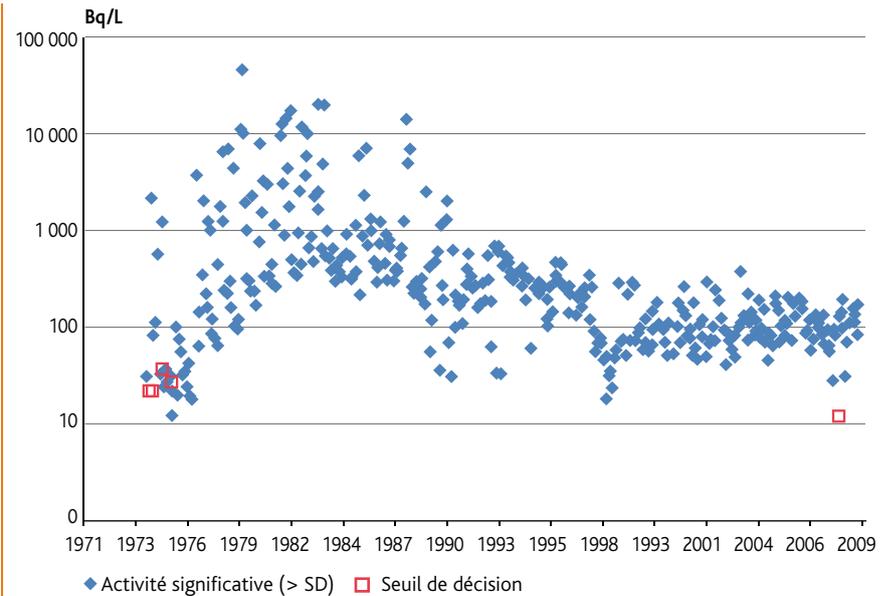


Figure V.131 - Activité du tritium dans l'eau du ruisseau de Sainte-Hélène (Bq/L).

Les sédiments

Des prélèvements de sédiments sont réalisés chaque trimestre dans les ruisseaux des Landes, des Combes, de la Sainte-Hélène, du Grand-Bel et des Moulinets (tableau V.51). Une fréquence mensuelle est appliquée pour le prélèvement dans le ruisseau de la Sainte-Hélène, au lieu-dit « la Brasserie ». Les analyses révèlent la présence de radionucléides d'origine artificielle (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) attribuables aux rejets du site de La Hague (tableau V.51).

Seul le césium 137 est détecté dans l'ensemble des échantillons de sédiments à des activités massiques moyennes comprises entre $1,85 \pm 0,24$ et $50,4 \pm 1,8$ Bq/kg sec dans les ruisseaux du Grand-Bel et des Moulinets. De grandes fluctuations sont observées au cours de l'année : l'activité en césium 137 mesurée dans le ruisseau de la Sainte-Hélène, au niveau du lieu-dit « le Pont-Durand », s'échelonne de $5,6 \pm 0,6$ à 70 ± 7 Bq/kg sec. Si un marquage par les rejets du site, essentiellement passés, ne peut être exclu pour ce radionucléide, sa présence trouve également son origine dans les retombées atmosphériques passées.

Le césium 134 est ponctuellement mesuré dans le ruisseau de la Sainte-Hélène (activité maximale de $35,9 \pm 1,4$ Bq/kg sec relevée au lieu-dit « la Brasserie ») et dans le ruisseau du Grand-Bel ($3 \pm 0,8$ Bq/kg sec). Les sédiments du ruisseau de la Sainte-Hélène et des Moulinets présentent épisodiquement des

traces de cobalt 60 à des activités massiques comprises entre $0,39 \pm 0,12$ et $2,05 \pm 0,38$ Bq/kg sec.

Les activités en plutonium relevées dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène et des Moulinets suggèrent un léger marquage par les rejets du site. Le rapport d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ de l'ordre de 0,5 est caractéristique du combustible usé civil (le rapport représentatif des retombées atmosphériques des tirs d'armes des années 1960 est de l'ordre de 0,025). D'après les chroniques de concentrations en $^{239+240}\text{Pu}$, le marquage des sédiments dans le ruisseau des Landes semble dater principalement de contaminations survenues durant la période 2001-2003 (chroniques de concentrations présentées page 118 dans le *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2009* de l'IRSN).

En outre, l'analyse des sédiments prélevés trimestriellement dans un ruisseau, à 100 m du terminal ferroviaire de Valognes, ne révèle aucune anomalie radiologique. Seul le césium 137, attribuable aux retombées atmosphériques anciennes, est mesuré à une activité massique moyenne de $3,1 \pm 0,7$ Bq/kg sec. Les autres radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle recherchés (^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{106}Ru) n'ont pas été détectés par les techniques de mesure utilisées.

Tableau V.51 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments du milieu dulçaquicole prélevés dans les ruisseaux situés à proximité du site de La Hague (Bq/kg sec).

Radionucléide	Ruisseau des Landes	Ruisseau des Combes	Ruisseau de la Sainte-Hélène			Ruisseau du Grand-Bel	Ruisseau des Moulinets
	À 150 m en aval du site de La Hague Hameau des Landes	À 500 m en aval du site de La Hague Lieu-dit L'arsenal	À 200 m en aval du site de La Hague Lieu-dit Le Pont Durand	À 1,1 km en aval du site de La Hague Lieu-dit La Brasserie	À 2,2 km en aval du site de La Hague Lieu-dit La Fosse	À 750 m en aval du site de La Hague Hameau les Clerges	En aval du site de La Hague
⁴⁰ K	359 ± 14	848 ± 29	425 ± 12	nm	900 ± 70	890 ± 80	941 ± 31
¹³⁷ Cs	6,9 ± 0,5	4,06 ± 0,23	10,24 ± 0,44	43,7 ± 1,5	13,9 ± 0,9	1,85 ± 0,24	50,4 ± 1,8
¹³⁴ Cs	< 0,38	< 0,38	< 0,31	0,58 ± 0,07	0,32 ± 0,07	0,45 ± 0,09	< 0,5
⁶⁰ Co	< 0,3	< 0,39	0,44 ± 0,05	< 0,7	< 0,31	< 0,6	0,7 ± 0,12
Autres radionucléides émetteurs gamma (¹²⁵ Sb, ¹⁰⁶ Ru...)	< 5	< 6	< 1	< 7	< 6	< 5	< 9
²²⁶ Ra	nm	nm	nm	nm	65 ± 32	nm	nm
²³⁸ Pu	0,132 ± 0,035	< 0,13	0,261 ± 0,032	nm	< 0,14	nm	0,174 ± 0,042
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,86 ± 0,2	0,183 ± 0,048	0,365 ± 0,044	nm	< 0,15	nm	0,35 ± 0,08

nm : non mesuré

La flore

Des phanérogames aquatiques sont prélevées chaque trimestre dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène, des Combes et des Landes (tableau V.52). Outre la présence habituelle de potassium 40, les analyses indiquent la présence de radionucléides d'origine artificielle tels que le césium 137, l'iode 129, l'américium 241, le tritium et, plus épisodiquement, le cobalt 60. Les activités relevées sont d'autant plus importantes avec la proximité des installations nucléaires de La Hague, traduisant ainsi l'impact des activités de ce site sur l'environnement aquatique continental proche.

Les valeurs mesurées présentent une grande hétérogénéité dans le temps. Elles sont notamment fonction des rejets et du stade végétatif des phanérogames prélevées. Des activités massiques comprises entre $7,4 \pm 0,9$ et $36,3 \pm 4,4$ Bq/kg sec en américium 241 et entre $2,3 \pm 0,6$ et $23,7 \pm 2,7$ Bq/kg sec en tritium lié ont été observées à 150 m du site de La Hague, dans le ruisseau des Landes. De même, les activités en cobalt 60 mesurées ponctuellement au plus proche du site dans le ruisseau des Landes fluctuent entre $2,6 \pm 0,6$ et $6,4 \pm 0,7$ Bq/kg sec.

Tableau V.52 - Activités moyennes mesurées dans les phanérogames aquatiques prélevées à proximité du site de La Hague (Bq/kg sec).

Radionucléide	Ruisseau des Landes	Ruisseau de la Sainte-Hélène	Ruisseau des Combes
	À 150 m en aval du site de La Hague	Au niveau de la cascade	À 500 m en aval du site de La Hague
⁴⁰ K	338 ± 15	608 ± 25	355 ± 17
¹²⁹ I	0,45 ± 0,1	11,4 ± 1	2,85 ± 0,3
¹³⁷ Cs	3,31 ± 0,28	45,6 ± 2,1	< 0,42
⁶⁰ Co	< 0,5	1,04 ± 0,16	< 0,46
²⁴¹ Am	9,4 ± 0,5	1,54 ± 0,25	< 0,32
Autres radionucléides émetteurs gamma (¹²⁵ Sb, ¹³⁴ Cs, ¹⁰⁶ Ru)	< 9	< 11	< 8
³ H lié	5,17 ± 0,34	14,5 ± 0,8	5,03 ± 0,38

Les eaux souterraines

La nappe phréatique est drainée essentiellement vers les ruisseaux de la Sainte-Hélène et du Grand-Bel. La nappe dispose aussi d'exutoires vers les ruisseaux des Combes, des Landes et des Moulinets. Les eaux de nappes de La Hague sont principalement analysées par les exploitants nucléaires (Areva et Andra) au travers de plus de 240 piézomètres, dont la moitié sont contrôlés périodiquement.

La surveillance du centre de stockage de la Manche (CSM) est effectuée à l'aide de 60 piézomètres, dont 48 sont échantillonnés en vue d'analyses radiologiques. Le tritium est mesurable à des activités significatives, avec une moyenne en 2010 de 4 821 Bq/L et une valeur maximale mesurée à 168 000 Bq/L. Ces mesures du CSM résultent d'une pollution historique de la nappe au tritium. Le piézomètre, situé au sein de l'installation nucléaire, fait l'objet d'une surveillance systématique vérifiant l'évolution de la pollution et son absence d'impact dosimétrique à l'extérieur du site.

Des traces de radionucléides artificiels tels que le cobalt 60 et le césium 137 sont détectés épisodiquement au niveau de 12 piézomètres du site de La Hague.

La majorité des mesures réalisées sur le site de La Hague au niveau de la nappe phréatique, présentent des valeurs d'indice alpha et bêta globaux inférieures aux niveaux recommandés par l'OMS pour la consommation d'eau potable. Quelques piézomètres restent marqués au-delà de ces niveaux suite à des événements anciens. L'activité moyenne en tritium mesurée dans la nappe phréatique est de 345 Bq/L avec une valeur maximale mesurée à 19 000 Bq/L. Ce marquage ponctuel concerne un piézomètre situé en bordure du site de stockage de la Manche, à proximité du piézomètre de l'Andra présentant une pollution historique (voir ci-dessus). L'IRSN réalise le suivi de certaines eaux de nappe hors du site de La Hague (figures V.132 et V.133). La tendance montre une décroissance de l'activité en tritium depuis le début des années 2000. L'eau de la nappe sous et autour du site de La Hague n'est toutefois pas utilisée pour la consommation humaine.

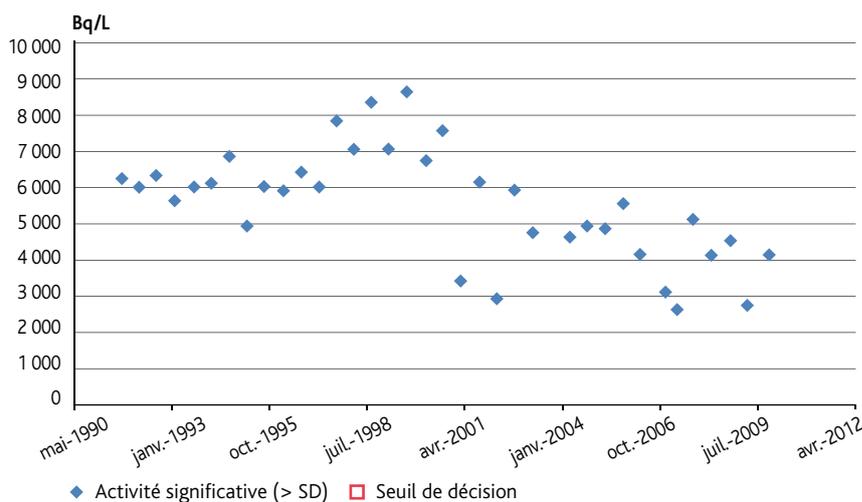


Figure V.132 - Activités en tritium dans les eaux souterraines prélevées au point Z702 situé au nord-ouest du site du CSM (Bq/L).

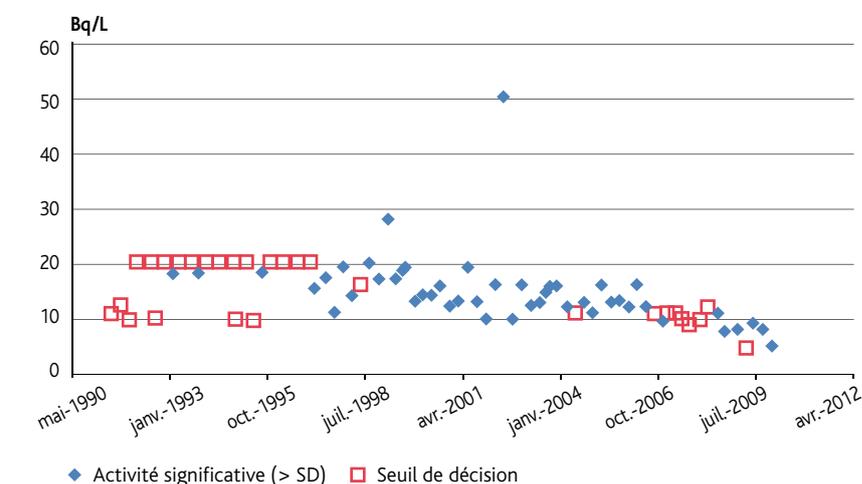


Figure V.133 - Activités en tritium dans les eaux souterraines prélevées au point Z106 à proximité du site de La Hague (Bq/L).

Somanu

Le site de Somanu est un atelier de maintenance nucléaire situé à Maubeuge, dans le Nord. Classé Installation nucléaire de base, le site est équipé pour l'entretien et la réparation de certains composants nucléaires en dehors de leur installation d'origine.

La maintenance de matériels et d'outillages réalisée à l'usine Somanu peut conduire à des activités de démontage, décontamination, usinage, remise en état, remontage et essais. Somanu assure également l'organisation et la gestion des transports utilisant la voie publique pour les réceptions ou expéditions de matériels appartenant à des exploitants nucléaires.



Figure V.134 - Atelier de l'usine Somanu (dit « atelier chaud »).

Compartiment atmosphérique

Les aérosols

Le suivi de l'indice d'activité bêta globale dans les aérosols prélevés dans l'environnement du site de Somanu n'a révélé aucune valeur anormale (tableau V.53 et figure V.136). Les analyses par spectrométrie gamma ont montré qu'aucun radionucléide artificiel n'était présent dans l'environnement.

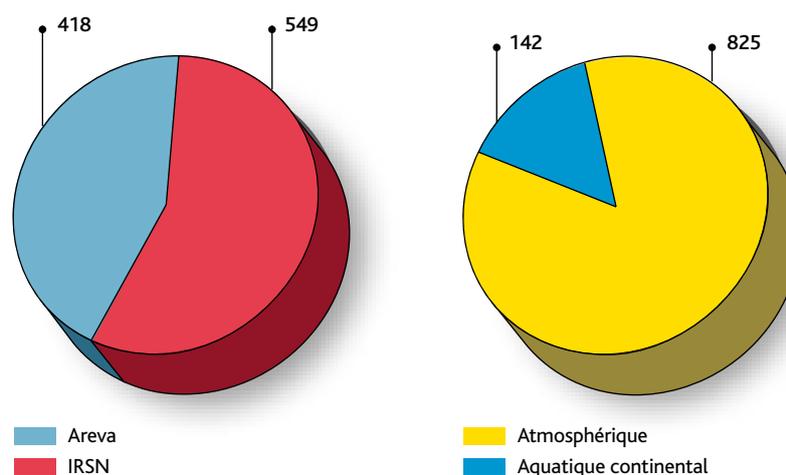


Figure V.135 - Usine Somanu, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par milieux.

Tableau V.53 - Activités mesurées dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement de l'usine Somanu (mBq/m^3).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité (mBq/m^3)
Indices globaux d'activité	Activité bêta	$0,42 \pm 0,02$
	Béryllium 7	$2,37 \pm 0,1$
Radionucléides d'origine naturelle	Plomb 210	$0,41 \pm 0,03$

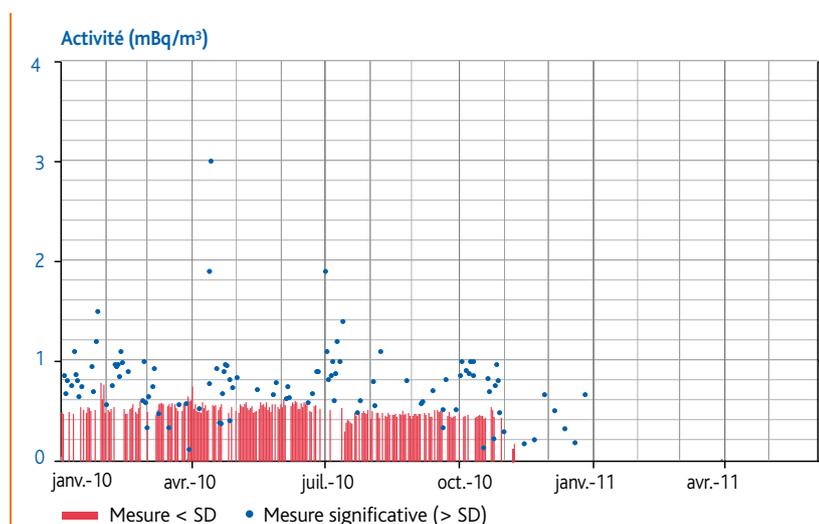


Figure V.136 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols atmosphériques prélevés à proximité de l'usine Somanu (mBq/m^3).

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Les eaux du ruisseau La Flammenne sont prélevées mensuellement à mi-rejet.

Les mesures en tritium réalisées sur les eaux de ce ruisseau sont toutes inférieures au seuil de décision (4 Bq/L).

Le suivi de l'indice d'activité bêta globale oscille entre 0,12 et 0,6 Bq/L. Ces valeurs sont inférieures à la valeur de référence recommandée par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine (1 Bq/L en bêta global).

Les mesures de l'indice alpha global sont globalement inférieures ou proches du seuil de décision (0,04 Bq/L). Seules deux analyses (0,18 ± 0,07 Bq/L le 1^{er} septembre 2010 et 0,19 ± 0,07 Bq/L le 6 juin 2010) présentent des activités supérieures à la valeur de référence recommandée par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/L en alpha global).

Il est à noter que les émetteurs alpha artificiels ne sont pas présents sur les équipements entrés pour la maintenance dans l'atelier.

Les eaux souterraines

La nappe phréatique fait l'objet d'un suivi régulier au travers de plusieurs piézomètres répartis sur le site de Somanu.

Les mesures en tritium réalisées sur ces eaux sont toutes inférieures au seuil de décision (4 Bq/L).

Le suivi de l'indice d'activité bêta globale oscille entre le seuil de décision (0,03 Bq/L) et 0,27 Bq/L. Comme pour les eaux de La Flammenne, les mesures de l'indice alpha global sont globalement inférieures ou proches du seuil de décision (0,04 Bq/L). Seule une mesure ponctuelle en juin 2011 présente une activité supérieure à 0,1 Bq/L (0,27 ± 0,06 Bq/L).

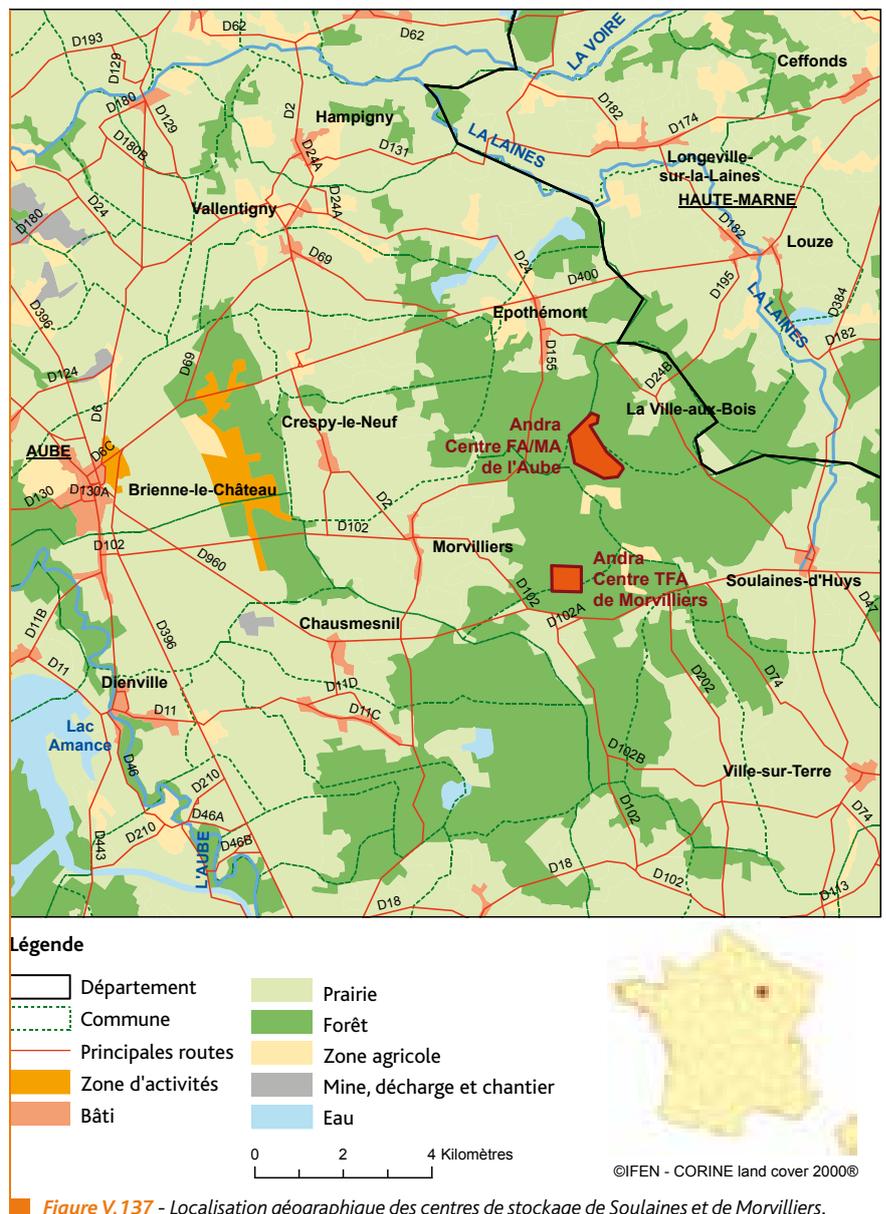
La surveillance des eaux de surface et des eaux souterraines ne met pas en évidence de marquage dû aux activités du site industriel de Somanu.

V.6 LA SURVEILLANCE DES CENTRES DE STOCKAGE DES DÉCHETS

Pour le stockage des déchets radioactifs de faible et moyenne activité à vie courte, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a d'abord exploité le Centre de stockage de la Manche (CSM), désormais fermé et en phase de surveillance. L'Andra exploite aujourd'hui, dans l'Aube, le Centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte (CSFMA) et le Centre de stockage de déchets de très faible activité (CSTFA). Ces deux centres, dits « de stockage de surface », sont situés sur les communes de Soulaines et de Morvilliers (figure V.137).

Ces sites de stockage sont soumis soit à la réglementation applicable aux INB (CSM et CSFMA), soit à celle relative aux ICPE (CSTFA), qui imposent à l'exploitant d'assurer une surveillance de l'environnement comprenant des mesures radiologiques et chimiques sur des eaux pluviales, de surface (ruisseaux) et souterraines et de l'air ambiant. Après la phase d'exploitation (conditionnement et entreposage), la réglementation prévoit que l'Andra maintienne une surveillance du site et de l'environnement pendant plusieurs dizaines d'années pour s'assurer de l'absence d'impact sanitaire du stockage sur l'homme et son environnement.

Le dispositif de surveillance du Centre de stockage de la Manche (50) étant confondu avec celui de l'usine Areva de La Hague, les résultats de cette surveillance sont consultables au paragraphe relatif à la surveillance du site de La Hague (chapitre V.5).



Centre de stockage de l'Aube et centre de stockage de Morvilliers

Le centre de stockage de l'Aube assure depuis 1992 le stockage en surface de déchets radioactifs de faible et moyenne activités à vie courte (FMA-VC). Le centre est implanté sur trois communes : Soulaines-Dhuys, Épothémont et La-Ville-aux-Bois.

Les déchets FMA-VC sont essentiellement liés à la maintenance (vêtements, outils, filtres...) et au fonctionnement des installations nucléaires, ainsi que des centres de recherche et des centres médicaux.

Les déchets FMA-VC sont pris en charge par le CSFMA sous forme solide. Certains déchets peuvent être compactés sur place dans les installations de l'Andra, pour réduire leur volume. Pour pouvoir être stockés, les déchets sont placés dans un

conteneur en béton ou en métal, et mélangés à un matériau d'enrobage (béton par exemple). Les déchets sont stockés en surface dans des ouvrages en béton armé. Une fois remplis, les ouvrages sont fermés par une dalle en béton dont l'étanchéité est assurée par un revêtement imperméable (figure V. 138).



© Andra

Figure V.138 - Centre de stockage FMA de Soulaines.

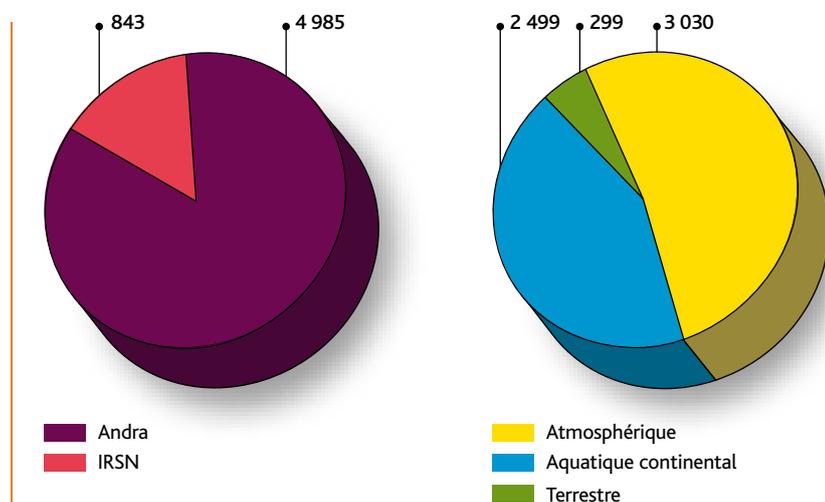


Figure V.139 - Andra – site de Soulaines, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Situé dans le département de l'Aube, à quelques kilomètres du CSFMA, le **centre de Morvilliers** assure depuis 2003 le stockage en surface des déchets de très faible activité. Le centre est implanté sur les communes de Morvilliers et de La Chaise.

Les déchets réceptionnés par le CSTFA proviennent d'installations nucléaires françaises, de laboratoires ou de centres de recherche, majoritairement en cours de démantèlement. Ils proviennent également

des industries chimiques ou métallurgiques et de l'assainissement de sites pollués.

Les niveaux de radioactivité des déchets classés « TFA » sont très proches du niveau de la radioactivité naturelle. Ces déchets sont conditionnés dans des fûts ou des *big bags* puis empilés dans les alvéoles de stockage creusées dans une couche d'argile (*figure V.140*). Lorsque la hauteur maximale de stockage est atteinte, l'alvéole est recouverte d'un remblai argileux compacté pour lui redonner son imperméabilité d'origine.



Figure V.140 - Centre de stockage TFA de Morvilliers.

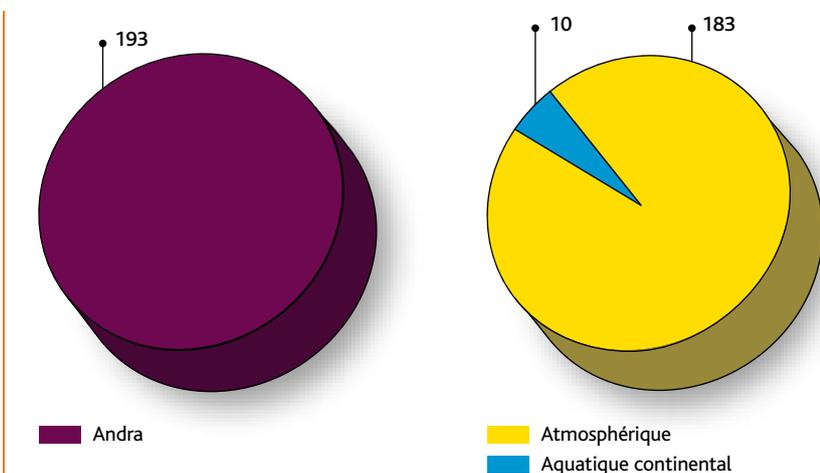


Figure V.141 - Andra – site de Morvilliers, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

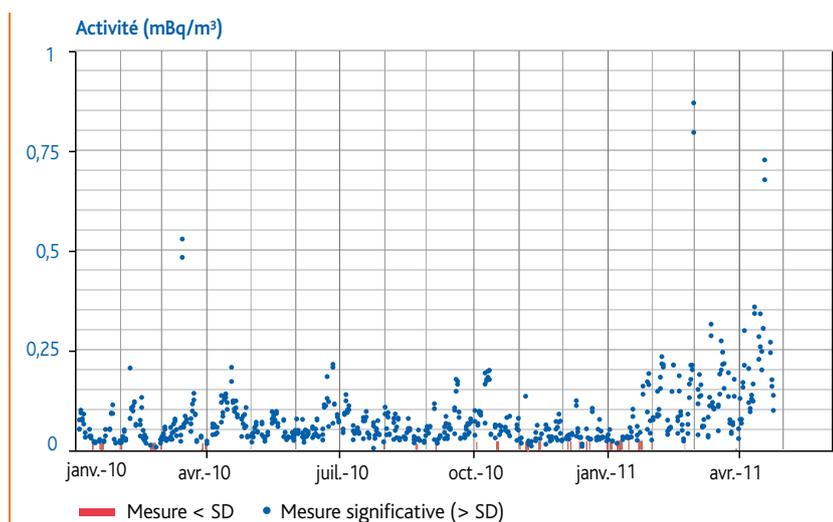
Dans l'environnement des sites de Soulaines et de Morvilliers, la surveillance des aérosols atmosphériques ne montre aucun impact des activités des sites. Seules quelques valeurs inhabituelles des indices d'activité alpha ont été mises en évidence simultanément aux deux points de surveillance localisés au

droit du centre de l'Aube, sur les communes de Soulaines-Dhuys et La Ville-aux-Bois (tableau V.54 et figure V.142).

Les mesures complémentaires réalisées sur ces prélèvements ont confirmé l'absence de radionucléides artificiels dans l'environnement. En revanche, ces investigations ont permis d'expliquer ces valeurs ponctuelles par un aléa métrologique.

■ **Tableau V.54** - Indices d'activité alpha anormalement élevés au Centre de stockage de l'Aube (mBq/m³).

Localisation	Période de prélèvement	Indice d'activité alpha (mBq/m ³)
CSFMA (Soulaines-Dhuys)	16 au 17 mars 2010	0,52 ± 0,07
CSFMA (La Ville-aux-Bois)		0,47 ± 0,07
CSFMA (Soulaines-Dhuys)	4 au 7 mars 2011	0,86 ± 0,09
CSFMA (La Ville-aux-Bois)		0,79 ± 0,08
CSFMA (Soulaines-Dhuys)	22 au 26 avril 2011	0,67 ± 0,07
CSFMA (La Ville-aux-Bois)		0,72 ± 0,08



■ **Figure V.142** - Chronique de l'indice d'activité alpha globale des aérosols au droit des centres de stockage de l'Andra de Soulaines et de Morvilliers (mBq/m³).

Aucun radionucléide artificiel n'a été détecté dans l'environnement des sites de stockage.

Pendant la période des retombées en France de l'accident de Fukushima, des activités significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées entre la fin du mois de mars et le début du mois de mai 2011 (tableau V.55, figure V.143).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les gaz (iode 125, 129 et 131)

Un contrôle de la présence des iodures 125, 129 et 131 sous forme de gaz est également effectué par des prélèvements d'air sur cartouche. Cette surveillance n'a pas mis en évidence de rejets significatifs de ces radionucléides dans l'environnement. Toutefois, de l'iode 131 a été mesuré pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (tableau V.56).

Les eaux de pluie

Deux collecteurs implantés au droit du centre de stockage de l'Aube, sur les communes de Soulaines-Dhuys et de la Ville-aux-Bois permettent de recueillir les eaux de pluie. Les prélèvements sont réalisés avec une fréquence hebdomadaire.

Les résultats des mesures alpha globales, bêta globales et tritium réalisées sur ces eaux ne montrent aucun impact des activités du site. Seules les analyses réalisées sur les prélèvements des deux stations du 7 au 14 avril 2011 (0,25 et 0,29 Bq/L) sont supérieures d'un facteur 10 aux valeurs habituellement observées. Ces résultats sont liés à la faible pluviométrie pendant cette période ainsi qu'à la présence de matières en suspension d'origines diverses (poussières atmosphériques, pollen...). Les analyses complémentaires (spectrométrie gamma) réalisées sur ces prélèvements bruts (non filtrés) n'ont pas mis en évidence la présence de radionucléides artificiels.

Tableau V.55 - Activités mesurées dans les aérosols de l'environnement des sites de l'Andra de Soulaines et de Morvilliers (mBq/m³).

Établissement	Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m³)
Radionucléides d'origine artificielle		Césium 134	0,008 ± 0,002*
		Césium 137	0,007 ± 0,002*
		Iode 131	0,013 ± 0,003*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima entre le 22 mars et le 6 mai 2011.

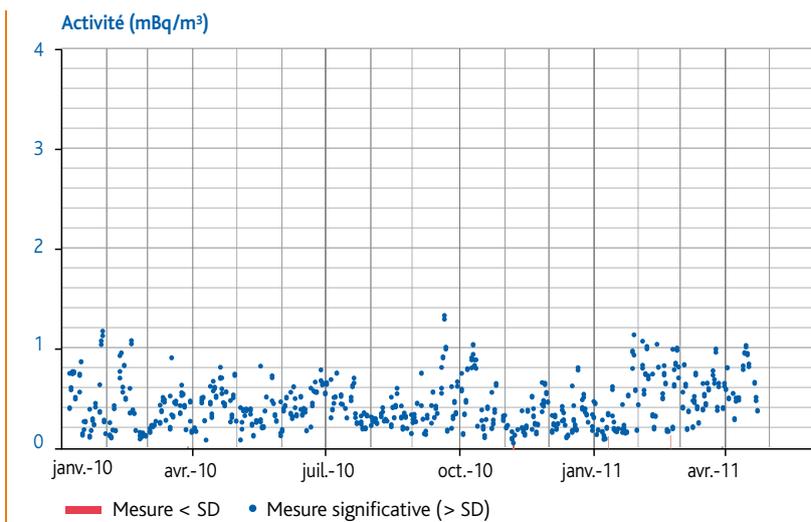


Figure V.143 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité des sites de l'Andra de Soulaines et de Morvilliers (mBq/m³).

Tableau V.56 - Isotopes de l'iode sous forme gaz mesurés dans l'environnement des sites de Soulaines et de Morvilliers (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou seuil de décision (mBq/m³)
Radionucléides sous forme gazeuse d'origine artificielle	Iode 125	< 0,040
	Iode 129	< 0,068
	Iode 131	< 0,087 0,063 ± 0,01*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima entre le 22 mars et le 6 mai 2011.

Compartiment terrestre

L'environnement immédiat des centres de stockages de l'Aube et de Morvilliers fait l'objet d'une surveillance régulière via des prélèvements d'herbe, lait, céréales et de champignons.

La flore terrestre

Des prélèvements mensuels d'herbes sont réalisés sur trois communes situées à

proximité immédiate des centres de stockage de déchets radioactifs (tableau V.57). Ceux-ci sont complétés par des prélèvements trimestriels sur deux autres points de prélèvement.

En situation normale, seules trois mesures ont présenté des résultats significatifs en césium 137 sur les 53 analyses effectuées. Ces valeurs restent proches des seuils de décision des appareils utilisés et sont imputables aux retombées passées de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Les faibles activités en tritium lié observées sont proches des niveaux que l'on peut habituellement observer dans des zones non influencées par les rejets des installations nucléaires.

■ **Tableau V.57** - Activités moyennes mesurées dans les herbes prélevées à proximité immédiate des centres de stockage et du terminal ferroviaire (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	La Ville-aux-Bois Surveillance du site CSFMA de Soulaïnes	Soulaïnes-Dhuys Surveillance du site CSFMA de Soulaïnes Prélèvement sur site		Brienne-le-Château Surveillance du terminal ferroviaire	
⁴⁰ K	760 ± 70	269 ± 18	228 ± 21	126 ± 23	258 ± 18
¹³⁷ Cs**	< 1,3	< 1,1	1,14 ± 0,16	< 0,9	1,05 ± 0,14
¹³⁴ Cs**	< 1	< 0,9	< 0,9	< 0,8	< 0,9
⁶⁰ Co	< 1,4	< 1,2	< 1,2	< 1,1	< 1,2
³ H lié	2,3 ± 1,2	3,3 ± 1,3	nm	nm	3,5 ± 1,1
¹⁴ C (Bq/kg C)	280 ± 90	260 ± 100	nm	nm	200 ± 30

* Sauf indication contraire

** Hors valeurs imputables à l'accident de Fukushima

nm : non mesuré



Les activités mesurées en carbone 14 correspondent aux activités habituellement observées loin de toute installation nucléaire.

Certains prélèvements du 6 avril 2011 ont présenté des traces de césium 134 et 137. Le rapport d'activité entre les isotopes du césium mesurés dans les herbes, proche de 1, est représentatif des rejets atmosphériques liés à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

■ **Figure V.144** - Mise à l'étuve d'un échantillon d'herbe.

Les sols

L'analyse des sols prélevés annuellement sur le centre de stockage de déchets de faibles et moyennes activités ne révèle aucune anomalie radiologique due au site de Soulaines (tableau V.58). Le césium 137 mesuré est attribuable aux retombées anciennes survenues à la suite de l'accident de Tchernobyl. Les activités mesurées pour les isotopes 234 et 238 de l'uranium sont compatibles avec une origine naturelle.

■ **Tableau V.58** - Activités moyennes mesurées dans les sols prélevés sur le centre de stockage de Soulaines (Bq/kg sec).

Radionucléide	Soulaines-Dhuys Surveillance du site CSFMA de Soulaines	
	Prélèvements sur site	
⁴⁰ K	330 ± 50	410 ± 60
¹³⁷ Cs	6,3 ± 0,9	3,9 ± 0,6
¹³⁴ Cs	< 0,35	< 0,6
⁶⁰ Co	< 0,42	< 0,5
²⁴¹ Am	< 1,3	< 0,8
²³⁸ Pu	< 1,4	< 0,9
²³⁹ Pu	< 2,4	< 1,2
²⁴⁰ Pu	< 3	< 1,5
²³⁴ U	6,6 ± 0,9	6,2 ± 0,9
²³⁸ U	6,5 ± 0,9	7,3 ± 1

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

La radioactivité mesurée dans le lait de vache collecté trimestriellement dans des fermes situées sur les communes de La Ville-aux-Bois et de Longeville-sur-la-Laines est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle, dont l'activité volumique moyenne est de 53,7 ± 2,1 Bq/L.

Aucune activité en radionucléide artificiel n'a pu être mise en évidence au-dessus des seuils de décision associés aux techniques de mesures utilisées.

Les céréales

Aucune anomalie radiologique n'a été constatée sur les échantillons de blé et de maïs collectés sur la commune de La Ville-aux-Bois (tableau V.59).

Les faibles niveaux observés en tritium (libre et lié) sont conformes au bruit de fond rencontré sur le territoire français.

Les activités en carbone 14 sont proches, à l'incertitude près, du bruit de fond (environ 235 Bq/kg de carbone).

■ **Tableau V.59** - Activités mesurées dans les céréales récoltées sur la commune de la Ville-aux-Bois en 2010 (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Blé	Maïs
⁴⁰ K	160 ± 50	111 ± 16
¹³⁷ Cs	< 0,7	< 0,08
¹³⁴ Cs	< 0,6	< 0,08
⁶⁰ Co	< 0,7	< 0,1
³ H libre (Bq/kg frais)	nm	0,6 ± 0,6
³ H lié	2,4 ± 1,3	2,2 ± 1,1
¹⁴ C (Bq/kg C)	200 ± 80	260 ± 70

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré

Les champignons

Les résultats d'analyses radiologiques réalisées sur l'échantillon de champignons prélevés sur la commune de La Ville-aux-Bois ne révèlent aucune anomalie due à l'activité des sites de l'Andra (tableau V.60). Ils correspondent aux valeurs habituellement observées sur le territoire métropolitain loin de l'influence de toute installation nucléaire.

■ **Tableau V.60** - Activités mesurées dans les champignons collectés sur la commune de La Ville-aux-Bois (Bq/kg frais)*.

Radionucléide	Activité
⁴⁰ K	97 ± 17
¹³⁷ Cs	0,54 ± 0,1
¹³⁴ Cs	< 0,041
⁶⁰ Co	< 0,06
³ H libre	< 2,5
³ H lié	0,06 ± 0,06
¹⁴ C (Bq/kg C)	270 ± 90

* Sauf indication contraire



■ **Figure V.145** - Prélèvement d'un échantillon de lait.

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Les eaux recueillies sur le centre de l'Aube font l'objet d'un contrôle avant d'être dirigées vers un exutoire déterminé. Un bassin d'orage recueille toutes les eaux pluviales du site. Une fois contrôlées, ces eaux sont rejetées dans le ruisseau Les Noues d'Amance. La fréquence des prélèvements est hebdomadaire pour le point situé dans le ruisseau en aval proche du site, et mensuelle pour les autres points situés en amont ou en aval lointain. Les résultats des mesures alpha globales, bêta globales et tritium réalisées sur ces eaux ne montrent aucun impact des activités du site. Seules des traces d'uranium 234 et 238, d'origine naturelle, sont observées ponctuellement dans les prélèvements réalisés à La Ville-aux-Bois.

Les eaux souterraines

La surveillance environnementale des eaux de ces sites concerne également la nappe phréatique. Le milieu géologique situé au droit du centre de stockage de l'Aube et à son aval hydraulique est composé d'une couche de sable accueillant la nappe superficielle et d'une couche d'argile d'environ 25 mètres d'épaisseur protégeant les nappes souterraines plus profondes.

La surveillance radiologique des eaux souterraines de ces centres est réalisée à l'aide de plus de 30 piézomètres installés sur les sites et à proximité de ces derniers, sur les communes de Soulaines-Dhuys, La Ville-aux-Bois, Épothémont, Morvilliers, La Chaise et Brienne-le-Château. La fréquence des prélèvements est soit mensuelle (pour les prélèvements réalisés près des ouvrages de stockage), soit trimestrielle pour les prélèvements plus éloignés et donc moins exposés à une éventuelle contamination de la nappe par les activités des sites.

Les mesures en tritium sont inférieures aux seuils de décision des appareils utilisés. Seules douze mesures ponctuelles de l'indice alpha global présentent des activités comprises entre 0,15 et 0,33 Bq/L pour Morvilliers, et entre 0,12 et 0,14 Bq/L pour Soulaines, supérieures à la valeur de référence recommandée par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/L).

Globalement, l'examen des mesures en alpha

global, bêta global et tritium ne montre pas d'anomalie radiologique liée aux activités industrielles de ces sites.

La faune aquatique

Aucune activité en radionucléide artificiel n'a été décelée dans l'échantillon de poissons pêchés dans la commune de La Ville-aux-Bois (tableau V.61).

■ **Tableau V.61** - Activités mesurées dans les poissons pêchés sur la commune de La Ville-aux-Bois (Bq/kg frais).

Radionucléide	Activité
^{40}K	18 ± 6
^{137}Cs	$< 0,027$
^{134}Cs	$< 0,023$
^{60}Co	$< 0,033$
^{241}Am	$< 0,0036$
^{238}Pu	$< 0,0042$
^{239}Pu	$< 0,01$
^{240}Pu	$< 0,015$
^{234}U	$< 0,008$
^{238}U	$< 0,008$

La flore aquatique continentale

En 2010, aucune activité en radionucléides artificiels attribuable aux activités des centres de stockages de déchets de l'Andra n'a été décelée dans les renoucles aquatiques prélevées semestriellement dans le ruisseau Les Noues d'Amance (tableau V.62).

La détection de césium 137 (origine principale : accident de Tchernobyl), des isotopes 234 et 238 de l'uranium (origine naturelle) en novembre 2010 est probablement liée à de la resuspension de poussières de sol.

■ **Tableau V.62** - Activités mesurées dans les renoucles aquatiques prélevées dans le ruisseau des Noues d'Amance (Bq/kg sec).

Radionucléide	Juin 2010	Novembre 2010
^{40}K	630 ± 120	500 ± 140
^{137}Cs	$< 0,45$	$1,13 \pm 0,45$
^{134}Cs	$< 0,4$	$< 0,41$
^{60}Co	$< 0,6$	$< 0,5$
^{241}Am	$< 0,15$	$< 0,32$
^{238}Pu	$< 0,18$	nm
^{239}Pu	$< 0,22$	$< 0,33$
^{240}Pu	$< 0,29$	$< 0,38$
^{234}U	$< 0,6$	$3,9 \pm 1,6$
^{238}U	$< 0,48$	$4 \pm 1,2$

nm : non mesuré

Les sédiments

Des prélèvements de sédiments sont réalisés régulièrement sur quatre stations de prélèvement à proximité des centres de stockage de Soulaines et de Morvilliers, dans une petite mare localisée entre le bassin d'orage du CSTFA et le ru Loriguette, dans le ru Saint Victor, dans le ruisseau des Noues d'Amance et dans la rivière la Voire (prélèvements mensuels, semestriels ou trimestriels). Des prélèvements sont également effectués dans deux fossés à proximité immédiate du terminal ferroviaire situé à Brienne-le-Château (tableau V.63).

Le césium 137 est mesuré systématiquement dans les sédiments : celui-ci est imputable aux retombées passées des tirs atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl.

Les échantillons présentent des activités pour les isotopes 234 et 238 de l'uranium du même ordre de grandeur, comprises entre $4,46 \pm 0,34$ et $8,2 \pm 0,9$ Bq/kg sec, compatibles avec une origine naturelle.

Quatre valeurs significatives en césium 134, attribuables aux retombées de l'accident de Fukushima sur le territoire français, ont été mesurées en avril et mai 2011 dans les sédiments prélevés à Morvilliers, Soulaines-Dhuys, et La Ville-aux-Bois, à de faibles activités massiques comprises entre $1,1 \pm 0,37$ et $1,6 \pm 0,6$ Bq/kg sec.

L'analyse des sédiments prélevés dans un fossé proche du terminal ferroviaire de Brienne-le-Château révèle la présence de cobalt 60, d'origine artificielle, liée aux activités actuelles ou passées du terminal (une valeur significative à $2,2 \pm 0,7$ Bq/kg sec, sur les trois mesures effectuées).

Les autres radionucléides artificiels recherchés n'ont pas été détectés par les appareils de mesure utilisés.

Tableau V.63 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments prélevés à proximité des centres de stockage de l'Aube, de Morvilliers et du terminal ferroviaire (Bq/kg sec).

Radionucléide	Morvilliers Surveillance de centre TFA de Morvilliers	Soulaines- Dhuys	La Ville-aux-Bois	Rosnay-l'Hôpital	Brienne-le-Château Surveillance du terminal ferroviaire	
	Petite mare localisée entre le bassin d'orage du CSTFA de Morvilliers et le ru Loriguette	Ru de Saint Victor	Ruisseau Les Noues d'Amance	Rivière La Voire	Prélèvements dans des fossés, à proximité immédiate du terminal	
⁴⁰ K	nm	168 ± 17	310 ± 17	348 ± 32	367 ± 34	255 ± 41
¹³⁷ Cs	$0,31 \pm 0,07$	$1,99 \pm 0,24$	$0,81 \pm 0,09$	$4,64 \pm 0,46$	$5,1 \pm 0,6$	$4,2 \pm 0,8$
¹³⁴ Cs*	nm	< 0,38	< 0,38	< 0,47	< 0,5	< 0,46
⁶⁰ Co	< 0,1	< 0,5	< 0,5	< 0,6	$0,84 \pm 0,23$	< 0,6
²⁴¹ Am	nm	< 0,9	< 0,9	< 1,6	< 1	< 1,1
²³⁸ Pu	< 0,019	< 1,2	< 0,6	< 1,3	< 1	< 1,1
²³⁹ Pu	nm	< 1,7	< 1,3	< 2,1	< 1,5	< 0,9
²⁴⁰ Pu	nm	< 2,2	< 1,8	< 2,9	< 2,2	< 1,1
²³⁴ U	$8 \pm 1,1$	$8,2 \pm 0,9$	$5,38 \pm 0,39$	$7,4 \pm 0,7$	nm	nm
²³⁸ U	$6,5 \pm 0,8$	$7,5 \pm 0,9$	$4,46 \pm 0,34$	$6,8 \pm 0,6$	nm	nm

* Hors valeurs ponctuellement mesurées en avril et mai 2011 imputables à l'accident de Fukushima.

nm : non mesuré



© Geneviève Baumont/IRSN

Figure V.146 - Le centre nucléaire de production d'électricité du Tricastin.



© A. Chézère/CEA



VI

LA SURVEILLANCE DES CENTRES DE RECHERCHE ET DES BASES NAVALES NUCLÉAIRES

VI.1 Les centres de recherche du CEA et le centre
de recherche international de l'ILL

VI.2 Les bases navales nucléaires

Les résultats présentés dans ce chapitre concernent la surveillance de l'environnement réalisée sur les centres de recherche et les bases navales nucléaires localisés sur la figure VI.1 ci-dessous.



Figure VI.1 - Localisation géographique des centres de recherche et des bases navales nucléaires.

VI.1 LES CENTRES DE RECHERCHE DU CEA ET LE CENTRE DE RECHERCHE INTERNATIONAL DE L'ILL

La surveillance mise en place autour des centres de recherche est adaptée aux différentes sources d'exposition radiologiques potentielles présentes sur ces sites (un centre pouvant regrouper plusieurs types d'installations nucléaires) et aux spécificités environnementales de chacun des sites. Pour cette raison, les programmes de surveillance (fréquence, matrices prélevées, radionucléides) et les résultats associés sont distincts d'un site à l'autre.

Sont présentés dans ce chapitre, les résultats de la surveillance radiologique des centres CEA de Cadarache, Saclay, Bruyères-le-Châtel, Marcoule et Valduc, ainsi qu'à Fontenay-aux-Roses, dont les activités nucléaires sont fortement réduites. La surveillance de l'environnement du CEA de Grenoble et de l'Institut Laue-Langevin, commune à ces deux sites, étant depuis 2010 sous la responsabilité de l'ILL, les résultats sont présentés dans un seul et même chapitre.

Les résultats des mesures concernant l'installation Centraco de Codolet sont analysés conjointement à ceux du CEA Marcoule qui jouxte cet établissement.

Centre CEA de Cadarache

Le centre de Cadarache (13), créé en octobre 1959, est implanté sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance, à une quarantaine de kilomètres au nord d'Aix-en-Provence. Les activités de ce centre sont réparties

autour de plusieurs plateformes technologiques de recherche et de développement essentiellement pour l'énergie nucléaire, mais aussi pour les nouvelles technologies pour l'énergie (la biomasse, l'hydrogène) et les études sur les effets des rayonnements sur les plantes (écophysiologie végétale et microbiologie).



Figure VI.2 - Localisation géographique du CEA de Cadarache.

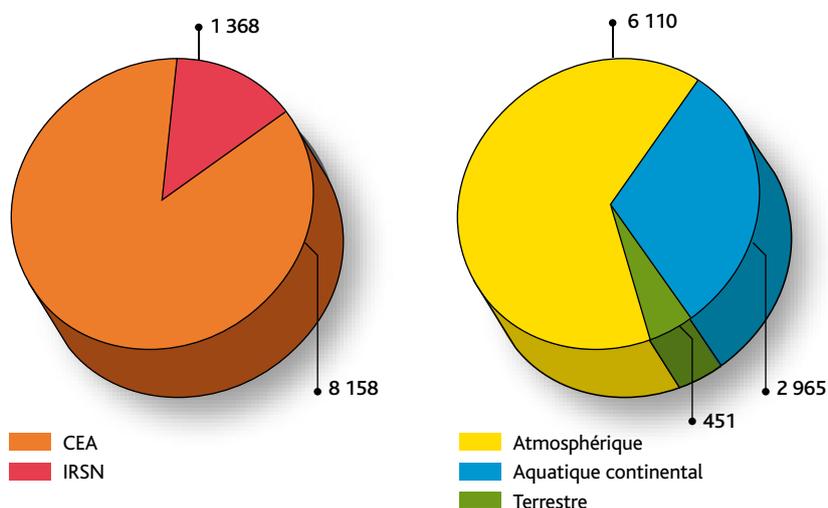


Figure VI.3 - CEA de Cadarache, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Le suivi des indices d'activité bêta et alpha (figures VI.4 et VI.5) n'a révélé aucune valeur anormale liée aux activités du centre de Cadarache. Aucun radionucléide émetteur gamma artificiel n'a pu être mesuré au-dessus des seuils de décision des protocoles de mesure utilisés.

Dans l'environnement du site CEA de Cadarache, des activités significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées entre la fin du mois de mars et le début du mois de mai 2011 (tableau VI.1). Ces observations sont attribuables aux passages sur le territoire français de masses d'air contaminées par l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Une augmentation de l'indice d'activité bêta a également été observée pendant cette période (figure VI.4). Elle s'explique par la présence de radionucléides artificiels liés à l'accident de la centrale japonaise.

En savoir plus

Chapitre III – L'accident de Fukushima

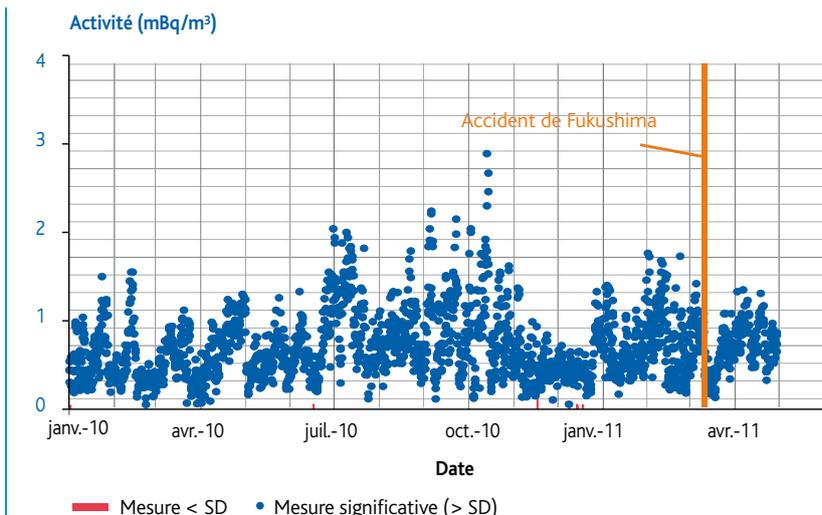


Figure VI.4 - Indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité du centre CEA de Cadarache (mBq/m³).

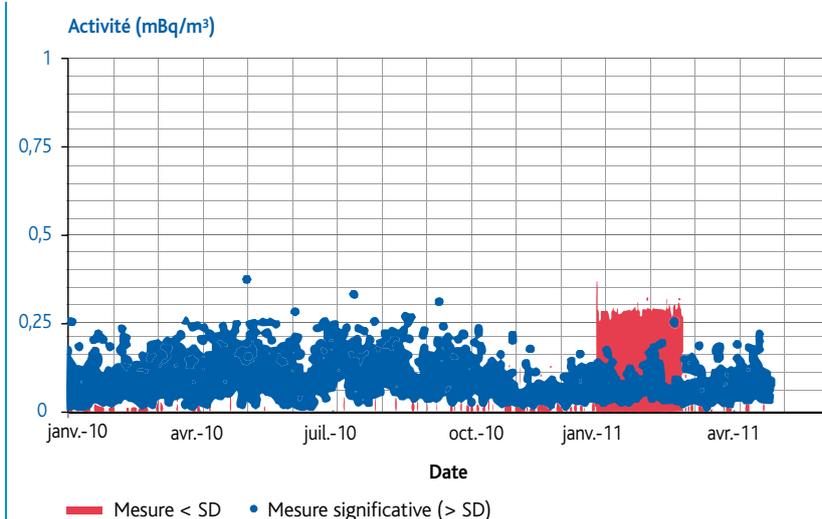


Figure VI.5 - Indice d'activité alpha globale des aérosols à proximité du centre CEA de Cadarache (mBq/m³).

Tableau VI.1 - Activités des aérosols prélevés dans l'environnement du CEA de Cadarache (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,032 ± 0,001
	Activité bêta	0,32 ± 0,01 0,68 ± 0,02*
Radionucléides d'origine artificielle	Césium 134	0,032 ± 0,008*
	Césium 137	0,036 ± 0,008*
	Iode 131	0,13 ± 0,02*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

Les gaz prélevés par barboteurs

Le tritium et le carbone 14 atmosphériques sont collectés à l'aide de barboteurs. Les activités mesurées pour ces deux radionucléides sont rarement supérieures aux seuils de décision (activités moyennes respectives de 0,18 Bq/m³ pour le tritium – voir *figure VI.6* – et de 0,06 Bq/m³ pour le carbone 14).

Les autres gaz (iode 131)

La surveillance de l'activité en iode 131 sous forme de gaz a mis en évidence la présence de ce radionucléide pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (*tableau VI.2*). En dehors de cette période, aucune activité significative n'a été mesurée, ce radionucléide étant peu présent dans les rejets des installations du centre.

Tableau VI.2 - Activité en iode 131 mesurée sous forme de gaz dans l'air ambiant à proximité du CEA de Cadarache (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou seuil de décision (mBq/m ³)
Radionucléide sous forme de gaz – origine artificielle	Iode 131	< 2,9 0,14 ± 0,04 *

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

Les eaux de pluie

Le tritium des eaux de pluie collectées à proximité du site est mesuré à des activités comprises entre les seuils de décision (95 % des cas) et 6,5 Bq/L au maximum entre 2009 et mi-2011 (*figure VI.7*). Les rejets en tritium du site étant faibles, les niveaux en tritium observés dans l'environnement sont très bas et le plus souvent non quantifiables.

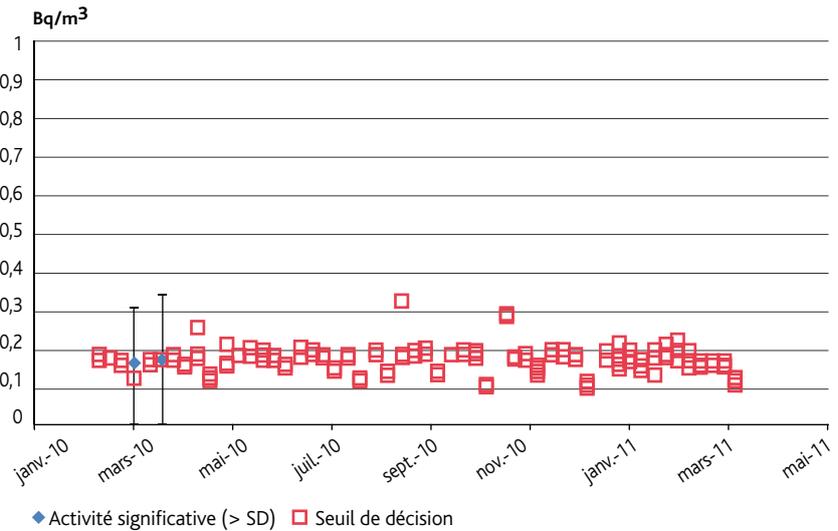


Figure VI.6 - Activité du tritium dans l'air à proximité du site CEA de Cadarache (Bq/m³).

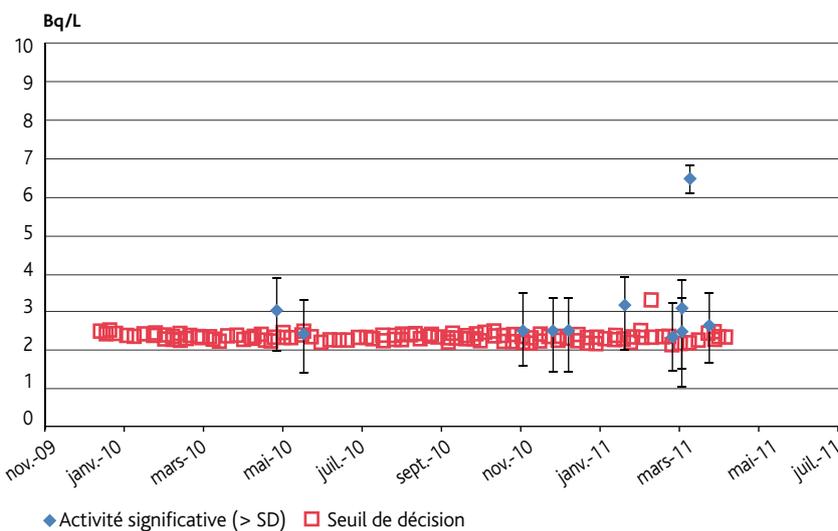


Figure VI.7 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de pluie à proximité du site CEA de Cadarache (Bq/L).

Compartiment terrestre

La surveillance terrestre du CEA de Cadarache s'appuie sur des prélèvements réguliers de lait, de productions agricoles de végétaux et de céréales dans des zones situées sous influence potentielle des rejets des installations, dans un périmètre compris entre 0 et 20 km du site.

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

Des échantillons de lait (caprin, bovin) sont collectés mensuellement ou trimestriellement dans trois fermes situées dans les communes de Gréoux-les-Bains, Meyrargues et Jouques. La radioactivité mesurée est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle, dont les activités volumiques moyennes s'élèvent à $49,6 \pm 2,8$ Bq/L dans le lait de vache et $61 \pm 2,2$ Bq/L dans le lait de chèvre.

En situation normale, les radionucléides émetteurs gamma artificiels (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I), de même que le tritium libre ne sont pas détectés par les moyens de surveillance de routine. Des traces d'iode 131 ont toutefois été mesurées dans le lait de chèvre collecté le 8 avril 2011 à Gréoux-les-Bains ($0,55 \pm 0,3$ Bq/L) : celles-ci résultent des retombées atmosphériques à très grande distance des rejets de la centrale accidentée de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les installations du CEA de Cadarache ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collecté aux abords de ce site. Seul le potassium 40, d'origine naturelle, est mesuré à une activité massique moyenne de 137 ± 29 Bq/kg sec.

Les légumes-feuilles et plantes aromatiques

Les analyses réalisées sur des prélèvements mensuels ou annuels de thym, de ciboulette et d'épinards cultivés à proximité du centre de Cadarache n'ont révélé aucune anomalie (tableau VI.3). Du césium 137 est régulièrement mesuré dans les échantillons de thym, vraisemblablement lié aux retombées de l'accident de Tchernobyl. Les traces de strontium 90 mesurées dans les épinards collectés à Vinon-sur-Verdon sont imputables aux essais aériens d'engins nucléaires dans l'atmosphère.

Suite à la catastrophe nucléaire survenue sur la centrale de Fukushima-Daiichi au Japon le 11 mars 2011, des traces d'iode 131 ont été mesurées sur les quatre échantillons de thym prélevés le 3 avril 2011. Les activités mesurées sont comprises entre $0,36 \pm 0,26$ et $0,99 \pm 0,43$ Bq/kg frais. De même, de faibles activités en césium 134 ont également été détectées sur le prélèvement de thym réalisé le 3 avril 2011 à Ginasservis (activité massique de $0,26 \pm 0,13$ Bq/kg frais).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

■ **Tableau VI.3** - Activités moyennes mesurées dans les légumes et les herbes aromatiques prélevées autour du CEA Cadarache (Bq/kg frais).

Radionucléide	Saint-Paul-lez-Durance			Ginasservis	Vinon-sur-Verdon	
	300 m au sud du site (sous les vents dominants)	3,8 km au sud-ouest du site (sous les vents dominants)	1,7 km au nord-est du site (hors influence des vents dominants)	7,6 km au sud-est du site (sous les vents dominants)	5,5 km au nord-est du site (hors influence des vents dominants)	
	Thym	Thym	Thym	Thym	Ciboulette	Épinard
^{40}K	229 ± 7	233 ± 8	202 ± 6	201 ± 6	35 ± 10	185 ± 23
^{137}Cs	$0,24 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,03$	$0,22 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,03$	$< 0,12$	$< 0,06$
$^{134}\text{Cs}^*$	$< 0,16$	$< 0,15$	$< 0,14$	$< 0,14$	$< 0,1$	$< 0,05$
^{210}Pb	$37,4 \pm 3,3$	54 ± 5	$33,8 \pm 3,3$	61 ± 5	nm	nm
^{90}Sr	nm	nm	nm	nm	nm	$0,08 \pm 0,015$
^3H libre	nm	nm	nm	nm	nm	< 8

* Hors valeur significative mesurée à la suite de l'accident de Fukushima
nm : non mesuré

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Le CEA de Cadarache est le seul site nucléarisé qui borde la Durance. Les rejets sont surveillés en aval du site par prélèvement automatique au droit du pont de Mirabeau. Le tritium n'est quasiment plus quantifiable (car à des niveaux inférieurs à 5 Bq/L) depuis le début des années 1990 (figure VI.8).

Les sédiments

En 2010, trois prélèvements de sédiments ont été réalisés dans la Durance, sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance, à 400 mètres en aval du point de rejet des effluents liquides du site de Cadarache.

Parmi les radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle recherchés, seules des traces de césium 137 sont détectées. La valeur moyenne annuelle en 2010 pour ce radionucléide, de $1,07 \pm 0,17$ Bq/kg sec, est du même ordre de grandeur que les niveaux observés les années précédentes. Compte tenu des faibles niveaux de césium 137 rejeté dans les effluents liquides du site de Cadarache (< 10 Bq/L dans les effluents avant rejet dans la Durance), la présence de ce radionucléide dans les sédiments s'explique principalement par la rémanence due aux retombées atmosphériques (tirs aériens d'armes nucléaires et accident de Tchernobyl). Les résultats des mesures des autres radionucléides sont tous restés inférieurs aux seuils de décision (tableau VI.4).

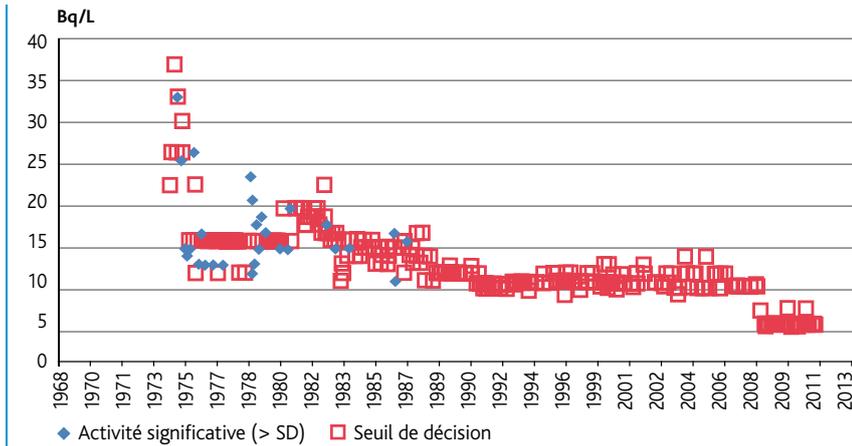


Figure VI.8 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de la Durance en aval du site CEA de Cadarache (Bq/L).

Les eaux souterraines

D'autres points de prélèvement ponctuels existent, notamment en nappe phréatique via un réseau de piézomètres. Le site repose sur deux aquifères, l'un supérieur constitué par les formations détritiques du Miocène et du Quaternaire, le second constitué par des calcaires karstiques. L'exutoire final est la Durance via ses affluents.

Un léger marquage alpha global (0,11 Bq/L) est observé dans le piézomètre « CHAU02 » situé sur le site (figure VI.9) à proximité de l'installation Magenta. Ce piézomètre présentait déjà des valeurs alpha globales légèrement supérieures au seuil de décision, d'origine naturelle, avant la mise en exploitation de cette installation.

Le tritium est mesuré à des valeurs comprises entre les seuils de décision et 50 Bq/L au point « SD5 » (figure VI.10). Ce point est aussi marqué en activité bêta globale, avec des activités fluctuant entre 3 et 71 Bq/L de 2009 à mi-2011 (figure VI.11). Le marquage historique de cette nappe n'a pas d'impact à l'extérieur du site.

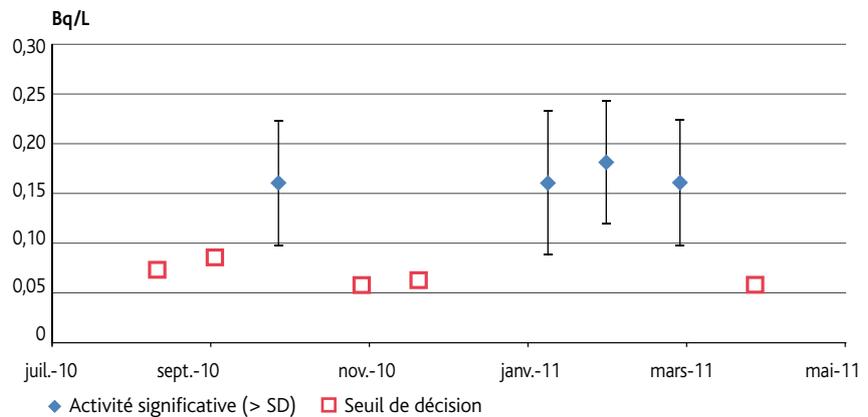


Figure VI.9 - Activité alpha globale mesurée dans l'eau de nappe au niveau du piézomètre « CHAU02 » (Bq/L).

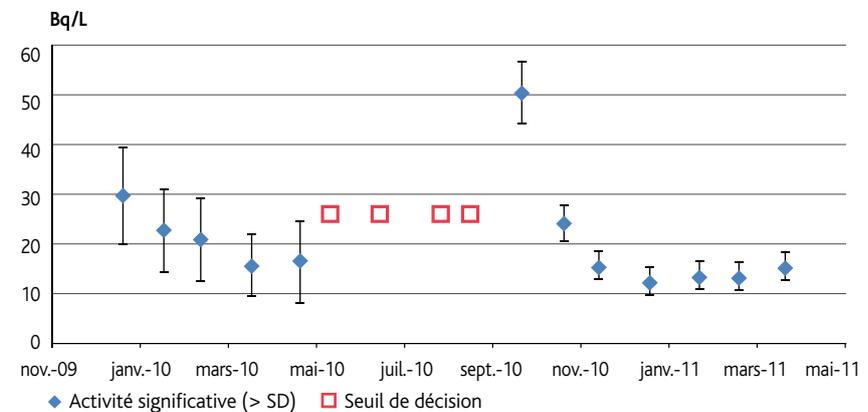


Figure VI.10 - Activité du tritium mesurée dans l'eau de nappe au niveau du piézomètre SD5 (Bq/L).

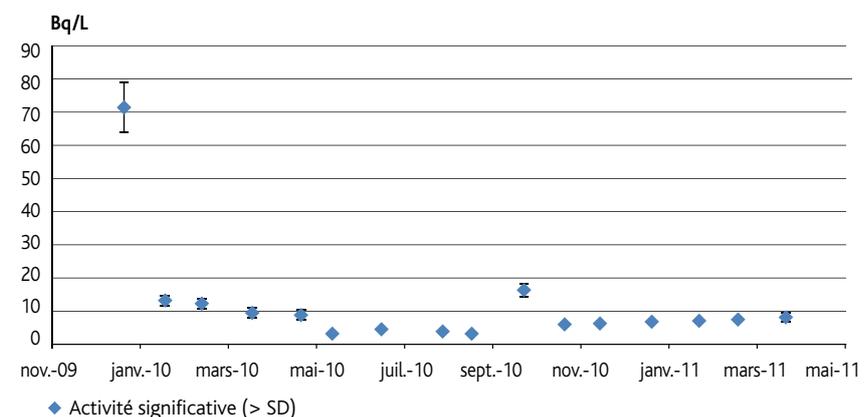


Figure VI.11 - Activité bêta globale mesurée dans l'eau de nappe au niveau du piézomètre SD5 (Bq/L).

Tableau VI.4 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments de la Durance, prélevés à 400 m du point de rejet du CEA Cadarache (Bq/kg sec).

Radionucléide	Activité
^{40}K	253 ± 20
^{137}Cs	$1,07 \pm 0,17$
Autres radionucléides émetteurs gamma ($^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{131}I , ^{54}Mn , ^{106}Ru)	< 6
^{241}Am	$0,16 \pm 0,05$
^{238}Pu	< 0,05
$^{239+240}\text{Pu}$	< 0,05

Centre CEA de Bruyères-le-Châtel

Le centre de Bruyères-le-Châtel (91), créé en 1955, a abrité les premières études de métallurgie des matières nucléaires utilisées dans les armes.

Aujourd'hui, ce centre est un établissement de recherche dont les activités sont regroupées

autour de différents pôles (simulation et modélisation du fonctionnement des armes nucléaires, exploitation des compétences dans la surveillance des anciens champs de tirs français, soutien des organisations internationales pour la vérification du traité d'arrêt complet des essais nucléaires et gestion des projets de construction, d'assainissement et de démantèlement d'installations nucléaires).

Les activités militaires de ce site ont été transférées au centre de Valduc en 1996. Depuis 1997, les opérations d'assainissement des installations en démantèlement continuent de produire des rejets de tritium dans les effluents gazeux, dont l'activité annuelle décroît progressivement (plus de 100 TBq rejetés en 2005, moins de 50 TBq en 2009).



Figure VI.12 - Implantation géographique du CEA de Bruyères-le-Châtel.

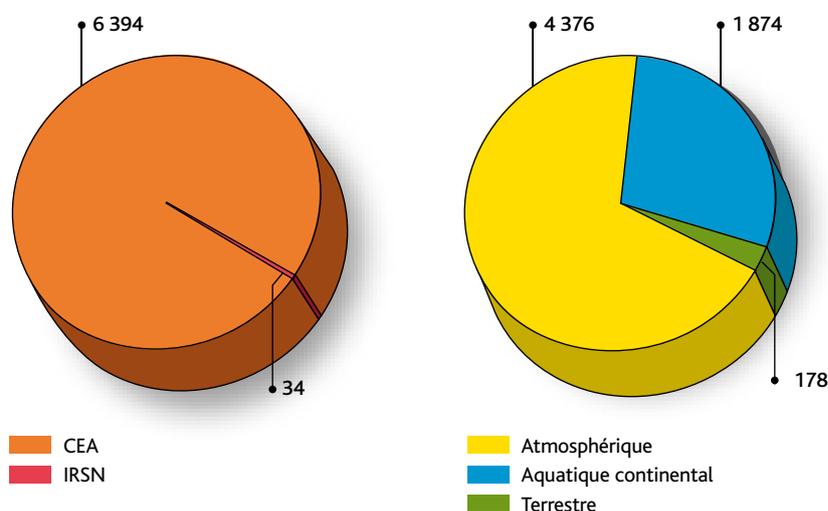


Figure VI.13 - CEA de Bruyères-le-Châtel, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations réalisées pendant la période de l'accident de Fukushima, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité alpha (figure VI.15) et bêta (figure VI.14) et aucun radionucléide artificiel n'ont été mis en évidence.

Dans l'environnement du site du CEA de Bruyères-le-Châtel, la surveillance des aérosols atmosphériques a mis en évidence une augmentation de l'indice d'activité bêta globale entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableau VI.5 et figure VI.14), attribuable à la présence de radionucléides artificiels rejetés lors de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Tableau VI.5 - Indices d'activité alpha et bêta des aérosols de l'environnement du CEA de Bruyères-le-Châtel (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,024 ± 0,001
	Activité bêta	0,25 ± 0,01 0,47 ± 0,01*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

Les eaux de pluie

Les eaux de pluie sont collectées aux quatre points cardinaux du site. Elles présentent des activités qui varient selon les rejets gazeux et la direction des vents. Seule la majorité des activités en tritium mesurées dans les eaux du collecteur situé à l'est du site est supérieure à 5 Bq/L, avec des valeurs maximales en 2010 proches de 30 Bq/L témoignant des activités du site (figure VI.16).

Activité (mBq/m³)

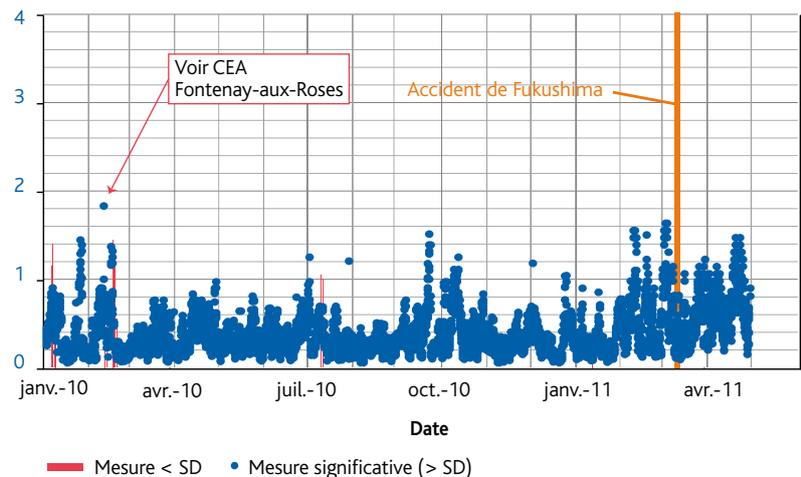


Figure VI.14 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité des CEA de Bruyères-le-Châtel, Saclay et Fontenay-aux-Roses (mBq/m³).

Activité (mBq/m³)

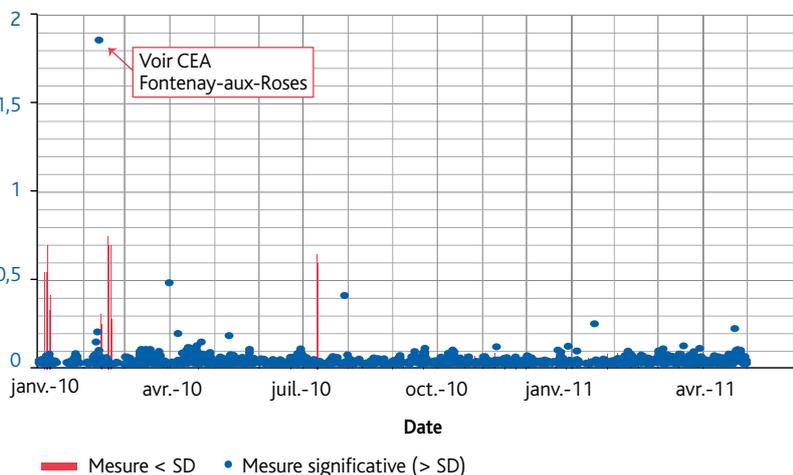


Figure VI.15 - Chronique de l'indice d'activité alpha globale des aérosols à proximité des CEA de Bruyères-le-Châtel, Saclay et Fontenay-aux-Roses (mBq/m³).

Bq/L

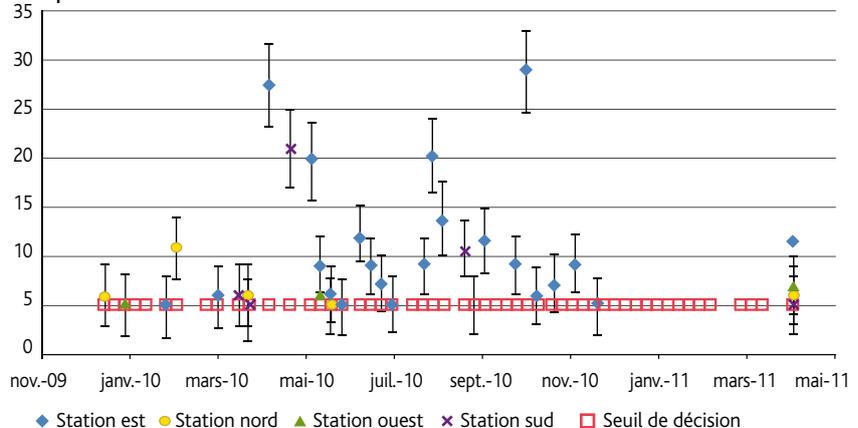


Figure VI.16 - Activité du tritium dans les eaux de pluie à proximité du site CEA de Bruyères-le-Châtel (Bq/L).

Compartiment terrestre

L'environnement proche du centre CEA de Bruyères-le-Châtel est surveillé *via* des prélèvements mensuels d'herbe et de lait. Des prélèvements de légumes complètent la surveillance de ce site.

La flore terrestre

Du tritium est ponctuellement mesuré sur les herbes prélevées dans un rayon de 1,7 km autour du CEA de Bruyères-le-Châtel. Les valeurs significatives en tritium libre, comprises entre $3,2 \pm 1,9$ et $6,7 \pm 2,1$ Bq/kg frais, sont proches des seuils de décision et révèlent un faible marquage de l'environnement par les rejets atmosphériques du centre de Bruyères-le-Châtel (*tableau VI.6*).

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

La radioactivité mesurée dans le lait de vache collecté mensuellement dans des fermes agricoles de Saint-Sulpice-de-Favières et Cheptainville est principalement due au potassium 40, d'origine naturelle, dont l'activité volumique moyenne s'élève à $35,6 \pm 0,6$ Bq/L. Entre janvier 2010 et fin mai 2011, le lait de Cheptainville a présenté ponctuellement des traces de tritium (10 ± 4 Bq/L en septembre 2010 et $3,6 \pm 1,9$ Bq/L en mars 2011). Ces activités sont à mettre en relation avec le marquage de l'herbe dû aux rejets de ce site.

Les légumes-feuilles

Les carottes prélevées à Saint-Yon en 2010 présentaient une activité massique en tritium organiquement lié de $0,123 \pm 0,006$ Bq/kg frais. Cette valeur est proche de ce que l'on peut observer naturellement dans l'environnement.

Compartiment aquatique continental

Le site CEA de Bruyères-le-Châtel est implanté sur le bassin versant de l'Orge, affluent de la Seine par sa rive gauche, dont le débit avoisine $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les eaux de surface

Les césiums 134 et 137, le cobalt 60, le sélénium 75, ou encore le strontium 90 ne sont pas mesurables dans les eaux de surface prélevées à proximité du site CEA de Bruyères-le-Châtel. Un point d'eau de surface situé aux abords du bassin de retenue de l'Orge présente un marquage alpha global moyen de 0,07 Bq/L, légèrement supérieur aux autres points de prélèvements (0,04 Bq/L) (*figure VI.17*). Ce marquage est essentiellement lié à des radionucléides d'origine naturelle.

L'eau de la mare dénommée « mare 6 » située à l'ouest du bassin de retenue de l'Orge présente une activité alpha globale de l'ordre de 1 Bq/L. Seul ce point de prélèvement présente ce marquage. Au sein des autres mares, cette activité oscille entre 0,05 Bq/L et 0,1 Bq/L (*figure VI.18*).

La présence d'émetteurs alpha dans la mare 6, dont l'activité volumique est supérieure à celle des autres mares, est d'origine naturelle (présence des descendants des chaînes de l'uranium naturel). Cette mare est située dans un environnement agricole (la teneur en ^{238}U est renforcée par l'utilisation d'engrais).

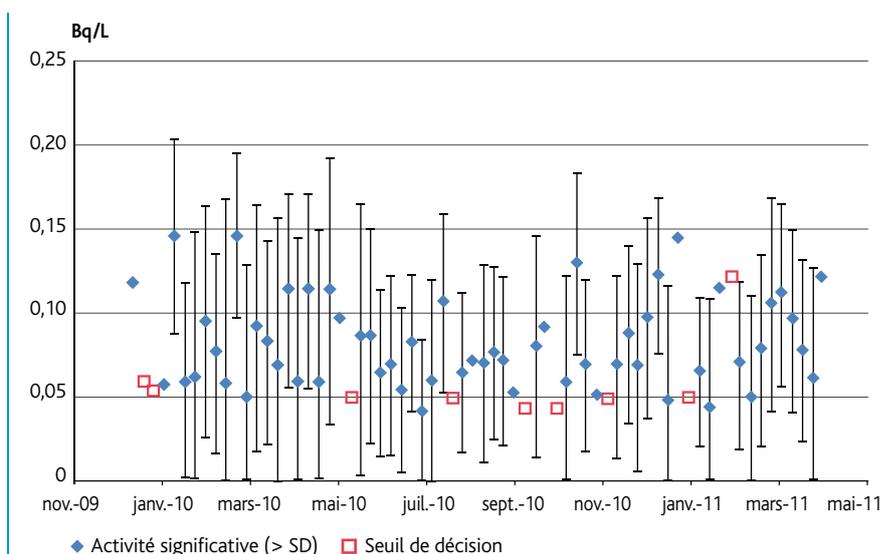


Figure VI.17 - Activité alpha globale d'eau de surface prélevée à proximité du bassin de retenue de l'Orge (Bq/L).

Tableau VI.6 - Activités moyennes en tritium mesurées dans l'herbe prélevée autour du CEA de Bruyères-le-Châtel.

Lieu de prélèvement	Nombre de résultats significatifs/nombre total de mesures de ^3H libre	^3H libre (Bq/kg frais)	^3H lié (Bq/kg sec)
Bruyères-le-Châtel Ouest du site	0/17	< 3,2	nm
Bruyères-le-Châtel Sud-ouest du site	2/17	$3,2 \pm 0,39$	nm
Ollainville Sud-est du site	3/17	$3,33 \pm 0,41$	nm
Ollainville Nord-est du site	5/17	$3,41 \pm 0,41$	$2,34 \pm 0,12$

nm : non mesuré

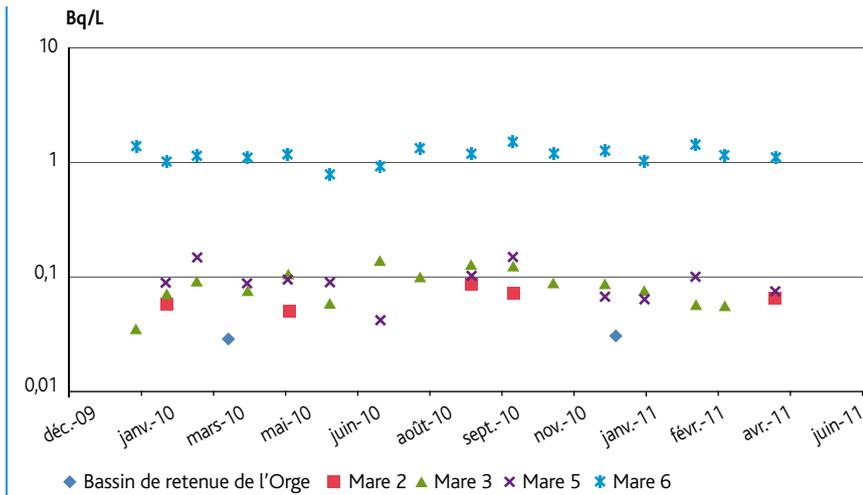


Figure VI.18 - Activité alpha globale des eaux prélevées dans les mares à proximité du site CEA de Bruyères-le-Châtel (Bq/L).



Figure VI.19 - Prélèvement d'eau dans la mare Fontaine, près du CEA de Bruyères-le-Châtel.

Les sédiments

L'environnement de ce centre a fait l'objet, en 2008, d'une campagne de prélèvement exploratoire, réalisée par l'IRSN, afin d'examiner les niveaux de radioactivité présents dans les sédiments des cours d'eau et des plans d'eau. Deux points de prélèvements ont été retenus pour assurer la surveillance de routine du site, dans la Rémarde et le ruisseau Le Grand Rué. La présence de radionucléides transuraniens tels que le plutonium 239+340 et l'américium 241 est imputable aux rejets d'effluents liquides passés (tableau VI.7). Comme en 2008 et 2009, les rapports isotopiques des isotopes 234 et 238 de l'uranium mesurés en 2010, proches de 1, témoignent de la présence d'uranium d'origine naturelle.

Tableau VI.7 - Activités mesurées dans les sédiments prélevés en 2010 à proximité du site de Bruyères-le-Châtel (Bq/kg sec).

Radionucléide	Ruisseau Le Grand Rué	La Rémarde
^{137}Cs	$1,02 \pm 0,28$	$2,6 \pm 1$
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{134}Cs , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{106}Ru)	< 4,6	< 6
^{241}Am	$0,59 \pm 0,16$	$0,16 \pm 0,08$
^{238}Pu	< 0,08	nm
$^{239+240}\text{Pu}$	$3,2 \pm 0,5$	nm
^{234}U	$15,3 \pm 3,2$	$12,9 \pm 1,2$
^{235}U	$0,84 \pm 0,18$	$0,68 \pm 0,16$
^{238}U	$16,3 \pm 3,3$	$13,1 \pm 1,2$
Ratios d'activité $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	0,941	0,980

nm : non mesuré

Centre CEA de Fontenay-aux-Roses

Le centre de Fontenay-aux-Roses (92), premier centre CEA, a été implanté au fort de Châtillon en 1946. Pendant près de dix ans, ce site, situé sur la commune de Fontenay-aux-Roses, était au cœur des activités de

recherche et de développement nucléaire en France, avec entre autres la première pile atomique française, Zoé.

Après s'être orienté vers la chimie du plutonium et des transuraniens, l'irradiation et l'examen de combustibles, la radio métallurgie et la fusion contrôlée, le CEA a stoppé en 1995

toute activité de recherche nucléaire à Fontenay. Ce centre est aujourd'hui tourné vers des recherches ciblées sur des thématiques à forts enjeux socio-économiques et de santé publique : radiobiologie et toxicologie, neuro-virologie et maladie à prions, robotique et réalité virtuelle.

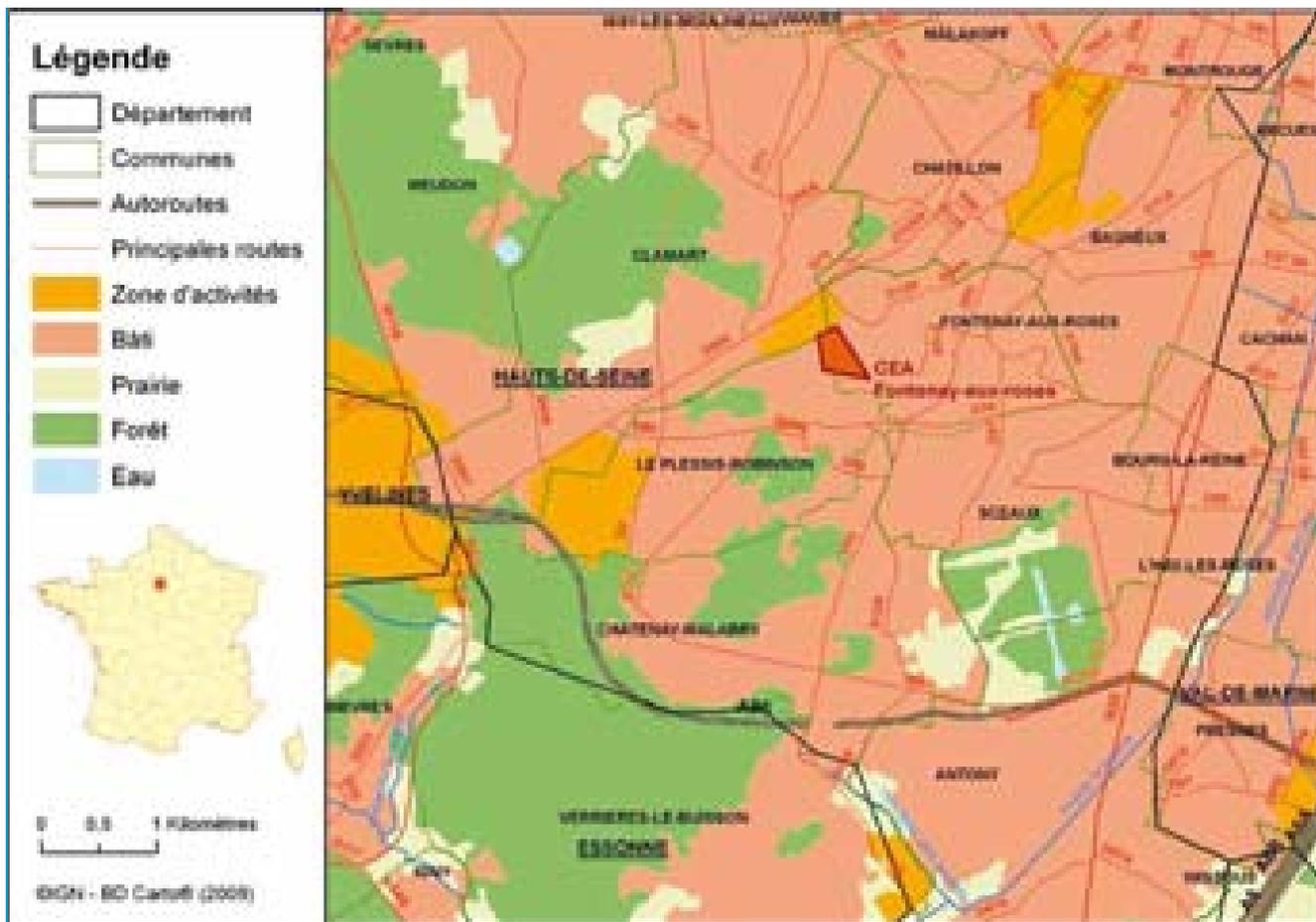


Figure VI.20 - Implantation géographique du CEA de Fontenay-aux-Roses.

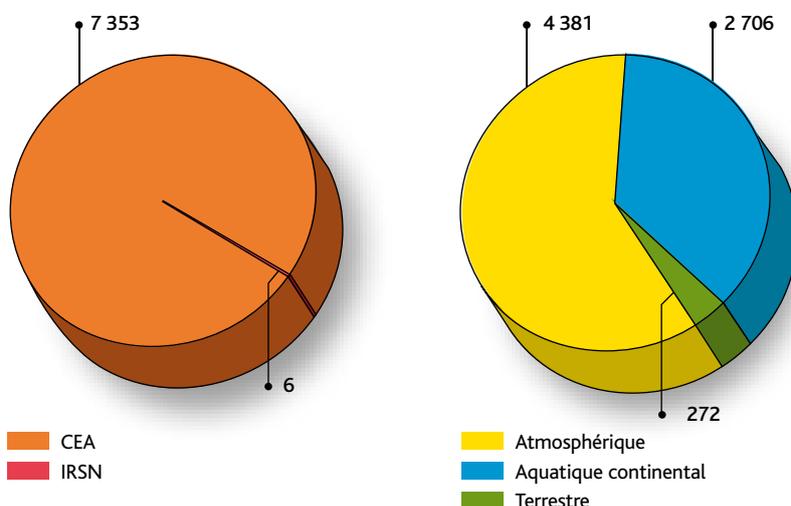


Figure VI.21 - CEA de Fontenay-aux-Roses, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Dans l'environnement du site du CEA de Fontenay-aux-Roses, la surveillance des aérosols atmosphériques réalisée par un contrôle des indices d'activité alpha globale et bêta globale (figure VI. 14 et VI. 15) a mis en évidence des valeurs inhabituelles sur un prélèvement effectué dans la commune de Fontenay-aux-Roses entre le 11 et le 12 février 2010 (indice d'activité bêta : $1,8 \pm 0,9$ mBq/m³, indice d'activité alpha : $1,9 \pm 0,9$ mBq/m³). Les investigations complémentaires menées ont permis de conclure que ces activités inhabituelles n'étaient pas dues à des radionucléides d'origine artificielle.

Outre cette constatation et en dehors de la période de l'accident de Fukushima, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité alpha et bêta et aucun radionucléide artificiel n'ont été mis en évidence dans l'environnement.

Une augmentation de l'indice d'activité bêta globale, entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011, a également été observée (tableau VI.8). Elle est attribuable à la présence de radionucléides artificiels rejetés lors de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

Les gaz prélevés par barboteurs

Le tritium atmosphérique, collecté à l'aide de barboteurs, a présenté des activités moyennes de l'ordre de 0,3 Bq/m³ en 2010 (figure VI.23). L'activité en tritium HTO a légèrement augmenté au premier semestre 2011 (entre 0,6 et 0,8 Bq/m³). Avant janvier 2011, seule la mesure du premier pot de barbotage était utilisée dans le calcul d'activité du tritium atmosphérique. Suite à une inspection en décembre 2010, l'ASN a incité le CEA à exploiter le second pot de barbotage afin de pouvoir sommer les activités des deux pots. Ceci explique l'augmentation d'activité à partir de janvier 2011.

Tableau VI.8 - Indices d'activité alpha et bêta des aérosols de l'environnement du CEA de Fontenay-aux-Roses (mBq/m³).

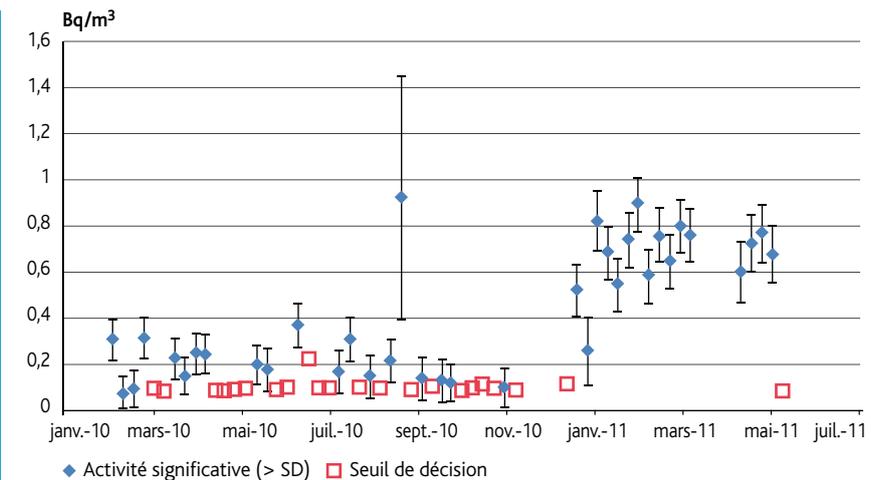
Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,025 ± 0,001
	Activité bêta	0,29 ± 0,01 0,57 ± 0,01*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.



Figure VI.22 - Récupération et conditionnement du filtre aerosol quotidien.

© F. Jannin/CEA



Les autres gaz

La surveillance de l'activité en iode 131 sous forme de gaz a mis en évidence la présence de ce radionucléide pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (tableau VI.9).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

En dehors de cette période, aucune activité significative n'a été mesurée, ce radionucléide étant peu ou pas présent dans les rejets des installations du centre de Fontenay-aux-Roses.

Les eaux de pluie

Une activité alpha globale de 1,17 Bq/L a été détectée en juin 2010 dans les eaux de pluie (figure VI.24) prélevées à Bagneux. Cette activité est liée à un incendie à proximité de la station de surveillance de l'environnement. Cet incendie a généré une importante diffusion atmosphérique de particules solides, qui se sont ensuite déposées dans le collecteur d'eau de pluie par gravitation et lessivage de la colonne d'air. Les mesures complémentaires par spectrométrie, réalisées par le CEA, indiquent des niveaux de radioactivité naturelle proches de ce que l'on observe sur les boues.

Compartiment terrestre

L'environnement proche du centre CEA de Fontenay-aux-Roses est surveillé *via* des prélèvements mensuels d'herbe.

La flore terrestre

Les analyses réalisées sur des échantillons d'herbe prélevés mensuellement à Fontenay-aux-Roses, Bagneux et Clamart n'ont révélé aucune activité anormale. Entre janvier 2010 et fin mai 2011, seuls trois prélèvements présentaient des activités significatives en césium 137, comprises entre $1,2 \pm 0,9$ et $1,8 \pm 1,1$ Bq/kg frais.

Tableau VI.9 - Activité en iode 131 sous forme de gaz mesurée dans l'air ambiant à proximité des CEA de Fontenay-aux-Roses et de Saclay (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou limite de détection (mBq/m ³)
Radionucléide sous forme gaz d'origine artificielle	Iode 131	< 0,51 0,21 ± 0,026*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

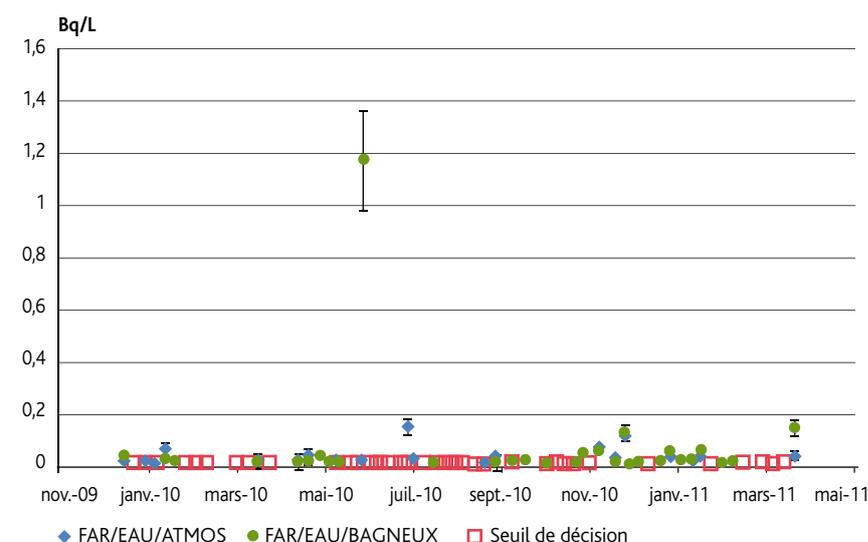


Figure VI.24 - Activité alpha globale dans les eaux de pluie à proximité du site de Fontenay-aux-Roses (Bq/L).

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

La surveillance des eaux de surface est réalisée à l'étang Colbert, retenue d'eau pluviale située sur la commune du Plessis-Robinson (92). L'analyse des radionucléides de ses eaux ne présente pas de marquage alpha global particulier (0,06 Bq/L). L'américium 241 et les césiums 134 et 137 n'y sont pas détectés. Le tritium est détecté dans 20 % des prélèvements réalisés, à des niveaux inférieurs à 4 Bq/L.

Les eaux souterraines

Le centre CEA de Fontenay-aux-Roses est situé au-dessus d'une nappe phréatique perchée située à 65 m de profondeur au droit du site. Deux points de résurgence de cette nappe, la fontaine du Lavoir et la fontaine du Moulin à Fontenay-aux-Roses, font l'objet d'un suivi dans le cadre du plan de surveillance hydrologique réalisé par le CEA. La nappe présente une activité alpha globale qui varie de 0,05 à 0,3 Bq/L en fonction du point de prélèvement (figure IV.25).

Les points de la nappe les plus marqués en tritium (figure VI.26) diffèrent de ceux marqués par des radionucléides émetteurs alpha. Le point nommé Nappe G présente une croissance de l'activité sur un an alors que celle aux autres points est rémanente. Toutefois, cette tendance à court terme est à mettre en perspective de l'étude historique des chroniques qui montre en ce point une cyclicité des mesures (tableau VI.10). Aucun autre radionucléide artificiel n'a été mesuré à ce point.

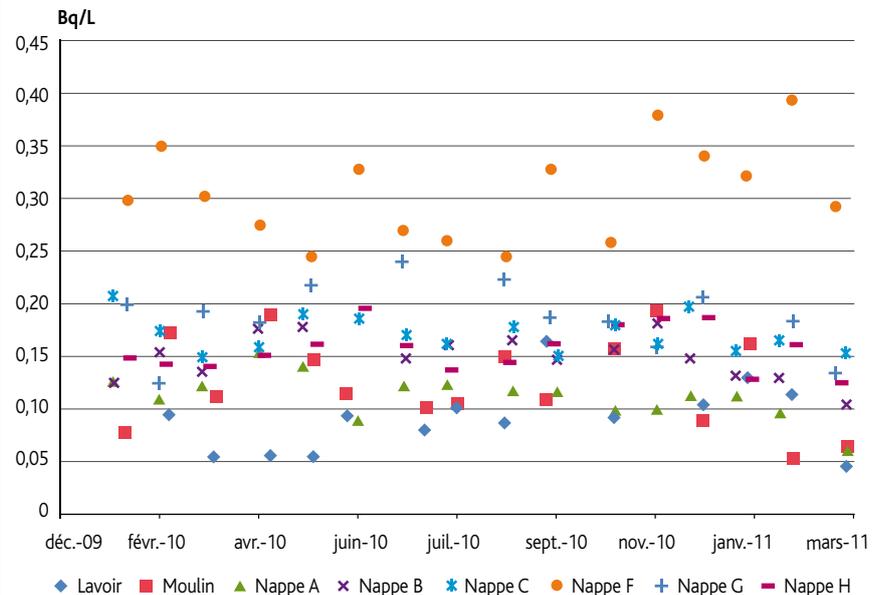


Figure VI.25 - Activité alpha globale dans l'eau de nappe à proximité du site de Fontenay-aux-Roses (Bq/L).

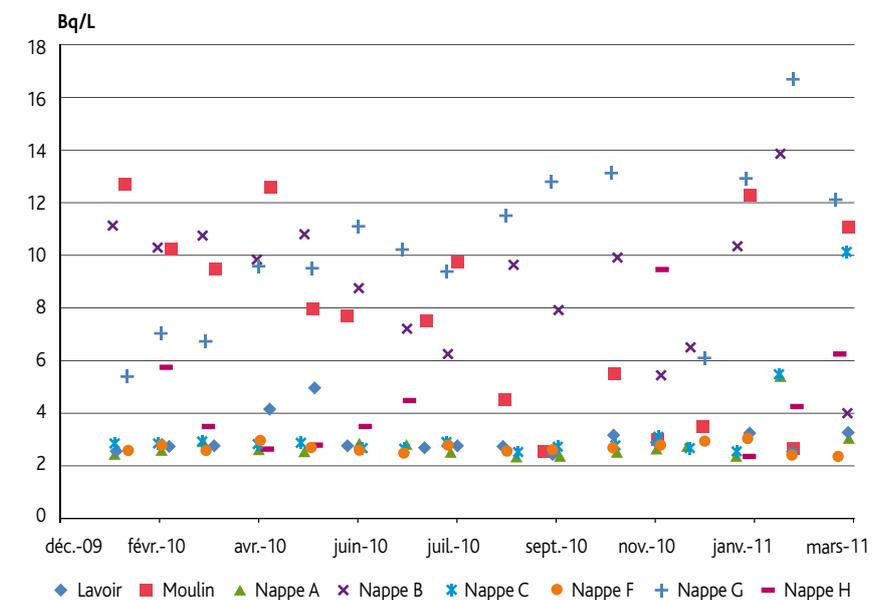


Figure VI.26 - Activité du tritium dans l'eau de nappe à proximité du site de Fontenay-aux-Roses (Bq/L).

Tableau VI.10 - Activité du tritium dans l'eau de nappe au point « Nappe G » à proximité du site de Fontenay-aux-Roses (Bq/L).

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Activité maximale du ^3H (Bq/L)	9,1	12,4	15	13	18,3	16,8	6,5	8,7	12,8	16,7
Activité moyenne du ^3H (Bq/L)	/	/	/	/	13,1	7,2	4,7	5,8	9,4	10,6
Écart type	/	/	/	/	2,92	3,54	1,18	1,34	2,61	3,33

Le site de Marcoule

Le site de Marcoule (Gard) compte parmi les sites nucléaires les plus importants et les plus diversifiés de France. Le CEA de Marcoule mène les études scientifiques et technologiques en soutien aux industriels, pour améliorer les performances des procédés des usines actuelles du cycle du combustible. Il intervient principalement dans le domaine du traitement-recyclage du combustible nucléaire après passage en réacteurs, pour

optimiser le recyclage des matières énergétiques valorisables, réduire et sécuriser les déchets ultimes. S'agissant de l'amont du cycle, le centre CEA de Marcoule mène une recherche pour garantir à l'industrie nationale la compétitivité technico-économique et la diminution de l'impact environnemental de ces étapes. Les sites de Marcoule comprennent 18 installations parmi lesquelles des réacteurs (Phénix), une usine de fabrication de combustibles (Melox), une installation de recherche en radiochimie de haute activité

(Atalante). Le premier réacteur français de production d'électricité (G1) y a également fonctionné par le passé ainsi que des installations précurseurs de l'usine de La Hague : l'usine de retraitement (UP1) et l'atelier de vitrification (AVM). La plupart de ces anciennes installations sont aujourd'hui arrêtées et à des niveaux plus ou moins avancés de démantèlement. Les 50 années d'activité de Marcoule ont également conduit à la production de déchets dont certains sont toujours en attente d'une filière d'élimination sûre.



Figure VI.27 - Implantation géographique du CEA de Marcoule.

Située sur le site de Marcoule, Centraco (Centre nucléaire de traitement et de conditionnement) est une usine gérée par la Société pour le conditionnement des déchets et des effluents industriels (Socodei). L'usine Centraco traite les déchets métalliques et combustibles dans l'objectif de réduire leur volume, de les recycler lorsque cela est possible, et de les conditionner sous forme de déchets ultimes acceptés par l'Andra. Les résultats des mesures de surveillance de ce site sont traités dans ce chapitre avec les données du centre CEA de Marcoule.

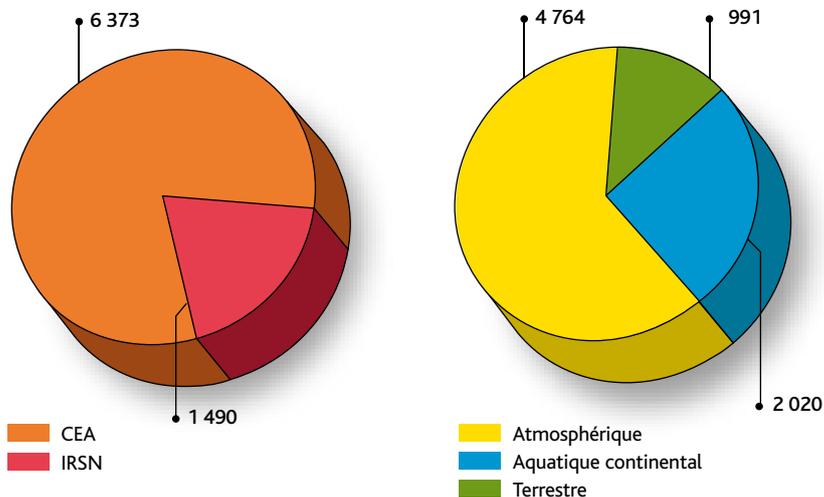


Figure VI.28 - CEA de Marcoule, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

En dehors de la période de l'accident de Fukushima, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité alpha (figure VI.30) et bêta n'a été mise en évidence. Seuls le plomb 210 et le béryllium 7, radionucléides d'origine naturelle, sont régulièrement mesurés.

Dans l'environnement du site de Marcoule, une augmentation de l'indice d'activité bêta mesurée dans les aérosols a été observée entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableau VI.11 et figure VI.29). Cette hausse est essentiellement due à la présence de radionucléides artificiels liés aux retombées atmosphériques sur le territoire français de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

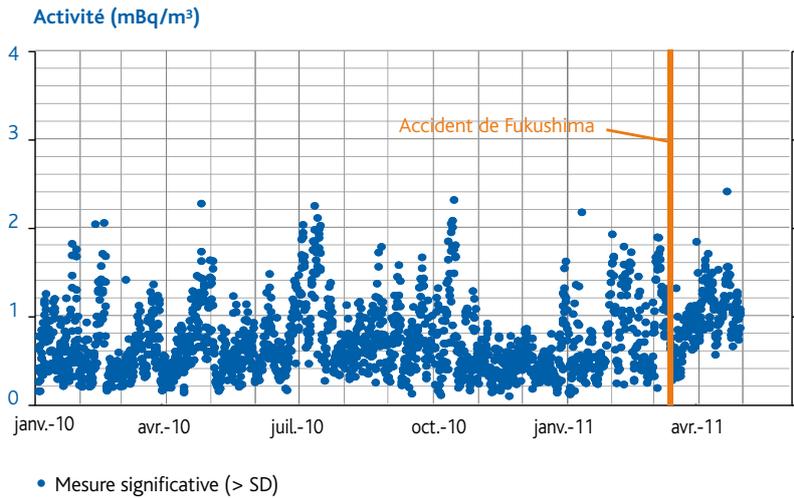


Figure VI.29 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité du site de Marcoule (mBq/m³).

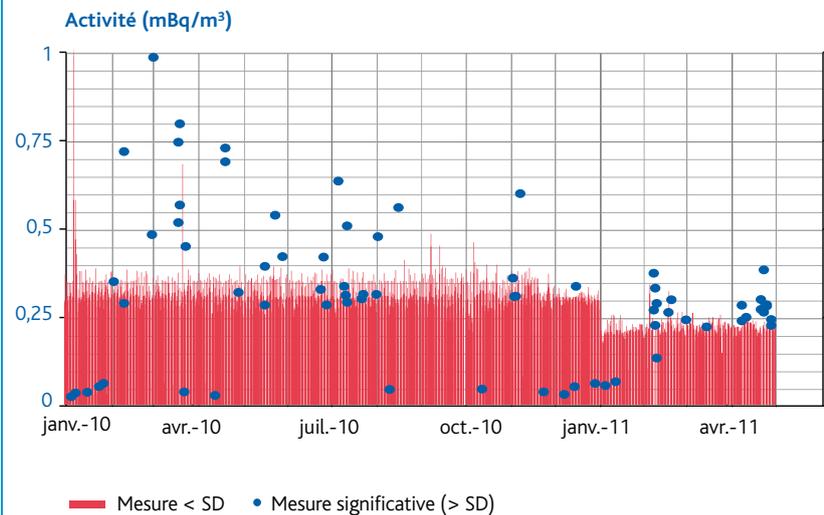


Figure VI.30 - Chronique de l'indice d'activité alpha globale des aérosols à proximité du site de Marcoule (mBq/m³).

Tableau VI.11 - Activités dans les aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site de Marcoule (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,13 ± 0,01
	Activité bêta	0,49 ± 0,01 0,96 ± 0,02*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima entre le 22 mars et le 6 mai 2011.

Les gaz prélevés par barboteurs

Le tritium dans l'air est mesuré en quantités significatives aux stations de prélèvement situées au sud du site à Codolet et au nord du site à Saint-Étienne-des-Sorts. L'influence des vents dominants qui soufflent principalement en direction du sud est observée sur la figure VI.31. L'activité volumique du tritium atmosphérique est généralement plus élevée et plus souvent significative à Codolet (au sud du site) qu'à Saint-Étienne-des-Sorts (au nord du site).

Les autres gaz

La surveillance de l'iode 129 sous forme de gaz est effectuée par des prélèvements d'air sur cartouche. Elle n'a pas mis en évidence d'activités significatives (tableau VI.12).

Les eaux de pluie

Les résultats d'analyses des eaux de pluie collectées à la station de Codolet, située au sud du site de Marcoule, mettent en évidence la présence continue de tritium dans l'air, confirmant les observations faites avec les barboteurs. La figure VI.32 illustre la variabilité des concentrations en tritium mesurées en 2010 à cette station. Cette variabilité est conditionnée par les niveaux de rejets des installations du site et par l'orientation des vents.

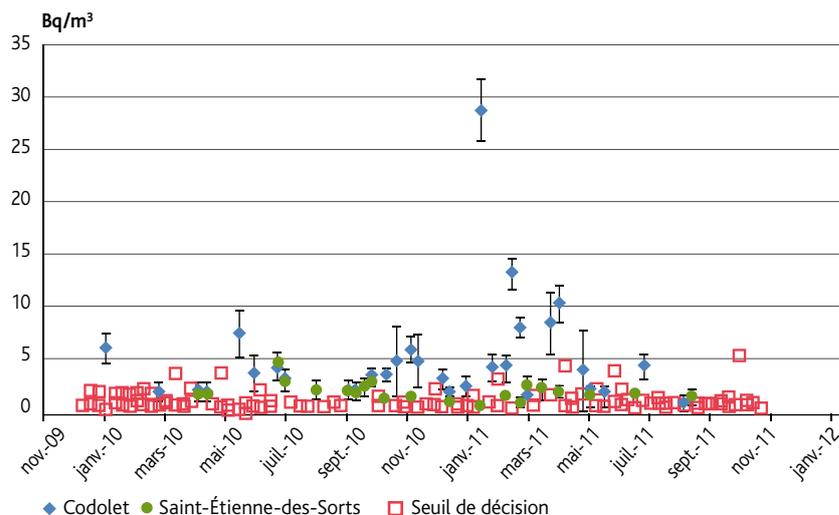


Figure VI.31 - Activité du tritium mesurée dans l'air à proximité du site de Marcoule (Bq/m³).

Tableau VI.12 - Activité en iode 129 sous forme de gaz mesurée dans l'air ambiant à proximité du site de Marcoule (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou limite de détection (mBq/m³)
Radionucléide sous forme gaz d'origine artificielle	iode 129	< 0,32

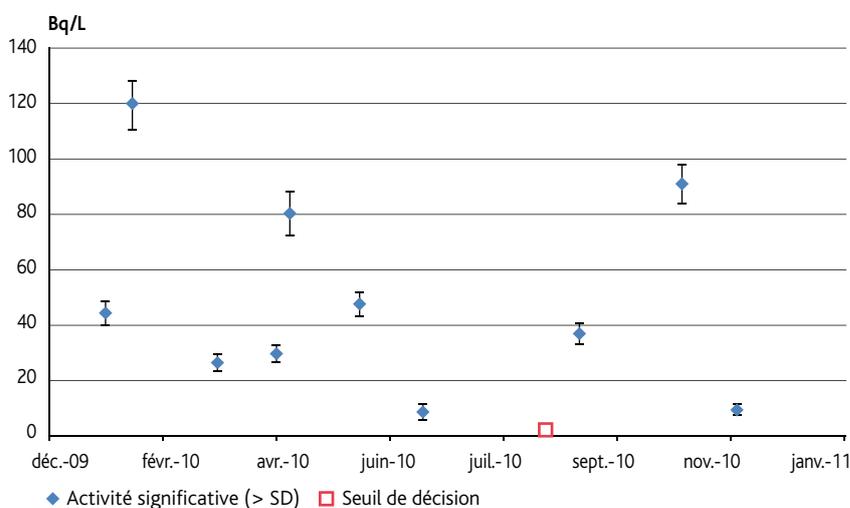


Figure VI.32 - Activité du tritium dans l'eau de pluie collectée à proximité du site de Marcoule (Bq/L).

Compartiment terrestre

La surveillance du site nucléaire de Marcoule comprend des prélèvements réguliers de végétaux terrestres (herbe, légumes, fruits), de lait, de céréales et de vin dans des zones situées sous influence potentielle des rejets des installations, dans un périmètre compris entre 0 et 20 km du centre d'études nucléaires.

La flore terrestre

Des prélèvements d'herbe sont effectués mensuellement sur dix points de prélèvements autour du site de Marcoule parmi lesquels sept sont situés à moins de 300 mètres des limites de propriété. Deux prélèvements semestriels réalisés à Codolet et à Saint-Étienne-des-Sorts viennent compléter ce dispositif de surveillance. Les principaux résultats sont reportés dans le tableau VI.13.

De faibles activités en césium 137 sont ponctuellement mesurées sur cinq points de

prélèvements situés directement sous les vents dominants principaux et secondaires. Celles-ci sont comprises entre $0,8 \pm 0,7$ Bq/kg sec et $3,6 \pm 1,3$ Bq/kg sec. Les deux analyses en strontium 90 effectuées en 2010 révèlent la présence de ce radionucléide dans les échantillons d'herbes prélevées au nord et au sud du site, à des activités proches de celles observées sur l'ensemble du territoire imputables aux retombées passées des tirs atmosphériques.

Entre janvier 2010 et fin mai 2011, du plutonium 239 a occasionnellement été détecté, à de très faibles activités, sur quatre points de prélèvements situés sous les vents dominants principaux et à proximité immédiate du site de Marcoule (une mesure significative pour chacun des points de prélèvements sur toute la période). Ces activités, comprises entre $0,007 \pm 0,006$ Bq/kg sec et $0,077 \pm 0,014$ Bq/kg sec, que l'on ne retrouve pas au-delà d'une certaine distance au site, sont en partie imputables aux retombées passées des tirs atmosphériques et aux rejets historiques des installations de Marcoule.

Les activités des autres radionucléides artificiels émetteurs alpha et gamma sont inférieures aux seuils de décision.

Les activités en tritium libre mesurées dans les échantillons d'herbe sont en revanche nettement supérieures aux valeurs moyennes enregistrées sur le territoire (généralement inférieures à 3,6 Bq/kg frais). Celles-ci sont imputables aux rejets atmosphériques du site de Marcoule qui contribuent au marquage de l'environnement par ce radionucléide. Les stations les plus influencées sont celles situées directement sous les vents dominants principaux au sud, et secondaires au nord du site, comme en atteste la figure VI.33.

On note que ces activités présentent une grande variabilité dans le temps, en fonction des activités rejetées et des conditions météorologiques au moment du prélèvement. Aussi, à 200 m au sud du site de Marcoule, les activités relevées en tritium libre fluctuent entre 76 ± 6 Bq/kg frais et $1\,270 \pm 60$ Bq/kg frais sur la période courant de janvier 2010 à mai 2011 (tableau VI.14).

Tableau VI.13 - Activités moyennes mesurées dans l'herbe prélevée autour du site de Marcoule (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Codolet					Caderousse
	Sud-ouest Limite de site	Sud – 200 m	Sud – 900 m	Sud – Sud-ouest – 1,8 km	Est – Limite de site	Est – Sud-est – 2,2 km
⁴⁰ K	407 ± 20	248 ± 15	549 ± 22	422 ± 20	292 ± 15	376 ± 17
¹³⁷ Cs	0,68 ± 0,08	0,77 ± 0,1	0,69 ± 0,08	< 0,7	0,6 ± 0,08	< 0,7
¹⁰⁶ Ru	< 11	< 12	< 11	< 12	< 10	< 11
⁹⁰ Sr	nm	nm	0,23 ± 0,05	nm	nm	nm
²⁴¹ Am	nm	nm	< 0,0027	nm	nm	nm
²³⁸ Pu	< 0,0018	< 0,011	< 0,0038	< 0,0039	< 0,0035	< 0,0022
²³⁹ Pu	0,0058 ± 0,0014	0,0188 ± 0,004	0,011 ± 0,0042	< 0,009	< 0,012	< 0,008
³ H libre (Bq/kg frais)	10,4 ± 1,1	120,8 ± 4,6	30,7 ± 2,5	16,5 ± 1,8	17,8 ± 1,4	6,1 ± 1
³ H lié	nm	nm	135 ± 7	nm	nm	nm
¹⁴ C	nm	nm	173 ± 24	164 ± 22	nm	nm

Radionucléide	Chusclan				Saint-Étienne-des-Sorts
	Nord-est Limite de site	Nord Limite de site	Nord-ouest – 300 m	Ouest Limite de site	Nord – 5,1 km
⁴⁰ K	288 ± 14	229 ± 12	233 ± 12	211 ± 11	610 ± 60
¹³⁷ Cs	< 0,7	0,61 ± 0,08	< 0,6	< 0,7	< 0,8
¹⁰⁶ Ru	< 11	< 9	< 11	< 10	< 7
⁹⁰ Sr	nm	nm	nm	nm	0,39 ± 0,06
²⁴¹ Am	nm	nm	nm	nm	< 0,0045
²³⁸ Pu	< 0,0013	< 0,0024	< 0,0039	< 0,0036	< 0,0021
²³⁹ Pu	< 0,0048	< 0,006	0,006 ± 0,0016	< 0,0025	< 0,0021
³ H libre (Bq/kg frais)	37,1 ± 1,5	16 ± 1,1	41,2 ± 1,7	11,5 ± 0,9	< 1,5

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré

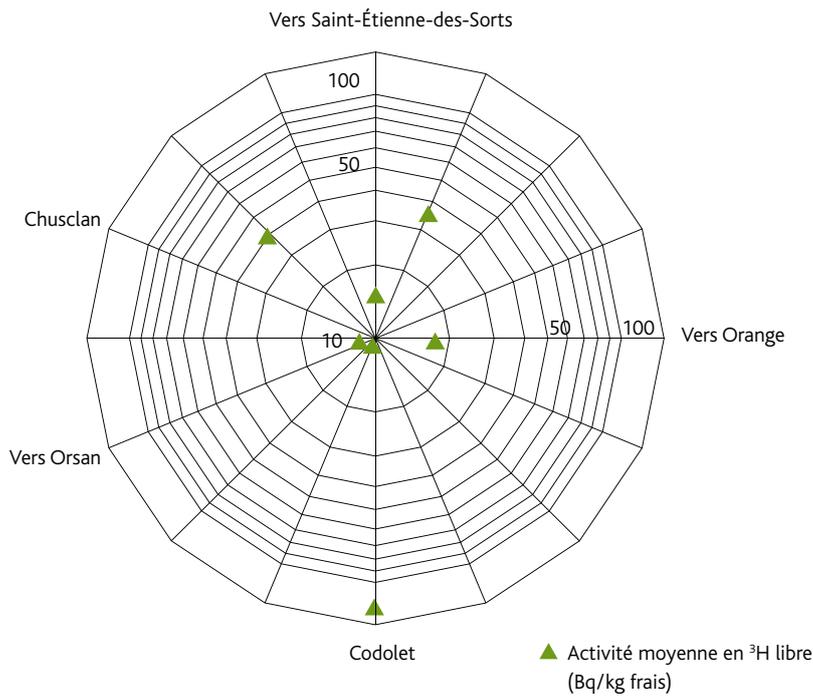


Figure VI.33 - Distribution géographique des activités moyennes en tritium libre mesurées dans les herbes prélevées à proximité immédiate du site de Marcoule (< 300 m des installations nucléaires) (Bq/kg frais).

Tableau VI.14 - Gamme d'activités en tritium libre mesurées dans les échantillons d'herbe prélevés à proximité du site de Marcoule (Bq/kg frais).

Commune	Localisation par rapport au site de Marcoule	Gamme d'activité en ³ H libre (Bq/kg frais)
Codolet	Sud-ouest Limite de site	< 3,2 / 145 ± 10
	Sud – 200 m	76 ± 6 / 1270 ± 60
	Sud – 900 m	3,5 ± 3 / 526 ± 26
	Sud – Sud-ouest 1,8 km	< 4 / 566 ± 28
	Est – Limite de site	4,7 ± 1,5 / 135 ± 9
Caderousse	Est – Sud-est 2,2 km	< 2,3 / 151 ± 11
Chusclan	Nord-est Limite de site	16,5 ± 2,5 / 113 ± 8
	Nord – Limite de site	2,7 ± 1,7 / 180 ± 13
	Nord-ouest – 300 m	30 ± 3,9 / 443 ± 24
	Ouest – Limite de site	5,2 ± 1,4 / 54 ± 4,4
Saint-Étienne-des-Sorts	Nord – 5,1 km	< 1,5

* Sauf indication contraire



Figure VI.34 - Prélèvement d'herbe au sud du centre CEA de Marcoule.

© Leprieur/IRSN

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

Le lait produit dans les fermes environnantes au site de Marcoule fait l'objet d'analyses radiologiques régulières : du lait de vache est collecté mensuellement au Pontet, des échantillons de lait de chèvre sont prélevés trimestriellement ou annuellement dans trois fermes situées à Laudun-l'Ardoise, Roque-maure et Saint-Laurent-des-Arbres.

Les résultats indiquent, comme pour les laits collectés dans des zones considérées hors influence des rejets du site, que l'activité majeure est celle du potassium 40, dont l'activité volumique moyenne est de $46,9 \pm 1,4$ Bq/L pour le lait de vache et $65,2 \pm 3,7$ Bq/L pour le lait de chèvre.

Une valeur significative en strontium 90 a été relevée sur le lait de Laudun-l'Ardoise ($0,044 \pm 0,01$ Bq/L) : celle-ci est proche des niveaux habituellement observés sur le territoire en raison des retombées atmosphériques anciennes des tirs aériens.

Enfin, le lait prélevé à proximité du centre de Marcoule, sous les vents dominants, indique une faible activité en tritium, qui est à mettre en relation avec les rejets de ce site.

Les activités des autres radionucléides artificiels sont inférieures aux seuils de décision (tableau VI. 15).

Les céréales

Aucun radionucléide émetteur gamma n'a été mesuré dans l'échantillon de blé récolté sur la commune de Pont-Saint-Esprit en 2010. Les activités en radionucléides artificiels (émetteurs gamma, transuraniens (plutonium, américium, strontium 90) restent inférieures aux seuils de décision des techniques d'analyses utilisées.

Les fruits et légumes

Des fruits sont régulièrement prélevés au nord et au sud du site de Marcoule, sur les communes de Chusclan et Codolet. La fréquence et la nature des prélèvements varient au gré des saisons et des productions (cinq à six prélèvements par an). En complément, quatre fruits et légumes cultivés dans un périmètre de 15 km autour du site ont été analysés en 2010. Les principaux résultats sont exposés dans le tableau VI.16.

Tableau VI. 15 - Activités moyennes dans le lait collecté à proximité du site de Marcoule (Bq/L).

Radionucléide	Laudun-l'Ardoise	Le Pontet	Roquemaure	Saint-Laurent-des-Arbres
	Lait de chèvre	Lait de vache	Lait de chèvre	Lait de chèvre
⁴⁰ K	64 ± 8	$46,9 \pm 1,4$	65 ± 6	66 ± 6
¹³⁷ Cs	< 0,39	< 0,11	< 0,1	< 0,1
¹³⁴ Cs	< 0,34	nm	< 0,07	< 0,08
¹³¹ I	< 0,6	< 0,14	< 0,11	< 0,12
⁹⁰ Sr	$0,046 \pm 0,01$	< 0,033	nm	nm
³ H libre	$3,4 \pm 0,6$	$4,3 \pm 0,6$	nm	nm

nm : non mesuré

De faibles activités en strontium 90, comprises entre $0,048 \pm 0,041$ Bq/kg frais et $0,19 \pm 0,07$ Bq/kg frais, sont identifiées dans trois prélèvements de fruits réalisés sur les communes de Chusclan et Codolet. Ces niveaux sont proches de ceux observés dans des zones situées hors influence d'installations nucléaires.

Les activités significatives en tritium mesurées dans les fruits et légumes témoignent d'un marquage par les rejets atmosphériques des installations nucléaires de Marcoule.

Le vin

La recherche de radionucléides émetteurs gamma dans du vin rouge produit sur la commune de Saint-Étienne-des-Sorts révèle la présence de potassium 40 à une activité volumique de 34 ± 7 Bq/L. Les principaux radionucléides artificiels susceptibles d'être rejetés par le site de Marcoule n'ont pas été détectés par les appareils de mesure utilisés.

Tableau VI. 16 - Activités moyennes ou gammes d'activités mesurées dans les fruits et légumes produits autour du site de Marcoule (Bq/kg frais).

Radio-nucléide	Chusclan	Codolet	Laudun - l'Ardoise	Orange	Sauveterre	Pont-Saint-Esprit
	Fruits	Fruits	Chou pommé	Pomme	Salade	Pomme
⁴⁰ K	$39 \pm 6 / 140 \pm 22$	$48 \pm 7 / 130 \pm 20$	77 ± 9	41 ± 7	133 ± 17	42 ± 7
¹³⁷ Cs	< 0,029	< 0,03	< 0,026	< 0,07	< 0,11	< 0,039
⁹⁰ Sr	$0,1 \pm 0,07 / 0,19 \pm 0,07$	$0,048 \pm 0,041$	nm	nm	nm	nm
³ H libre	$20 \pm 3,6 / 64 \pm 6$	$4,8 \pm 3,9 / 61 \pm 6$	nm	nm	$4,8 \pm 1,9$	nm
³ H lié	nm	nm	nm	nm	$0,328 \pm 0,017$	nm
¹⁴ C	$6,2 \pm 1,7 / 19 \pm 10$	$2,7 \pm 1 / 9 \pm 2,4$	nm	nm	nm	nm

nm : non mesuré

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

L'IRSN dispose des activités mesurées en tritium dans l'eau du Rhône prélevée en amont et en aval du site de Marcoule depuis les années 1970 (figure VI.35). La tendance montre une diminution du marquage, accentuée à la fin des années 1990. Le marquage en tritium du Rhône induit par les activités du site de Marcoule, mesuré par le ratio des activités aval/amont, est mis en évidence ponctuellement dans les années 1980 et 1990. Toutefois, le ratio moyen historique est de 1 (figure VI.36).

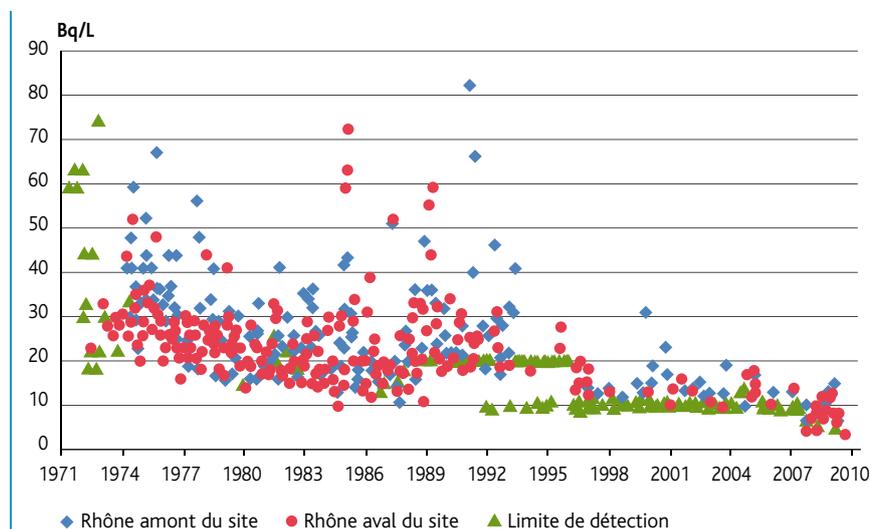


Figure VI.35 - Activité du tritium dans l'eau du Rhône prélevée en amont et en aval du site de Marcoule (Bq/L).

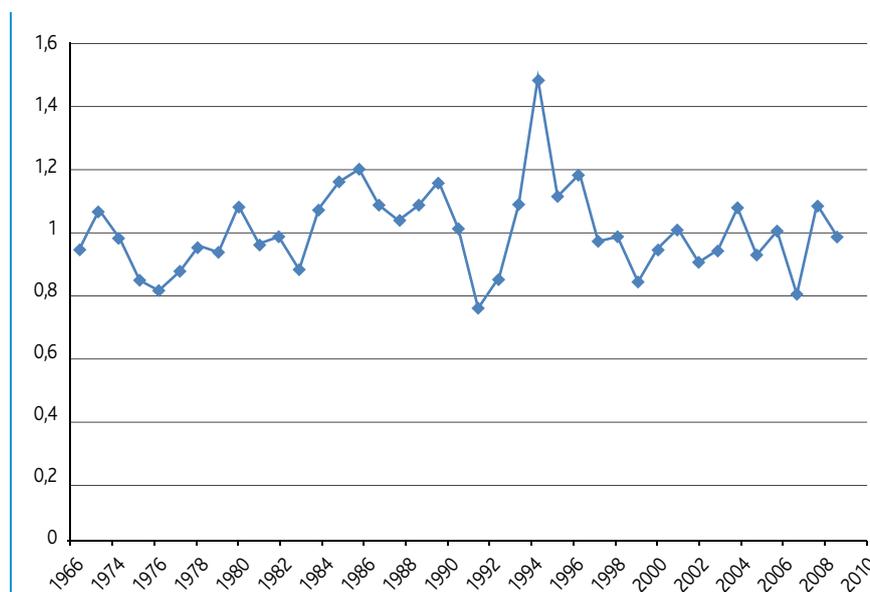


Figure VI.36 - Ratio des activités en tritium aval/amont du site de Marcoule.

Les sédiments

Des échantillons de sédiments sont prélevés mensuellement ou annuellement sur six stations disposées le long du Rhône, depuis Saint-Étienne-des-Sorts en amont, jusqu'à l'embouchure du Rhône à Port-Saint-Louis. Les principaux résultats sont présentés dans le tableau VI.17.

En amont du site de Marcoule (Saint-Étienne-des-Sorts), seul le césium 137 est détecté en 2010 dans les sédiments à une activité de $0,81 \pm 0,34$ Bq/kg sec. En aval, plusieurs radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{241}Am , ^{238}Pu , ^{239}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr) sont mis en évidence dans les sédiments.

Le césium 137 est mesuré systématiquement dans tous les échantillons, à des teneurs plus élevées que les autres radionucléides, principalement aux stations de Codolet (30 ± 6 Bq/kg sec) et Avignon ($14,5 \pm 3,2$ Bq/kg sec). Si un marquage par les rejets anciens du site ne peut être exclu pour ce radionucléide, sa présence trouve essentiellement son origine dans les retombées atmosphériques passées.

Des traces de transuraniens (principalement l'américium 241 et les isotopes 239 et 240 du plutonium), liées principalement aux rejets passés de l'établissement de Marcoule, sont détectées jusqu'à l'embouchure du Rhône à la station de Port-Saint-Louis. Les sédiments les plus marqués en transuraniens sont ceux prélevés à Codolet ($1,05 \pm 0,24$ Bq/kg sec en ^{241}Am et $0,49 \pm 0,13$ Bq/kg sec en $^{239+240}\text{Pu}$), station la plus proche de l'émissaire de rejets d'effluents liquides du site de Marcoule. Du plutonium 238 est mesuré ponctuellement sur les stations de Roquemaure et Avignon : le rapport d'activités $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ de l'ordre de 0,5 est caractéristique du combustible utilisé civil (celui lié aux retombées atmosphériques des tirs d'armes des années 1960 étant de l'ordre de 0,025).

Du cobalt 60, principalement lié aux rejets passés du site de Marcoule, est mesuré entre Orange et Avignon, à des activités comprises entre $0,63 \pm 0,16$ Bq/kg sec et $2,6 \pm 0,6$ Bq/kg sec. Des traces de manganèse 54 et de strontium 90 sont également ponctuellement mesurées à Roquemaure à des activités respectives de $0,38 \pm 0,22$ Bq/kg sec et $0,84 \pm 0,14$ Bq/kg sec.

Tableau VI.17 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments du Rhône prélevés en amont et en aval du site de Marcoule (Bq/kg sec).

Radionucléide	Saint-Étienne-des-Sorts Amont – 6 km	Codolet Aval – 3 km	Orange Aval – 10 km	Roquemaure Aval – 13 km	Avignon Aval – 25 km	Port-Saint-Louis-du-Rhône Aval – 100 km
¹³⁷ Cs	0,81 ± 0,34	30 ± 6	4,83 ± 0,28	5,85 ± 0,32	14,5 ± 3,2	9,7 ± 2,5
⁶⁰ Co	< 0,46	< 1	0,47 ± 0,08	0,68 ± 0,07	1,39 ± 0,44	< 0,6
⁵⁴ Mn	< 0,43	< 0,9	nm	0,43 ± 0,07	< 0,8	< 0,6
⁴⁰ K	510 ± 70	690 ± 90	460 ± 23	457 ± 19	540 ± 80	490 ± 70
Autres émetteurs gamma (¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ¹⁰⁶ Ru)	< 7	< 15	< 5	< 6	< 10	< 9
²³⁸ Pu	< 0,06	< 0,07	< 0,14	0,061 ± 0,012	0,12 ± 0,07	< 0,07
²³⁹ Pu	nm	nm	< 0,43	nm	nm	nm
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,05	0,49 ± 0,13	nm	0,088 ± 0,017	0,33 ± 0,11	0,13 ± 0,08
²⁴¹ Am	< 0,06	1,05 ± 0,24	< 0,33	0,078 ± 0,016	0,37 ± 0,12	0,2 ± 0,09
⁹⁰ Sr	< 0,36	< 0,3	< 4,3	0,162 ± 0,037	< 0,42	< 0,44

nm : non mesuré

Les eaux souterraines

La nappe phréatique s'écoule dans les alluvions du Rhône composées de sables et de graviers très perméables. La vitesse d'écoulement de l'eau de la nappe est de l'ordre de 1 m/j. Les alluvions forment des terrasses successives d'altitude décroissante vers le sud. Le substratum imperméable est constitué par les marnes bleues du Pliocène dont la surface a été modelée par l'érosion fluviale qui a formé des chenaux et des cuestas. Cette morphologie a une incidence très marquée sur les écoulements souterrains en raison de la faible épaisseur générale de la nappe. Ainsi, si la direction générale de l'écoulement est orientée vers la plaine de Codolet au sud, il existe localement des orientations vers l'est ou vers l'ouest liées en particulier aux chenaux et cuestas.

Les nappes présentent un marquage en tritium dont les activités mesurées en un même point fluctuent peu (figure VI.37). D'un point de prélèvement à l'autre, l'activité varie de quelques Bq/L à environ 200 Bq/L.

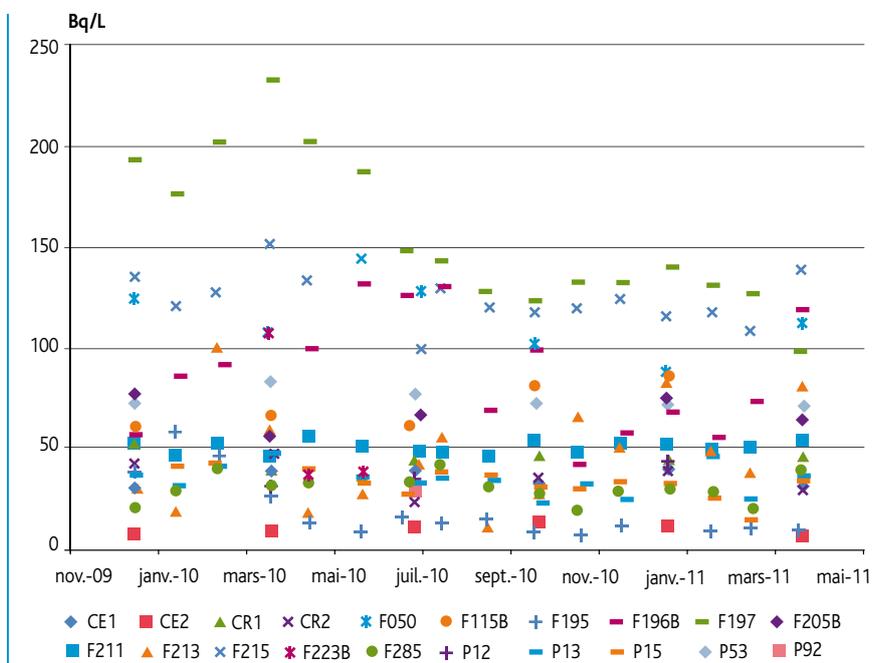


Figure VI.37 - Activité du tritium dans les eaux de nappe phréatique prélevées sur et à proximité du site de Marcoule (Bq/L).

Une augmentation de l'activité alpha globale est observée en mars 2011 au point de prélèvement d'eau de nappe dénommé « MAR/EAU/F115B » jusqu'à plus de 0,5 Bq/L (figure VI.38). Le sens de circulation de la nappe dans cette zone est nord-sud et draine des eaux marquées en uranium provenant de la source des Tourettes. Ce marquage est le reliquat d'incidents anciens dans la zone de stockage du nitrate d'uranyle comme l'attestent les résultats des analyses complémentaires réalisées par le CEA (tableau VI.18).

Le point « MAR/EAU/F213 » situé au sud de la station de traitement des effluents du site de Marcoule présente une rémanence d'activité bêta globale (figure VI.39). Cette activité rémanente est liée au marquage global de la zone du à plusieurs incidents anciens sur le site.

La faune aquatique continentale

Des poissons sont pêchés mensuellement dans le Rhône, à proximité du site de Marcoule. Les résultats d'analyses radiologiques sont reportés dans le tableau VI.19. Outre le césium 137 qui est régulièrement détecté à une activité moyenne de $0,227 \pm 0,035$ Bq/kg frais, les prélèvements présentent occasionnellement des activités significatives en strontium 90 comprises entre $0,059 \pm 0,046$ Bq/kg frais et $0,4 \pm 0,15$ Bq/kg frais, et en carbone 14 (activité moyenne de 89 ± 13 Bq/kg frais). Les niveaux en tritium mesurés attestent du marquage des eaux du Rhône par les rejets de Marcoule et, dans une moindre proportion, des autres installations nucléaires situées en amont.

Tableau VI.19 - Activités moyennes mesurées dans les poissons pêchés à proximité immédiate du site de Marcoule (Bq/kg frais).

Radionucléide	Poissons
⁴⁰ K	97,6 ± 4,5
¹³⁷ Cs	0,227 ± 0,035
¹³⁴ Cs	< 0,09
¹⁰⁶ Ru	< 1,3
⁹⁰ Sr	0,081 ± 0,013
³ H libre	32 ± 3,5
¹⁴ C	89 ± 13

Tableau VI.18 - Résultats des analyses complémentaires réalisées par le CEA relatives au marquage ancien dans la zone de stockage du nitrate d'uranyle (Bq/L).

Radionucléide	Activité en Bq/L	
	Avril 2011	Mai 2011
Alpha global	0,54	0,60
²³⁴ U	0,25	0,41
²³⁵ U	0,02	< 0,02
²³⁸ U	0,28	0,50
²³⁹ Pu	< 0,003	< 0,004
²³⁸ Pu + ²⁴¹ Am	< 0,009	< 0,010

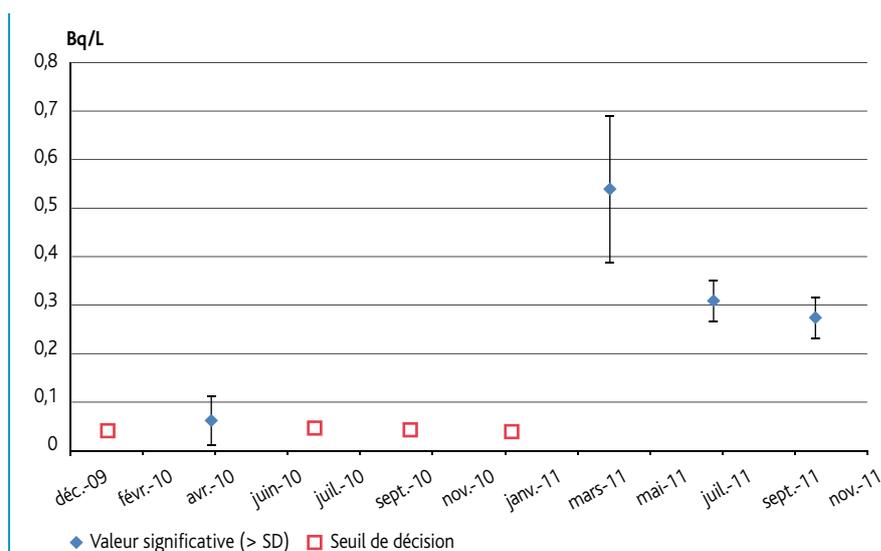


Figure VI.38 - Activité alpha globale de l'eau de la nappe phréatique dénommée « MAR/EAU/F115B » prélevée sur le site de Marcoule (Bq/L).

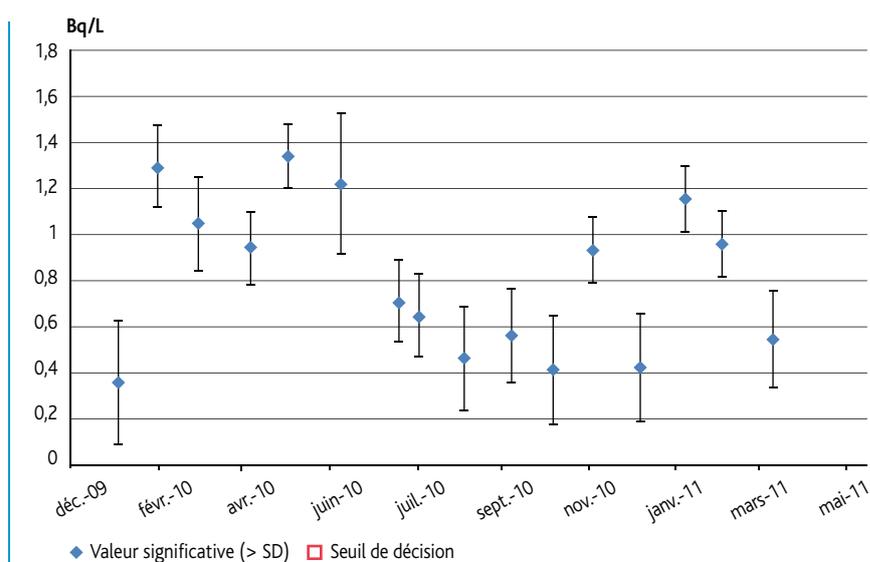


Figure VI.39 - Activité bêta globale de l'eau de la nappe phréatique dénommée « MAR/EAU/F213 » prélevée au sud de la station de traitement des effluents de Marcoule (Bq/L).

La flore aquatique continentale

Des prélèvements de végétaux aquatiques sont réalisés en amont (semestriellement à Saint-Étienne-des-Sorts) et en aval hydraulique du site de Marcoule (mensuellement à Caderousse et semestriellement à Codolet) (tableau VI.20).

Outre la présence habituelle de potassium 40, les analyses indiquent la présence de traces de radionucléides d'origine artificielle comme le césium 137 décelé en amont comme en aval du site. Ces traces s'expliquent essentiellement par les retombées atmosphériques des tirs passés et de l'accident de Tchernobyl.

Le prélèvement en aval présente des traces d'activité en plutonium 238 et 239+240, ainsi qu'en américium 241, supérieures à celles mesurées en amont, suggérant ainsi un marquage par les rejets autorisés du site. Cette observation n'est pas transposable au strontium dont les activités sont identiques en amont et en aval du site.

Les niveaux de tritium relevés dans les phanérogames aquatiques sont supérieurs à ce que l'on peut observer usuellement dans des zones situées hors influence de toute activité nucléaire. Les prélèvements effectués en aval présentent des activités légèrement supérieures à celles mesurées en amont, suggérant un marquage par les rejets du site de Marcoule auxquels s'ajoutent les rejets liquides des centrales nucléaires de production d'électricité situées en amont sur le Rhône (Chapitre V – CNPE de la vallée du Rhône).

De l'iode 131 a été détecté en amont du site de Marcoule en mai 2010. Cette présence est essentiellement due aux rejets chroniques issus des centres de médecine nucléaire.

Tableau VI.20 - Activités moyennes mesurées dans les phanérogames aquatiques prélevées dans le Rhône en amont et en aval du site de Marcoule (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Saint-Étienne-des-Sorts Amont Marcoule – 6 km		Codolet Aval Marcoule – 3 km		Caderousse Aval Marcoule – 5 km
	Potamot		Potamot		Phanérogame
	Prélèvement de mai 2010	Prélèvement de novembre 2010	Prélèvement de mai 2010	Prélèvement de novembre 2010	Moyenne annuelle
¹³⁷ Cs	< 0,8	1,9 ± 1	1,6 ± 0,7	26,7 ± 3,7	0,66 ± 0,15
¹³¹ I	6 ± 3	< 8	< 3,3	< 40	nm
⁴⁰ K	720 ± 100	480 ± 60	1100 ± 140	810 ± 110	638 ± 24
Autres émetteurs gamma (¹²⁴ Sb, ¹²⁵ Sb, ^{110m} Ag, ¹³⁴ Cs, ⁵⁸ Co, ⁶⁰ Co, ⁵⁴ Mn, ¹⁰⁶ Ru)	< 14	< 18	< 30	< 33	< 8
²³⁸ Pu	< 0,007	< 0,021	< 0,022	0,181 ± 0,044	nm
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,013 ± 0,008	0,038 ± 0,017	0,101 ± 0,023	1,62 ± 0,18	nm
²⁴¹ Am	< 0,013	0,035 ± 0,021	0,092 ± 0,038	0,048 ± 0,031	nm
⁹⁰ Sr	1,06 ± 0,18	nm	1,23 ± 0,22	nm	1,05 ± 0,24
²³⁴ U	4,78 ± 0,43	7,5 ± 1,1	nm	nm	nm
²³⁵ U	0,31 ± 0,05	0,62 ± 0,14	nm	nm	nm
²³⁸ U	4,64 ± 0,42	7,2 ± 1	nm	nm	nm
³ H libre (Bq/kg frais)	3,4 ± 1,7	< 3,7	4,5 ± 1,3	8,4 ± 1,9	8,4 ± 3,4
³ H lié	nm	nm	nm	41,5 ± 2,1	nm
¹⁴ C	nm	nm	nm	nm	220 ± 70

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré



Figure VI.40 - Prélèvement de végétaux aquatiques en aval du site de Marcoule.

Le site de Saclay

Le centre de Saclay (91), dont les premières installations ont démarré en 1952, est un centre de recherche pluridisciplinaire qui se caractérise par une grande diversité de ses activités allant de la recherche

fondamentale à la recherche appliquée dans les domaines de l'énergie nucléaire, des sciences de la matière, des sciences du vivant, du climat et de l'environnement, de la recherche technologique et de l'enseignement.

Les rejets du centre proviennent essentiellement des réacteurs expérimentaux Osiris et Orphée du laboratoire de marquage de molécules organiques mais également de l'entreprise « CIS bio international » indépendante du CEA (fabrication de radiopharmaceutiques utilisés en médecine nucléaire).



Figure VI.41 - Implantation géographique du site de Saclay.

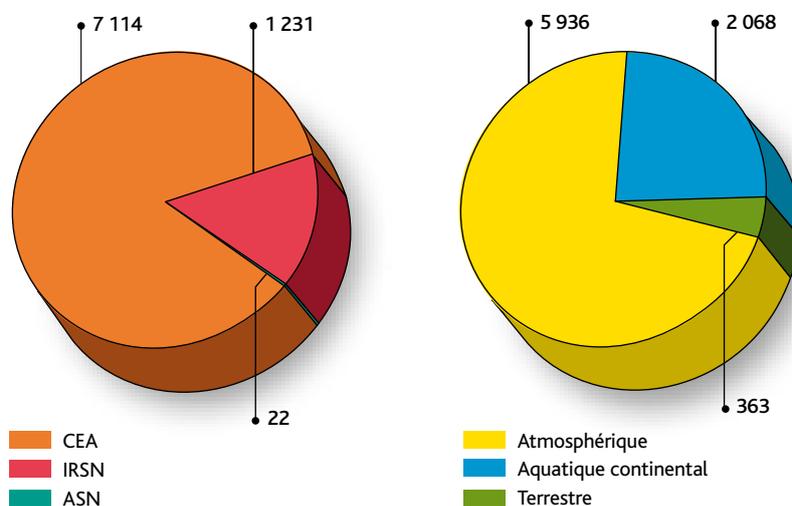


Figure VI.42 - Site de Saclay, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de Fukushima, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité bêta (figure VI.14) et alpha (figure VI.15) n'a été mise en évidence. Aucun radionucléide artificiel n'a été détecté dans l'environnement par les spectrométries gamma réalisées.

Dans l'environnement du site du CEA de Saclay, une augmentation de l'indice d'activité bêta a été observée entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableau VI.21). Ce phénomène est principalement dû à la présence de radionucléides artificiels liée aux retombées atmosphériques de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

Les gaz prélevés par barboteurs

Le tritium atmosphérique est recherché à l'aide de barboteurs au niveau de quatre stations : Saclay, Saint-Aubin, Villiers-le-Bâcle et Orsigny. En 2010, l'activité volumique en tritium mesurée au niveau de ces 4 stations est le plus souvent inférieure aux seuils de décision ($< 0,4 \text{ Bq/m}^3$). La valeur maximale mesurée est de $1,155 \pm 0,082 \text{ Bq/m}^3$ (figure VI.43). Le tritium, lorsqu'il est détecté autour du centre de Saclay, provient des laboratoires de recherche sur le marquage des molécules.

Les autres gaz

La surveillance de l'activité en iode 131 sous forme de gaz a mis en évidence la présence de ce radionucléide pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (tableau VI.9). En dehors de cette période, aucune activité significative n'a été mesurée. Si l'iode 131 est présent dans les rejets gazeux de CIS bio, il n'est que rarement présent dans les rejets des installations du CEA de Saclay.

Les eaux de pluie

Les résultats d'analyses des eaux de pluie collectées à proximité du site de Saclay mettent en évidence une présence ponctuelle du tritium, liée aux rejets gazeux du centre (figure VI.44).

Tableau VI.21 - Activités des aérosols atmosphériques prélevés dans l'environnement du site de Saclay (mBq/m^3).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou limite de détection (mBq/m^3)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	$0,021 \pm 0,001$
	Activité bêta	$0,24 \pm 0,01$ $0,65 \pm 0,02^*$

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

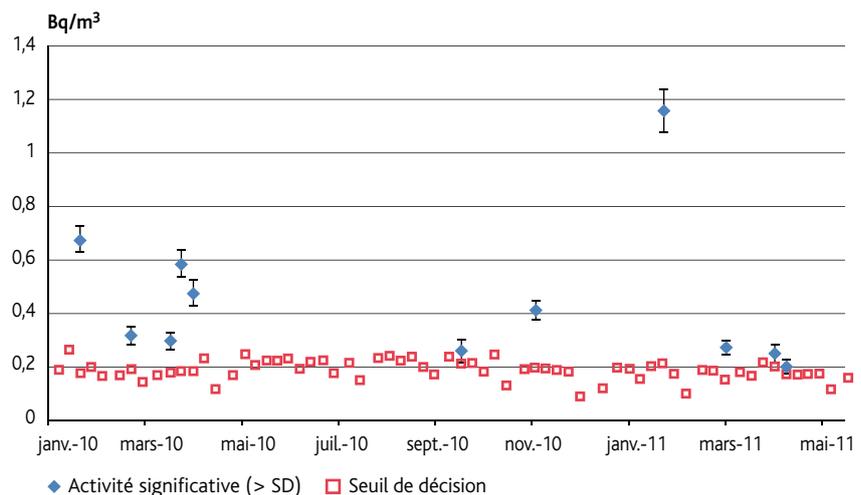


Figure VI.43 - Activité du tritium dans l'air (HTO) prélevé à proximité du site de Saclay (Bq/m^3).

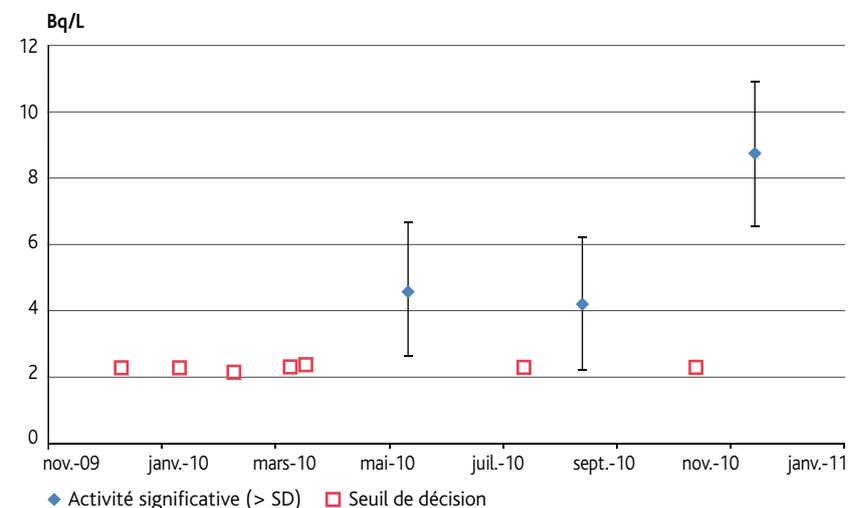


Figure VI.44 - Activité du tritium dans l'eau pluie collectée à proximité du site de Saclay (Bq/L).

Compartiment terrestre

La surveillance des activités du site de Saclay sur son environnement terrestre proche est réalisée à l'aide de prélèvements réguliers de sols, de végétaux terrestres (herbe, fruits, légumes), de lait et de céréales.

La flore terrestre

Des prélèvements d'herbe sont réalisés mensuellement sur quatre points de prélèvements situés dans un rayon de 2 km autour du site de Saclay. Des prélèvements semestriels sur la commune de Saclay viennent compléter cette surveillance.

Les résultats d'analyses dans les herbes indiquent la présence de tritium imputable aux rejets du centre de Saclay (*tableau VI.22*) et de strontium 90 imputable aux retombées passées des essais d'explosions atmosphériques d'engins nucléaires.

En situation normale, les activités des autres radionucléides restent inférieures aux seuils de décision associés aux appareils de mesure utilisés. Toutefois, à la suite de l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima en mars 2011, des traces d'iode 131 ont été mesurées sur les quatre prélèvements du 15 avril 2011 à des activités comprises entre $0,37 \pm 0,13$ et $0,49 \pm 0,11$ Bq/kg frais. Les césiums 134 et 137 ont également été détectés à Saint-Aubin et Villiers-le-Bâcle ce même jour.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les sols

Le prélèvement de terre superficielle réalisé en 2010 à proximité du centre de Saclay, dans une zone située sous influence potentielle des rejets de cette installation, présente une activité massique en césium 137 de $5,1 \pm 0,8$ Bq/kg sec, du même ordre de grandeur que celle observée sur l'ensemble du territoire. Ce marquage est imputable aux retombées passées des tirs atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl.

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

Les analyses de lait de vache collecté mensuellement dans des fermes situées à proximité du centre de Saclay n'indiquent aucune activité artificielle anormale (*tableau VI.23*). Une seule valeur significative en tritium libre, proche des seuils de décision ($3,5 \pm 1,9$ Bq/L), a été relevée parmi les six mesures effectuées sur le lait collecté à Jouy-en-Josas entre janvier 2010 et mai 2011.

En outre, le lait prélevé à la ferme de Saint-Rémy-lès-Chevreuse le 1^{er} avril 2011

présentait des traces d'iode 131 (activité volumique mesurée : $0,08 \pm 0,022$ Bq/L) attribuables à l'évènement survenu sur la centrale de Fukushima au Japon quelques semaines auparavant.

Les céréales

Aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été mesuré sur les échantillons de blé collecté en 2010 sur la commune de Saclay.

Les fruits et légumes

La radioactivité observée dans les productions végétales cultivées à proximité du centre de Saclay est majoritairement due au potassium 40, d'origine naturelle (*tableau VI.24*).

Les courgettes et les framboises récoltées sur la commune de Jouy-en-Josas présentent des niveaux en tritium témoignant d'un marquage par les rejets du centre de Saclay.

De faibles activités en strontium 90 sont relevées dans les fraises et la rhubarbe sauvage cultivées à Jouy-en-Josas, celles-ci sont proches de ce que l'on peut observer sur le territoire français et sont attribuables aux retombées passées des tirs aériens.

Tableau VI.23 - Activités moyennes mesurées dans le lait de vache à proximité du site de Saclay (Bq/L).

Radionucléide	Jouy-en-josas	Saint-Rémy-lès-Chevreuse
⁴⁰ K	$52,2 \pm 1,4$	$51,1 \pm 1,4$
¹³⁷ Cs	< 0,09	nm
¹³¹ I*	< 0,017	< 0,017
⁹⁰ Sr	< 0,018	< 0,019
³ H libre	$2,6 \pm 0,5$	< 4
³ H lié	< 25	< 34

* Hors valeur significative mesurée à la suite de l'accident de Fukushima en mars 2011.
nm : non mesuré

Tableau VI.22 - Activités moyennes mesurées dans l'herbe prélevée autour du site de Saclay (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Saclay		Orsigny	Villiers-le-Bâcle	Saint-Aubin
⁴⁰ K	530 ± 60	744 ± 30	792 ± 30	683 ± 29	849 ± 33
¹³⁷ Cs**	< 0,8	< 0,41	< 0,31	nm	nm
⁹⁰ Sr	nm	$0,53 \pm 0,06$	$0,56 \pm 0,08$	$0,47 \pm 0,06$	$0,56 \pm 0,06$
³ H libre (Bq/kg frais)	$28,4 \pm 2,6$	< 2,5	$6,7 \pm 2,6$	< 3,4	$3,9 \pm 2,1$

* Sauf indication contraire

** Hors valeurs significatives mesurées autour du site de Saclay à la suite de l'accident de Fukushima
nm : non mesuré

En outre, de l'iode ^{131}I a été mesuré sur le chou pommé prélevé le 4 avril 2011 à Saclay à une activité de $0,29 \pm 0,12$ Bq/kg frais. Cette activité est à mettre en relation avec l'accident nucléaire survenu en mars 2011 sur la centrale de Fukushima au Japon.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Tableau VI.24 - Activités mesurées dans les fruits et les légumes produits à proximité du site de Saclay (Bq/kg frais).

Radionucléide	Saclay	Jouy-en-Josas						
	Chou pommé	Chou-fleur	Courgette	Fraise	Framboise	Potiron	Rhubarbe sauvage	Tomate
^{40}K	131 ± 15	100 ± 15	58 ± 8	56 ± 10	50 ± 7	141 ± 16	124 ± 15	74 ± 10
^{90}Sr	$< 0,05$	$< 0,26$	$< 0,09$	$0,11 \pm 0,036$	nm	$< 0,23$	$0,047 \pm 0,013$	$< 0,09$
^3H libre	nm	nm	25 ± 6	nm	$5,2 \pm 1,7$	nm	nm	nm
^3H lié	nm	nm	< 10	nm	nm	nm	nm	nm

nm : non mesuré

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

L'IRSN observe un marquage en strontium 90 dans les eaux de surface à proximité du site de l'ordre de 4 mBq/L, dans l'aqueduc des Mineurs (exutoire), l'Étang Neuf et l'Étang Vieux qui lui sont concomitants. Cette activité est à mettre en relation avec les rejets autorisés du centre en strontium 90.

La mesure du tritium dans l'eau de l'aqueduc des mineurs réalisée par l'IRSN depuis 1989 met en évidence une diminution régulière de son activité représentative d'une baisse des rejets liquides autorisés du centre (figure VI.45).

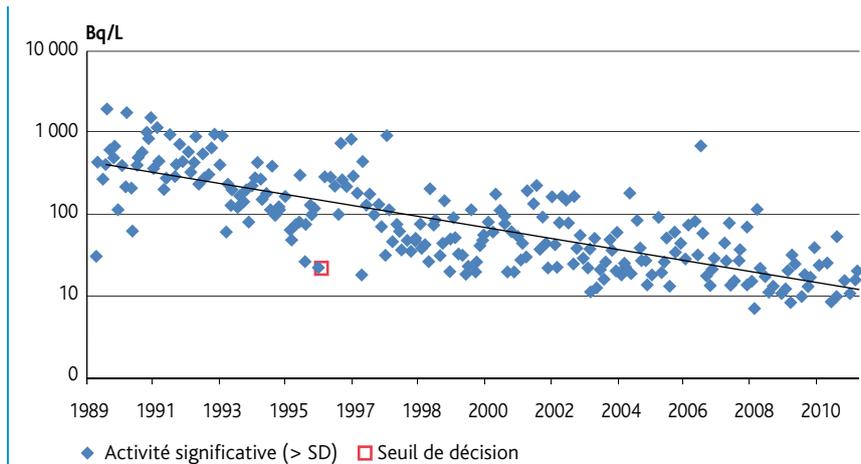


Figure VI.45 - Activité du tritium dans l'eau de l'aqueduc des Mineurs (Bq/L).



Figure VI.46 - Prélèvement d'eaux de l'Étang Vieux près du site de Saclay, pour analyses radiologiques et physico-chimiques.

© A. Chézière/CEA

Les sédiments

Des prélèvements semestriels ou annuels de sédiments sont réalisés sur sept stations proches du centre de Saclay. Cette surveillance inclut notamment des prélèvements de sédiments au niveau de l'aqueduc des Mineurs *via* lequel transitent les rejets d'effluents liquides du centre de Saclay ; et dans l'Étang Vieux, milieu récepteur de ces rejets. Le tableau VI.25 présente les principaux résultats obtenus en 2010.

En ce qui concerne les radionucléides d'origine artificielle, on observe un marquage rémanent des sédiments de l'aqueduc des Mineurs et de l'Étang Vieux par le césium 137, le cobalt 60, le plutonium et l'américium 241. Celui-ci est imputable aux rejets d'effluents liquides passés du site. L'activité massique moyenne annuelle de ces radionucléides a fortement décru depuis. À titre d'exemple, l'activité en césium 137 a été réduite de plus d'un facteur 10 depuis 1990.

Ce marquage n'est plus observé dans l'Étang Neuf et dans les autres cours d'eau plus lointains (ru de Vauhallan, La Bièvre, ru de Saint-Marc).

Tableau VI.25 - Activités moyennes mesurées dans les sédiments prélevés en aval de la canalisation de rejet des effluents liquides du site de Saclay et dans les cours d'eau voisins (Bq/kg sec).

Radionucléide	Saclay				Vauhallan	Verrières-le-Buisson	Toussus-le-Noble
	Aqueduc des Mineurs	Aqueduc des Mineurs	Étang Vieux	Étang Neuf	Ruisseau de Vauhallan	La Bièvre	Aqueduc de Saclay
⁴⁰ K	404 ± 37	523 ± 37	480 ± 80	605 ± 42	384 ± 27	340 ± 50	460 ± 80
¹³⁷ Cs	55,6 ± 4,2	1,77 ± 0,34	74 ± 12	0,31 ± 0,18	0,53 ± 0,17	0,52 ± 0,21	7,9 ± 1,2
⁶⁰ Co	2,79 ± 0,47	< 0,32	1,9 ± 0,49	< 0,2	< 0,16	< 0,21	< 0,17
⁹⁰ Sr	< 0,5	< 4,8	< 4,6	< 3,6	< 2,9	< 2,9	< 3,3
²⁴¹ Am	0,24 ± 0,09	< 0,6	< 0,8	< 0,8	< 0,7	< 0,44	< 0,7
²³⁸ Pu	< 0,11	0,13 ± 0,05	0,36 ± 0,18	< 0,15	< 0,33	< 0,33	< 0,26
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,57 ± 0,33	0,25 ± 0,09	2,6 ± 0,7	< 0,2	< 0,33	< 0,28	< 0,39
²³⁵ U	nm	2,9 ± 1	< 3,5	< 3,4	nm	< 2,1	< 3

nm : non mesuré



Figure VI.47 - Prélèvement de sédiments dans l'Étang Vieux près du CEA de Saclay.

Les eaux souterraines

Deux niveaux d'aquifères marqués en tritium se distinguent :

- **L'aquifère profond** des sables de Fontainebleau, de 60 mètres d'épaisseur, limité à sa base par les Marnes à Huîtres peu perméables. La nappe s'écoule du nord vers le sud avec des exutoires en aval du site, constitués par des sources situées sur les versants sud et ouest du plateau de Saclay.
- **L'aquifère superficiel** constitué par les Argiles à meulière, siège de nappes perchées, se situe dans des niveaux sablo-limoneux peu perméables et de profondeur variable, alimentés par la pluie, sans sens d'écoulement stable.

La variabilité des activités du tritium mesurées au niveau de l'ensemble des piézomètres est comprise entre le seuil de décision et 180 Bq/L pour le puits F44. L'activité du tritium au niveau du puits F44 peut d'une part s'expliquer par des infiltrations d'eau provenant de l'étang de Villiers, et d'autre part sa proximité avec l'INB n° 72, lieu d'entreposage des déchets solides du centre (figure VI.48).

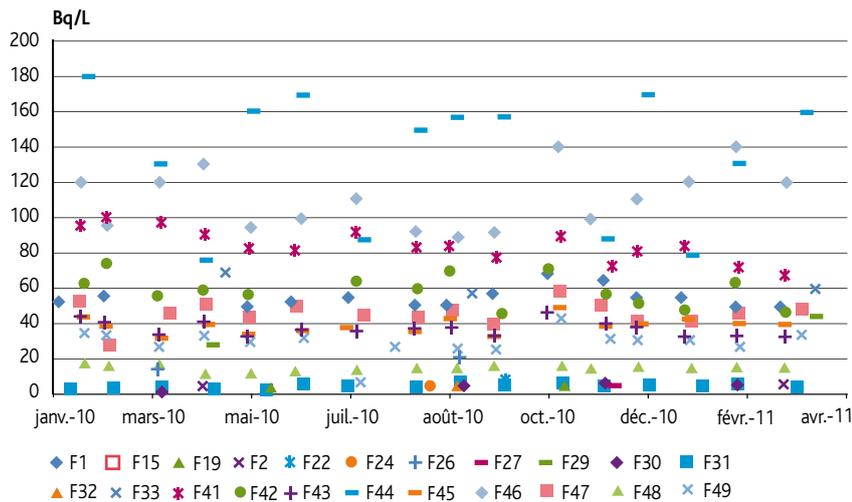


Figure VI.48 - Activité du tritium dans les eaux de nappe des sables de Fontainebleau prélevées sur et à proximité du site de Saclay (Bq/L).

La faune aquatique continentale

En 2010, des brochets ont été pêchés dans l'Étang Neuf de Saclay en vue d'une analyse radiologique. Les principaux résultats sont reportés dans le tableau VI.26.

Ces poissons présentent une activité en tritium libre légèrement supérieure aux seuils de décision dont l'origine est attribuable aux activités du centre de recherche de Saclay.

Tableau VI.26 - Activités mesurées dans les échantillons de brochets pêchés dans l'Étang Neuf (Bq/kg frais).

Radionucléide	Activité
^{40}K	140 ± 21
^{137}Cs	$0,56 \pm 0,16$
^{60}Co	$< 0,11$
^{90}Sr	$< 0,29$
^3H libre	$6,9 \pm 3,5$
^3H lié	< 36

La flore aquatique continentale

Les roseaux prélevés annuellement dans l'aqueduc des Mineurs, en aval de la canalisation de rejet des effluents liquides de Saclay, témoignent d'un marquage résiduel dû aux rejets passés du centre d'études : des traces d'américium, d'isotopes du plutonium et de césium 137 se retrouvent dans les végétaux aquatiques, auxquelles s'ajoute un léger marquage en tritium (tableau VI.27).

Tableau VI.27 - Activités mesurées dans les roseaux en aval de la canalisation de rejet des effluents liquides du site de Saclay (Bq/kg sec)*.

Radionucléide	Aqueduc des Mineurs	Étang Vieux	Étang Neuf
^{40}K	950 ± 150	800 ± 140	940 ± 160
^{137}Cs	10 ± 3	$< 0,8$	$< 0,9$
^{60}Co	$< 2,1$	$< 1,1$	$< 1,1$
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{54}Mn , ^{58}Co)	< 36	nm	nm
^{90}Sr	nm	$< 1,1$	$< 1,5$
^{238}Pu	$0,022 \pm 0,011$	nm	nm
$^{239+240}\text{Pu}$	$0,118 \pm 0,026$	nm	nm
^{241}Am	$0,108 \pm 0,027$	nm	nm
^3H libre (Bq/kg frais)	$14,3 \pm 2,1$	$4,7 \pm 2,5$	$2,8 \pm 2,6$
^3H lié	nm	< 410	< 480

* Sauf indication contraire
nm : non mesuré

Centre CEA de Valduc

Le centre de Valduc (Côte d'Or), créé depuis 1957 et situé à 45 km au nord-ouest de Dijon, est exclusivement dédié aux études et développements technologiques sur les matériaux nucléaires des armes de la force de dissuasion française. De la

recherche à la fabrication des composants nucléaires de l'arme, les spécialistes de ce centre se chargent également de la maintenance des têtes nucléaires et de leur démantèlement. Du fait de ses activités particulières sur l'arme atomique, ce site rejette, sous contrôle réglementaire, principalement du tritium gazeux (près de 300 TBq en 2009).



Figure VI.49 - Implantation géographique du site CEA de Valduc.

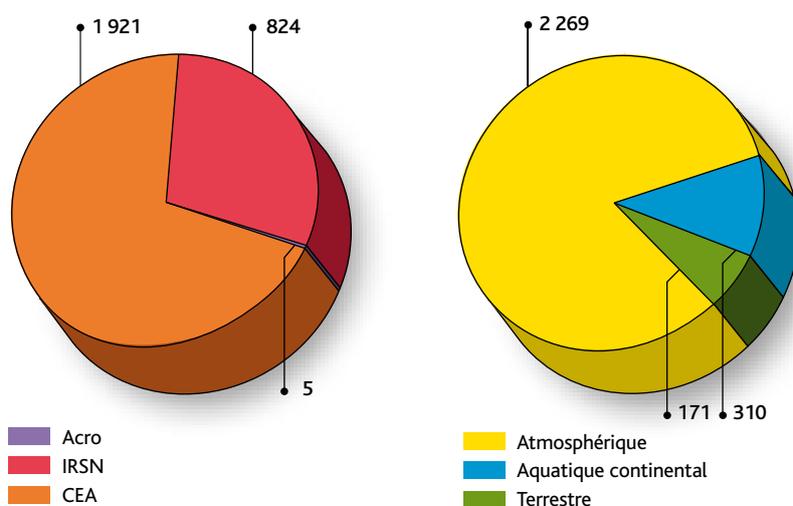


Figure VI.50 - CEA de Valduc, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité alpha (figure VI.52) et bêta n'a été mise en évidence. À l'exception de radionucléides naturels (^7Be , ^{210}Pb), les spectrométries gamma ont montré qu'aucun radionucléide artificiel n'était présent dans l'environnement.

Dans l'environnement du site CEA de Valduc, une augmentation de l'indice d'activité bêta a été observée entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableau VI.28 et figure VI.51). Ces observations sont attribuables au passage sur le territoire français de masses d'air contaminées par l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

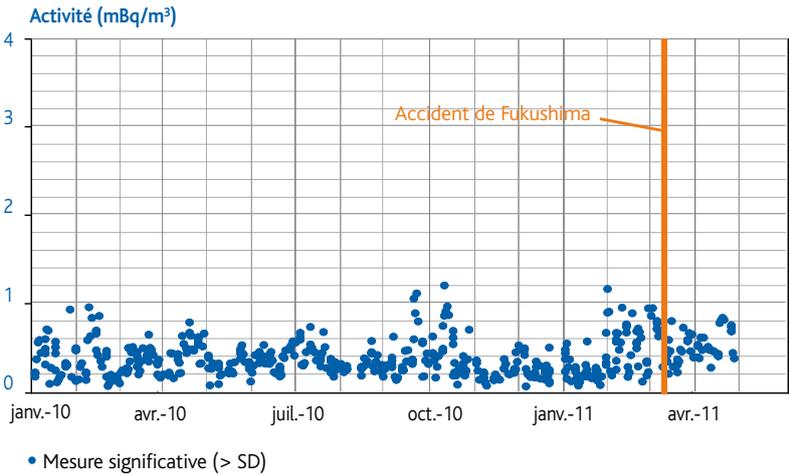


Figure VI.51 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité du CEA de Valduc (mBq/m³).

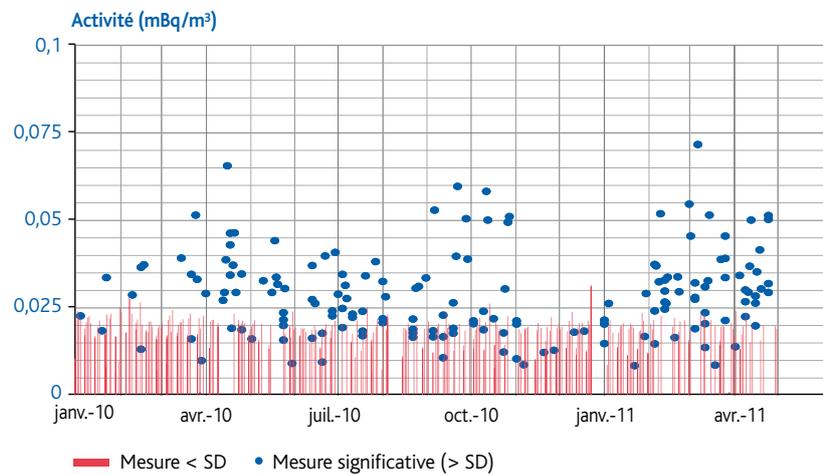


Figure VI.52 - Chronique de l'indice d'activité alpha globale des aérosols à proximité du CEA de Valduc (mBq/m³).

Tableau VI.28 - Activités des aérosols de l'environnement du CEA de Valduc (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Activité alpha	0,038 ± 0,001
	Activité bêta	0,23 ± 0,01 0,50 ± 0,02*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

Les gaz prélevés par barboteurs

Un barboteur prélève de l'air en continu à la station de prélèvement située sur la commune de Salives, sous les vents dominants du centre de Valduc. Le tritium présent dans l'air est détecté en quantité significative principalement sous forme de vapeur d'eau. Cette activité, comprise entre le seuil de décision et $4,15 \text{ Bq/m}^3$, indique un marquage permanent de l'environnement par les rejets atmosphériques du site. Une certaine cyclicité de l'activité de la vapeur d'eau tritiée tend à se confirmer dans le temps, les valeurs maximales apparaissant en période estivale (figure VI.53).

Les eaux de pluie

Les eaux de pluie sont prélevées à proximité du site en quatre endroits. L'activité volumique du tritium est de l'ordre de 23 Bq/L en moyenne, témoignant des activités du site. Durant la période d'observations, 4 % des valeurs dépassent 100 Bq/L avec une valeur maximale de 353 Bq/L observée à Échalot (figure VI.54).

Compartiment terrestre

La surveillance du centre CEA de Valduc s'appuie sur des prélèvements réguliers d'herbe et de lait effectués à proximité immédiate du site, auxquels s'ajoutent des prélèvements annuels de viande et de céréales.

La flore terrestre

Autour du centre de Valduc, quatre échantillons d'herbes sont prélevés chaque mois, d'avril à octobre. Six échantillons annuels complètent ce dispositif de surveillance. Leur analyse en tritium révèle un marquage de l'herbe par les rejets atmosphériques du centre, comme en témoignent les résultats rassemblés dans le tableau VI.29. Les niveaux en tritium libre relevés présentent une grande variabilité dans le temps et sont représentatifs des activités en tritium dans l'air au moment du prélèvement. Ces dernières sont notamment fonction des activités rejetées par le centre d'études nucléaires et des conditions météorologiques au moment du rejet.

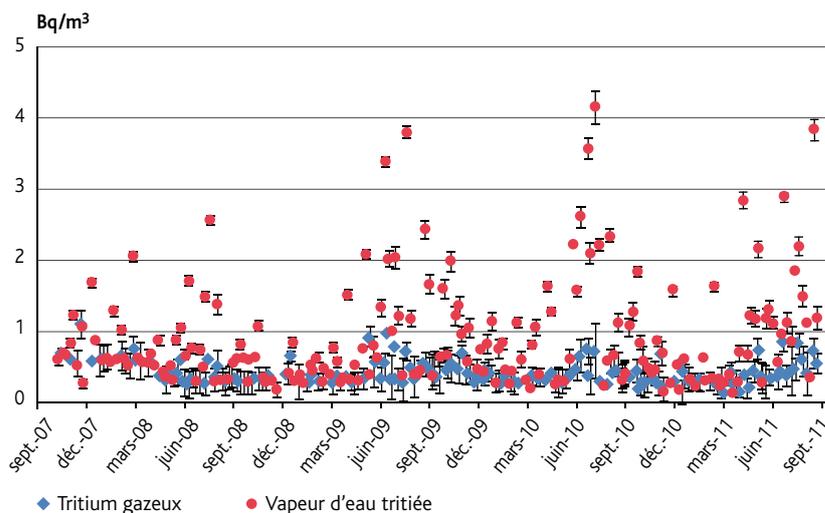


Figure VI.53 - Activité du tritium mesurée dans l'air à proximité du site de Valduc (Bq/m^3).

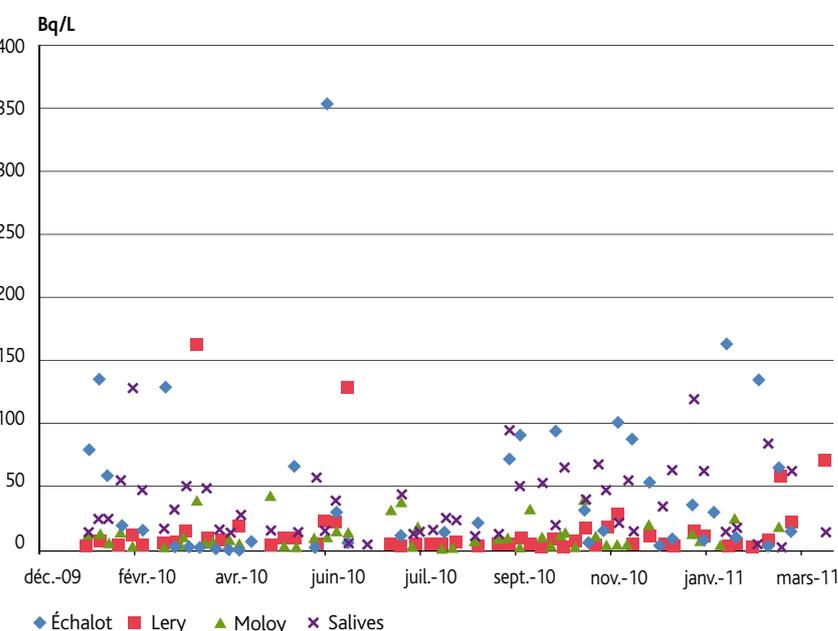


Figure VI.54 - Activité du tritium mesurée dans les eaux de pluie à proximité du site de Valduc (Bq/L).

Tableau VI.29 - Activités mesurées dans les herbes prélevées autour du site de Valduc.

Lieu de prélèvement	Gamme d'activités en ^3H libre (Bq/kg frais)	Activité moyenne en ^3H libre (Bq/kg frais)	Activité moyenne en ^3H lié (Bq/kg sec)
Échalot	$9,9 \pm 2,4 / 47,3 \pm 4,3$	$23,1 \pm 1$	$8,8 \pm 0,7$
Lamargelle	$5,9 \pm 2,1 / 79 \pm 6$	$20,8 \pm 1$	nm
Le Meix	nm	nm	$27,3 \pm 1,2$
Lery	nm	nm	$21,3 \pm 1$
Minot	nm	nm	$16,7 \pm 0,9$
Moley	$5 \pm 2,3 / 55,2 \pm 5$	$17,1 \pm 0,9$	nm
Pellerey	nm	nm	$12,8 \pm 0,7$
Salives	$6,1 \pm 2,3 / 32,4 \pm 3,6$	$15 \pm 0,9$	$34,6 \pm 1,4$

nm : non mesuré

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

La surveillance du lait de vache produit autour du centre de Valduc porte sur l'analyse de prélèvements mensuels réalisés à Salives, et d'un prélèvement annuel à Lamargelle.

Ces analyses permettent d'observer un marquage du lait en tritium rejeté par le centre du CEA, notamment à Salives où les activités mesurées sont comprises entre $20,5 \pm 2,9$ Bq/L et $42 \pm 3,8$ Bq/L. Le lait collecté en avril 2010 sur la commune de Lamargelle présentait une activité volumique de $6,5 \pm 2,1$ Bq/L.

Les activités des autres radionucléides sont inférieures aux seuils de décision, en dehors du potassium 40, d'origine naturelle, dont les activités sont du même ordre que celles mesurées sur l'ensemble du territoire français ($49,4 \pm 1,8$ Bq/L en moyenne).

La viande

Les résultats d'analyses réalisées sur une viande de bœuf élevé sur la commune de Chanceaux ne révèlent aucune anomalie radiologique. Du tritium organiquement lié a été mesuré à une activité massique de $0,52 \pm 0,16$ Bq/kg frais.

Les céréales

En 2010, des prélèvements de blé ont été réalisés lors de la récolte annuelle sur la commune de Salives. Les activités massiques des émetteurs gamma hors potassium 40 sont restées inférieures aux seuils de décision des appareils de mesure utilisés. Ces échantillons présentent un marquage en tritium organiquement lié corrélé aux rejets atmosphériques du centre CEA de Valduc (activité massique mesurée : $55,2 \pm 2,8$ Bq/kg sec).

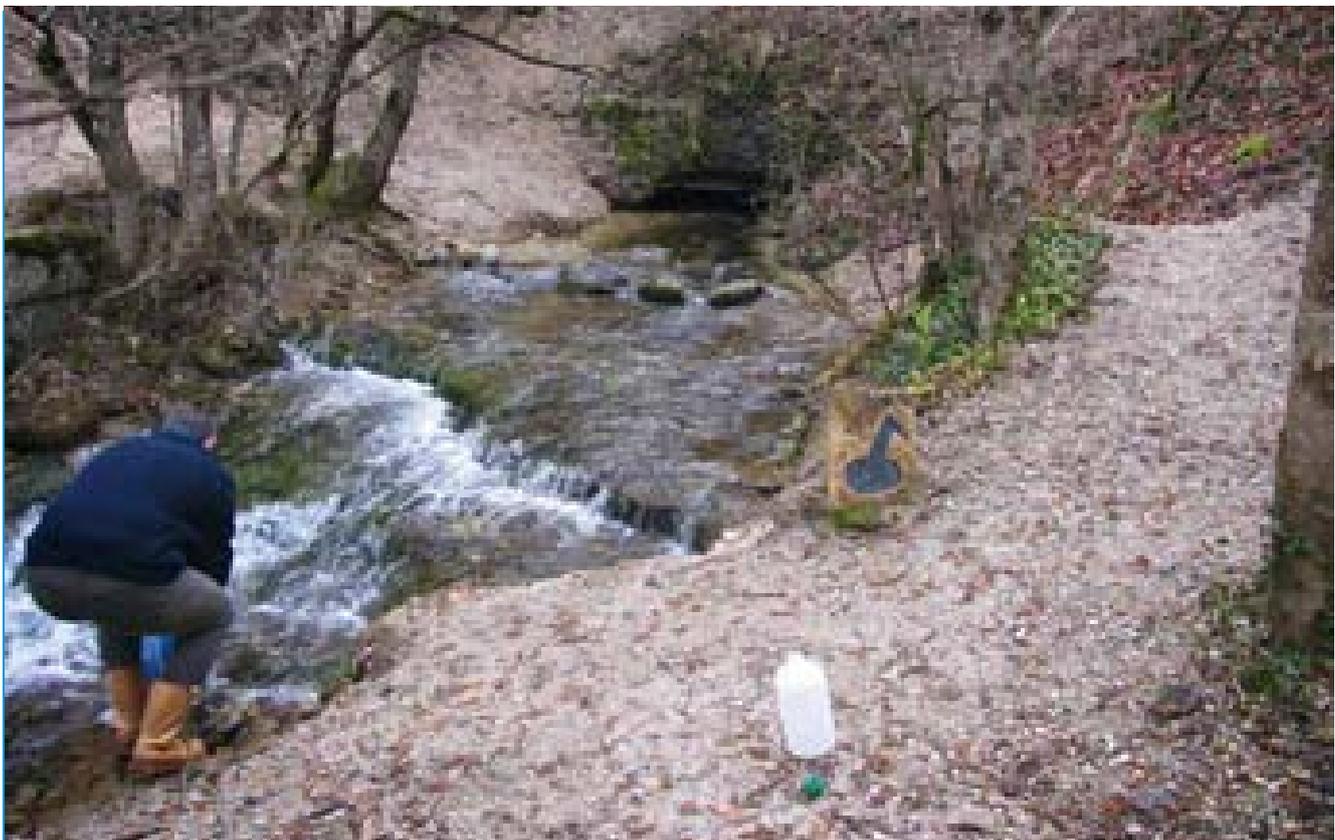
Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Deux aquifères s'écoulent sous le site de Valduc. Au droit du site, la nappe supérieure est alimentée par l'infiltration des précipitations et drainée par de nombreuses sources peu productives, pour la plupart temporaires et localisées en bordure du plateau. Dans l'aquifère inférieur fissuré, qui a entre autres pour exutoire la Douix (débit de plusieurs dizaines de litres par seconde), s'écoule une nappe alimentée par l'infiltration des eaux de précipitation et celles de la nappe supérieure. Ces deux aquifères communiquent à la faveur de failles dans le secteur de la Combe au Tilleul.

L'IRSN mesure l'activité du tritium dans l'eau de ces nappes phréatiques par des prélèvements au niveau de résurgences, principalement constituées par la source de la Coquille, de la Galopine, de Prégelan, du Prélard et des fontaines publiques des villages alentours. Le marquage en tritium mesuré à ces différents points varie de 10 à 59 Bq/L.

Les cours d'eau situés sous les vents dominants du site qui s'écoulent au nord et à l'est du site CEA sont le Brevon et la Digeanne, affluents de la Seine. Le marquage des eaux de ces rivières en tritium de l'ordre de 20 Bq/L est lié aux rejets atmosphériques du centre de Valduc et aux nappes phréatiques marquées en tritium. Au sud du site, les eaux de la Douix à Léry, exsurgence qui alimente le cours supérieur de la Seine, sont marquées en tritium pour des raisons identiques. En outre, l'Ignon (25 Bq/L) présente une activité en tritium décroissante liée à l'effet de dilution des affluents. Par ailleurs, l'Ignon reçoit les eaux de la Douix (27 Bq/L), qui a elle-même reçu celles du ruisseau Le Noirveau (190 Bq/L). Ces cours d'eau représentent les axes principaux de drainage superficiel. À l'ouest du site, hors de la zone des vents dominants, l'activité du tritium est nettement plus faible, dans le Prélard (7 Bq/L), le Revinson (4 Bq/L) ou la Seine (4 Bq/L).



© IRSN

Figure VI.55 - Prélèvement d'eau de source (La Coquille) à Etalante.

Le centre de recherche international de l'Institut Laue-Langevin et le centre CEA de Grenoble

Les centres de recherche du CEA et de l'Institut Laue-Langevin (ILL) sont situés à proximité immédiate l'un de l'autre et insérés dans l'agglomération grenobloise (Isère).

Créé en 1956, le centre CEA de Grenoble est l'un des centres civils du CEA. Depuis janvier

2001, ce centre s'est engagé dans un plan d'assainissement et de démantèlement de ses six installations nucléaires de base. Les travaux de démantèlement doivent s'achever fin 2012 et la dernière installation doit être déclassée administrativement en 2013. Les activités de ce centre sont maintenant axées sur la micro et la nanoélectronique, sur les nouvelles technologies de l'énergie et les biotechnologies.

L'Institut Laue-Langevin (ILL) est un organisme de recherche international doté de la source

de neutrons la plus intense du monde au service des chercheurs. Il comprend 40 spectromètres de haute technologie donnant des informations sur la structure et la dynamique de la matière (solides, liquides, gaz...) et couvrant de nombreux champs d'investigation : physique des particules, physique nucléaire, chimie, biosciences, sciences des matériaux...

La surveillance de l'environnement, commune à ces deux sites, est, depuis 2010, sous la responsabilité de l'Institut Laue-Langevin.

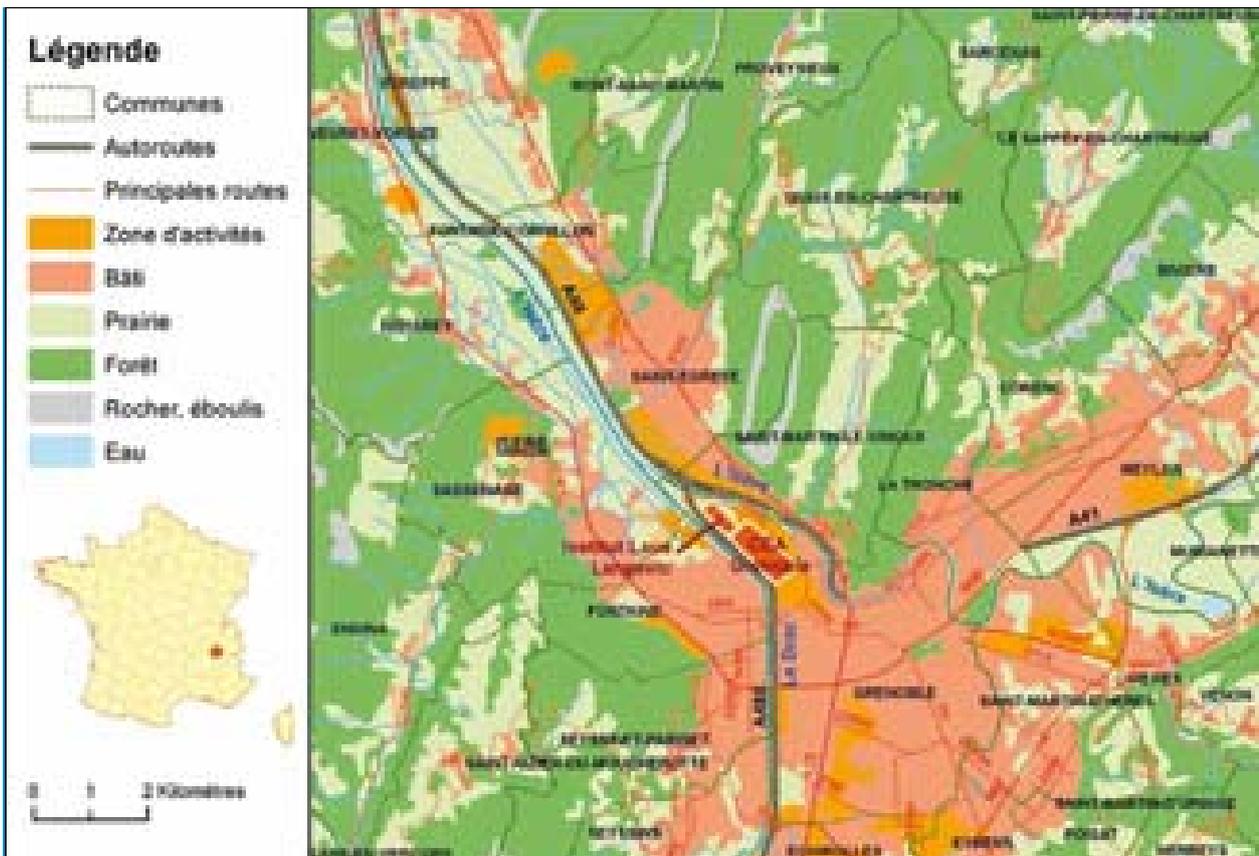


Figure VI.56 - Implantation géographique de l'ILL et du CEA de Grenoble.

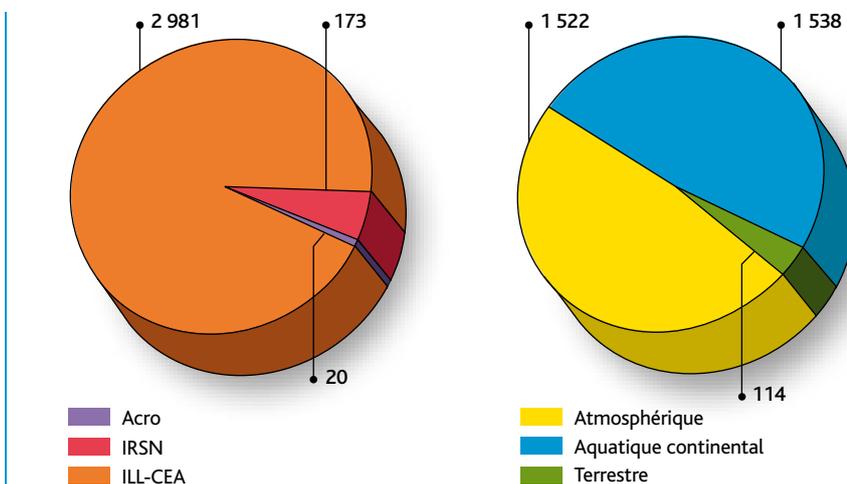


Figure VI.57 - ILL et CEA de Grenoble, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période de l'accident de Fukushima, le suivi des indices d'activité bêta n'a révélé aucune valeur anormale. Aucun radionucléide émetteur gamma artificiel n'a pu être mesuré au-dessus des seuils de décision des appareils utilisés.

Dans l'environnement de l'ILL et du site CEA de Grenoble, des activités significatives de césium 137 et d'iode 131 ont été observées entre la fin du mois de mars et le début du mois de mai 2011 (tableau VI.30). Ces observations sont attribuables aux passages sur le territoire français de masses d'air contaminées par l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Une augmentation de l'indice d'activité bêta a également été observée entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (figure VI.58). Elle s'explique par la présence de radionucléides artificiels liés à l'accident de la centrale japonaise.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les gaz prélevés par barboteurs

Deux barboteurs prélèvent de l'air en continu, l'un à la station implantée à la confluence du Drac et de l'Isère, au nord-ouest du site, et l'autre au sud-est du site. Ces deux stations sont situées sous les vents dominants. Le tritium présent dans l'air est détecté en quantité significative sous forme de vapeur d'eau. L'activité maximale mesurée à la station sud-est est de l'ordre de 1 Bq/m³, et de 2,3 Bq/m³ à la station nord-ouest (figure VI.59).

Les autres gaz

La surveillance de l'activité en iode 131 sous forme de gaz a mis en évidence la présence de ce radionucléide pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (tableau VI.31).

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

En dehors de cette période, aucune activité significative n'a été mesurée, ce radionucléide étant peu présent dans les rejets des installations du CEA de Grenoble ou de l'Institut Laue-Langevin.

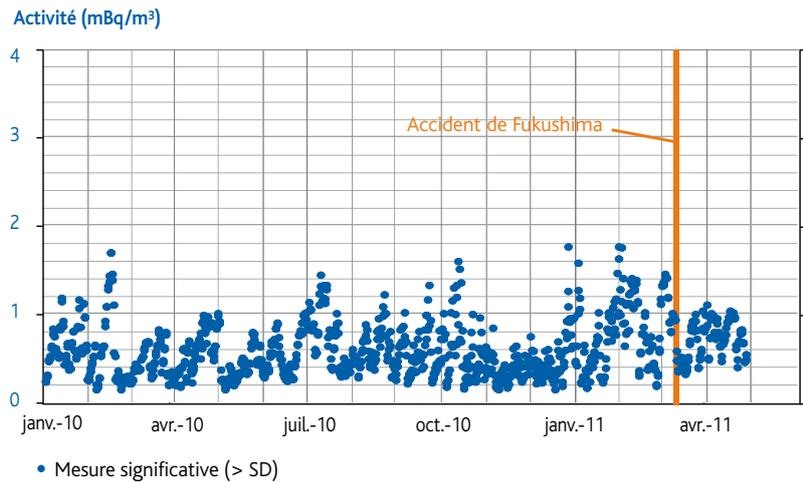


Figure VI.58 – Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols à proximité du CEA et de l'ILL de Grenoble (mBq/m³).

Tableau VI.30 – Activités mesurées dans les aérosols de l'environnement du CEA de Grenoble et de l'ILL (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Activité bêta	0,37 ± 0,01 0,64 ± 0,01*
	Radionucléides d'origine artificielle*	
	Césium 137	0,026 ± 0,008*
	Iode 131	0,042 ± 0,011*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

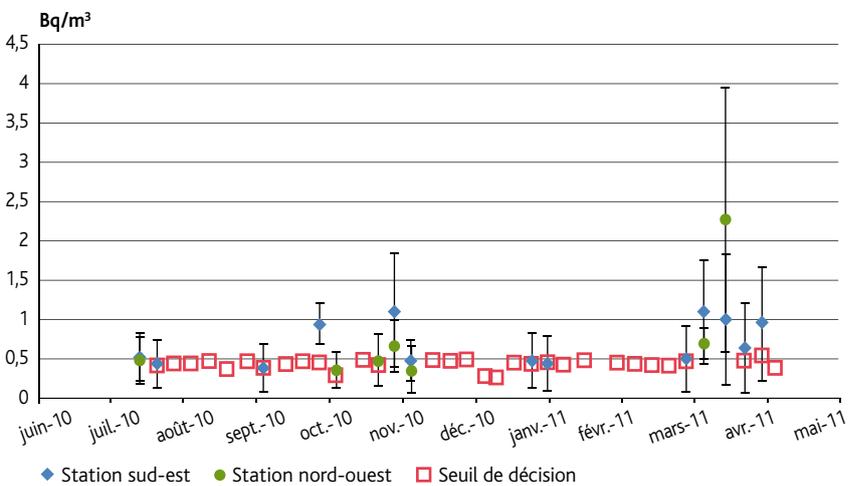


Figure VI.59 – Activité du tritium mesurée dans l'air à proximité de l'ILL (Bq/m³).

Tableau VI.31 – Activité en Iode 131 sous forme de gaz mesurée dans l'air ambiant à proximité du CEA de Grenoble et du réacteur de l'Institut Laue-Langevin (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne ou seuil de décision (mBq/m ³)
Radionucléide sous forme de gaz d'origine artificielle	Iode 131	< 0,30 0,29 ± 0,04*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

Les eaux de pluie

Le tritium est mesuré régulièrement dans les eaux de pluie collectées à proximité du site de l'ILL (*figure VI.60*) où les conditions atmosphériques sont fortement influencées par la cluse de l'Isère. L'activité moyenne du tritium est de 4,3 Bq/L. Il est à noter qu'une augmentation d'activité du tritium a été mesurée ponctuellement en mars 2011 dans les eaux de pluie et l'air ambiant.

Par ailleurs, l'ILL a mesuré dans une eau de pluie prélevée fin mars 2011, une activité volumique de 1,3 Bq/L en iode 131, liée à l'accident de Fukushima.

Compartiment terrestre

L'environnement du centre CEA et de l'Institut Laue-Langevin est surveillé au travers de prélèvements mensuels ou annuels de végétaux terrestres, de lait et de céréales.

La flore terrestre

Les prélèvements d'herbe effectués mensuellement de mai à octobre 2010, à proximité des sites de Grenoble, présentent un marquage en tritium : les activités mesurées fluctuent entre $0,7 \pm 0,61$ Bq/kg frais et $13,9 \pm 1,1$ Bq/kg frais sur la commune de Grenoble et entre $1,28 \pm 0,49$ Bq/kg frais et $9,5 \pm 1,2$ Bq/kg frais sur la commune de Saint-Martin-d'Hères. Ce marquage est imputable aux rejets atmosphériques des installations de l'Institut Laue-Langevin.

Du 23 mars au 9 avril 2011, des prélèvements complémentaires ont été réalisés sur les communes de Varcis-Allières-et-Risset et Gières. Cette surveillance renforcée a permis la détection de traces d'iode 131 à des activités massiques comprises entre $0,6 \pm 0,2$ Bq/kg frais et $1,6 \pm 0,4$ Bq/kg frais. Celles-ci sont attribuables à l'évènement survenu en mars 2011 sur la centrale nucléaire de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

Les résultats d'analyses de lait de vache collecté mensuellement dans une ferme de Proveysieux sont présentés dans le tableau VI.32. Du tritium libre, imputable aux

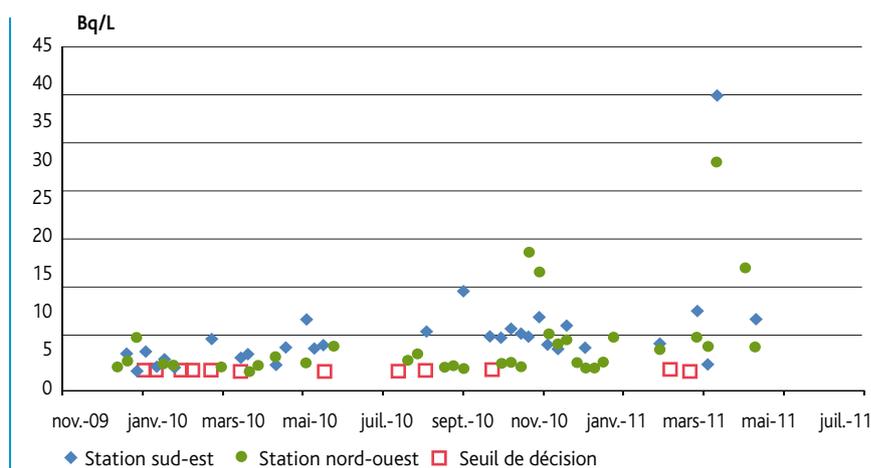


Figure VI.60 - Activité du tritium dans l'eau de pluie collectée à proximité de l'ILL (Bq/L).

rejets atmosphériques de l'ILL, est régulièrement mesuré à des activités proches des seuils de décision.

Les céréales

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les installations nucléaires de Grenoble ne sont pas détectés dans les échantillons de blé collectés en 2011 sur la commune de la Buisse.

Le maïs récolté sur la commune de Voreppe présente une activité en tritium libre de $4 \pm 0,6$ Bq/kg frais, proche des seuils de décision, imputable aux rejets atmosphériques de l'Institut de Laue-Langevin.

Les légumes-feuilles

En 2010, des prélèvements annuels de blettes et de salades cultivées à proximité du centre CEA et de l'ILL de Grenoble ont été réalisés.

Les analyses de blettes n'ont révélé aucune activité artificielle anormale. La radioactivité mesurée est essentiellement due au potassium 40, d'origine naturelle, dont l'activité s'élève à 96 ± 12 Bq/kg frais.

De faibles activités en tritium libre, liées aux rejets de l'ILL, sont mesurées sur l'échantillon de salades (activité massique

de $4,1 \pm 1,7$ Bq/kg frais). Cet échantillon présente une activité en carbone 14 de 220 ± 50 Bq/kg de carbone, correspondant à ce qui est habituellement observé hors zone d'influence de tout rejet anthropique (230 Bq/kg de carbone), à l'incertitude près.

Compartiment aquatique continental

Les eaux de surface

Les effluents radioactifs liquides et les eaux pluviales de l'ILL sont rejetés, après contrôle, dans l'Isère, 1 km en amont de son confluent avec le Drac, affluent gauche de l'Isère. Les eaux de refroidissement sont rejetées dans le Drac, 1 km en amont de son confluent avec l'Isère. Les eaux usées produites par l'ILL sont déversées dans le collecteur communal pour être traitées par la station d'épuration de la ville de Grenoble.

L'analyse des données montre que l'ILL n'influe pas significativement sur l'activité des radionucléides mesurés dans l'Isère ou le Drac. Ainsi, les activités en tritium mesurées en amont et en aval de l'installation sont sensiblement équivalentes, de l'ordre de 2,5 Bq/L (*figure VI.61*).

Les sédiments

Des prélèvements de sédiments sont réalisés dans l'Isère : annuellement en aval immédiat de l'Institut Laue-Langevin, et trois fois par an au niveau du barrage de Saint-Égrève situé en aval du site de Grenoble. Les principaux résultats sont reportés dans le tableau VI.33.

Tableau VI.32 - Activités moyennes mesurées dans le lait des vaches élevées à proximité du site de Grenoble (Bq/L)*.

Radionucléide	Activité (Bq/L)
^{40}K	$48,1 \pm 1,2$
^{137}Cs	$< 0,05$
^3H libre	$2,32 \pm 0,31$

* Sauf indication contraire

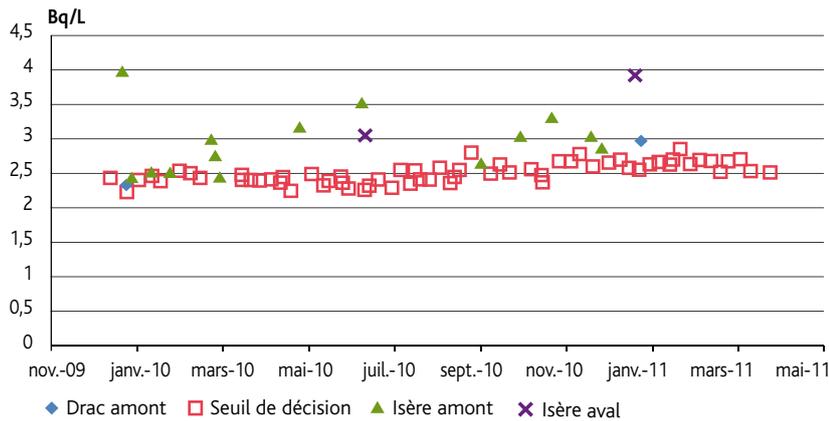


Figure VI.61 - Activité du tritium dans l'eau de surface en amont et en aval de l'ILL (Bq/L).

Tableau VI.33 - Activités mesurées dans les sédiments prélevés dans l'Isère en aval de l'Institut Laue-Langevin de Grenoble (Bq/kg sec).

Radionucléide	Grenoble	Sassenage Au niveau du barrage de Saint-Égrève
^{137}Cs	$7,8 \pm 1,7$	$5,9 \pm 0,8$
Autres radionucléides émetteurs gamma (^{124}Sb , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{106}Ru)	nm	< 11
^{241}Am	nm	$0,087 \pm 0,032$
^{238}Pu	nm	< 0,06
$^{239+240}\text{Pu}$	nm	$0,16 \pm 0,06$

Le césium 137 est décelable dans l'ensemble des prélèvements, à des niveaux comparables à ceux mesurés dans le Rhône, hors influence des rejets des installations nucléaires. Sa présence dans l'Isère en aval des installations nucléaires de Grenoble est donc principalement liée aux retombées atmosphériques passées (accident de Tchernobyl et tirs aériens d'armes nucléaires). Des traces de transuraniens d'origine artificielle (^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$), dues aux retombées des tirs, sont également régulièrement décelées.

Les eaux souterraines

L'ILL est implanté sur la plaine alluviale de Grenoble dont la caractéristique est d'être absolument plate. Cette configuration est héritée de l'écoulement glaciaire isérois, les glaces du Drac s'écoulant par la cluse de l'Isère. Les nappes phréatiques sont situées généralement à faible profondeur.

L'exploitant surveille la radioactivité de la nappe via trois réseaux de piézomètres dont le marquage en tritium médian est de l'ordre de 2,5 Bq/L, avec une valeur maximale mesurée en novembre 2010 à 5,2 Bq/L (figure VI.62). Ces valeurs sont à mettre en relation avec celles mesurées dans l'Isère, qui sont du même ordre de grandeur.

La faune aquatique continentale

En 2010, le prélèvement annuel de poissons pêchés dans l'Isère, à proximité des sites nucléaires de Grenoble, présente de faibles activités en césium 137 ($0,063 \pm 0,013$ Bq/kg frais). Les autres radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par ces installations sont restés inférieurs aux seuils de décision des appareils de mesure utilisés.

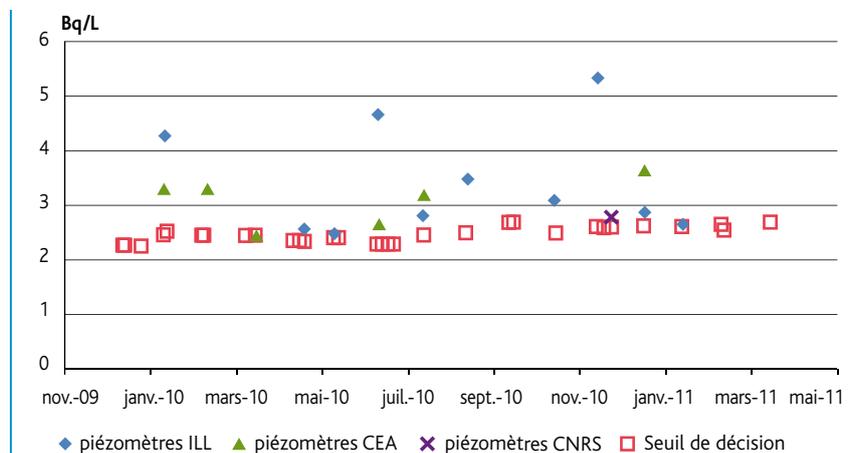


Figure VI.62 - Activité du tritium dans l'eau de la nappe phréatique à proximité du site ILL (Bq/L).

La flore aquatique continentale

En 2010, l'Institut Laue-Langevin a procédé à un prélèvement annuel de roseaux dans l'Isère, à 11 km en aval de cette installation. Parmi les radionucléides susceptibles d'être rejetés par les installations nucléaires de Grenoble, seul le carbone 14 est mesuré avec une activité massique de 320 ± 140 Bq/kg de carbone. Étant donné l'incertitude associée, cette mesure est difficilement interprétable même s'il s'agit d'un niveau supérieur au bruit de fond actuel en milieu terrestre (230 Bq/kg de carbone).

VI.2 LES BASES NAVALES NUCLÉAIRES

Quatre ports militaires de métropole abritent des bases navales nucléaires. Ces installations nucléaires présentent la spécificité d'être intégrées au sein ou à proximité d'agglomérations importantes (Toulon, Brest et Cherbourg). De plus, ces ports s'ouvrent sur des rades qui constituent des écosystèmes sensibles. Comme toute installation, la Marine nationale possède des laboratoires spécialisés dans la surveillance radiologique, qui prélèvent et analysent des échantillons d'origines terrestre, atmosphérique et marine collectés dans l'environnement des ports.

Pour mémoire, les résultats de la surveillance du compartiment aquatique marin (eau de mer, sédiments, faune et flore marines) sont présentés dans le chapitre IV (partie « Littoral »).

Ports militaires de Brest et de l'Île-Longue

Le port militaire de Brest (Finistère) est le siège de l'Escadre de l'Atlantique et de la Force océanique stratégique, et la base française des sous-marins nucléaires d'attaque. L'Île Longue est, depuis 1970, c'est-à-dire depuis le début de leur existence, le port base des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) français. C'est là qu'ils subissent, au retour de chaque patrouille, une indisponibilité pour entretien de quelques semaines. Mais la mission essentielle de l'Île Longue est de fournir à chaque SNLE, lorsqu'il vient d'être construit à Cherbourg ou lorsqu'il revient d'une période de grand carénage de deux ans, à Brest, ses seize missiles intercontinentaux pouvant emporter chacun six armes nucléaires.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Outre les observations effectuées pendant la période l'accident de Fukushima, le suivi de l'indice d'activité bêta (figure VI.65) n'a révélé aucune valeur anormale. Les mesures par spectrométries gamma ont montré qu'à l'exception de radionucléides naturels (^7Be , ^{210}Pb , ^{228}Ac , ^{235}U), aucun radionucléide artificiel n'était présent dans l'environnement.

Dans l'environnement du port militaire de Brest, des activités significatives de césium 134, césium 137 et d'iode 131 ont été observées entre la fin du mois de mars et le début du mois de mai 2011 (tableau VI.34). Ces observations sont attribuables aux passages sur le territoire français de masses d'air contaminées par l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Une augmentation de l'indice d'activité bêta a également été observée à Brest et à l'Île Longue entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableaux VI.34 et VI.35, figure VI.65). Elle s'explique par la présence de radionucléides artificiels liés à l'accident de la centrale japonaise.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

Les eaux de pluie

Seules des traces de plomb 212 et de plomb 214 sont mesurées ponctuellement dans l'eau de pluie prélevée à proximité du port militaire de Brest. L'iode 131 mesuré dans les eaux de pluie en mars 2011 est à mettre en relation avec les rejets liés à l'accident de Fukushima.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

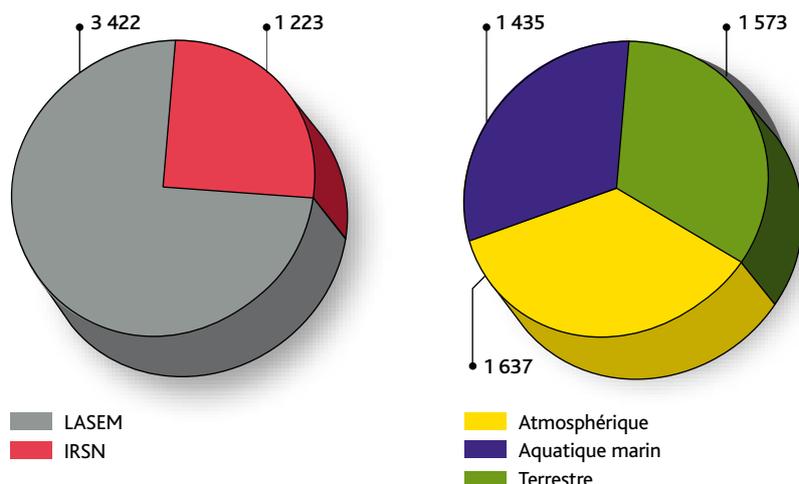


Figure VI.63 - Port militaire de Brest, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

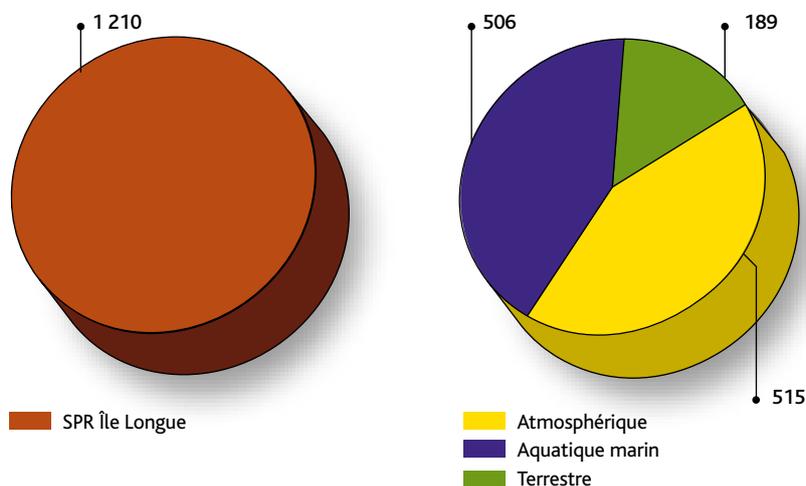


Figure VI.64 - Site militaire de l'Île Longue, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

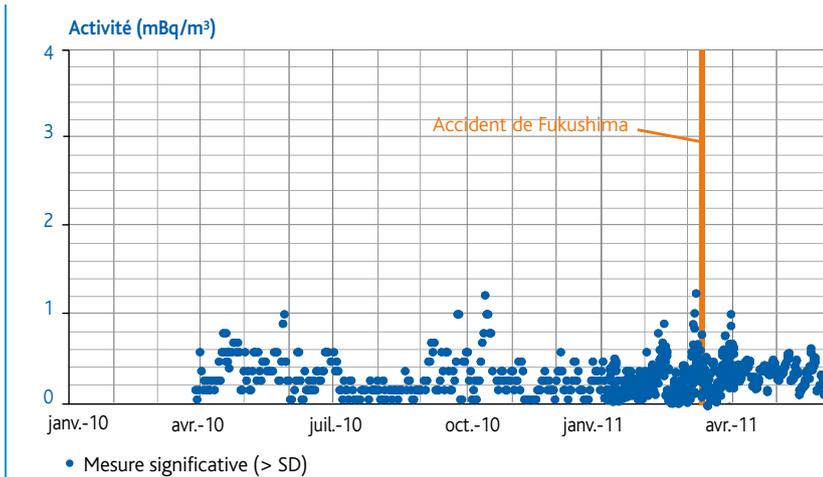


Figure VI.65 - Chronique de l'indice d'activité bêta globale des aérosols atmosphériques prélevés à proximité des ports militaires de Brest, de l'Île Longue et de Cherbourg (mBq/m³).

Tableau VI.34 - Activités mesurées dans les aérosols de l'environnement du port militaire de Brest (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Indice d'activité bêta	0,20 ± 0,01 0,45 ± 0,01*
	Radionucléides d'origine artificielle pendant la période de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima	Césium 134 Césium 137 Iode 131	0,006 ± 0,001* 0,005 ± 0,001* 0,067 ± 0,006*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

Tableau VI.35 - Indices d'activité bêta des aérosols de l'environnement du site militaire de l'Île Longue (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Indices globaux d'activité	Indice d'activité bêta	0,18 ± 0,01 0,60 ± 0,01*

* Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima du 22 mars au 6 mai 2011.

Compartiment terrestre

La surveillance des ports militaires de Brest et de l'Île Longue est assurée au travers de la réalisation de prélèvements réguliers de sols, de végétaux terrestres et de productions agricoles (lait, viande, fruits et légumes) au voisinage direct de ces sites.

La flore terrestre

Des prélèvements d'herbes et d'ajoncs d'Europe sont effectués mensuellement à proximité du port militaire de Brest, sur les communes de Brest, Guipavas, Plougastel-Daoulas, Roscanvel et du Crozon.

Des traces d'iode 131 et de césiums 134 et 137, dues à un marquage de l'évènement survenu à la centrale nucléaire de Fukushima le 11 mars 2011, ont pon-

tuellement été mesurées dans les herbes entre fin mars et début avril 2011 au niveau des cinq stations de surveillance de l'environnement du site militaire de Brest. Ces radionucléides ont également été mesurés début avril 2011 sur les prélèvements d'ajoncs d'Europe réalisés à l'aéroport de Guipavas, la Pointe des Espagnols à Roscanvel et au Fret du Crozon. Seul l'iode 131 a été mesuré sur les ajoncs d'Europe prélevés aux Quatre Pompes à Brest. Les activités en iode 131 mesurées sur les différents échantillons sont comprises entre 0,14 ± 0,1 Bq/kg sec et 14,5 ± 1,4 Bq/kg sec.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

En dehors de cette période post-accidentelle, aucun radionucléide artificiel émetteur gamma attribuable aux activités de ces sites militaires n'a été mesuré dans les échantillons d'herbe et d'ajoncs d'Europe.

Les sols

Des prélèvements de sols sont réalisés annuellement dans l'environnement proche de ces sites. Outre la présence de radionucléides naturels, les résultats d'analyses de ces prélèvements indiquent la présence de césium 137 dans les sols à des niveaux d'activités du même ordre de grandeur que ceux observés sur l'ensemble du territoire. Ces marquages sont imputables aux retombées passées des tirs aériens d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl (tableau VI.36).

Les productions agricoles et les aliments

Le lait

Du lait de vache est mensuellement collecté dans trois fermes situées sur les communes de Daoulas, Guipavas et Crozon. Ce dispositif de surveillance a ponctuellement été complété par un prélèvement de lait de chèvre le 5 avril 2011 afin d'évaluer l'impact de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima, le 11 mars 2011, sur le territoire métropolitain. La radioactivité mesurée dans le lait est essentiellement due au potassium 40 d'origine naturelle, dont l'activité volumique moyenne est de $42,3 \pm 0,3$ Bq/L pour le lait de vache et de $47,4 \pm 2,1$ Bq/L pour le lait de chèvre.

La présence d'iode 131 dans les trois échantillons de lait de vache prélevés début avril 2011, à des activités volumiques comprises entre $0,10 \pm 0,03$ et $0,34 \pm 0,04$ Bq/L, est liée à l'évènement survenu à la centrale nucléaire de Fukushima. De même, de faibles activités en iode 131 et en césium 137 ont été mesurées dans le lait de chèvre de Plougastel-Daoulas à des activités volumiques respectives de $0,78 \pm 0,05$ et $0,036 \pm 0,026$ Bq/L.

Aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été mesuré en dehors de cette période.

La viande

Les analyses annuelles de radioactivité réalisées sur des lapins élevés sur la commune de Plougastel-Daoulas ont montré l'absence de radionucléides artificiels dans les chairs, squelettes ou viscères.

Tableau VI.36 – Activités mesurées dans les échantillons de sols prélevés autour du site militaire de Brest (Bq/kg sec).

Radionucléide	Guipavas Aéroport	Brest Pelouse du laboratoire de la Marine nationale	Roscanvel Pointe des Espagnols	Crozon Le Fret	Crozon Pointe de Renard
¹³⁷ Cs	4,28 ± 0,3	6,23 ± 0,3	28,4 ± 0,8	0,3 ± 0,13	5,84 ± 0,28
¹³⁴ Cs	nm	< 0,47	< 0,6	< 0,19	nm
¹³¹ I	nm	< 1	< 0,9	< 1	nm
⁶⁰ Co	< 0,17	< 0,22	< 0,24	< 0,2	< 0,13
^{110m} Ag	< 0,18	< 0,23	< 0,26	< 0,21	< 0,13
⁴⁰ K	647 ± 19	865 ± 19	469 ± 12	495 ± 23	475 ± 17
²²⁸ Ac	56 ± 7	38,7 ± 3,6	54 ± 4,8	nm	62 ± 8
²¹² Pb	53,1 ± 1,9	41,1 ± 1,2	55,2 ± 1,6	nm	60,9 ± 2,2
²¹⁴ Pb	48,7 ± 2,1	34,9 ± 1,4	44,8 ± 1,5	nm	33,2 ± 1,5
²³⁴ Th	49 ± 22	32 ± 11	36 ± 12	nm	41 ± 17
²³⁵ U	nm	4,2 ± 0,5	5,4 ± 0,6	nm	4,64 ± 0,28

nm : non mesuré

Les fruits et légumes

En situation normale, aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est mesuré dans les fruits et légumes cultivés autour du port militaire de Brest. La radioactivité mesurée provient essentiellement du potassium 40 d'origine naturelle dont les activités sont présentées dans le tableau VI.37. La salade prélevée le 26 avril 2011 à Guipavas présentait une faible activité massique en césium 137 de $0,039 \pm 0,036$ Bq/kg frais pouvant être attribuable à l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima le mois précédent.

Tableau VI.37 – Activités moyennes en potassium 40 mesurées dans les fruits et légumes récoltés à proximité du site militaire de Brest (Bq/kg frais).

Espèce	Activité
Pomme	46,9 ± 2,2
Salade	114,2 ± 2,4
Poireau	98 ± 1,9
Chou pommé	71,5 ± 2,8
Navet	121,5 ± 4,4
Persil	271 ± 12

Port militaire de Cherbourg

Le port militaire de Cherbourg (Manche), avec en son sein la DGA (Délégation générale de l'armement), est principalement dédié à la construction ou au démantèlement de sous-marins à propulsion nucléaire (sous-marins nucléaires d'attaque et sous-marins nucléaires lanceurs d'engins) construits par la Direction des constructions navales. Il assure également un soutien logistique aux forces navales françaises et étrangères de passage.

Compartiment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Dans l'environnement du port militaire de Cherbourg, à l'exception de radionucléides naturels, aucun radionucléide artificiel n'a été mesuré (tableau VI.38). Le suivi de l'indice d'activité bêta (figure VI.65) n'a révélé aucune valeur anormale.

Compartiment aquatique

Les eaux souterraines

Des traces d'actinium 228 (figure VI.67), de thallium 208, de bismuth 214, de plomb 212 et 214 issus des chaînes de décroissance naturelles du thorium et de l'uranium 238 sont mesurées ponctuellement dans les eaux souterraines.

Le tritium est mesuré dans la nappe phréatique à des activités de l'ordre de 5,5 Bq/L, qui fluctuent entre le seuil de décision et 10,4 Bq/L sur la période étudiée (figure VI.68).

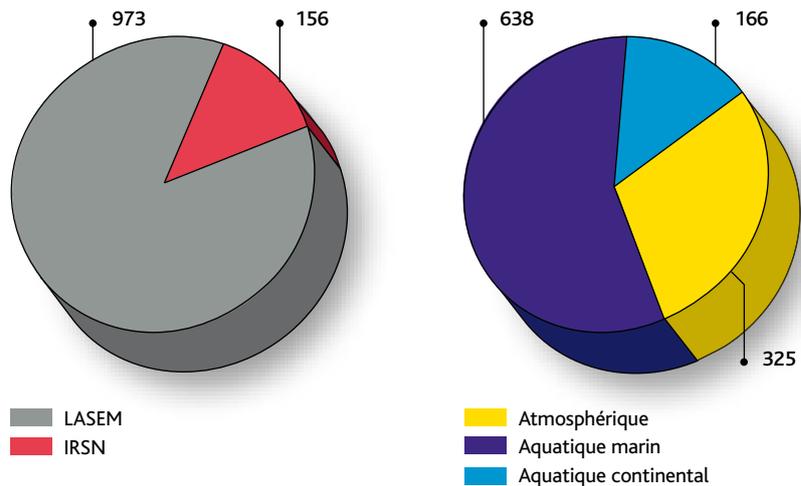


Figure VI.66 - Port militaire de Cherbourg, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Tableau VI.38 - Radionucléides naturels mesurés dans les aérosols de l'environnement du port militaire de Cherbourg (mBq/m³).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m ³)
Radionucléides d'origine naturelle	Béryllium 7	2,03 ± 0,03
	Potassium 40	0,053 ± 0,003
	Actinium 228	0,0024 ± 0,0003
	Uranium 235	< 0,0036

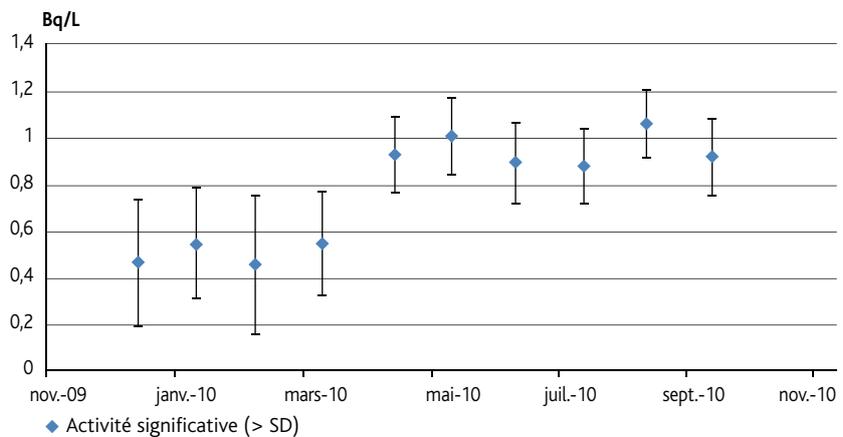


Figure VI.67 - Activité de l'actinium 228 mesuré dans l'eau de nappe dans la zone du Homet à proximité de la rade de Cherbourg (Bq/L).

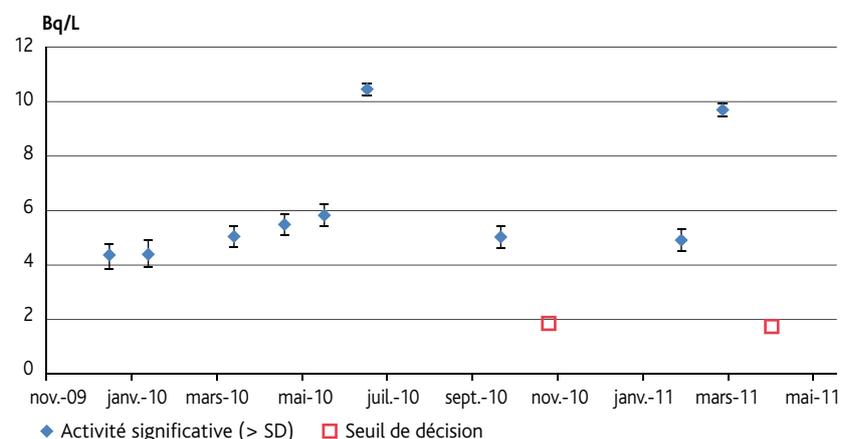


Figure VI.68 - Activité du tritium mesuré dans l'eau de nappe dans la zone du Homet à proximité de la rade de Cherbourg (Bq/L).

Port militaire de Toulon

Le port militaire de Toulon (Var) est la principale base navale française, avec celle de Brest. Il abrite notamment la majeure partie de la force d'action navale, comprenant les sous-marins nucléaires d'attaque. Toulon est également le port d'attache de 37 bâtiments de surface, dont le porte-avions Charles-de-Gaulle (premier bâtiment de surface français à propulsion nucléaire).

Compartment atmosphérique

Les aérosols atmosphériques

Dans l'environnement du site du port militaire de Toulon, une augmentation de l'indice d'activité bêta a été observée entre la fin du mois de mars et la fin du mois d'avril 2011 (tableau VI.39), attribuable à la présence de radionucléides artificiels liés à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

Outre cette constatation, aucune autre valeur anormale de l'indice d'activité bêta n'a été mise en évidence.

Les eaux de pluie

De l'iode 131 a été mesuré dans les eaux de pluie en mars et avril 2011. Cette mesure est à mettre en lien avec l'accident de Fukushima. En dehors de cet épisode, aucune activité anormale n'a été mesurée.

Compartment terrestre

La flore terrestre

Des prélèvements réguliers d'arbustes (lentisques, cyprès) et d'herbes sont effectués autour du port militaire de Toulon. Les résultats d'analyses de ces prélèvements n'indiquent aucune activité anormale résultant des activités nucléaires du site de Toulon.

Seules quelques traces d'iode 131 ont été mesurées sur un échantillon de lentisque prélevé le 4 avril 2011 à une activité de $4 \pm 1,9$ Bq/kg sec : celles-ci sont imputables à l'événement survenu sur la centrale de Fukushima, au Japon, le 11 mars 2011.

En savoir plus

Chapitre III – Accident de Fukushima

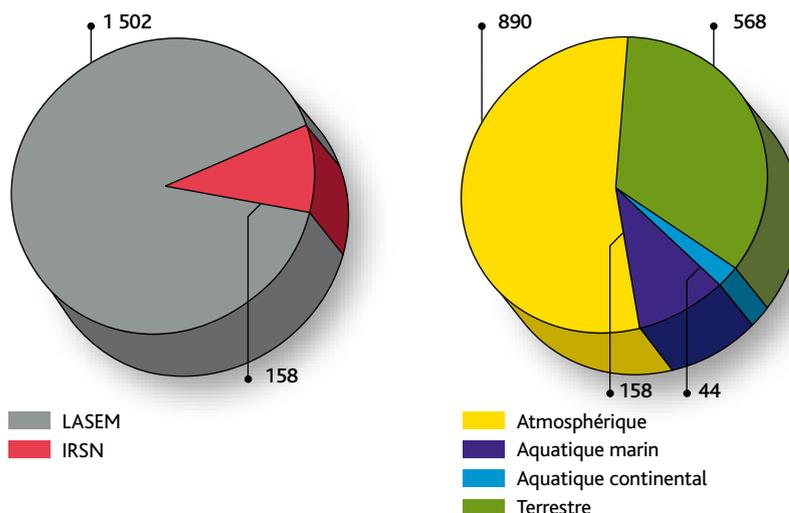


Figure VI.69 - Site militaire de Toulon, répartition du nombre de prélèvements par producteurs de données et par compartiments.

Tableau VI.39 - Indices d'activité bêta des aérosols de l'environnement du port militaire de Toulon (mBq/m^3).

Type de radionucléide	Radionucléide	Activité moyenne (mBq/m^3)
Indices globaux d'activité	Indice d'activité bêta	$0,18 \pm 0,01$ $0,33 \pm 0,01^*$

*Mesures effectuées pendant la période de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Fukushima entre le 22 mars et le 6 mai 2011.

Les productions agricoles et les aliments

Les fruits et légumes

Aucun radionucléide artificiel émetteur gamma n'est mesuré dans les fruits et légumes cultivés à proximité du port militaire de Toulon. La radioactivité mesurée provient essentiellement du potassium 40 d'origine naturelle dont les activités sont présentées dans le tableau VI.40.

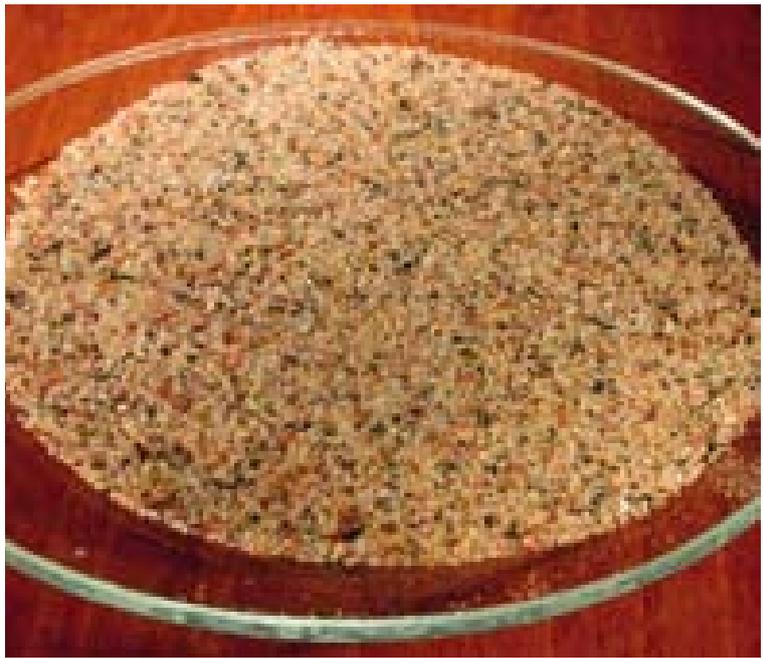
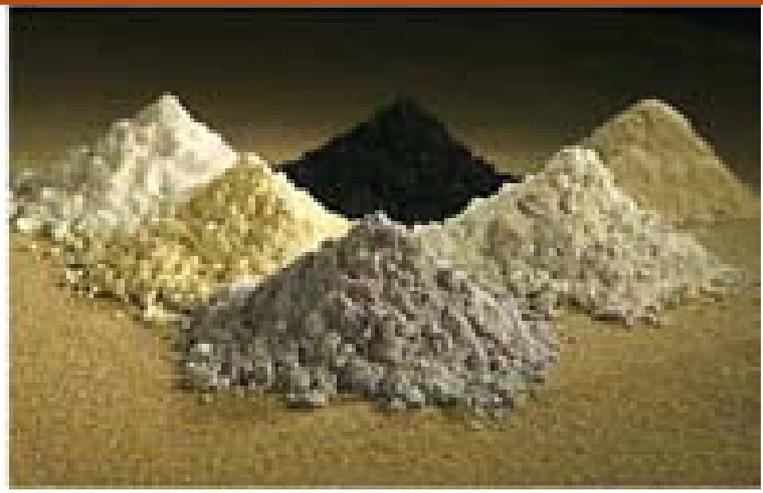
Tableau VI.40 - Activités moyennes en potassium 40 mesurées dans les fruits et légumes récoltés à proximité du site militaire de Toulon (Bq/kg frais).

Espèce	Activité
Raisin	154 ± 5
Tomate	$80 \pm 2,4$
Salade	$77,1 \pm 1,8$
Courgette	$136,1 \pm 4,1$
Pomme de Terre	184 ± 6



© Areva NC

Figure VI.70 - Prélèvement de végétaux dans l'environnement du site de Marcoule.



OU ARTIFICIELLE



VII

LA SURVEILLANCE DES INSTALLATIONS UTILISANT DES SOURCES DE RADIOACTIVITÉ NATURELLE OU ARTIFICIELLE

VII.1 Usine Rhodia Electronics & Catalysis de La Rochelle

VII.2 Les installations industrielles d'ionisation

Outre les principaux opérateurs intervenants dans le cycle du combustible nucléaire (*chapitre V*) ou dans le domaine de la recherche (*chapitre VI*), il existe d'autres secteurs industriels mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides ou utilisant des sources de rayonnements ionisants pour différentes applications. Certaines de ces installations, classées Installation nucléaire de base (INB) ou Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), sont soumises à un contrôle réglementaire de la radioactivité dans l'environnement.

Les installations industrielles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides

Des activités industrielles récentes et anciennes sont à l'origine de déchets peu radioactifs mais très volumineux : **les déchets radifères**. Comme leur nom l'indique, ces déchets contiennent des traces de radium et de ses descendants issus de la filiation de l'uranium que l'on trouve à l'état de traces dans l'écorce terrestre. Certains déchets radifères proviennent du nettoyage d'anciens sites de l'industrie du radium, contaminés lorsque cette industrie était florissante avant 1940. D'autres, plus récents, ont pour origine le traitement de minerais très légèrement radioactifs comme la monazite, qui contient en proportions variables des terres rares et leurs oxydes. On appelle **terres rares** ou **lanthanides** une quinzaine d'éléments chimiques présentant des structures et des propriétés similaires.

La monazite est un minerai particulièrement riche en terres rares, notamment en cérium, terbium et europium. Les usages des terres rares sont très diversifiés : industrie du verre et de la céramique, aimants, catalyseurs pétrochimiques, métallurgie, tubes cathodiques, cristaux liquides. Le cérium est un des matériaux nécessaires à la fabrication des filtres à particules des pots d'échappement des véhicules à moteur diesel. Le minerai de monazite est également naturellement riche en thorium et en radium. En France, ce minerai a été exploité par Rhodia à La Rochelle, mais aussi de façon industrielle sur d'autres sites où il subsiste parfois

des résidus de traitement contaminés par du thorium : Serquigny (Eure), Thann (Haut-Rhin) et Pargny-sur-Saulx (Marne) (*voir chapitre III.3*).

Le niveau de radioactivité de ces déchets radifères est en général compris entre quelques dizaines et quelques milliers de Bq par gramme. Les radionucléides sont essentiellement des émetteurs alpha, à vie longue. Les déchets radifères sont classés comme des déchets de faible activité à vie longue (FAVL). Ils feront l'objet d'un conditionnement et d'un stockage spécifique, en cours d'étude à l'Andra.

Dans ce chapitre sera traité le cas de l'usine Rhodia Electronics & Catalysis de La Rochelle (anciennement nommée Rhodia Terres Rares), qui a utilisé jusqu'en 1994 de la monazite, et qui fait l'objet d'une surveillance régulière de la radioactivité de l'environnement du site, notamment dans l'air et dans les eaux souterraines.

Les installations industrielles d'ionisation

Il existe en France plusieurs installations industrielles d'ionisation assurant le traitement par rayonnement gamma de

matériel médical (stérilisation) ou de produits alimentaires.

L'irradiation agroalimentaire permet de détruire à froid les micro-organismes. Elle améliore la conservation des produits en empêchant la germination des bulbes et tubercules, en éliminant les insectes parasites des céréales, des fruits et des légumes frais et en pasteurisant et débactérisant le poisson et la viande. La stérilisation par rayonnement gamma est par exemple utilisée pour l'éradication d'insectes nuisibles. De nombreuses applications existent pour la stérilisation des objets tels que le matériel médico-chirurgical. Le traitement par les rayons gamma est également utilisé pour la conservation et la restauration d'objets d'art en ethnologie et en archéologie.

Les installations actuellement exploitées sont situées à Pouzauges (Vendée), Sablé-sur-Sarthe (Sarthe) et Dagneux (Ain) pour les installations du groupe Ionisos, et Marseille (Bouches-du-Rhône) pour l'installation du groupe Isotron (*figure VII.1*).



Figure VII.1 - Localisation géographique des installations traitées dans ce chapitre.

VII.1 USINE RHODIA ELECTRONICS & CATALYSIS DE LA ROCHELLE

L'usine Rhodia de La Rochelle est un site classé « Seveso » Seuil Haut, situé dans la zone industrielle Chef de Baie, à l'ouest du centre-ville de La Rochelle (17). Le site réunit des installations de production ainsi que d'importants moyens de recherche et de développement.

De 1946 à 1994, ce site a utilisé de la monazite, matière première contenant des traces de radioactivité naturelle et des terres rares. Rhodia a repris en 1998 les activités chimiques de Rhône-Poulenc. La monazite n'est plus directement traitée à La Rochelle depuis 1994. Rhodia reçoit désormais des concentrés débarrassés d'une grande partie des radionucléides naturels à l'issue d'un traitement effectué en Chine. L'activité menée depuis plus de 60 ans sur le site de La Rochelle a cependant conduit à la production de déchets radifères.

Rhodia entrepose, essentiellement sur le site de La Rochelle, environ 20 000 tonnes d'hydroxyde brut de thorium et 11 000 tonnes de nitrate de thorium. L'activité en thorium 232 est respectivement d'environ 720 Bq/g et 1 650 Bq/g. Ces produits ne sont plus générés par Rhodia depuis l'arrêt du traitement de la monazite à La Rochelle en 1994. Ces matières peuvent présenter un intérêt énergétique pour l'industrie nucléaire en cas du développement futur de réacteurs « à neutrons rapides ». Il subsiste également dans les matières en suspension de Rhodia des terres rares potentiellement valorisables.

Jusqu'en 1974, l'usine rejetait ses effluents liquides et solides en mer dans la grève du Port-Neuf (baie de La Rochelle). Jusqu'en 1991, l'usine a expédié une partie des résidus solides au centre de stockage de la Manche (Andra), puis dans les installations du CEA de Cadarache (entreposage provisoire). Rhodia possède environ 13 300 tonnes de déchets, sous forme de :

- **résidus radifères** (dits « RRA ») dont près de 200 tonnes sont entreposés à La Rochelle (activité massique moyenne totale d'environ 1 600 Bq/g) ;
- **résidus solides banalisés** (dits « RSB ») constituant des remblais contaminés par des



Figure VII.2 - Usine Rhodia de La Rochelle.

résidus d'attaque de minerais et des déchets divers (emballages, ferrailles) dont 8 000 tonnes sont entreposées à La Rochelle (activité massique moyenne totale d'environ 75 Bq/g).

Ces déchets font partie du modèle d'inventaire provisoire des déchets qui doivent être stockés dans le futur centre de stockage de l'Andra pour les déchets FAVL.

L'impact radiologique des déchets à radioactivité naturelle renforcée est dû à la présence de radionucléides d'origine naturelle. Certains de ces radionucléides ont une période radioactive de plusieurs millions d'années et vont donc avoir le temps de migrer vers les sols, vers les eaux superficielles, vers les eaux souterraines. Des transferts sont également possibles à plus court terme vers l'air. Cette migration dans le milieu naturel peut conduire à une contamination de l'environnement et à un impact radiologique sur la population. L'usine Rhodia de La Rochelle fait donc l'objet d'une surveillance réglementaire, en tant qu'ICPE, de la radioactivité de l'air (par dosimétrie passive), des eaux du bassin de traitement des effluents (1 point de prélèvement) et des eaux souterraines (13 points de prélèvement).



Figure VII.3 - Déchets radifères de faible activité à vie longue entreposés à l'usine Rhodia de La Rochelle.

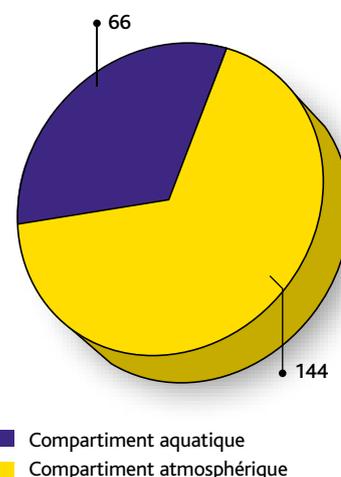


Figure VII.4 - Usine Rhodia Electronics & Catalysis de La Rochelle, répartition du nombre de mesures par compartiment.

Compartiment atmosphérique

Le suivi de la radioactivité est également réalisé en limite de site à l'aide de différents équipements de prélèvement et de mesure. Il porte sur l'exposition externe (mesure du rayonnement gamma) et sur l'exposition interne par inhalation (mesure de l'énergie alpha potentielle générée par les descendants à vie courte du radon 220 et radon 222, mesure de la concentration en émetteurs alpha vie longue véhiculés par les poussières). Les résultats de 22 dosimètres passifs gamma installés en limite de site sont transmis au Réseau national de mesures de la radioactivité (RNM). Ces mesures oscillent entre 110 nSv/h et 417 nSv/h, avec une valeur moyenne proche de 230 nSv/h. Ces résultats peuvent être comparés aux valeurs moyennes de l'IRSN pour la ville de La Rochelle (78 nSv/h) et pour la région Poitou-Charentes (119 nSv/h). Certains résultats sont donc nettement supérieurs au bruit de fond régional et témoignent de la signature des activités du site, notamment de l'entreposage des déchets. Des bâtiments pour l'entreposage de l'hydroxyde brut de thorium ont été construits par Rhodia afin de réduire le débit de dose lié à cet entreposage.

En savoir plus

Chapitre IV – Compartiment atmosphérique

Compartiment aquatique

Chaque année, deux campagnes de prélèvements ont lieu au niveau des piézomètres référencés. Les analyses réalisées permettent le suivi des paramètres suivants : ^{232}Th ou thorium total, ^{238}U ou uranium total, ^{226}Ra , ^{228}Ra , plomb, manganèse dissous, mercure dissous, nickel dissous et ammonium. Tous les effluents du réseau chimique de l'usine parviennent à la station d'épuration en vue de leur traitement et de leur mise en conformité avant le rejet en mer dans la baie de La Rochelle. Les contrôles sont effectués au point B en vue de déterminer leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques.

Le site de La Rochelle est, entre autres, alimenté par des prélèvements de la nappe d'eau industrielle à partir d'un puits de forage situé à proximité de l'usine (puits de Vaugouin). Des contrôles sont donc réalisés dans la nappe d'eau souterraine à partir de piézomètres localisés à différents endroits sur le site Rhodia.

La majorité des résultats des mesures en radium 226 (descendant de l'uranium 238) sur les points de surveillance d'eau de ce site oscillent entre le seuil de décision (< 0,0044 Bq/L) et 0,06 Bq/L. Ces activités

sont représentatives ou proches du bruit de fond naturel. Seules les activités en radium 226 aux piézomètres A, B et D (eaux souterraines) sont supérieures à 0,1 Bq/L et montrent un marquage en relation avec l'activité de ce site. La valeur maximale (0,25 +/- 0,075 Bq/L) est mesurée en avril 2010.

Les activités en radium 228 (descendant du thorium 232) mesurées sur les échantillons d'eau oscillent entre le seuil de décision (< 0,014 Bq/L) et la valeur maximale de 0,48 Bq/L. La grande majorité des résultats sont inférieurs aux seuils de décision. Les autres activités sont modérées mais témoignent néanmoins de la signature des activités du site pour les valeurs maximales relevées aux points B, D et F2. L'activité maximale en radium 228 mesurée en 2010 dans le bassin d'eau de traitement (point B) est de 0,13 +/- 0,03 Bq/L.

Les concentrations en uranium pondéral sont inférieures ou proches de la valeur guide de 30 µg/L d'uranium préconisée par l'OMS pour l'eau destinée à la consommation humaine. L'activité mesurée en 2010 dans le bassin d'eau de traitement (point B) est inférieure ou proche des seuils de décision et ne montre donc aucun impact des activités du site.

Impact radiologique du dragage de sédiments dans le port de La Rochelle

En 2009, la Ville de La Rochelle a initié un projet d'extension du port de plaisance des Minimes impliquant le dragage d'environ 1 000 000 m³ de sédiments destinés à être immergés dans la fosse d'Antioche. La Ville de La Rochelle a sollicité l'appui technique de l'IRSN pour évaluer l'impact radiologique lié à ces travaux sur les travailleurs et la population. Une campagne de carottages a été réalisée du 20 juillet au 7 août 2009. Au total, 111 échantillons de sédiments à draguer répartis sur 31 stations, puis 2 échantillons sur 2 stations de référence situées dans le Fier d'Ars, non soumises à des impacts industriels, et 5 échantillons de sable de plage ont été collectés et analysés, selon un protocole validé par l'IRSN. Les résultats transmis à

l'IRSN lui ont permis de réaliser l'expertise attendue.

Cet état des lieux exhaustif a montré que le choix des stations de référence était pertinent, que les activités mesurées dans les sables de plage donnaient accès aux activités des radionucléides qui pourraient être contenus dans la fraction sableuse (peu abondante) des sédiments à draguer (de l'ordre de 5 Bq.kg⁻¹ sec pour les chaînes du ^{232}Th et de l' ^{238}U). Les activités mesurées dans ces sédiments n'étaient pas significativement différentes de celles mesurées dans les sédiments des stations de référence (de l'ordre de 30 Bq.kg⁻¹ sec pour les chaînes du ^{232}Th et de l' ^{238}U) même si quelques échantillons avaient révélé un marquage industriel modeste et sporadique

(rejets de l'usine Rhodia située à 3 km produisant des terres rares à partir de monazite thorifère).

L'impact radiologique pour les travailleurs chargés des opérations de dragage des sédiments et celui pour la population ont été estimés sur la base des mesures d'activité des sédiments. La dose efficace maximale calculée pour les travailleurs chargés des opérations de dragage des sédiments est de 0,012 mSv. La dose efficace maximale calculée pour la population est de 0,035 mSv.an⁻¹ pour le groupe de population des pêcheurs professionnels adultes, gros consommateurs de produits de la mer. Bien que calculées sur la base d'hypothèses enveloppes, les doses sont faibles et très inférieures à la limite de 1 mSv.an⁻¹.

VII.2 LES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES D'IONISATION

Les installations industrielles d'ionisation sont destinées à assurer le traitement par rayonnement gamma (sources de cobalt 60 principalement) de matériel médical (stérilisation) ou de produits alimentaires.

Dans ce type d'installation, l'irradiation s'effectue dans une cellule au moyen de sources de cobalt 60 de très forte radioactivité. Les produits à irradier sont déposés sur des balancelles, mues par un convoyeur, qui pénètrent et sortent de la cellule d'irradiation au travers d'un « labyrinthe » (figure VII.5). La cellule d'irradiation comprend une piscine dans laquelle sont entreposées les sources de cobalt 60 en dehors des phases d'irradiation, l'eau de cette piscine constituant un écran contre le rayonnement des sources. L'irradiation des produits s'effectue lorsque les sources sont émergées.

Les sources de cobalt 60 sont constituées de barreaux déposés sur un ou plusieurs porte-sources. La montée et la descente des porte-sources s'effectuent au moyen d'un dispositif constitué de câbles et de treuils actionnés par un système mécanique.

Les ionisateurs ne présentent que très peu de risques pour le public et l'environnement. Le risque potentiel principal est celui de l'exposition du personnel aux rayonnements ionisants. Ce risque est maîtrisé par l'existence de protections radiologiques constituées par les parois, de forte épaisseur, de la cellule d'irradiation en période d'exploitation et par l'eau de la piscine en période d'arrêt, ainsi que par les dispositions de sûreté mises en œuvre pour gérer les accès du personnel à la cellule d'irradiation et le mouvement des sources.

Ces installations, classées INB, font cependant l'objet de contrôles réglementaires de la radioactivité dans l'environnement afin de garantir l'absence de contamination.

Les installations du groupe Ionisos

Ionisos est un prestataire de services pour le traitement par rayonnements obtenus soit à partir d'une source de Cobalt 60 pour les rayons gamma, soit à partir d'un accélérateur d'électrons.

Le groupe Ionisos exerce son activité sur trois marchés principaux :

- **la stérilisation** : stérilisation de matériel médical à usage unique, stérilisation ou décontamination des conditionnements, matières premières ou produits finis des

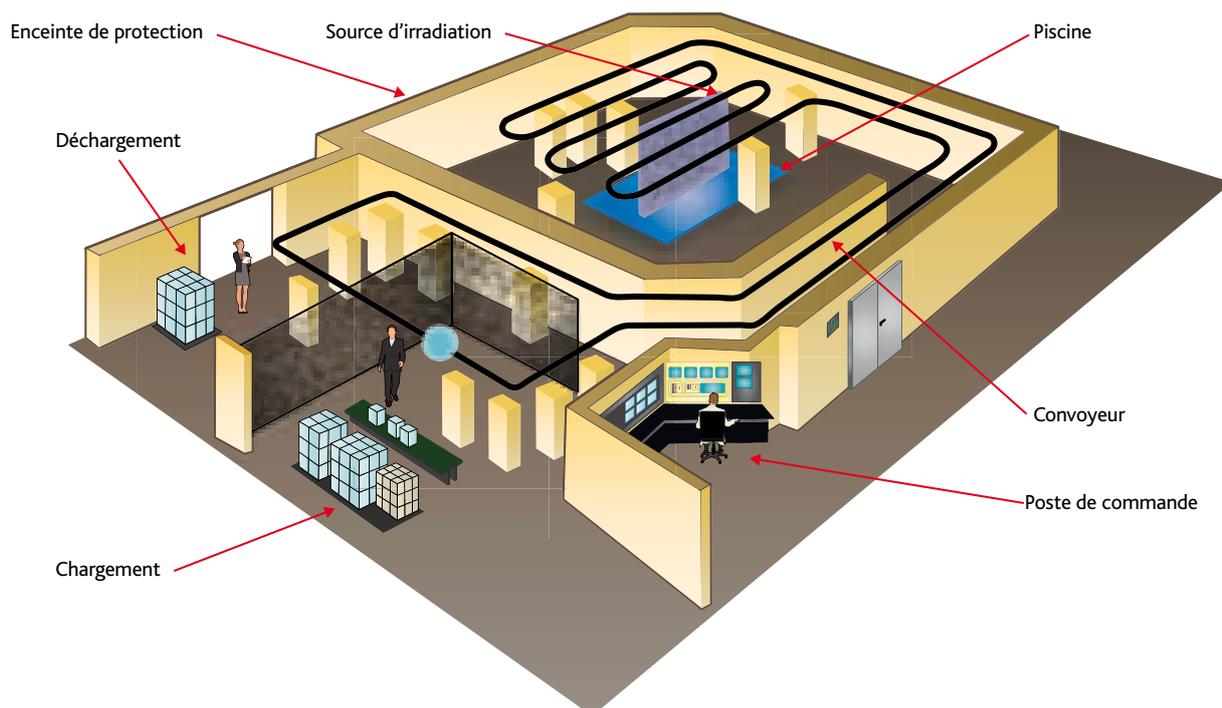
industriels pharmaceutiques et cosmétiques, ainsi que de matériels de laboratoire ;

- **la chimie sous rayonnement** : réticulation de films d'emballage, coloration de verres, modification de pièces plastiques en vue de changer leurs propriétés ;
- **l'ionisation agroalimentaire** : traitement antigerminatif, désinfection, débactérisation de produits secs ou congelés, ou de produits frais.

Ionisos exploite quatre usines en France :

- un accélérateur d'électrons à Chaumesnil (10) ;
- trois irradiateurs gamma à Dagneux (01), Pouzauges (85) et à Sablé-sur-Sarthe (72), classés INB et faisant l'objet d'une surveillance de l'environnement.

Les seuls déchets radioactifs produits sur l'installation sont des déchets TFA (très faible activité) issus des différentes opérations conduites sur l'eau de la piscine de stockage de la source de cobalt 60. Après conditionnement en récipients hermétiquement fermés et entreposage dans des locaux fermés réservés à cet usage, ces déchets sont orientés vers le centre de stockage des déchets de très faible activité (CSTFA) de l'Andra à Morvilliers (Aube). La quantité de déchets TFA produite annuellement est faible ($< 1 \text{ m}^3$). Ces déchets n'ont aucune interaction avec les eaux (nappes et cours d'eau). Les eaux souterraines font cependant l'objet de contrôles mensuels de radioactivité afin de vérifier l'absence de contamination.



© Chromatiques/IRSN - Source : IRSN

Figure VII.5 - Schéma général de principe d'un ionisateur industriel.

L'irradiateur Ionisos de Dagneux

L'Installation nucléaire de base n° 68 (figure VII.6) est située sur la commune de Dagneux (Ain) à 25 km à l'est de Lyon. Cette INB regroupe trois installations d'irradiation :

- les irradiateurs D1 et D2 qui ne sont plus exploités aujourd'hui ;
- l'irradiateur D3, construit en 1972 et toujours en exploitation.

Des mesures de l'indice d'activité bêta globale sont effectuées sur les eaux souterraines. En complément de ce suivi, des spectrométries gamma réalisées sur ces prélèvements mensuels permettent de quantifier les radionucléides émetteurs gamma potentiellement rejetés par le site (seuls le césium 137 et le cobalt 60 sont transmis au RNM).

L'activité bêta globale est comprise entre le seuil de décision ($< 0,03$ Bq/L) et $0,074 \pm 0,041$ Bq/L (valeur maximale mesurée en décembre 2010). L'activité bêta globale ne témoigne donc pas d'un marquage particulier du site sur l'eau souterraine, et reste très inférieure à la valeur de référence de 1 Bq/L fixée en application du code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine. De même, les résultats de mesures par spectrométrie gamma n'ont mis en évidence aucune activité décelable en césium 137 et cobalt 60 (valeurs inférieures au seuil de décision des appareils utilisés, en moyenne $< 0,09$ Bq/L).



Figure VII.6 - Irradiateur Ionisos de Dagneux.

© Ionisos

L'irradiateur Ionisos de Sablé-sur-Sarthe

L'Installation nucléaire de base n° 154 (figure VII.7) est située sur la commune de Sablé-sur-Sarthe (Sarthe), près des villes de Laval, Angers et Le Mans. Cette INB a démarré ses activités en 1992 et comprend un irradiateur à palettes.

Les traitements par rayonnement gamma (source de cobalt 60) se font par palettes sur deux files indépendantes autour d'une source plane. La capacité de traitement est de 50 000 palettes par an. L'usine met en

œuvre un système totalement automatisé. Les traitements se font directement par palettes entières ou en big-bag, sans intervention humaine, grâce à un convoyeur aérien automatisé.

Des mesures de l'indice d'activité alpha et bêta global sont effectuées sur les eaux souterraines. En complément de ce suivi, des mesures de radium 226 et des spectrométries gamma réalisées sur ces prélèvements semestriels permettent de quantifier les radionucléides émetteurs gamma potentiellement rejetés par le site.

L'activité bêta globale moyenne est de $0,36$ Bq/L et ne témoigne donc pas d'un marquage particulier du site sur les eaux souterraines. De même l'activité alpha globale, comprise entre $0,061$ et $0,070$ Bq/L reste inférieure à la valeur de référence de $0,1$ Bq/L fixée en application du code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine. Les résultats des mesures en radium 226 sur le point de surveillance d'eau souterraine de ce site oscillent entre le seuil de décision ($< 0,016$ Bq/L) et la valeur maximale de $0,026$ Bq/L. Ces activités sont représentatives du bruit de fond naturel. Enfin, les résultats de mesures par spectrométrie gamma n'ont mis en évidence aucune activité décelable en césium 137 et cobalt 60 (valeurs inférieures aux seuils de décision de l'ordre de $0,06$ Bq/L).



© Ionisos

Figure VII.7 - Irradiateur Ionisos de Sablé-sur-Sarthe.

L'irradiateur Ionisos de Pouzauges

L'Installation nucléaire de base n° 146 (figure VII.8) est située sur la commune de Pouzauges (Vendée), à 38 km au sud de Cholet. Cette INB comprend un irradiateur à palettes. Les produits sont chargés dans des nacelles suspendues à un convoyeur aérien automatisé.

Des prélèvements semestriels d'eau souterraine sont réalisés à partir d'un piézomètre. Les résultats de mesures par spectrométrie gamma n'ont mis en évidence aucune activité décelable en cobalt 60 en 2010 et 2011 (valeurs inférieures aux seuils de décision de l'ordre de 0,2 Bq/L).

L'installation du groupe Isotron à Marseille

Isotron France SAS est un prestataire de stérilisation à Marseille qui propose différentes prestations de services à destination des industriels : stérilisation de matériel médical et d'emballages, débactérisation de produits, désinsectisation, décontamination microbienne.

Isotron est inscrit en tant que producteur de données du RNM pour son INB n° 147 de Marseille et a commencé à transmettre les informations concernant les prélèvements semestriels réalisés en janvier et juin 2011 sur deux prélèvements d'eau souterraine (P1 et P2). Les résultats de ces mesures n'ont pas encore été transmis au RNM à la date d'exploitation des données pour la période de référence de ce bilan.



Figure VII.8 - Irradiateur Ionisos de Pouzauges.

© Ionisos





VIII

EXPOSITION DE LA POPULATION EN FRANCE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

VIII.1 Exposition moyenne de la population en France

VIII.2 Comment évaluer les effets biologiques de la radioactivité sur les organismes vivants ?

VIII.3 Les doses reçues par la population du fait des activités nucléaires

VIII.4 Évaluation de la qualité radiologique des eaux potables en France

VIII.5 Évaluation dosimétrique pour la Polynésie française

VIII.6 Bilan de l'impact dosimétrique de l'accident de Fukushima sur la population française

VIII.1 EXPOSITION MOYENNE DE LA POPULATION EN FRANCE

L'ensemble des sources de radioactivité d'origine naturelle ou artificielle, contribue à l'exposition des individus. Cette exposition de la population française fait l'objet d'évaluations par l'IRSN (figure VIII.1). Un Français reçoit au total une dose annuelle moyenne de l'ordre de 3,7 mSv. Cette valeur, qui dépend de l'emplacement géographique et du mode de vie, est à considérer comme un indicateur macroscopique et n'est pas applicable à un groupe de personnes en particulier.

Exposition par la radioactivité d'origine naturelle

L'exposition de la population française par la radioactivité naturelle a plusieurs origines :

- **le radon**, (voir focus IRSN), gaz descendant de l'uranium, peut s'accumuler dans les habitations et représente une contribution importante à la dose moyenne, de l'ordre de 1,4 mSv par an et par personne, avec une variabilité d'un facteur 15 entre les départements les plus exposés et les moins exposés ;
- **les radionucléides naturels présents dans le sol** induisent un rayonnement tellurique responsable d'une exposition externe (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K ...) de l'ordre de 0,5 mSv par an et par personne en moyenne. La variabilité de cette exposition en France est de l'ordre d'un facteur 5 ;
- **le rayonnement cosmique** induit une exposition externe qui varie en fonction de l'altitude. Elle est en moyenne de 0,28 mSv par an et par personne. Au niveau de la mer, elle est de l'ordre de 0,27 mSv par personne et par an et passe à 0,38 mSv pour les départements qui présentent l'altitude moyenne la plus élevée ;
- **l'exposition par ingestion de radionucléides naturels présents dans les aliments et l'eau** compte pour 0,23 mSv par an et par personne, dont 0,18 mSv attribuable au seul potassium 40. Cette exposition dépend des régimes alimentaires et des types de sols.

L'exposition à la radioactivité naturelle représente en moyenne 65 % de l'exposition totale annuelle.

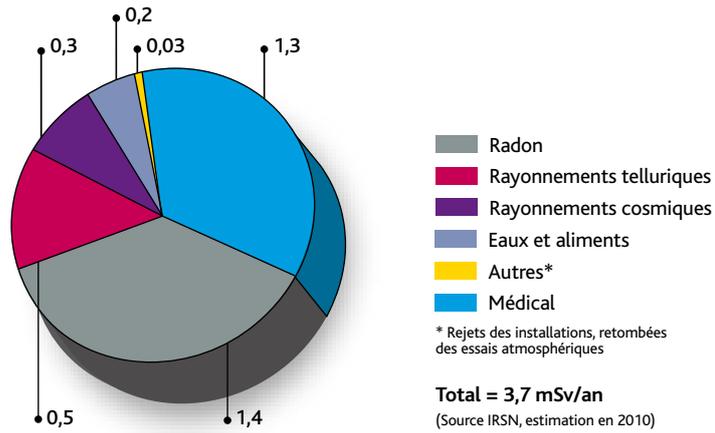


Figure VIII.1 - Exposition moyenne aux rayonnements ionisants de la population en France.

FOCUS • IRSN Le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Il est issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre (figure VIII.2). Il est présent partout à la surface de la planète et provient surtout des sous-sols granitiques et volcaniques ainsi que de certains matériaux de construction.

C'est le risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon qui peut s'accumuler dans les espaces clos tels que les habitations. Le radon et ses descendants solides pénètrent dans les poumons avec l'air respiré. Ces descendants émettent

des rayonnements alpha qui peuvent induire le développement d'un cancer.

L'émission vers l'atmosphère dépend de deux facteurs :

- **Les conditions météorologiques** : elles sont l'une des causes de la variation de la concentration en radon dans le temps en un lieu donné. En effet, suivant la composition du sol, ces conditions (vent, soleil, pluie, froid, etc.) vont modifier l'émission, à partir du sol, du radon dans l'atmosphère.
- **Les propriétés des sols et des roches** : la concentration en radon varie d'un lieu à l'autre dans une région selon la teneur en

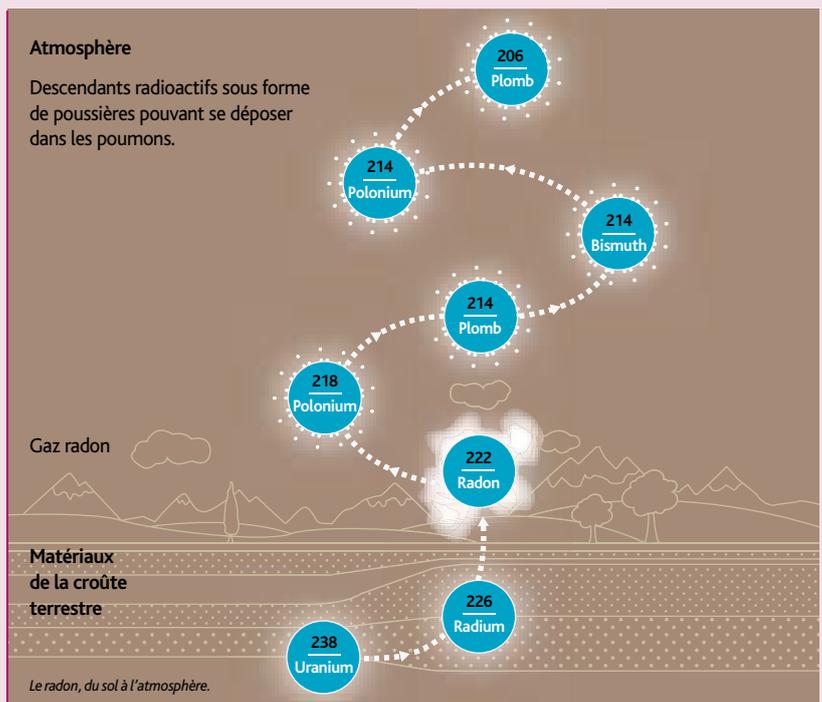


Figure VIII.2 - Le radon, du sol à l'atmosphère.

Exposition par la radioactivité d'origine artificielle

L'exposition d'origine artificielle principale est due aux sources médicales, en particulier les techniques de diagnostic utilisant des rayonnements (radiographie, mammographie, scanographie...), qui représentent une moyenne de 1,3 mSv par an et par personne. Cette dose n'est évidemment pas reçue uniformément par la population et peut varier de moins de 0,1 mSv à beaucoup plus de 1 mSv par an et par personne, en fonction des actes médicaux auxquels est soumis chaque patient.

L'industrie et les installations nucléaires en fonctionnement normal ne représentent qu'une très faible part de l'exposition aux rayonnements de la population française. Les doses calculées pour les populations locales les plus exposées sont au maximum de l'ordre de quelques dizaines de μSv par an et par personne ($1 \mu\text{Sv} = 0,001 \text{ mSv}$), dues principalement à l'ingestion de denrées alimentaires (> 90 %).

À l'échelle du territoire national, la dose efficace moyenne due aux **retombées anciennes de l'accident de Tchernobyl et des tirs atmosphériques** est estimée entre 0,01 mSv et 0,03 mSv par an et par personne (source IRSN). Le bilan de l'impact

dosimétrique des **retombées de l'accident de Fukushima** sur la population française est présenté au paragraphe VIII.6.

uranium naturel du sous-sol. En règle générale, les sous-sols granitiques libèrent plus de radon que les terrains sédimentaires en raison de leurs plus grandes concentrations en uranium naturel.

L'exposition au radon dit « domestique » (radon dans les habitations) a été estimée par des campagnes de mesures qui ont donné lieu ensuite à des interprétations statistiques (voir atlas IRSN). La valeur moyenne des activités mesurées en radon a ainsi été estimée en France à 63 Bq/m^3 , avec environ la moitié des résultats inférieurs à 50 Bq/m^3 , 9 % supérieurs à 200 Bq/m^3 et 2,3 % au-dessus de 400 Bq/m^3 (source IRSN).

Le radon est également présent dans toutes les eaux naturelles de surface et souterraines, mais à des niveaux d'activité volumique variables. Il a deux origines :

- la première, minoritaire, est due à la décroissance radioactive du radium 226 dissous dans l'eau ;
- la seconde résulte de la dissolution du radon présent dans la roche au travers de laquelle stagne ou circule l'eau, jusqu'à l'aquifère ou à l'émergence. La concentration du radon dans l'eau dépend de la teneur plus ou moins forte du radium dans la roche (source du radon), des conditions géochimiques plus ou moins favorables et du temps de séjour de l'eau au sein de cette roche.

À l'air libre, le radon dissous dans l'eau est facilement volatil. Il en résulte un dégazage rapide vers l'atmosphère. Les valeurs

d'activité volumique de radon dans les eaux sont très variables, s'échelonnant de quelques becquerels par litre à plusieurs milliers. Les valeurs d'activité volumique les plus élevées sont généralement associées à de fortes concentrations d'uranium dans les roches constituant le réservoir de l'eau.

La connaissance des caractéristiques des formations géologiques sur le territoire rend ainsi possible l'établissement d'une cartographie des zones sur lesquelles la présence de radon à des concentrations élevées dans les bâtiments est la plus probable. Une telle cartographie constitue une

base technique utile pour guider la mise en œuvre d'une politique de gestion du risque lié au radon, en complément des informations issues des résultats de mesure acquis dans le cadre de campagnes de dépistage dans les bâtiments. C'est dans cet objectif que l'Autorité de sûreté nucléaire a sollicité l'IRSN afin qu'il définisse et mette en œuvre une méthode permettant de cartographier le potentiel radon des terrains à l'échelle du territoire métropolitain. Ces cartes (exemple : figure VIII.3) ne permettent en aucun cas de prédire les concentrations de radon à l'intérieur d'un bâtiment donné et ne peuvent se substituer à la réalisation de mesures.

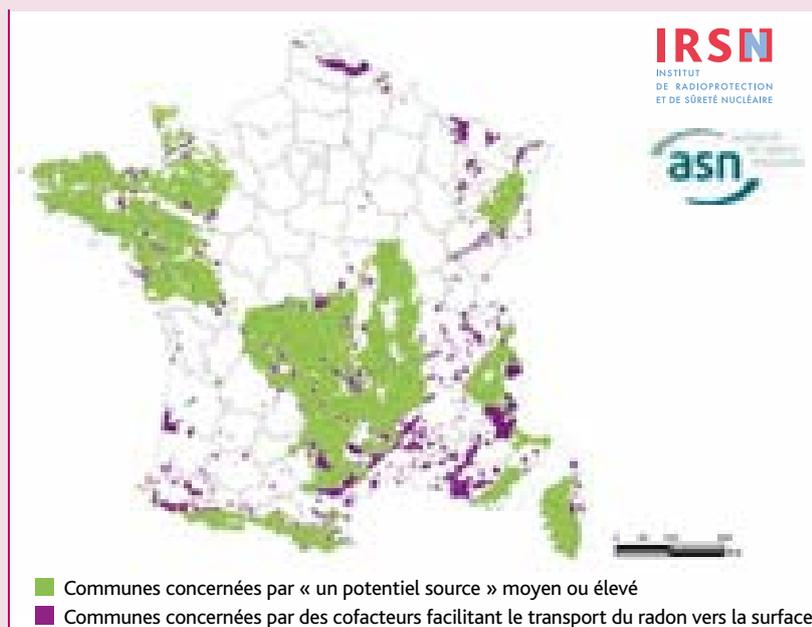


Figure VIII.3 - Carte représentant les communes concernées par un potentiel radon moyen et/ou élevé sur au moins une partie de leur surface du fait du « potentiel source » des formations géologiques (en vert) ou du fait de cofacteurs dits aggravants tels que les failles, les ouvrages miniers souterrains, les sites hydrothermaux (en violet).

VIII.2 COMMENT ÉVALUER LES EFFETS BIOLOGIQUES DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LES ORGANISMES VIVANTS ?

Les effets sur les individus dus à l'exposition aux radionucléides ne se mesurent pas directement. Ils sont quantifiés par la dose efficace à l'organisme entier dont l'unité conventionnelle est le sievert (Sv) ou plus habituellement ses sous-multiples : le millisievert (1mSv = 0,001 Sv), le microsievert (1µSv = 0,000001 Sv). On peut, en outre, calculer pour certains radionucléides la dose à un organe lorsque cet organe est plus sensible aux effets des rayonnements que l'organisme entier (c'est par exemple le cas pour l'iode dont l'organe cible est la glande thyroïde).

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue l'exposition externe ou interne. L'exposition externe a lieu lorsque l'individu se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (par exemple, radionucléides présents dans l'air ou déposés sur le sol) ; la dose reçue dépend du temps pendant lequel se produit l'exposition. Dans le cas d'exposition interne, le radionucléide pénètre à l'intérieur de l'organisme le plus souvent par ingestion ou par inhalation. L'irradiation interne qui en résulte perdure donc au-delà du moment où a eu lieu l'incorporation ; elle décroît en fonction de la période radioactive du radionucléide incorporé et de sa vitesse d'élimination.

Dans le cas d'une exposition interne due à un radionucléide de longue période, on évalue la dose engagée qui exprime, au moment de l'exposition, l'intégration de l'ensemble des doses « à venir », pour une durée égale à celle nécessaire à l'élimination complète du radionucléide ou, s'il persiste dans l'organisme, pendant une durée de vie allant de 50 ans (adulte) jusqu'à 70 ans (enfant de 0-1 an).

VIII.3 LES DOSES REÇUES PAR LA POPULATION DU FAIT DES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

Il n'existe pas de méthode globale de surveillance permettant de reconstituer de façon exhaustive les doses reçues par la population du fait des activités nucléaires (ASN, 2011). Cependant, pour les installations nucléaires de base, les rejets d'effluents radioactifs font l'objet d'une comptabilité précise. Par ailleurs, une surveillance radiologique de l'environnement est mise en place autour de ces INB. À partir des données recueillies, l'impact dosimétrique de ces rejets sur les populations vivant au voisinage immédiat des installations est ensuite calculé en utilisant des modèles permettant de simuler les transferts vers l'environnement. Les impacts dosimétriques varient, selon le type d'installation et les habitudes de vie des groupes de référence retenus, de quelques microsieverts à quelques dizaines de microsieverts par an.

Estimations dosimétriques par les modèles de transfert

La dose efficace totale imputable aux rejets liquides et atmosphériques prévisionnels d'une installation est évaluée en tenant compte des voies d'exposition et des coefficients de dose pour chaque radionucléide et chaque voie d'exposition.

Ce calcul nécessite de faire des simulations des transferts jusqu'à l'homme des activités présentes dans les effluents liquides et gazeux et prend en compte des hypothèses de mode de vie des populations (habitudes alimentaires par exemple). La figure VIII.4 schématise les voies potentielles de transfert vers l'homme de la radioactivité rejetée par une installation nucléaire.

Concrètement, pour évaluer l'impact des rejets d'une installation sur l'homme, la dose est calculée en sommant d'une part l'exposition externe provenant de la radioactivité artificielle dans l'air (panache), dans les dépôts dans l'environnement (au sol), ou même dans l'eau de baignade, et d'autre part l'exposition interne par l'inhalation d'air contaminé et par l'ingestion de denrées alimentaires.

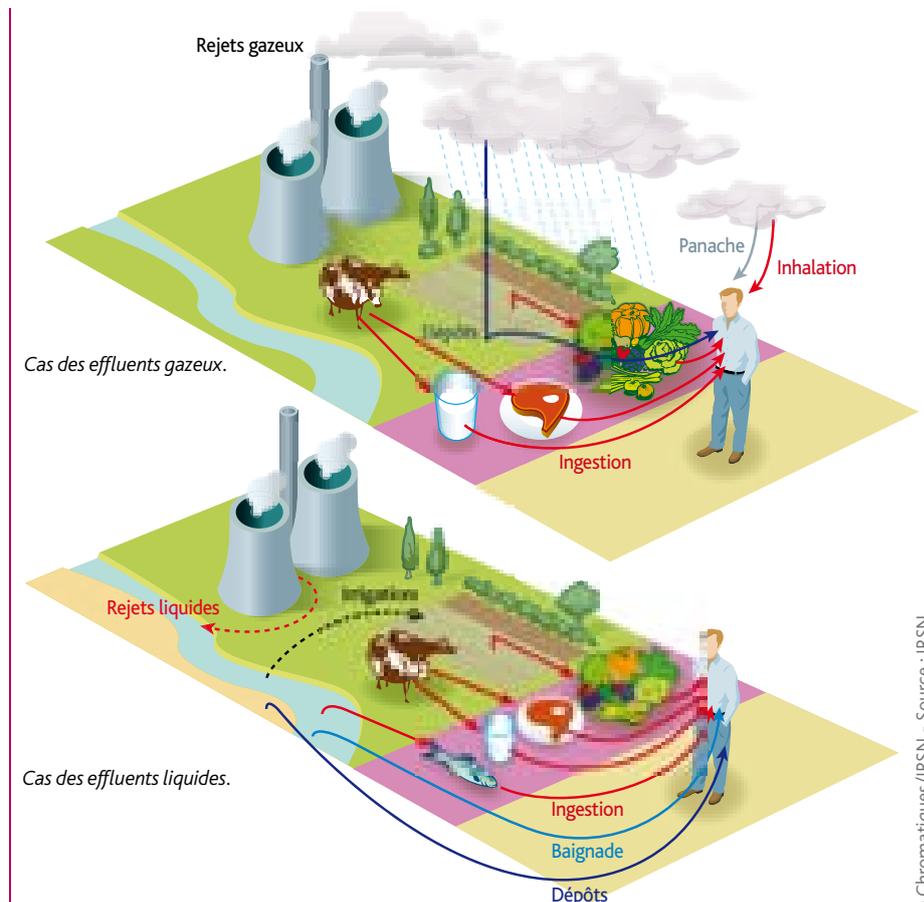


Figure VIII.4 - Voies de transfert à l'homme des radionucléides rejetés dans les effluents gazeux et liquides d'une installation nucléaire.

Évaluation de l'impact radiologique des activités nucléaires par modélisation

L'exploitant est tenu d'évaluer l'impact dosimétrique induit par son activité. Cette obligation découle, selon les cas, de l'article L. 1333-8 du code de la santé publique ou de la réglementation relative aux rejets des INB. Le résultat est à apprécier en considérant la limite annuelle de dose admissible pour le public (1 mSv/an) définie à l'article R.1333-8 du code de la santé publique. Cette limite réglementaire correspond à la somme des doses efficaces reçues par le public du fait des activités nucléaires.

En pratique, il faut noter que seules des traces de radioactivité artificielle sont détectables au voisinage des installations nucléaires et qu'en surveillance de routine, les mesures effectuées sont dans la plupart des cas inférieures aux seuils de décision ou reflètent la radioactivité naturelle. Aussi, ces mesures ne peuvent servir à l'estimation des doses. Il est donc nécessaire de recourir à des modèles de transfert de la radioactivité à l'homme, alimentés par les mesures des rejets de l'installation. Ces modèles sont propres à chaque exploitant.

L'ASN, qui souhaite que les méthodes utilisées soient les plus harmonisées possibles, a engagé en 2009 une réflexion en ce sens avec l'IRSN.

L'évaluation des doses dues aux INB est présentée dans le tableau VIII.1. Dans ce tableau figurent quelques exemples de doses efficaces reçues par les groupes de population de référence les plus exposés.

Tableau VIII.1 - Quelques exemples d'impacts radiologiques de sites nucléaires depuis 2005, extraits des calculs réalisés par les exploitants à partir des données de rejets et pour les groupes de référence les plus exposés (données exploitants, en mSv).

Exploitant/Site	Groupe de référence le plus exposé (population/distance au site en km) ^a	Estimation des doses reçues, en mSv					
		2005	2006	2007	2008	2009	2010
Areva/La Hague	Digulleville (enfant/2,6)	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	8.10 ⁻³	8.10 ⁻³	1.10 ⁻²
GANIL/Caen	IUT (adulte/0,6)	2.10 ⁻³	3.10 ⁻³	< 6.10 ⁻³	< 9.10 ^{-3b}	3.10 ⁻³	< 3.10 ⁻³
EDF/Cattenom	Garche nord, Warpich (2009,2010) (adulte/2,15) (2009, 2010 : nourrisson/1,5)	1,6.10 ⁻³	2,1.10 ⁻³	2.10 ⁻³	2,4.10 ⁻³	2,5.10 ⁻³	3,3.10 ⁻³
Areva/FBFC	Ferme Riffard [adulte/0,2]	*	*	*	6.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³
EDF/Civaux	Ervaux sud [adulte/0,7]	*	*	*	8.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	9,7.10 ⁻⁴
EDF/Penly	Saint-Martin Plage, Vassonville (2009,2010) [adulte/1,05] [2009,2010 : pêcheur/0,7]	9.10 ⁻⁴	4,5.10 ⁻⁴	5,4.10 ⁻⁴	3.10 ⁻³	9.10 ⁻⁴	9,7.10 ⁻⁴
EDF/Tricastin	Clos du Bonneau, Le Trop Long (2009, 2010) [adulte/1,25] [2009, 2010 : nourrisson/1,25]	7.10 ⁻⁵	6.10 ⁻⁵	6,1.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	9,4.10 ⁻⁴
Areva/Tricastin (Areva NC, Comurhex, Eurodif, Socrat, Set)	Les Prés Guérinés [adulte (2005 : enfant)/3 ; 3,1 ; 2,16 ; 1,3 ; 1,5]	2.10 ⁻³	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	*

a : pour les installations exploitées par EDF, jusqu'en 2008, seules les valeurs « adultes » étaient calculées. Depuis 2009, la dose du groupe de référence le plus exposé de chaque site parmi deux classes d'âges (adulte ou nourrisson) est mentionnée.

b : valeur mesurée en limite de site à partir de dosimètres passifs. Un marquage de plusieurs dosimètres a été constaté alors même que l'installation était à l'arrêt. La valeur est donc très surestimée selon l'exploitant.

Tableau VIII.1 (suite) - Quelques exemples d'impacts radiologiques de sites nucléaires depuis 2005, extraits des calculs réalisés par les exploitants à partir des données de rejets et pour les groupes de référence les plus exposés (données exploitants, en mSv).

CEA/Saclay	Christ de Saclay [adulte/1]	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³	8.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴
EDF/Belleme-sur-Loire	Neuville-sur-Loire [adulte/1,3]	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴
Andra/Manche	Hameau de La Fosse [adulte/2,5]	8.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴
EDF/Bugey	St-Étienne d'Hières sud [adulte/0,45]	*	*	*	5.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	3,6.10 ⁻⁴
EDF/Chinon	Le Neman [adulte/1,25]	2,1.10 ⁻⁴	2,5.10 ⁻⁴	1,3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴
EDF/Fessenheim	Cité EDF (Koechlin) [adulte, 2010 : nourrisson]/1,2]	*	*	*	7,5.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴
ILL/Grenoble	Fontaine (rejets gazeux) et Saint-Egrève (rejets liquides) [nourrisson/1 (Fontaine) ; 1,4 (Saint-Egrève)]	*	*	*	*	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
EDF/Creys-Malville	Ferme de Chancillon [adulte, 2010 : nourrisson]/ 0,85]	*	*	1.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁵	8.10 ⁻⁶	6.10 ⁻⁵
CEA/Fontenay-aux-Roses	Fontenay-aux-Roses [enfant/1,5]	2.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵	9.10 ⁻⁶	9.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁶	4.10 ⁻⁶
Andra/CSA	Pont du CD24 [enfant/2,1]	6.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁶	3.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁶	2.10 ⁻⁶

* Informations non fournies par l'exploitant

L'estimation des doses dues aux INB pour une année donnée est effectuée à partir des rejets réels de chaque installation pour l'année considérée. Cette évaluation prend en compte les rejets par les émissaires identifiés (cheminée, conduite de rejet vers le milieu fluvial ou marin). Elle intègre également les émissions diffuses et les sources d'exposition radiologique aux rayonnements ionisants présentes dans l'installation. Ces éléments constituent le « terme source ».

L'estimation est effectuée par rapport à un ou plusieurs groupes de référence identifiés. Il s'agit de groupes homogènes d'individus dont l'exposition est assez uniforme et représentative de celles des

individus qui, parmi la population, sont plus particulièrement exposés au terme source d'une installation donnée, selon des scénarios réalistes.

Cette catégorie de population (adulte, nourrisson, enfant) n'est pas la même d'un site à l'autre et d'une année à l'autre, de même que la distance du groupe au site.

Enfin, l'estimation est réalisée selon des paramètres de modélisation comme par exemple les données météorologiques (rose des vents observée localement). L'ensemble de ces paramètres, qui sont spécifiques à chaque site, explique la plus grande partie des différences observées d'un site à l'autre et d'une année sur l'autre.

Pour chacun des sites nucléaires présentés, l'impact radiologique reste très inférieur à 1 % de la limite pour le public de 1 mSv par an. L'ASN considère en conséquence qu'en France, les rejets produits par l'industrie nucléaire ont un impact radiologique extrêmement faible.



© Cathy Vérité/IRSN

Figure VIII.5

Évaluations dosimétriques correspondant aux activités environnementales mesurées

Des programmes de surveillance de la radioactivité présente dans l'environnement (eaux, air, terre, lait, herbe, productions agricoles...) sont imposés aux exploitants pour vérifier le respect des hypothèses retenues dans l'étude d'impact. Pour beaucoup de radionucléides d'origine artificielle rejetés par les installations nucléaires, leur activité mesurée dans l'environnement est trop faible pour être mesurée au-dessus des seuils de décision dans les différents compartiments environnementaux.

Lorsqu'il s'agit de radionucléides déjà présents par rémanence de dépôts antérieurs ou du fait de leur origine naturelle, l'augmentation éventuelle de leur activité qui serait imputable aux installations actuelles n'est que rarement perceptible ; c'est par exemple le cas du ^{90}Sr , du ^{137}Cs , en grande partie du ^{14}C , ainsi que des isotopes du plutonium ou de l'américium.

Exemple d'évaluation simplifiée à partir des résultats obtenus dans les denrées alimentaires

Lorsque des radionucléides sont mesurés dans des denrées alimentaires, les doses qui découlent de l'ingestion de ces aliments ne sont en général pas imputables (totalement ou en grande partie) aux rejets actuels des installations. L'évaluation qui peut être réalisée à partir des mesures ne constitue pas un calcul d'impact du fait de l'incomplétude des mesures significatives (= supérieures aux seuils de décision).

À titre d'illustration, parmi les 18 600 mesures relatives aux compartiment biologique prises en compte pour ces calculs, 70 % sont inférieures aux seuils de décision. Parmi les 30 % de valeurs significatives, seuls 10 % concernent des produits comestibles et la moitié de ces résultats concerne le ^{40}K , radionucléide d'origine naturelle toujours présent et mesuré dans ces échantillons.

Le tableau VIII.2 présente quelques calculs partiels, à titre d'exemple, en prenant en compte pour divers types d'installations les denrées locales et les radionucléides mesurés les plus spécifiques des rejets susceptibles d'être mesurés dans l'environnement.

Les activités prises en compte sont les valeurs moyennes mesurées. Pour ces valeurs, un calcul de la dose imputable à une consommation de 1 kg de chacune des denrées considérées est réalisé. Une évaluation complète devrait inclure l'ensemble des aliments

de la ration et tous les radionucléides, ce qui n'est actuellement pas réalisable avec les données disponibles dans le RNM.

Les coefficients de dose sont relatifs à l'équivalent de dose efficace à l'organisme entier pour l'adulte. Ils sont issus de la directive Euratom de 1996. Les valeurs des doses ainsi évaluées sont reportées au tableau VIII.2. Ce tableau rappelle, en fonction des radionucléides et de leurs activités moyennes (ou des rapports isotopiques), quelles sont les origines des activités mesurées (naturelle, rémanence ou, plus ponctuellement, marquage anthropique).

Tableau VIII.2 - Concentrations des radionucléides mesurés dans les denrées et doses efficaces à l'adulte pour l'ingestion de 1 kg (ou 1 L) de chacun des aliments.

Denrée	Localisation	Radionucléide	Moyenne (Bq/kg frais ou Bq/L)	Écart-type (Bq/kg frais ou Bq/L)	Nombre de mesures
Fruits de mer	La Hague	¹⁴ C	50	13	14
Lait de vache	La Hague		22	6	85
Poisson	La Hague		36	15	30
Viande	La Hague		39	16	4
Fruits	Marcoule		9	5	13
Fruits de mer	La Hague	⁶⁰ Co	0,18	0,16	18
Thym	Cadarache	¹³⁷ Cs	0,62	0,28	20
Poisson	FBFC Romans		0,16	0,05	3
Poisson	La Hague		0,14	0,05	18
Poisson	Marcoule		0,45	0,18	11
Poisson	Tous CNPE		0,16	0,14	15
Salade	Tous CNPE		0,29	0,51	8
Fruits	Marcoule	³ H libre	26	21	13
Lait de vache	Marcoule		6	3	9
Lait de vache	Valduc		28	3	17
Fruits de mer	La Hague	¹²⁹ I	0,37	0,32	59
Lait de vache	La Hague		0,03	0,02	14
Poisson	La Hague		0,30	0,29	4
Fruits de mer	La Hague	²³⁸ Pu	0,009	0,005	28
Fruits de mer	La Hague	²³⁹ Pu	0,016	0,008	48
Fruits de mer	La Hague	²⁴¹ Am	0,1	-	1
Lait de vache	France entière	⁹⁰ Sr	0,051	0,025	17
Lait de vache	La Hague		0,059	0,022	85
Salade	Malvésí	²³⁴ U	0,04		1
Salade	Malvésí	²³⁸ U	0,06		1
Poisson	Pierrelatte	²³⁴ U	0,01		1
Poisson	Pierrelatte	²³⁸ U	0,02		1
Salade	Pierrelatte	²³⁴ U	0,06		1
Salade	Pierrelatte	²³⁵ U	0,003		1
Salade	Pierrelatte	²³⁸ U	0,06		1
Poisson	FBFC Romans	²³⁵ U	1,7E-4	9,7E-5	3
Poisson	FBFC Romans	²³⁸ U	1,3E-3	1,3E-3	6

Dose efficace unitaire ($\mu\text{Sv}/\text{kg}$ ou $\mu\text{Sv}/\text{L}$ ingéré)	Commentaires sur les mesures
2,9E-2	Les mesures de ^{14}C sont légèrement supérieures au bruit de fond (naturel et rémanence des tirs atmosphériques) pour La Hague, et au niveau du bruit de fond pour le site de Marcoule.
1,3E-2	
2,1E-2	
2,2E-2	
5,5E-3	
6,0E-4	Valeur attribuable aux rejets actuels.
8,1E-3	Toutes les mesures de ^{137}Cs sont dans la gamme des valeurs habituelles hors influence d'installation (rémanence des dépôts des tirs atmosphériques et de Tchernobyl).
2,0E-3	
1,8E-3	
5,9E-3	
2,1E-3	
3,8E-3	Ces mesures témoignent d'un léger renforcement du bruit de fond en tritium, par rapport à une valeur attendue d'environ 1 à 3 Bq/kg frais hors influence d'installation.
4,7E-4	
1,1E-4	
5,0E-4	Valeurs attribuables aux rejets passés et actuels du site.
4,0E-2	
3,4E-3	
3,3E-2	Valeurs faibles mais témoins d'un marquage anthropique, car le rapport isotopique $^{239+240}\text{Pu}/^{238}\text{Pu}$ de 0,6 est très supérieur à celui des retombées des tirs (en théorie 0,03).
2,1E-3	
4,0E-3	Valeur attribuable aux rejets passés et actuels du site.
2,0E-2	Toutes les mesures de ^{90}Sr sont dans la gamme des valeurs habituelles, hors influence d'installation (rémanence des dépôts anciens).
1,4E-3	
1,6E-3	Valeurs à l'équilibre et dans la gamme habituellement observée hors influence d'installation.
2,1E-3	
2,5E-3	Valeurs faibles mais témoins d'un marquage anthropique. Les rapports isotopiques $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ sont supérieurs à celui de ces deux isotopes dans l'uranium naturel (0,72 %).
4,9E-4	
9,0E-4	
2,9E-3	
1,6E-4	
2,7E-3	
7,8E-6	
5,9E-5	

Les valeurs des doses sont faibles, de 8×10^{-6} à $6 \times 10^{-2} \mu\text{Sv}$ par kg ou par L d'aliments ingérés, pour chacun des radionucléides mesurés, quelle qu'en soit l'origine. Ces résultats traduisent naturellement la faiblesse des activités massiques ou volumiques ajoutées par les installations dans les différents compartiments biologiques de l'environnement. Par ailleurs, il faudrait consommer des quantités excessivement élevées de denrées pour atteindre la limite de dose pour le public de 1 mSv/an.

En ce qui concerne le voisinage des CNPE, il est établi, autant par les résultats de la surveillance régulière des installations que par les résultats des études complémentaires, qu'on ne peut détecter quasiment aucun marquage environnemental imputable aux rejets. Par exemple, s'il est possible de calculer des concentrations théoriques² en ^{60}Co de l'ordre de 0,000 001 Bq/L de lait, ordre de grandeur attendu près d'un CNPE en fonction des rejets réels, ce niveau d'activité n'est techniquement pas mesurable.

² – Évaluation réalisée par le SECRE/LME, avec la plateforme de modélisation Symbiose, à partir de rejets réels fournis par EDF.

VIII.4 ÉVALUATION DE LA QUALITÉ RADIOLOGIQUE DES EAUX POTABLES EN FRANCE

Depuis le premier janvier 2005, le contrôle sanitaire de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine est obligatoire en France. Le donneur d'ordre de ce contrôle est l'Autorité régionale de santé (ARS). Elle s'appuie sur des laboratoires agréés dont les protocoles d'analyse sont accrédités par le Comité français d'accréditation (Cofrac). L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) constitue l'appui technique de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) pour ce sujet. Il intervient dans le processus d'agrément des laboratoires (étude de dossiers, visites *in situ*...), dans l'évolution des textes réglementaires et réalise également des analyses.

Selon la circulaire n° DGS/EA4/2007/232 du 13 juin 2007, la stratégie de mesure de la radioactivité des eaux potables se décline suivant deux phases :

- Une première phase d'analyses globales dont les résultats sont comparés à des valeurs guides et une référence de qualité. Lorsque ces valeurs sont respectées, la dose totale indicative (DTI) relative à la consommation annuelle de 730 litres d'eau par un adulte est réputée inférieure à la valeur de référence de 0,1 mSv/an.
- Dans le cas contraire, une seconde phase d'analyses est enclenchée pour rechercher spécifiquement des radionucléides naturels, et éventuellement artificiels potentiellement présents. Sur la base des activités mesurées, la DTI est calculée et comparée à la valeur de référence.

Principaux résultats obtenus par l'IRSN en 2010

Entre 10 et 20 % des eaux analysées nécessitent des recherches spécifiques des radionucléides. Les radionucléides couramment présents dans les échantillons sont le radium 226 et les isotopes 234 et 238 de l'uranium. Plus rarement, il arrive de mesurer du polonium 210, du plomb 210 et exceptionnellement du radium 228.

Au final, moins de 5 % des prélèvements analysés présentent une dose totale indicative supérieure à 0,1 mSv/an. La valeur de DTI la plus élevée calculée en 2010 est égale à 0,91 mSv par an. Elle est due majoritairement à la présence de plomb 210 et de polonium 210.

Lorsque le dépassement de la DTI (valeur > 0,1 mSv/an) est dû à des radionucléides naturels présents du fait des caractéristiques géologiques du sous-sol, l'ARS met en place, en concertation avec l'ASN, une démarche prudente et pragmatique (en premier lieu, éventuellement restriction d'utilisation) en prenant en compte le nombre de personnes concernées, les moyens disponibles pour réduire l'activité radiologique (par exemple dilution de la ressource, mise en place de traitement) et les difficultés et éventuels inconvénients liés à leur mise en œuvre.

Pour l'uranium, les activités obtenues pour les isotopes 234 et 238 peuvent servir de base à un calcul de la concentration massique en uranium qui sera utilisé pour évaluer le risque chimique associé. La valeur obtenue sera mise en regard de la valeur guide de 30 µg/L de l'OMS.

Enfin, le radon 222, radionucléide naturel gazeux, peut faire l'objet d'analyses mais n'est pour l'instant pas pris en compte dans la réglementation en vigueur au niveau national. Celle-ci pourrait évoluer prochainement, conformément à la recommandation européenne de 2001 et en accord avec celle de l'OMS relative à l'eau potable. Cependant, il est établi que le risque majeur relatif à ce radionucléide réside dans son éventuelle inhalation.

Pour rappel, les résultats de la surveillance de la qualité radiologique des eaux distribuées au robinet exercée par les ARS entre 2008 et 2009 (rapport DGS/ASN/IRSN publié en 2011) ont montré que 99,83 % de la population bénéficie d'une eau dont la qualité respecte en permanence la dose totale indicative de 0,1 mSv/an fixée par la réglementation. Par ailleurs, un bilan historique (1977-2003) réalisé par l'IRSN en 2010 a permis de mettre en évidence que 4 % des mesures significatives de radon dans l'eau des ressources dépassait la valeur de 1 000 Bq/L. Ces résultats se situent majoritairement dans des départements déjà concernés par la présence de radon d'origine géologique dans l'air des bâtiments.

Si la présence de radon dans l'eau ne présente pas d'enjeu sanitaire à court terme, la DGS et l'ASN, avec l'appui de l'IRSN, réfléchissent à préciser la réglementation relative à la qualité des eaux de consommation sur ce thème et ses modalités d'application.



Figure VIII.6

En savoir plus

www.sante.gouv.fr/eau-et-radioactivite.html

VIII.5 ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE POUR LA POLYNÉSIE FRANÇAISE

L'exposition des populations à cette radioactivité artificielle résiduelle est essentiellement due à l'ingestion et à l'exposition externe, la composante inhalation étant négligeable (les retombées directes et la remise en suspension de poussières radioactives sont désormais extrêmement faibles, pratiquement indécélabes).

En 2010, aucun aliment ne contribue à la dose par ingestion pour plus de 1 mSv/an. Quelques aliments, fortement consommés, peuvent contribuer à la dose pour plus de 0,1 mSv/an. C'est le cas de la viande de bœuf de Tahiti consommée aussi à Tubuai, à Mangareva et à Maupiti, de la viande de porc à Tahiti, du coprah à Rangiroa, des poissons de lagon à Rangiroa et à Hao, et du chou à Hiva Oa.

Les doses totales annuelles, somme des doses d'exposition externe, d'inhalation et d'ingestion, pour les adultes et les enfants, sont représentées sur les figures VIII.7 et VIII.8.

Les résultats montrent que les fourchettes annuelles des valeurs minimales et maximales pour l'ensemble des cinq archipels sont globalement comparables entre adultes et enfants. On peut retenir une moyenne globale sur les vingt dernières années voisine de 3,5 μ Sv/an pour les enfants et de 4,5 μ Sv/an pour les adultes.

Cet ordre de grandeur, relatif à l'ensemble des trois composantes de la dose « ajoutée », peut être comparé à la valeur de la dose totale (d'origine naturelle et artificielle) de 1 000 μ Sv par an en moyenne dans le Pacifique sud retenue par le *South Pacific Regional Environment Program (SPREP)* en 1983. La dose « ajoutée » associée aux radionucléides d'origine artificielle en Polynésie française représente donc moins de 0,5 % de cette dose moyenne totale régionale.

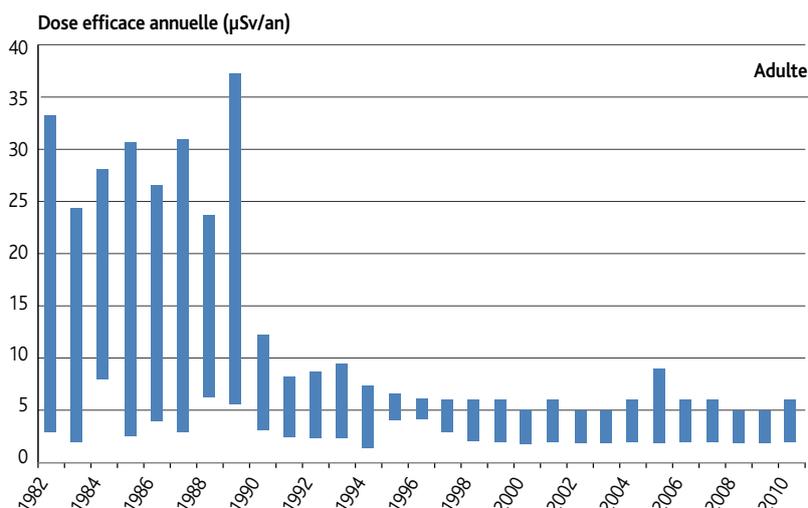


Figure VIII.7 - Doses efficaces annuelles liées à la radioactivité artificielle depuis 1982 en Polynésie française pour les adultes (μ Sv/an).

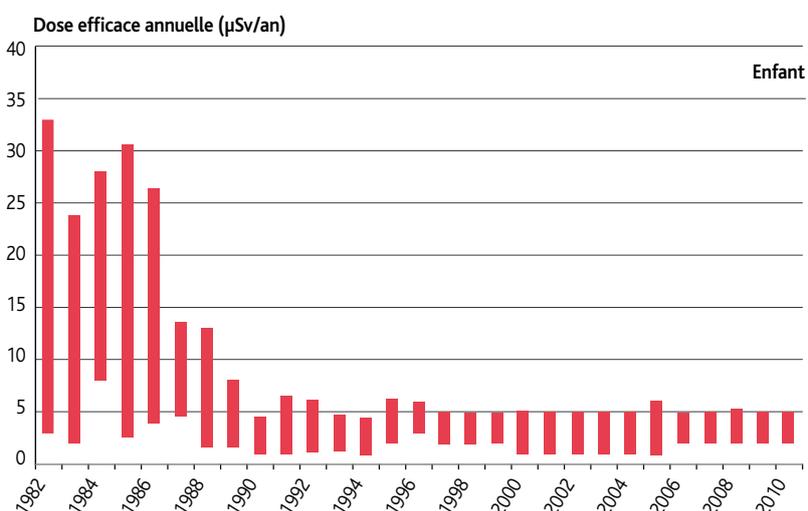


Figure VIII.8 - Doses efficaces annuelles liées à la radioactivité artificielle depuis 1982 en Polynésie française pour les enfants de moins de 5 ans (μ Sv/an).

VIII.6 BILAN DE L'IMPACT DOSIMÉTRIQUE DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA SUR LA POPULATION FRANÇAISE

En ce qui concerne les conséquences en France de l'accident de Fukushima, les radionucléides d'intérêt et les voies d'exposition prépondérantes ont été les suivants :

- **exposition interne par inhalation d'iode 131** présent dans la masse d'air contaminée, durant sa présence sur le territoire (la contribution des autres radionucléides artificiels qui étaient en activité nettement plus faible peut être considérée comme marginale) ;
- **exposition interne par ingestion de denrées** contenant des traces d'iode 131 et de césiums 134 et 137 ;
- **exposition externe liée au dépôt radioactif** formé par les retombées atmosphériques de radionucléides émis par l'accident de Fukushima.

Les activités en radionucléides dans l'air ont été trop faibles pour induire une exposition externe significative due à la masse d'air contaminée.

Compte tenu des très faibles niveaux d'activités en radionucléides qui ont été mesurés dans l'air et de l'absence de différence significative d'exposition entre les différentes parties du territoire, l'évaluation qui a été faite tient compte des valeurs moyennes et maximales acquises de mi-mars à mi-mai 2011 par l'IRSN à l'échelle de la France entière. Ces évaluations ont été faites avec des hypothèses majorantes.

Estimation des doses dues à l'inhalation d'iode 131

Les valeurs moyennes de tous les résultats de mesure supérieurs aux seuils de décision ont respectivement été de 1 mBq/m³ pour l'iode 131 sous forme gazeuse et de 0,2 mBq/m³ pour l'iode 131 sous forme d'aérosols. Comme l'iode sous forme d'aérosols a pu être mesuré au-dessus du seuil de décision durant 60 jours (vs. 30 jours pour la forme gazeuse, dont la mesure est faite avec un seuil de décision plus élevée), la valeur de 60 jours

a été retenue pour les deux formes pour estimer l'activité volumique intégrée sur cette période : respectivement 60 mBq.j/m³ pour la forme gazeuse et 12 mBq.j/m³ pour les aérosols.

Le débit respiratoire, multiplié par l'activité volumique intégrée, permet d'évaluer l'activité incorporée sur la période d'exposition. Enfin, l'activité incorporée multipliée par le facteur de dose, exprimé en Sv/Bq inhalés, donne la dose.

Pour ce calcul, ont été estimées :

- les doses équivalentes à la thyroïde, organe cible pour l'iode 131, pour un enfant de 1 an ;
- la dose efficace, pour un adulte.

Avec ces hypothèses :

- la dose équivalente à la thyroïde due à l'inhalation d'iode 131 a été estimée à 2 µSv pour l'enfant de 1 an ;
- la dose efficace due à l'inhalation d'iode 131 à 0,03 µSv pour l'adulte.

À titre de comparaison, les doses par inhalation imputables aux retombées de l'accident de Tchernobyl en France avaient été estimées entre 40 et 470 µSv en ce qui concerne la dose équivalente à la thyroïde pour l'enfant de 1 an et entre 4 et 46 µSv en ce qui concerne la dose efficace pour l'adulte, en fonction du lieu en France.

Estimation des doses dues à l'ingestion d'aliments contenant des traces de radionucléides artificiels

Le calcul des doses liées à l'ingestion a été réalisé en multipliant l'activité ingérée (Bq) par le facteur de dose par ingestion (Sv/Bq ingérés). L'activité ingérée a été calculée à partir de l'activité massique ou volumique des denrées (Bq/kg ou Bq/L), multipliée par une ration alimentaire (kg/j ou L/j) et par le temps durant lequel des traces de radionucléides artificiels imputables à l'accident de Fukushima ont été décelées dans les denrées (j).

Pour effectuer ce calcul, deux cas de figure ont été considérés :

- **cas « moyen »**, tenant compte des activités moyennes des denrées associées aux durées pendant laquelle les valeurs significatives (supérieures aux seuils de décision) ont été observées ;
- **cas « maximal »**, tenant compte des valeurs de contamination maximales et en considérant une durée de contamination égale à sept jours, ce qui est majorant puisque ces « pics » relatifs de concentrations n'ont en réalité concerné chacun des produits que durant un laps de temps bref, (moins de trois jours et en général un jour). En ce qui concerne l'iode 131 et le césium 134 (radionucléide très rarement mesuré au-dessus des seuils de décision), le bruit de fond antérieur aux retombées de l'accident de

■ **Tableau VIII.3** - Valeurs et durées de contamination des denrées déterminées pour le calcul des doses par ingestion (Bq/kg ou Bq/L).

		¹³¹ I mesuré	¹³⁴ Cs mesuré	¹³⁷ Cs mesuré	¹³⁷ Cs attribuable à Fukushima
Légume-feuilles	Valeurs moyennes Bq/kg (durée : 22 jours)	0,53	-	0,35	0,30
	Valeurs maximales Bq/kg (durée 7 jours)	2,1	-	1,14	1,10
Lait de vache	Valeurs moyennes Bq/L (durée : 24 jours)	0,24	-	0,21	0,11
	Valeurs maximales Bq/L (durée 7 jours)	0,66	0,05	0,58	0,48
Lait de chèvre ou de brebis	Valeurs moyennes Bq/L (durée : 37 jours)	0,8	-	0,12	0,07
	Valeurs maximales Bq/L (durée 7 jours)	3,1	0,1	0,58	0,53
Viande	Valeurs moyennes Bq/kg (durée : 40 jours)	-	-	0,12	-
	Valeurs maximales Bq/kg (durée 7 jours)	-	-	0,28	0,08

Fukushima était nul, ce qui signifie que les valeurs mesurées sont exclusivement attribuables à cet accident. Dans le cas du césium 137, les gammes de valeurs du bruit de fond (rémanence des retombées des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl) sont connues, ce qui permet de le déduire des résultats de mesure utilisés, et donc de ne considérer que l'impact imputable à l'accident de Fukushima.

Le tableau VIII.3 rassemble les données ainsi déterminées pour le calcul.

En ce qui concerne la ration alimentaire, l'évaluation pour l'adulte a été faite pour une personne de la catégorie socio-économique « agricole », à partir des données « France entière » de l'enquête Insee la plus complète. Il a été fait l'hypothèse d'une consommation immédiate des denrées produites (pas de décroissance liée au stockage) et une auto-consommation (c'est-à-dire la consommation de denrées produites localement) de 100 %, ce qui est majorant. Une évaluation complémentaire a été également faite, en prenant en compte une forte consommation de légumes, de viandes ainsi que la consommation de lait de chèvre en substitution au lait de vache, pratique alimentaire plutôt rare mais néanmoins observée chez quelques familles lors de l'enquête alimentaire réalisée en 2004-2005 par l'IRSN, au voisinage du site nucléaire du Tricastin (ce scénario de consommation est ainsi appelé « ration Tricastin »).

Pour l'enfant, la tranche d'âge considérée a été celle des 1-2 ans. La ration alimentaire retenue comporte les consommations

suivantes : 54 g/j pour les légumes-feuilles, 16 g/j pour les viandes (bœuf, veau, cheval, mouton, lapin...) et 320 g/j pour le lait de vache. Dans le cas de l'enfant, seule est considérée la dose équivalente à la thyroïde liée à l'ingestion d'iode 131, qui constitue l'exposition la plus pénalisante.

Les césiums 134 et 137 provenant des retombées atmosphériques de l'accident de Fukushima sont pris en compte pour le calcul de la dose efficace mais, compte tenu des activités très faibles mesurées (tableau VIII.3), leur contribution à la dose est infime.

Les résultats des calculs de doses³ dues à l'ingestion d'aliments présentant des traces de radionucléides imputables à l'accident de Fukushima sont présentés dans le tableau VIII.4.

À titre de comparaison, les doses par ingestion, imputables aux retombées de l'accident de Tchernobyl, pour la période de mai à décembre 1986 étaient évaluées⁴ ainsi : dose efficace reçue par un adulte comprise entre 50 et 300 μSv , selon le lieu en France ; dose équivalente à la thyroïde chez les enfants de 1 an résidant dans l'est de la France, comprise en moyenne entre 6,3 et 12,7 mSv (soit entre 6 300 et 12 700 μSv).

Exposition externe au dépôt radioactif

Le dépôt au sol des radionucléides émetteurs gamma entraîne une exposition externe des personnes qui dépend de multiples

paramètres : temps de présence à l'extérieur, type de surface... ; la dose efficace pour l'adulte qui en découle a été évaluée par l'utilisation du code Astral, en considérant un dépôt maximum estimé⁵ à 600 Bq/m² pour l'iode 131 et dix fois moins, soit 60 Bq/m² pour le césium 134 et le césium 137, et un mode de vie correspondant au milieu rural (10 h/j à l'extérieur), ce qui est conservatif. Cette estimation théorique du dépôt est très majorante, au regard de la valeur déterminée pour l'iode 131 par des mesures effectuées sur le site IRSN du Vésinet (voir rapport IRSN-DEI 2011-01).

Tableau VIII.4 - Résultats de l'estimation des doses liées à l'ingestion alimentaire, pour les deux cas de figure considérés pour les valeurs et durées de contamination des denrées (tableau VIII.3)(μSv).

	Dose efficace (μSv) Adulte		Dose équivalente à la thyroïde (μSv) Enfant 1 an
	Ration Insee	Ration « Tricastin »	
Dose pour le cas « moyen »	0,06	0,14	25,1
Dose pour le cas « maximal »	0,08	0,17	43,1

3 – Base de données Ecrin – les valeurs sont issues de la directive Euratom 96/29 (1996 pour la dose efficace) et de la publication n° 67 de la CIPR (pour les doses à la thyroïde).

4 – Renaud P. et al. Les retombées de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Lavoisier, Tec & Doc, 2007.

5 – Le dépôt total au sol est estimé par la somme des dépôts secs et humides.

Le dépôt d'iode 131 par temps de pluie est évalué, par la hauteur d'eau tombée durant la période de mi-mars à mi-juin (en mm soit en L/m²), multipliée par la concentration de l'eau de pluie, soit 25 L/m² x 0,8 Bq/L = 20 Bq/m².

Le dépôt sec d'iode 131 tient compte d'une concentration

volumique intégrée maximale de l'ordre de 60 mBq x j/m³ pour la forme gazeuse et de 15 mBq x j/m³, valeurs multipliées par les vitesses de dépôt respectives de 0,1 à 0,05 m/s et affectées d'un facteur de conversion de 86400 s/j, soit un dépôt sec de 580 Bq/m². Au total, le dépôt d'iode 131 est estimé à 580 + 20 Bq/m², sans tenir compte de la décroissance.

Les résultats de cette évaluation (*tableau VIII.5*) montrent que la dose due à l'exposition externe par le dépôt serait au maximum de 1,6 μSv pour la première année, puis inférieure à 1 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et en constante diminution chaque année, au cours des années suivantes. L'iode 131 a contribué à cette dose au cours des deux premiers mois, puis s'élimine par décroissance radioactive ; le césium 134 décroît moins vite (période de 2,1 ans) ; après une dizaine d'années, c'est le césium 137 qui contribuera majoritairement à cette dose (*figure VIII.9*).

Ces valeurs représentent moins de 0,4 % des valeurs maximales imputables aux retombées de l'accident de Tchernobyl (400 μSv la première année).

Bilan de l'impact dosimétrique de l'accident de Fukushima sur la population française

Les calculs de doses qui précèdent représentent des estimations majorantes, à la fois pour l'adulte et pour l'enfant, donnant une indication enveloppe de l'impact dosimétrique potentiel de l'accident de Fukushima sur la population française.

Concernant les adultes, la dose efficace potentiellement reçue dans l'année suivant l'accident (ou sur une période plus courte, selon la voie d'exposition considérée) est estimée inférieure à 1,8 μSv . Cette dose

attribuable à l'accident de Fukushima représente moins de 0,1 % de la dose efficace annuelle due aux sources naturelles de radioactivité, qui est estimée en moyenne à 2 400 μSv (cette dose annuelle peut être comprise entre 1 000 μSv et 13 000 μSv , selon le lieu de résidence en France, compte tenu des variations de la radioactivité naturelle en fonction de la géologie et de l'altitude).

Concernant les enfants, c'est la classe d'âge 1-2 ans qui a été globalement la plus sensible à l'exposition à l'iode 131, principalement par ingestion alimentaire et secondairement par inhalation, avec une dose équivalente à la thyroïde estimée inférieure à 45 μSv . À titre de comparaison, la glande thyroïde est en permanence exposée à la radioactivité d'origine naturelle, notamment au potassium 40 qui est naturellement présent dans tout organisme humain et délivre une dose moyenne de 300 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ par an à la thyroïde chez un enfant de 1-2 ans. Par ailleurs, pour rappel, les doses équivalentes à la thyroïde chez les enfants de 1 an qui résidaient dans l'est de la France au moment de l'accident de Tchernobyl en 1986 sont estimées en moyenne entre 6 300 et 12 700 μSv .

En conclusion, les doses potentiellement reçues en France après l'accident de Fukushima sont très faibles. Ces résultats permettent de confirmer qu'à aucun moment, les activités en radionucléides d'origine artificielle (iode 131 et césiums 134 et 137) mesurées dans les différents compartiments de l'environnement en France métropolitaine et dans les Drom-Com, n'ont présenté un risque sanitaire.

En savoir plus

Voir le site Internet IRSN :

http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/impact-monde/Pages/2-impact-fukushima-france.aspx?dId=471c8be3-2e1f-4fe0-85f3-1f8aee7a5e9a&dWId=6c699d88-aa0e-4da8-8523-f24f19ecc83d

Lire le rapport IRSN-DEI 2011-01 :

http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/environnement/IRSN_Analyse-impact-Fukushima-France_012012.pdf

Tableau VIII.5 - Dose efficace maximale cumulée liée à l'exposition externe due aux dépôts radioactifs formés par les retombées de l'accident de Fukushima (μSv).

Au bout de...	Équivalent de dose efficace cumulée (adulte)
2 mois	0,4
1 an	1,6
2 ans	2,5
3 ans	3,3

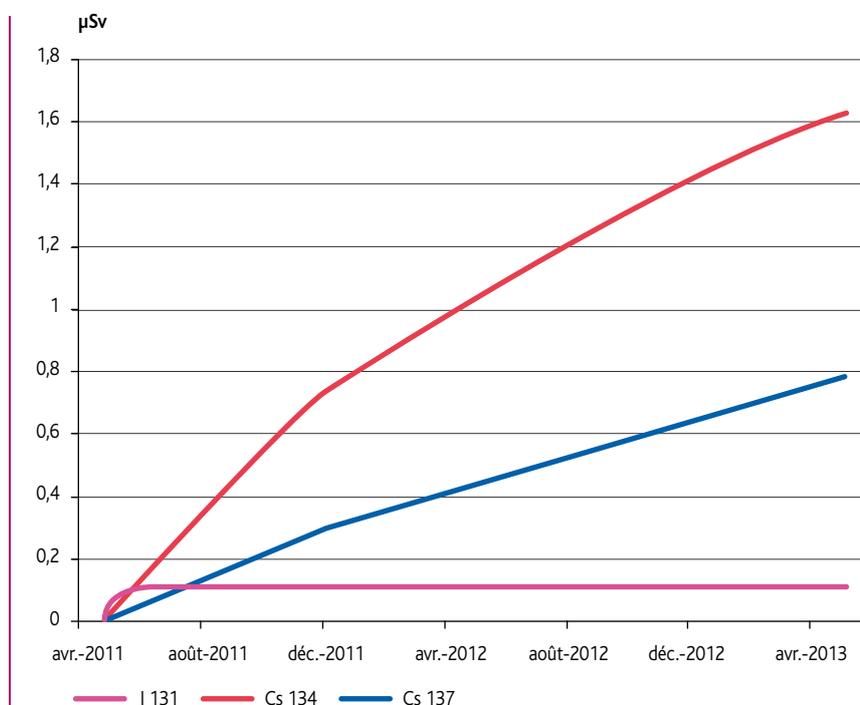


Figure VIII.9 - Contribution des différents radionucléides à la dose efficace cumulée potentiellement reçue par un adulte, due à l'irradiation externe par le dépôt, pour un dépôt maximum théorique de 600 Bq/m^2 d'iode 131, 60 Bq/m^2 de césium 134 et 60 Bq/m^2 de césium 137.



© Noak/Le bar floral/IRSN

Figure VIII.10 - Prélèvement d'eau avec une perche télescopique dans la Gaffière en aval du site nucléaire du Tricastin.





IX

LES SOURCES D'INFORMATIONS SUR LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ ET LA DIFFUSION DE DONNÉES

IX.1 Sites Internet et supports d'information du public

IX.2 Diffusion d'information dans le cadre de traités
ou conventions internationales

L'information du public concernant la radioactivité dans l'environnement est un élément essentiel de la transparence des activités nucléaires. La loi TSN du 13 juin 2006 précise que « la transparence en matière nucléaire est l'ensemble des dispositions prises pour garantir le droit du public à une information fiable et accessible... » (article 1^{er}). L'ASN, l'IRSN et les acteurs du nucléaire en France proposent de nombreux supports d'information pour répondre d'une part à des obligations légales, et d'autre part aux attentes du public.

Le site Internet du Réseau national de mesures (RNM), lancé le 2 février 2010, constitue une avancée majeure dans l'information du public. Principale référence concernant la surveillance de la radioactivité dans l'environnement, il offre notamment un accès centralisé aux résultats de la surveillance environnementale réalisée par l'ensemble des producteurs de données.

L'IRSN a également développé un site Internet dédié à la radioactivité dans l'environnement permettant, par une double approche, de donner accès aux résultats de mesures de la radioactivité dans l'environnement acquis par l'IRSN (plus d'un million de données disponibles avec des chroniques de plus de 45 ans) ainsi qu'à une base documentaire très riche (fiches thématiques, rapports, bilans...) permettant des niveaux de lecture différents en fonction des objectifs propres des internautes.

Le site Internet de l'ASN offre également de nombreuses informations sur la vie des installations nucléaires et, plus généralement, sur l'actualité de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France.

Outre leurs obligations réglementaires en matière de transparence et d'informations (rapport annuel imposé par la loi TSN, relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire), les principaux exploitants nucléaires mettent en œuvre des politiques volontaires d'information via différents modes d'action (sites Internet, plaquettes « grand public » d'information avec les résultats de la surveillance de l'environnement...).

La diffusion des données de la surveillance radiologique de l'environnement dépasse le cadre national. En application du traité Euratom et dans le cadre des travaux de la commission Oskar (commission pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est), l'IRSN transmet chaque année les résultats de la surveillance qu'il effectue au

titre de ses missions. Ces données font ensuite l'objet d'études et de publications disponibles pour le public via différents supports d'information.

IX.1. SITES INTERNET ET SUPPORTS D'INFORMATION DU PUBLIC

Portail Internet du RNM de la radioactivité de l'environnement

La base de données du RNM, qui regroupe l'ensemble des mesures de radioactivité de l'environnement effectuées par les acteurs de la surveillance, est exploitable par un système d'information qui permet de restituer l'ensemble des informations au public et aux experts, notamment grâce à un portail Internet cartographique :



Ce site Internet, dont l'IRSN assure la gestion, permet aux internautes d'accéder à toutes les données par une porte d'entrée unique. En outre, il offre des solutions de navigation adaptées à chacun, selon ses habitudes de recherche et ses besoins (recherche géographique, recherche par thème, recherche avancée). Il est conçu pour permettre un accès facile et rapide à toutes les informations relatives au RNM (réglementation, fonctionnement, agrément des laboratoires) et propose une rubrique pédagogique ayant pour ambition d'expliquer le phénomène de la radioactivité, sa mesure, ses effets biologiques, etc. L'objectif est également de donner à l'internaute les clés pour comprendre les résultats des mesures présentés dans le site. Chaque typologie d'utilisateur (néophyte,

public averti ou spécialiste) dispose d'un accès répondant au mieux à ses attentes. Chacun d'entre eux peut accéder à toutes les informations collectées dans la base de données, dans des conditions appropriées à son besoin, en proposant des chemins d'accès allant de l'information la plus générale à la plus détaillée. Concrètement, les utilisateurs disposent de différents outils de requête intégrés permettant d'accéder aux données par plusieurs cheminements :

- **une recherche cartographique** permettant de combiner l'utilisation des outils de navigation avec la légende dynamique mise à disposition, et d'accéder rapidement aux résultats ;
- **une recherche guidée par centres d'intérêts** à l'aide de requêtes thématiques permettant à un public non spécialiste d'accéder aux résultats avec un accompagnement pédagogique continu et personnalisé ;
- **une recherche par critères**, permettant à un public professionnel d'effectuer des recherches avancées, de visualiser les réponses sur la carte et d'afficher les résultats.

L'outil cartographique permet la sélection d'une région et la mise à disposition d'informations connexes (localisation des principales installations nucléaires, des points de prélèvement). Les résultats issus de ces requêtes sont visualisables soit sous forme de tableau, soit sous forme graphique permettant d'apprécier la fluctuation au cours du temps des niveaux de radioactivité (figure IX.1). Dans le cas avéré où plusieurs producteurs réalisent des mesures au même point de prélèvement, les résultats s'affichent sur le même graphique avec un code couleur différent permettant d'identifier chaque producteur.

Au niveau de la fenêtre de restitution, des onglets complémentaires permettent à l'internaute, d'une part d'accéder à des informations en relation avec les résultats obtenus (éléments d'information sur la

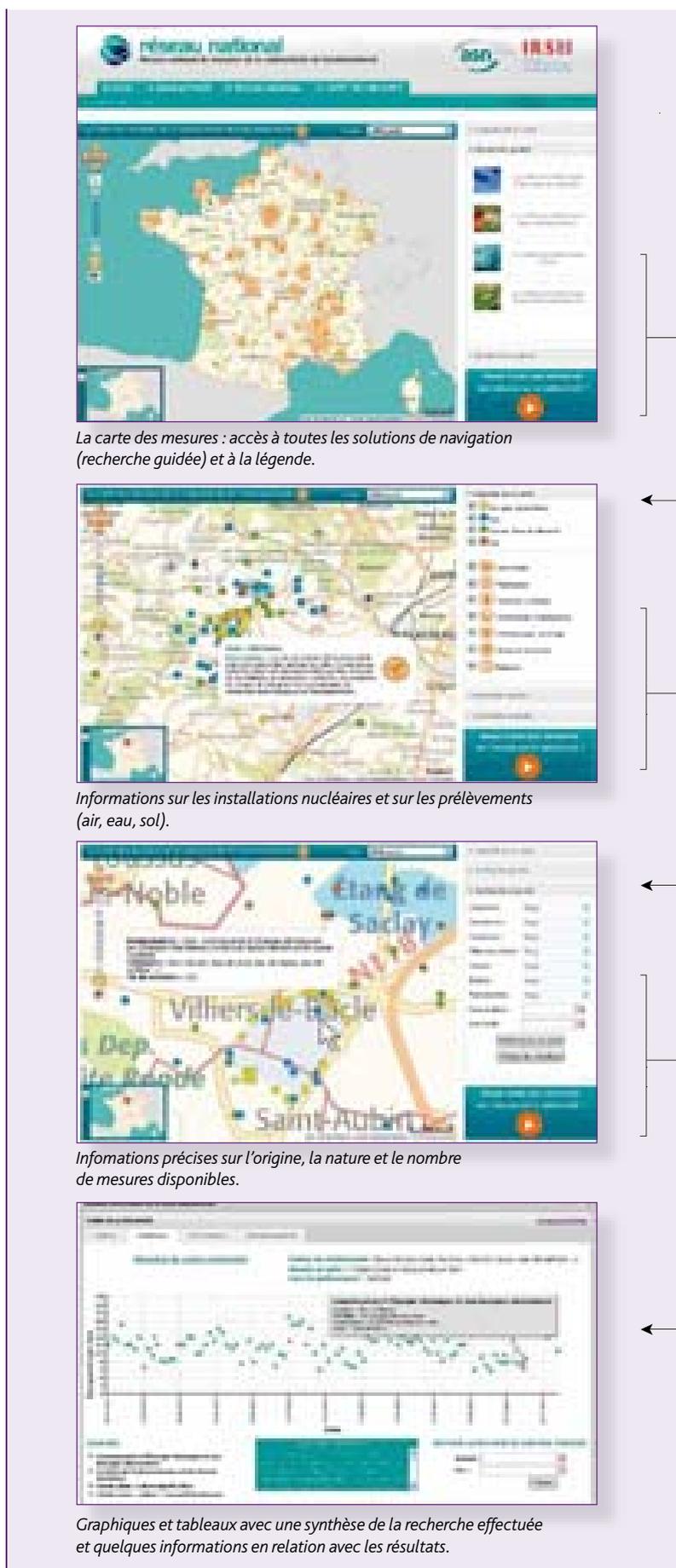


Figure IX.1 - Recherche de résultats de mesures via le module cartographique du site Internet du RNM.

radioactivité dans le compartiment sélectionné, valeurs habituellement mesurées dans l'environnement), et d'autre part de télécharger les données sous un format tableur (csv).

Le site propose par ailleurs d'autres rubriques d'aide à la compréhension de l'expression des résultats de mesures (incertitude, limite de détection et seuil de décision...), des unités de mesure, etc. Enfin, l'internaute peut accéder directement, dès la page d'accueil, aux différents sites Internet des acteurs du réseau national et des principaux producteurs de mesures en France.

En moyenne, plus de 17 500 nouveaux résultats de mesures sont ajoutés chaque mois. Le RNM permet ainsi de disposer d'une vision la plus globale possible sur l'ensemble des mesures de radioactivité réalisées dans l'environnement par les différents acteurs impliqués.

Site Internet thématique « environnement » de l'IRSN

Depuis plusieurs années, l'IRSN poursuit une démarche visant à mieux faire connaître les résultats de ses études sur la radioactivité de l'environnement et de la surveillance de l'environnement qu'il mène à l'échelle du territoire national, notamment en mettant à disposition de multiples informations sur son site Internet.

Cela se traduit par une communication sur plusieurs axes, depuis les informations événementielles qui font l'objet d'une communication particulière en première page du site institutionnel www.irsn.fr, jusqu'au site dédié à l'environnement par lequel l'IRSN met à disposition du public l'ensemble des résultats acquis dans le cadre de sa mission de surveillance radiologique de l'environnement.

En tant qu'acteur majeur de la surveillance radiologique, l'IRSN alimente également le portail Internet du RNM, ouvert depuis le 1^{er} janvier 2010.

En mars 2009, l'Institut a mis en ligne un nouveau portail consacré à la radioactivité dans l'environnement, accessible à l'adresse suivante : <http://environnement.irsn.fr>. Ce site permet d'accéder aux résultats de mesures de la radioactivité dans l'environnement acquis par l'IRSN ainsi qu'à une base documentaire (figure IX.2) :

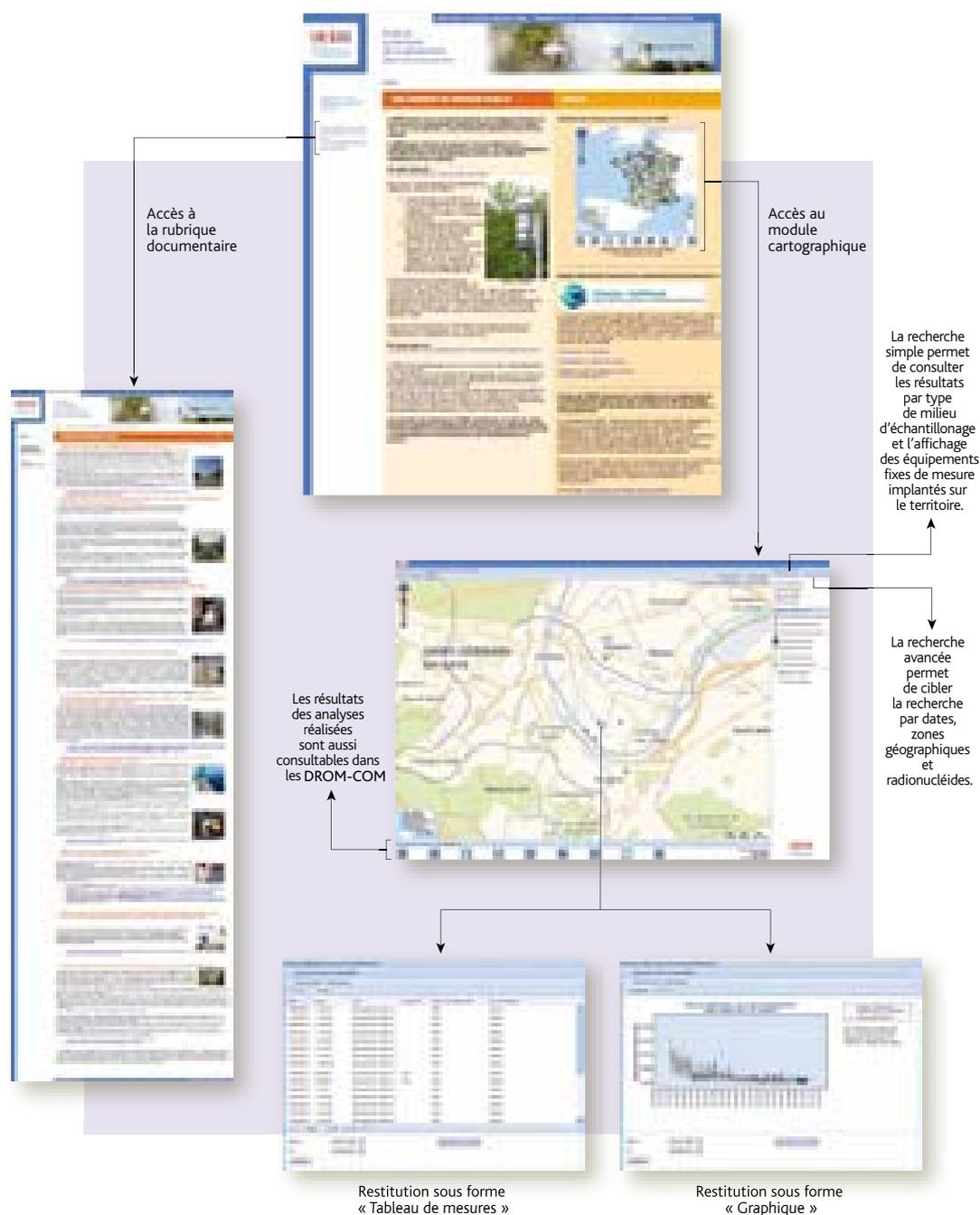


Figure IX.2 - Le portail de l'environnement de l'IRSN : documentation et cartographie interactive.

Une carte interactive

Une carte interactive permet d'accéder facilement aux résultats de la surveillance réalisée par l'IRSN obtenus dans les différents milieux (atmosphérique, aquatique, biologique et minéral) en un lieu donné, aussi bien autour des sites nucléaires que sur le reste du territoire. Chaque jour, la moyenne des valeurs obtenues la veille sur chacune des stations du réseau d'alerte Téléray est mise en ligne. Pour les autres réseaux, la mise à jour est mensuelle. À ce jour, plus d'un million de données sont disponibles.

Un effort a été entrepris pour donner accès à des données plus anciennes et ainsi placer l'évolution de la radioactivité de l'environnement dans une perspective historique, avec des représentations graphiques facilitant la visualisation des tendances. L'historique des données accessibles sur ce site dépend de la date de mise en service des équipements ou des stations de collecte d'échantillons. Pour certaines stations de collecte des aérosols sur filtre, les données peuvent remonter à plus de 40 ans (filtres aérosols notamment).

Une rubrique documentaire

Le site présente également une branche documentaire sur la radioactivité de l'environnement en France, donnant accès aussi bien à des fiches synthétiques qu'à des rapports de l'IRSN, permettant des niveaux de lecture différents en fonction des objectifs propres des internautes.

Outre l'accès aux bilans annuels de la surveillance de la radioactivité de l'environnement en France métropolitaine et en Polynésie française, des thématiques sont présentées dans cette rubrique :

- **les retombées atmosphériques de substances radioactives** ayant affecté le territoire dans le passé (essais atmosphériques d'armes nucléaires, accident de Tchernobyl) ;
- **les études et expertises** menées par l'IRSN sur l'état radiologique de l'environnement.

Cette rubrique documentaire s'étoffe progressivement au fil du temps, grâce à d'autres travaux de synthèse et d'expertise menés par l'IRSN sur l'état radiologique de l'environnement et son évolution.

Sites Internet des principaux producteurs de données et des acteurs intéressés

Tous les acteurs de la mesure de radioactivité dans l'environnement disposent de sites Internet permettant au public d'obtenir des informations complémentaires sur leurs activités, leurs programmes de contrôle, de surveillance ou d'expertise ponctuelle. Certains sites Internet permettent, en outre, la consultation du rapport annuel

d'information du public prévu par la loi TSN, qui comporte une rubrique relative à la nature et aux résultats des mesures des rejets radioactifs et non radioactifs des installations nucléaires dans l'environnement.

Le portail EDF de la surveillance environnementale des CNPE

EDF a développé un espace institutionnel sur Internet dédié à l'énergie nucléaire. Ce portail, accessible à l'adresse suivante : <http://energies.edf.com/accueil-fr/la-production-d-electriciteedf/nucleaire-120205.html>, donne accès à des informations sur le fonctionnement d'une centrale et ses enjeux en termes d'impacts environnementaux. En plus d'outils pédagogiques, des notes de synthèse, notamment sur la surveillance de l'environnement, sont mises en ligne pour permettre au grand public de disposer d'un contexte et d'une information complète.

Le portail Internet développé par EDF offre également la cartographie d'implantation des centrales nucléaires (figure IX.3 – Carte accessible à l'adresse suivante : <http://energie.edf.com/nucleaire/carte-des-centrales-nucleaires-45738.html>) permettant d'accéder à une fiche détaillée pour chaque centrale (présentation, événements, vie de la centrale, publications), puis à un module dédié décrivant le plan de surveillance de chaque Centre nucléaire de production d'électricité (CNPE).

La figure IX.4 présente l'exemple de la centrale nucléaire de Saint-Alban (la carte est accessible à l'adresse suivante : <http://energie.edf.com/html/energies/environnement/19/index.html>). L'internaute accède à une carte simplifiée de la surveillance réalisée dans l'environnement immédiat de la centrale, avec des informations sur les prélèvements et les mesures réalisés. L'internaute peut ensuite visualiser la carte des points de la surveillance étendue de la centrale, dispersés dans un rayon de 5 à 10 km de la centrale.



Figure IX.3 - Aperçu de la cartographie interactive des centrales nucléaires sur le site Internet d'EDF.

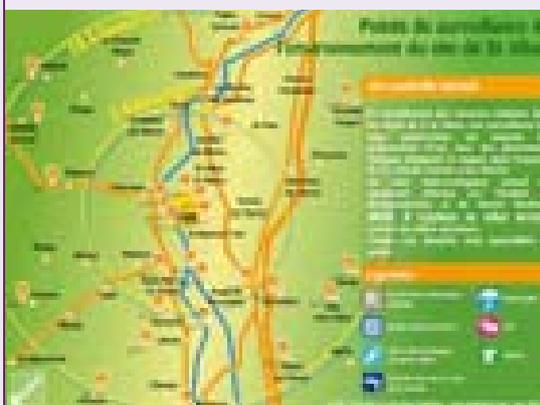
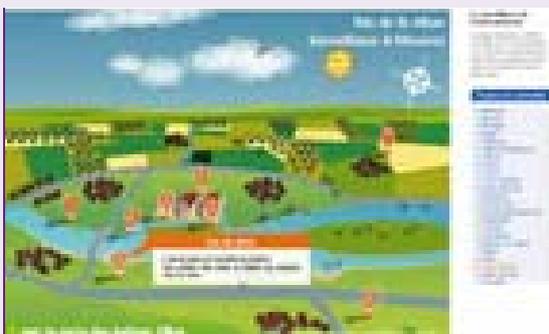


Figure IX.4 - Interface d'accès au dispositif global de surveillance des CNPE. Exemple de la surveillance environnementale réalisée par EDF autour du site de Saint-Alban.

Sélection de sites Internet des principaux exploitants (industriels et organismes de recherche)

Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

<http://www.andra.fr/>



Le site Internet de l'Andra propose pour chacun de ses centres de stockage une présentation détaillée des activités de surveillance de l'environnement :

- **Centre de stockage de la Manche**
<http://www.andra.fr/andra-manche/pages/fr/menu7/le-centre-de-stockage/la-surveillance-de-l-environnement-1074.html>
- **Centre de stockage FMA de l'Aube**
<http://www.andra.fr/andra-aube/pages/fr/menu4/le-centre-de-stockage-fma/la-surveillance-de-l-environnement-1091.html>
- **Centre de stockage TFA de Morvilliers**
<http://www.andra.fr/andra-aube/pages/fr/menu4/le-centre-de-stockage-tfa/la-surveillance-de-l-environnement-1101.html>

Areva

<http://www.aveva.com/>



Le site Internet d'Areva propose, pour chacun de ses sites industriels, une présentation de la surveillance de l'environnement :

- **Site de La Hague**
<http://www.aveva.com/FR/activites-1253/la-surveillance-de-l-environnement-de-l-usine-aveva-la-hague.html>
- **Comurhex-Pierrelatte**
<http://www.aveva.com/FR/activites-867/la-surveillance-de-l-environnement-du-tricastin--aveva-pierrelatte.html>

- **Comurhex-Malvési**

<http://www.aveva.com/FR/activites-870/la-surveillance-de-l-environnement-de-comurhex-malvesi.html>

- **Eurodif**

<http://www.aveva.com/FR/activites-876/la-surveillance-de-l-environnement-du-tricastin--eurodif-production.html>

- **FBFC Romans-sur-Isère**

<http://www.aveva.com/FR/activites-1040/la-surveillance-de-l-environnement-fbfc-romans.html>

- **Société d'enrichissement du Tricastin**

<http://www.aveva.com/FR/activites-3499/la-surveillance-de-l-environnement-de-la-societe-d-enrichissement-du-tricastin.html>

- **Socatri**

<http://www.aveva.com/FR/activites-879/la-surveillance-de-l-environnement-du-tricastin-socatri.html>

Marine nationale

<http://www.defense.gouv.fr/marine>



Le programme de surveillance et la synthèse des résultats sont consultables sur une plaquette d'information : <http://www.defense.gouv.fr/content/download/148510/1486043/file/PLAQUETTES%20des%20ports%202011.pdf>

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)

<http://www.cea.fr/>



Le CEA propose également pour ses sites une présentation de la surveillance environnementale ou un accès direct à l'ensemble de ses rapports TSN :

- **Cadarache**

<http://www-cadarache.cea.fr/carte-surveillance/index.php>

- **Saclay**

<http://www-centre-saclay.cea.fr/fr/Surveillance-environnementale>

- **Grenoble**

http://www.cea.fr/le_cea/les_centres_cea/grenoble

- **Marcoule**

<http://www-marcoule.cea.fr> (rubrique sécurité environnement)

- **Fontenay-aux-Roses**

<http://http://www-dsv.cea.fr> (rubrique lettre de l'environnement)

Institut Laue – Langevin

<http://www.ill.eu/>



• **Le site Internet de l'Institut Laue – Langevin** présente la surveillance de l'environnement à proximité de l'établissement sur une page dédiée :

<http://www.ill.eu/fr/reacteur-securite-environnement/surveillance-de-lenvironnement/>

• **Une carte de localisation des points de prélèvements** effectués dans le cadre de la surveillance du site est également accessible.

Sélection de sites Internet de différents acteurs intéressés par la surveillance radiologique de l'environnement

Organismes internationaux

- **AIEA – Agence internationale de l'énergie atomique**
<http://www.iaea.or.at>
- **AEN – Agence pour l'énergie nucléaire**
<http://www.nea.fr>
- **CIPR – Commission internationale de protection radiologique**
<http://www.icrp.org>
- **CIRC – Centre international de recherches sur le cancer**
<http://www.iarc.fr>
- **Commission européenne**
http://ec.europa.eu/index_fr.htm
- **OMS – Organisation mondiale de la santé**
<http://www.who.int/fr/>
 - **UNSCEAR – United nations scientific committee on the effects of atomic radiation**
<http://www.unscear.org>
- **CTBT – Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization**
<http://www.ctbto.org/>

Sites gouvernementaux

- **HCTISN – Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire**
<http://www.hctisn.fr>
- **Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement**
<http://www.developpement-durable.gouv.fr>
- **Ministère de l'Agriculture et de la Pêche**
<http://www.agriculture.gouv.fr>
- **Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé**
<http://www.sante.gouv.fr>
- **Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie**
<http://www.economie.gouv.fr>
- **Ministère de la Défense et des Anciens combattants**
<http://www.defense.gouv.fr>
- **Portail des informations environnementales des services publics**
<http://toutsurlenvironnement.fr>

ONG, associations et sociétés savantes

- **Acro – Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest**
<http://www.acro.eu.org/>
- **Criirad – Commission de recherche et d'information indépendante sur la radioactivité**
<http://www.criirad.com>
- **Réseau sortir du nucléaire**
<http://www.sortirdunucleaire.org>
- **Greenpeace**
<http://www.greenpeace.fr>
- **CEPN – Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire**
<http://www.cepn.asso.fr>
- **Portail de l'Internet scientifique**
<http://www.science.gouv.fr>
- **SFEN – Société française d'énergie nucléaire**
<http://www.sfen.org>
- **SFRP – Société française de radioprotection**
<http://www.sfrp.asso.fr>
- **SRP – Society of radiological protection**
<http://www.srp-uk.org>
- **UIR – Union internationale de radio-écologie**
<http://www.answeb.net>
- **WISE-Paris – Service mondial d'information sur l'énergie**
<http://www.wise-paris.org>
- **WNA – World nuclear association**
<http://www.world-nuclear.org>



Supports d'information de l'Autorité de sûreté nucléaire

L'ASN a mis en place une politique d'information fondée sur des supports complémentaires de manière à rendre l'information accessible à ses différents publics. Le site www.asn.fr est le principal outil d'information du public. Il présente l'actualité de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France, et les prises de position de l'ASN dans ses domaines de compétences. Par ailleurs, le site donne accès à une base documentaire sur la vie des installations *via* une navigation simplifiée, un accès aux données amélioré et un téléchargement optimisé des informations ou publications sélectionnées.

Le rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France, publié annuellement, constitue un document de référence qui informe sur l'état des activités contrôlées par l'ASN dans ces deux domaines. L'ASN publie quatre fois par an la revue « Contrôle », diffusée à plus de 10 000 destinataires en France et à l'étranger. En 2010, l'ASN a publié un numéro composé d'un dossier sur la surveillance de la radioactivité de l'environnement (figure IX.5 : n° 188 – juillet 2010).

Ces publications ainsi que les autres supports d'information de l'ASN (la *Lettre de l'ASN*, les plaquettes et fiches d'information à destination du grand public) sont consultables et téléchargeables sur www.asn.fr. Elles sont également à disposition au centre d'information et de documentation du public de l'ASN.

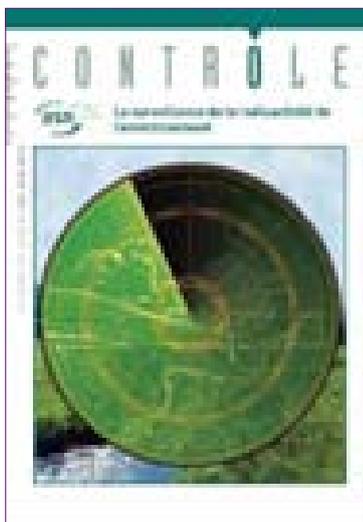


Figure IX.5 - Revue « Contrôle » n° 188 avec un dossier spécifique sur la surveillance de la radioactivité de l'environnement.

Bilans de l'état radiologique de l'environnement de l'IRSN

En complément des résultats de mesure accessibles sur Internet, l'IRSN édite chaque année à plus de 1 200 exemplaires, depuis 2004, un bilan de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement français (figure IX.6).

Ce document donne une image de la surveillance exercée sur l'ensemble du territoire métropolitain, sous et hors influence des installations nucléaires. La mission de surveillance de l'IRSN étant ancienne, l'Institut est en mesure de commenter les résultats actuels en les mettant en perspective par rapport aux décennies précédentes. Par ailleurs, un chapitre est consacré aux événements radiologiques qui se sont produits au cours de l'année écoulée.

L'IRSN publie également à un rythme annuel le bilan de la surveillance qu'il exerce en Polynésie française depuis 1962.



Figure IX.6 - Bilans de l'état radiologique de l'environnement de l'IRSN.

Rapports Environnement des installations nucléaires (INB)

Les exploitants sont soumis à des obligations légales d'information, soit générales (comme le rapport Environnement prévu par le code du commerce pour les sociétés par actions), soit spécifiques au domaine nucléaire.

La loi TSN impose à tout exploitant d'installation nucléaire d'établir chaque année un rapport sur sa situation et les actions qu'il mène, notamment dans le domaine de la surveillance radiologique de l'environnement de son installation. En parallèle, la réglementation impose également aux exploitants la publication d'un rapport annuel de surveillance, en application des règles générales relatives aux installations nucléaires de base.

Le rapport annuel de surveillance des exploitants d'installations nucléaires de base (INB)

L'arrêté du 26 novembre 1999 fixe les prescriptions techniques générales relatives aux limites et aux modalités des prélèvements et des rejets soumis à autorisation, effectués par les installations nucléaires de base. Au titre de l'article 26 de cet arrêté, les exploitants d'installations nucléaires établissent chaque année un rapport public permettant de caractériser le fonctionnement des installations et prenant en compte l'ensemble des contrôles et de la surveillance prévus en application du présent arrêté et de l'arrêté d'autorisation.

Ce rapport caractérise les prélèvements d'eau, les rejets d'effluents, la surveillance de l'environnement et les impacts et nuisances occasionnés. À cet effet, il comporte un état récapitulatif des analyses et mesures réalisées au cours de l'année écoulée, l'analyse de l'exploitant sur d'éventuelles anomalies ou dépassements constatés et son évaluation sur la gestion des opérations réalisées. Ce rapport présente également une estimation, à partir des rejets comptabilisés, des doses de rayonnements ionisants reçues au cours de l'année écoulée, du fait de l'installation, par les groupes de référence au sens de l'annexe 13-7 du code de la santé publique et selon les modalités définies par l'article R. 1333-10 de ce même code.

Le rapport est transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire, à la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement, à l'Agence régionale de santé, au service chargé de la police de l'eau ainsi qu'à la commission locale d'information. Les exploitants sont astreints à la publication de ce rapport annuel.

Le rapport TSN

L'article 21 de la loi TSN n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, abrogé par l'ordonnance n° 2012-6 du 5 janvier 2012 – art. 7, précise que tout exploitant d'une installation nucléaire de base établit chaque année un rapport qui expose :

- les dispositions prises en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection ;
- les incidents et accidents en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection,



Figure IX.7 - Exemples de rapports d'exploitants réalisés en application de la loi TSN.

soumis à obligation de déclaration en application de l'article 54 de la loi TSN (chapitre V : dispositions applicables en cas d'incident ou d'accident), survenus dans le périmètre de l'installation, ainsi que les mesures prises pour en limiter le développement et les conséquences sur la santé des personnes et l'environnement ;

- **la nature et les résultats des mesures** des rejets radioactifs et non radioactifs de l'installation dans l'environnement ;
- **la nature et la quantité de déchets** radioactifs entreposés sur le site de l'installation, ainsi que les mesures prises pour en limiter le volume et les effets sur la santé et sur l'environnement, en particulier sur les sols et les eaux.

Ce rapport (figure IX.7) est soumis au comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail de l'installation nucléaire de base, qui peut formuler des recommandations. Celles-ci sont annexées au document aux fins de publication et de transmission. Ce rapport est également rendu public. Il est transmis à la commission locale d'information et au Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire. Un décret précise la nature des informations contenues dans le rapport.

L'ASN procède chaque année à une analyse de ces documents et publie dans son rapport annuel les principales conclusions relatives au traitement des rubriques mentionnées dans la loi, aux éléments stratégiques et à la pédagogie sur la transparence et le droit d'accès à l'information nucléaire (articles 19 et 21 de la loi TSN).

IX.2 DIFFUSION D'INFORMATION DANS LE CADRE DE TRAITÉS OU CONVENTIONS INTERNATIONALES

L'information sur la surveillance de la radioactivité de l'environnement s'opère également au niveau international, notamment dans le cadre du traité Euratom et de la commission pour la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, dite commission Oskar.

La diffusion des données françaises dans le cadre du traité Euratom

Chaque année, l'IRSN transmet à la Commission européenne, au nom de l'État français, plusieurs milliers de résultats de mesures de la radioactivité de l'environnement portant sur les particules aérosols, l'eau, le lait et la ration alimentaire, pour satisfaire aux exigences des articles 35 et 36 du traité Euratom. Cet envoi est complété par un déversement automatique, toutes les 12 heures, des données brutes des sondes du réseau Téléray.



La Commission européenne édite régulièrement un rapport de synthèse au niveau européen issu de l'exploitation des données transmises par les États membres. Un portail Internet public <http://rem.jrc.ec.europa.eu> permet de se connecter aux différentes bases de données de la Commission européenne pour en visualiser les résultats.

L'article 35 du traité Euratom précise que : « chaque État membre établit les installations nécessaires pour effectuer le contrôle permanent du taux de la radioactivité de l'atmosphère, des eaux et du sol, ainsi que le contrôle du respect des normes de base ». Cet article précise aussi que la Commission a le droit d'accéder à ces installations de contrôle de la radioactivité à des fins de vérification de leur fonctionnement et de leur efficacité. Se basant sur le droit d'accès, la Commission délègue dans tous les États membres des visites de vérification du fonctionnement et de l'efficacité des installations de contrôle à des inspecteurs spécialisés. C'est ainsi que des inspecteurs de la Commission européenne se sont rendus sur le site de Cadarache en juin 2011 afin d'examiner les installations de contrôle de la radioactivité mis en œuvre par le CEA (*focus*). De nombreuses installations françaises ont fait l'objet de visites de vérification ces dernières années (CNPE d'EDF, Areva Tricastin et La Hague, anciennes mines du Limousin...).

Vérification au titre de l'article 35 du traité Euratom à Cadarache en juin 2011

Une mission de la Commission européenne, composée de trois inspecteurs, a effectué un contrôle sur le site du CEA de Cadarache du 20 au 23 juin 2011. Elle s'inscrit dans le cadre du programme de vérification au titre de l'article 35 du traité Euratom. Le thème principal était la vérification du respect de cet article quant aux moyens de surveillance de la radioactivité dans l'environnement et de leur représentativité, sur et autour du site, ainsi qu'aux moyens de qualification et de quantification des rejets des installations nucléaires.

En effet, l'article 35 du traité Euratom requiert que tout État membre mette en place les moyens nécessaires (installations, matériel, organisation, etc.) pour effectuer le contrôle permanent du taux de radioactivité de l'atmosphère, des eaux et du sol, et de s'assurer du respect des normes de base pour la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Le but de cette visite était de fournir une évaluation de l'efficacité de ces moyens.

Au-delà du CEA, qui accueillait pour la première fois ce type de mission, c'est l'État français qui faisait l'objet de cette vérification. Divers représentants étaient présents : ASN, Dreal, IRSN, MSNR (Mission sûreté nucléaire et radioprotection) et CTE (Comité technique Euratom), ainsi que plusieurs représentants du CEA de Cadarache.



Figure IX.8 - Surveillance des eaux souterraines du centre CEA de Cadarache.

La vérification a porté sur l'exploitation des systèmes réglementaires de mesure des rejets et sur les programmes de surveillance environnementale appliqués à proximité du site. Des visites d'installations ont été effectuées afin de montrer aux inspecteurs la gestion des effluents sur le centre, ainsi que l'ensemble des moyens de surveillance environnementale (laboratoires d'analyse, stations de surveillance de l'environnement, etc.). Plusieurs thèmes comme la maintenance, l'étalonnage, l'enregistrement, l'archivage et la transmission des données ont également été examinés par des revues documentaires ponctuelles.

À l'issue de cette visite, la Commission a exprimé un avis très favorable sur les moyens et l'organisation mis en place et la qualité des résultats. Cette visite contribue à l'image de marque du CEA et de la France en matière de surveillance environnementale radiologique.

Les données transmises par l'IRSN à la commission Oskar

Depuis une quinzaine d'années, l'IRSN est impliqué dans les travaux de la commission Oskar, l'instrument légal actuel qui guide la coopération internationale pour la protection de l'environnement marin de l'Atlantique du Nord-Est (*figure IX-9*). Cette commission est composée de représentants des gouvernements des 15 parties contractantes (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Irlande, Islande, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse) et de la Commission européenne.

Sa mission est la suivante : préserver les écosystèmes marins et sauvegarder la santé de l'homme en Atlantique du Nord-Est, en prévenant et supprimant la pollution, en protégeant l'environnement marin contre les effets néfastes des activités humaines, et en contribuant à l'usage durable des mers.

L'IRSN transmet à la commission Oskar des données de radioactivité relatives aux prélèvements marins réalisés sur la façade Atlantique – Manche (eau, sédiments, faune et flore) qui ont été utilisées pour la mise en place d'une « ligne de base », point de référence permettant d'apprécier régulièrement les progrès accomplis depuis 1998 dans la diminution du marquage environnemental imputable aux activités humaines. Ces transmissions de données annuelles sont amenées à se poursuivre.

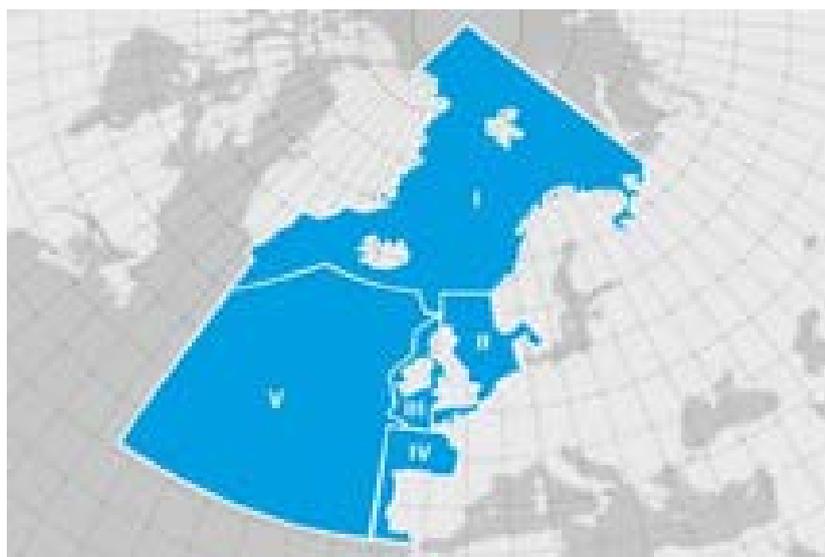


Figure IX.9 - Les cinq régions Oskar :

- Région I : Eaux arctiques
- Région II : Mer du Nord au sens large
- Région III : Mers celtiques
- Région IV : Golfe de Gascogne et côtes ibériques
- Région V : Atlantique au large





X

COMPRENDRE LA RADIOACTIVITÉ

X.1 L'atome et les rayonnements

X.2 La mesure de la radioactivité

X.3 Les effets biologiques des rayonnements
et les différents modes d'exposition

Nous vivons dans un environnement naturellement radioactif. La radioactivité fait partie de l'univers. Sans aucune intervention humaine, elle est présente partout sur Terre, au sein de la matière et même des êtres vivants. Elle provient de nombreuses sources : les rayonnements cosmiques, l'atmosphère et la croûte terrestre. Nos aliments contiennent également des éléments radioactifs tels que le potassium. Le corps humain lui-même contient des radionucléides et constitue donc une source de radioactivité. Les rayonnements émis sont invisibles mais mesurables avec une haute sensibilité et une grande précision.

X.1 L'ATOME ET LES RAYONNEMENTS

Dans la nature, la matière est constituée de molécules qui sont des combinaisons d'atomes. Un atome (figure X.1) est composé :

- **d'un noyau central (ou nucléon)** composé de particules, des nucléons, qui se répartissent en deux espèces : les protons et les neutrons. Les nucléons sont deux mille fois plus lourds que l'électron ;
- **d'un nuage périphérique** composé d'électrons qui se déplacent si vite qu'en une fraction de seconde, ils parcourent un très grand nombre de fois l'espace qui entoure le noyau.

Certains noyaux atomiques instables ont la propriété de se transformer spontanément en d'autres corps : on dit qu'ils se désintègrent. À cette occasion, ils émettent différents types de rayonnements dont les plus énergétiques transfèrent assez d'énergie aux électrons de la matière pour les arracher de leur atome.

Les atomes ainsi privés de certains de leurs électrons sont alors chargés positivement. Les atomes voisins qui accueillent les électrons se chargent négativement. Les atomes chargés positivement ou négativement sont appelés ions. Les rayonnements capables de provoquer de telles réactions sont dits « ionisants » : c'est le phénomène de la radioactivité.

Les différents rayonnements ionisants (figure X.2) sont :

- **les rayonnements cosmiques**, d'origine galactique ou solaire, composés de particules qui se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière ;
- **les ondes électromagnétiques** les plus énergétiques, soit les rayonnements X et gamma :

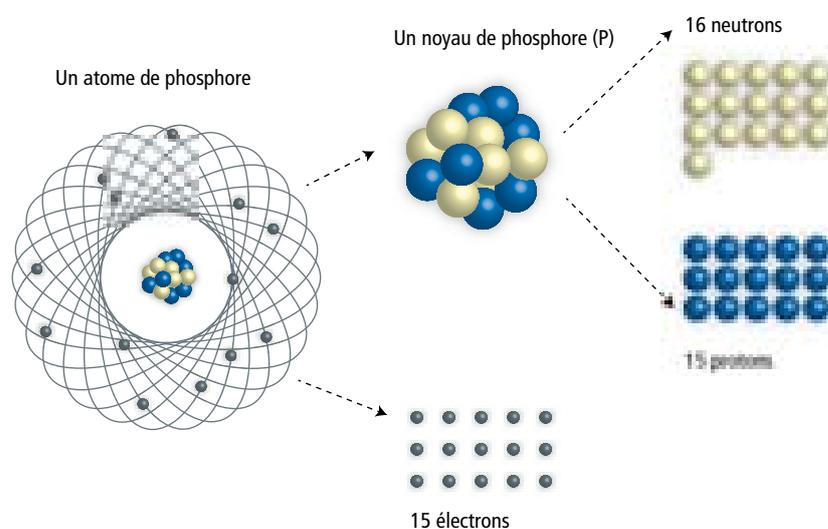


Figure X.1 - L'atome de phosphore.

> les rayons X peuvent être produits par un faisceau d'électrons envoyé sur une cible métallique. Ces électrons interagissent avec les électrons des atomes du métal, les font changer d'énergie et émettre des rayons X ;

> les rayons gamma sont émis par des atomes radioactifs lors de leur désintégration. Il faut recourir, par exemple, à de fortes épaisseurs de plomb ou de béton pour arrêter les rayonnements X et gamma.

- **les rayonnements alpha, bêta plus et bêta moins** (particules émises par des atomes radioactifs lors de leur désintégration) :

> les rayonnements alpha, constitués par un flux de noyaux d'hélium (formés de deux protons et de deux neutrons), sont arrêtés par une simple feuille de papier ;

> les rayonnements bêta, constitués par un flux d'électrons, sont arrêtés par une feuille d'aluminium ;

- **les neutrons libres** qui sont surtout présents dans les réacteurs nucléaires : ils sont émis, par exemple, lors de la fission d'atomes d'uranium 235. Ils sont indirectement ionisants car c'est leur capture par les noyaux ou leur interaction avec ceux-ci qui génère des rayonnements gamma ou diverses particules. Les neutrons sont aussi présents aux altitudes de vol des avions long courrier et subsoniques, ils participent à 30 % de la dose reçue par le personnel navigant.

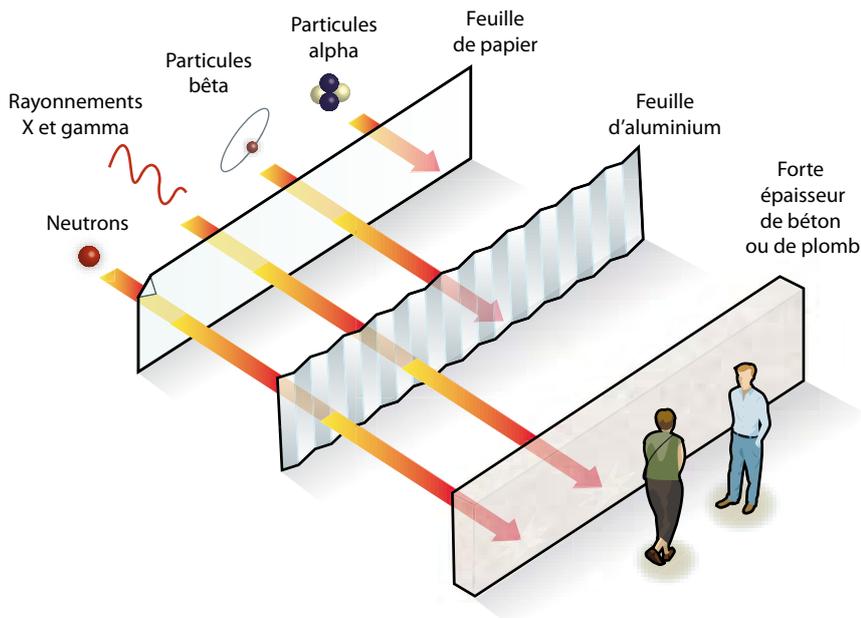


Figure X.2 - Les différents pouvoirs de pénétration des rayonnements alpha, bêta, gamma et des neutrons.

Tableau X.1 - Exemples de périodes radioactives.

Éléments chimiques	Période radioactive
Uranium 238	4,47 milliards d'années
Potassium 40	1,3 milliards d'années
Uranium 235	704 millions d'années
Carbone 14	5 730 ans
Radium 226	1 600 ans
Césium 137	30,2 ans
Strontium 90	28,8 ans
Tritium	12,3 ans
Cobalt 60	5,27 ans
Iode 131	8,05 jours
Phosphore 30	2,55 minutes
Hélium 6	0,82 seconde

X.2 LA MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

Les rayonnements issus de la radioactivité ne sont pas directement perceptibles. La radioactivité est invisible, inaudible, inodore... Elle n'a donc pu être mise en évidence que lorsque l'homme a eu à sa disposition des outils permettant d'observer le phénomène, puis de déterminer sa nature et de mesurer son intensité avec précision grâce à divers appareils.

Pourquoi la radioactivité diminue-t-elle ?

La radioactivité diminue avec le temps. Mais un temps plus ou moins long selon les

atomes et qui dépasse parfois celui d'une existence humaine. À mesure qu'un atome se désintègre, sa radioactivité disparaît lorsqu'il se transforme en atome stable, donc non radioactif.

Deux chercheurs (Rutherford et Soddy) ont établi qu'une substance radioactive perd la moitié de sa radioactivité, c'est-à-dire que la moitié des atomes de la substance se sont désintégrés, sur une durée de temps qui lui est propre. Cette durée est appelée « période radioactive » ou « demi-vie ».

Elle varie (figure X.3) d'un atome à l'autre (tableau X.1). La période peut, selon les radio-nucléides, aller d'une fraction de seconde à des milliards d'années. L'uranium 238 a une demi-vie de près de 4,5 milliards d'années. C'est cette longue période qui explique qu'on en trouve encore sur Terre à l'état

naturel. La période de l'uranium 235 est de près de 700 millions d'années ; c'est ce qui explique que, comparativement à l'uranium 238, on en trouve relativement peu (il ne constitue que 0,7 % de l'uranium naturel).

Comprendre les unités de mesure de la radioactivité

Pour quantifier la radioactivité et mesurer ses effets, trois unités de mesure spécifiques sont utilisées : le becquerel, le gray et le sievert.

Le becquerel (Bq)

La radioactivité d'un échantillon se caractérise par le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs par seconde qui s'y produisent. L'unité de mesure de la radioactivité est le becquerel (Bq).

1 Bq = 1 désintégration par seconde

C'est une unité de mesure très petite. Par exemple, un homme de 60 kg a une activité d'environ 6 000 Bq de potassium radioactif dans son squelette. L'activité de sources s'exprimera le plus souvent en multiples du Becquerel (kBq, MBq, GBq, TBq), tandis que l'activité d'échantillons environnementaux s'exprimera en Bq, mBq ou μ Bq.

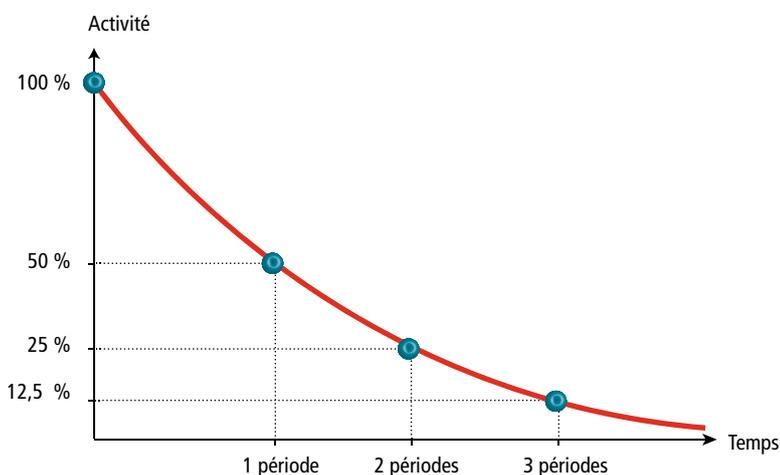


Figure X.3 - Représentation graphique de la décroissance radioactive.

L'activité est souvent rapportée à un volume (activité volumique en Bq/L ou Bq/m³) (tableau X.2), une masse (activité massique en Bq/kg) ou une surface (activité surfacique en Bq/m²). L'ancienne unité de mesure de la radioactivité est le Curie (Ci), défini comme l'activité de 1 gramme de radium, soit 1 Ci = 37 milliards de Bq.

Tableau X.2 - Ordres de grandeur de l'activité de différentes sources radioactives naturelles.

Eau de pluie	0,5 Bq/L
Eau de mer	14 Bq/L
Lait	70 Bq/L
Poisson	100 Bq/kg
Corps humain	120 Bq/kg
Pomme de terre	150 Bq/kg
Terre sédimentaire	400 Bq/kg
Engrais phosphatés	3 000 Bq/kg
Terre granitique	8 000 Bq/kg

Cette mesure rend compte du nombre de désintégrations, mais pas de leur énergie, ni de leur effet sur l'homme. C'est pourquoi deux autres unités sont utilisées : le gray et le sievert (figure X.4).

Le gray (Gy)

L'unité de mesure de la dose absorbée est le gray (Gy), qui correspond à l'énergie cédée par unité de masse.

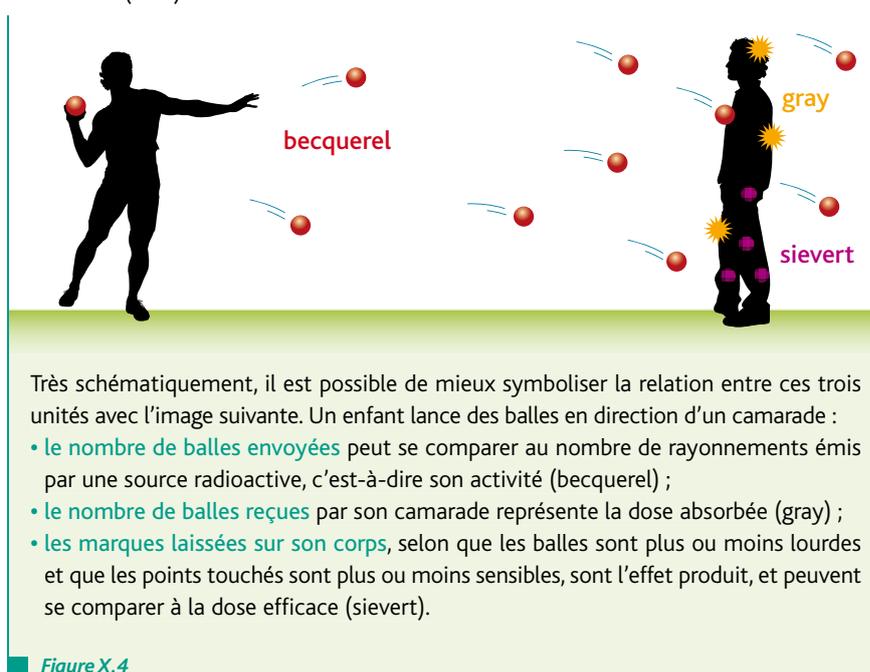
Cette unité permet donc de mesurer la quantité de rayonnements absorbés par un organisme ou un objet exposé aux rayonnements. Le gray a remplacé le rad en 1986 : 1 gray = 100 rads = 1 joule par kilo de matière irradiée.

Le sievert (Sv)

Les effets dus à la radioactivité sur les organismes vivants, ou sur la matière inerte, ne sont pas directement liés au becquerel pour plusieurs raisons : la désintégration d'un atome de césium ou d'iode ne libère pas la même énergie ; les rayonnements émis sont de natures très différentes ; tous n'atteignent pas obligatoirement l'organisme de la même manière.

De plus, suivant les parties de l'organisme touchées par les rayonnements, les effets sont différents. Pour en tenir compte, la dose absorbée est multipliée par un facteur qui permet d'aboutir à la dose équivalente, exprimée en sievert (Sv).

Certains tissus et organes sont donc plus sensibles au rayonnement que d'autres. Pour en tenir compte, la dose équivalente a été pondérée par un facteur de risque spécifique pour chaque tissu ou organe, de manière à obtenir la dose effective (ou dose efficace). Ce système présente l'avantage de pouvoir placer tous les types d'exposition humaine au rayonnement ionisant sur une même échelle des risques. La valeur de la dose effective étant généralement très petite, elle est le plus souvent exprimée en millisievert (mSv).



Comment mesure-t-on la radioactivité ?

Les rayonnements issus de la radioactivité ne sont pas directement perceptibles. Aucun des sens dont dispose l'être humain n'est sensible aux rayonnements émis par les substances radioactives. Toutes les méthodes de détection sont fondées sur le fait qu'un rayonnement crée des ionisations (arrachements d'électrons aux atomes) et des excitations (transmission d'une quantité d'énergie aux atomes qui passent ainsi d'un état fondamental à un état excité), et donc laisse une trace au sein même de la matière. En calculant, par unité de temps, le nombre d'ionisations ou d'excitations provoquées par les particules, il est possible de quantifier l'énergie transmise du rayonnement à la matière. Cette énergie est caractéristique du radionucléide émetteur.

Le principe des trois grands types de détecteurs les plus couramment utilisés (les compteurs à gaz, les scintillateurs et les semi-conducteurs) est le même : ils convertissent en un signal électrique les photons ou les électrons créés par le rayonnement.

La fonction de la plupart des détecteurs de rayonnements va donc être de séparer et de compter les ions (ou les électrons) produits par le passage d'un rayonnement au travers du détecteur, et ceci au moyen d'un champ électrique imposé à ce détecteur. Généralement, le rayonnement va pénétrer dans le volume sensible du détecteur qui sera un matériau gazeux, solide ou liquide selon le type de rayonnements que l'on veut mesurer. L'interaction va produire une série d'événements discrets (électrons d'ionisation, photons, chaleur, etc.).

Quel que soit le mode de fonctionnement d'un détecteur et donc le principe sur lequel

s'appuie la détection des rayonnements, il est toujours constitué des mêmes éléments :

- un capteur au niveau duquel le rayonnement interagit avec la matière ;
- un système d'amplification qui met en forme et amplifie le signal produit par la sonde ;
- éventuellement un système de traitement du signal ;
- un système d'affichage qui indique :
 - un flux de particules : le compteur ;
 - l'énergie des particules : le spectromètre ;
 - la dose absorbée ou le débit de dose absorbée : le dosimètre ou le débitmètre.



■ Figure X.5 - Dosimètre radio-photo-luminescent.



■ Figure X.6 - Sonde de mesure en continu du débit de dose gamma ambiant.

Quelques notions importantes pour comprendre l'expression des résultats des mesures de radioactivité

Le bruit de fond

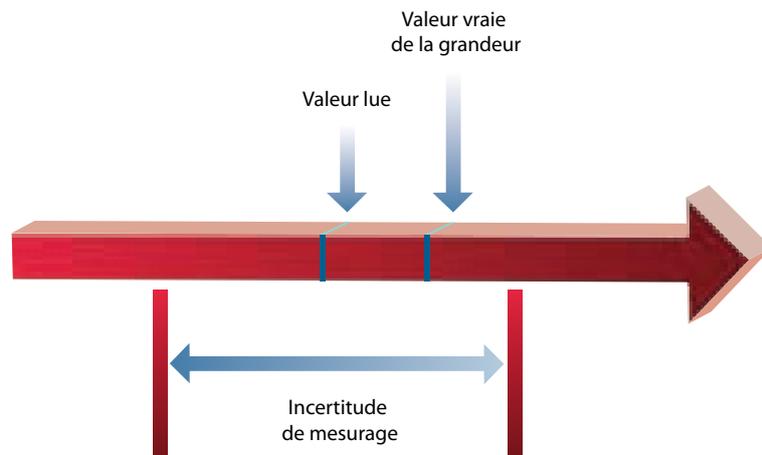
Le bruit de fond (bdf) en métrologie indique le niveau de comptage uniquement induit par l'environnement, la composition des réactifs éventuellement utilisés ainsi que l'électronique de l'appareil de mesure. Il convient donc de soustraire ce bruit de fond à la valeur de mesure brute afin de déterminer l'activité réellement contenue dans un échantillon. En termes environnementaux, le bruit de fond représente

un niveau d'activité mesurée à un point hors influence de toute source de radioactivité artificielle et dont on ne peut s'affranchir.

L'incertitude

Les instruments de mesure, bien que très sensibles, ne sont pas de précision infinie. En clair, il n'existe pas de mesures exactes. L'incertitude est un paramètre associé au résultat d'une mesure significative qui décrit l'étendue des valeurs possibles dans laquelle se trouve la valeur vraie avec une probabilité prédéfinie.

L'incertitude de mesure découle des propriétés de l'instrument, de l'opérateur, de l'environnement de la mesure (température, vibrations), de la procédure de mesure... La valeur lue sur l'instrument de mesure peut se situer sur toute la zone d'incertitude de mesurage et donc être plus ou moins proche de la valeur vraie de la grandeur mesurée (figure X.7).



■ Figure X.7- Valeur lue, valeur vraie et incertitude de mesurage.

La limite de détection et le seuil de décision

Dans le cas de la recherche de très faibles activités, la mesure d'un échantillon peut donner un résultat très proche de celui obtenu lors de la détermination du bruit de fond de l'installation de mesure (signal détecté en l'absence du radionucléide recherché).

Compte tenu du caractère aléatoire du processus de désintégration radioactive, un résultat très légèrement supérieur au bruit de fond mesuré ne donne pas l'assurance totale d'une présence de radioactivité,

pas plus qu'un résultat très légèrement inférieur à ce même bruit de fond ne garantit l'absence de cette radioactivité. Pour se prononcer, l'analyste doit alors faire appel aux notions de seuil de décision et de limite de détection caractérisant sa technique de mesure.

Le seuil de décision (SD) correspond à une valeur de comptages, pour laquelle on estime que, compte tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond, on peut affirmer avec une probabilité suffisamment élevée de ne pas se tromper qu'un comptage supérieur à cette valeur SD révèle effectivement

la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré. L'activité de l'échantillon et son incertitude peuvent alors être calculées.

Si par contre la mesure de l'échantillon donne un comptage inférieur à cette valeur SD, on peut seulement affirmer pour cet échantillon, également avec une probabilité quantifiée de ne pas se tromper, que même si une radioactivité est présente, bien que n'ayant pas été détectée, elle est en tout cas inférieure à une valeur appelée **limite de détection (LD)**.

Selon les techniques de mesure, la limite de détection est approximativement égale à deux fois la valeur du seuil de décision.

X.3 LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS ET LES DIFFÉRENTS MODES D'EXPOSITION

Les effets biologiques des rayonnements ionisants

L'homme est exposé en permanence à des rayonnements d'origine naturelle et/ou artificielle. L'énergie générée par les rayonnements ionisants peut entraîner des modifications de la matière vivante, au niveau cellulaire où ces rayonnements induisent des lésions.

Deux approches sont utilisées pour étudier leurs différents effets biologiques : l'épidémiologie et l'expérimentation sur des cellules d'organismes vivants. Les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme varient en fonction de la dose reçue et de différents facteurs : la source (activité ou intensité de fonctionnement, nature, énergie...), le mode d'exposition (temps, débit...) et la cible (tissus ou organes touchés, âge de l'individu...).

Il existe deux types d'effets biologiques :

- **les effets immédiats (ou déterministes)** : une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes. En fonction de la dose et selon l'organe touché, le délai d'apparition des symptômes

Pour la population, la limite annuelle d'exposition de 1 mSv s'applique à la somme des doses reçues en dehors de la radioactivité naturelle et de la médecine.

Si l'on appliquait cette limite à ces deux causes, on ne pourrait pas subir un scanner, il faudrait renoncer à l'avion, abandonner l'alpinisme, ou ne pas habiter dans les régions granitiques de France.

Cette dose maximale admissible de 1 mSv par an, qui représente en moyenne environ 40 % de l'exposition naturelle, peut sembler excessive comparée aux 0,06 mSv dus aux activités humaines une fois le médical exclu et plus encore aux 0,002 mSv de l'impact d'une centrale nucléaire. D'un autre côté, une dose de 1 mSv est considérée en radioprotection comme une dose faible, voire très faible.

Pour les personnes qui travaillent avec des radiations ionisantes, la limite réglementaire est de 20 mSv par an sur une période consécutive de 12 mois (figure X.8).

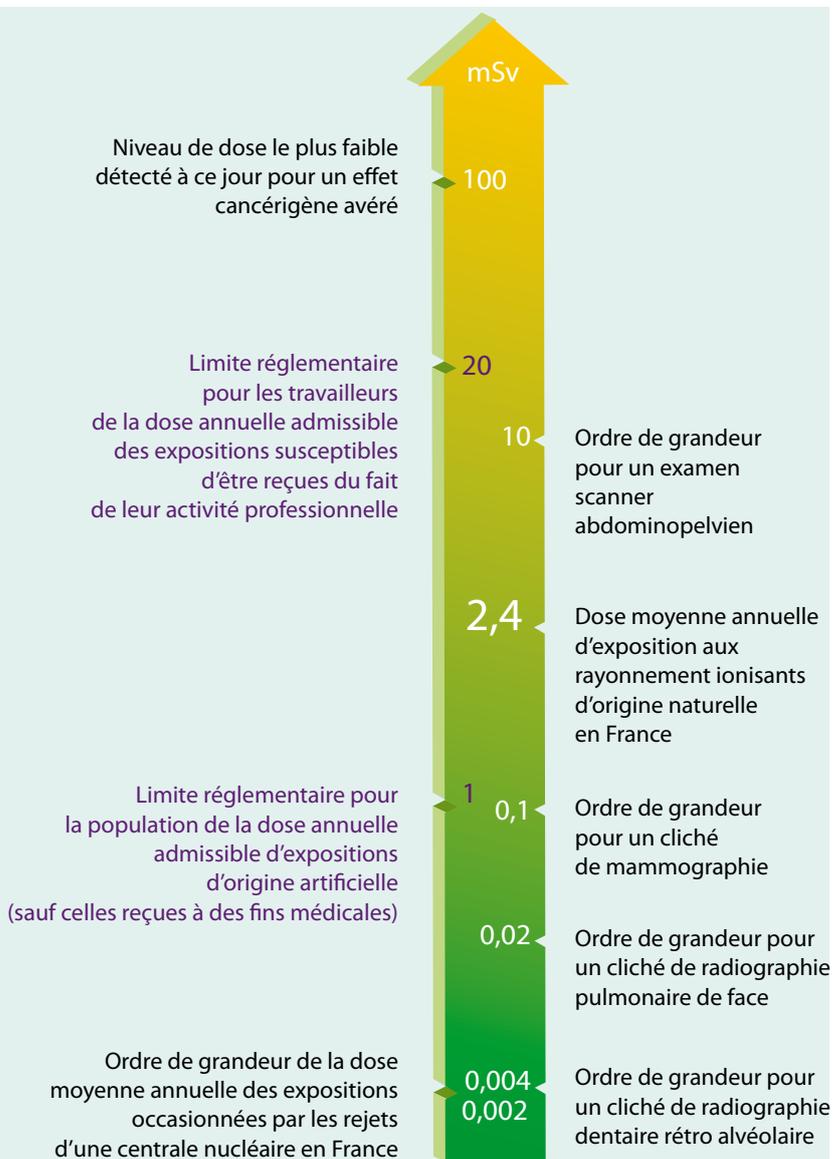


Figure X.8 - Exemples des doses efficaces et de limites réglementaires exprimées en millisievert (mSv) (source ASN).

varie de quelques heures (nausées, radio-dermites) à plusieurs mois. Des effets secondaires peuvent même être observés des années après une irradiation (fibroses, cataracte) ;

- **les effets à long terme (effets aléatoires ou stochastiques)** : les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers et de leucémies. La probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose. Le délai d'apparition après l'exposition est de plusieurs années.

Une pathologie radioinduite n'a pas de signature particulière : il n'existe pas de marqueur biologique permettant de différencier, par exemple, un cancer pulmonaire dû au tabac, d'un cancer pulmonaire radioinduit.

Quels sont les effets sur la santé humaine d'une exposition à de faibles doses ?

En l'absence d'effets directement mesurables, les risques liés aux faibles niveaux d'exposition sont estimés en extrapolant les données issues de l'étude des survivants irradiés lors des explosions d'Hiroshima et de Nagasaki, ou des patients soumis à une radiothérapie, pour lesquels les paramètres d'exposition (dose, débit de dose...) sont très différents. Même s'il existe une relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants et l'excès de cancers solides, cette relation n'a pas été démontrée pour de très faibles doses. À l'heure actuelle, les effets sur la santé humaine d'une exposition à des doses inférieures à 100 mSv font l'objet de débats scientifiques.

La radioprotection

Le but de la radioprotection est d'empêcher ou de réduire les risques liés aux rayonnements ionisants. Pour ce faire, la radioprotection s'appuie sur trois grands principes inscrits dans le code de la santé publique :

- **la justification** des activités comportant un risque d'exposition à des rayonnements ionisants ;
- **l'optimisation des expositions à ces rayonnements** au niveau le plus faible possible ;
- **la limitation des doses** d'exposition individuelle à ces rayonnements.

Ces trois principes fondamentaux découlent d'un principe général de précaution : le principe

« ALARA » (pour *As Low As Reasonably Achievable*, « aussi bas que raisonnablement possible »). La réglementation de la radioprotection précise par ailleurs les dispositions particulières applicables à chacune des trois catégories de populations suivantes : public, patients et travailleurs.

Les procédures techniques et organisationnelles mises en œuvre pour respecter l'ensemble de ces principes font l'objet de contrôles de la part des autorités publiques. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) élabore la réglementation et effectue en permanence, au nom de l'État, des contrôles de la bonne application du système de radioprotection.

Les modes d'exposition aux rayonnements

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue deux modes d'exposition : externe ou interne.

- **L'exposition externe** : la source de rayonnement n'est pas en contact direct avec la personne et la dose reçue ne correspond qu'au temps pendant lequel s'est produite l'exposition. L'exposition externe a lieu lorsque l'homme se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (substances radioactives sous forme de nuage ou de dépôt sur le sol, sources à usage industriel ou médical...). L'exposition externe peut concerner tout l'organisme ou une partie seulement de celui-ci.
- **L'exposition interne** : le radionucléide pénètre à l'intérieur de l'organisme le plus souvent par ingestion ou par inhalation, mais également par une brèche cutanée ou par voie veineuse (par exemple lors d'une scintigraphie) ; on parle alors de contamination interne. La distribution dans l'organisme dépend de la nature du radionucléide. L'exposition résulte des atomes radioactifs présents dans les tissus ou organes ; elle continue donc au-delà du moment où a eu lieu l'incorporation, mais décroît en fonction de la période radioactive du radionucléide incorporé et de sa biocinétique. Une exposition peut être brève (par exemple radiographie) ou prolongée (par exemple exposition naturelle).



- 1 Exposition externe due aux rayonnements de l'air
- 2 Exposition interne après inhalation et ingestion d'éléments contaminés
- 3 Exposition externe due aux rayonnements des dépôts

Figure X.9



XI

ANNEXES

XI.1 Présentation et exploitation des résultats

XI.2 Glossaire

XI.3 Références

XI.4 Crédits et remerciements

XI.1 PRÉSENTATION ET EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Les résultats exploités dans ce bilan, sous forme de graphiques ou de tableaux synthétiques, concernent la période du 1^{er} janvier 2010 au 30 juin 2011, pour les résultats présents dans la base de données du RNM au 10 juillet 2011. Les mesures transmises au-delà de cette date, pour la période considérée, n'ont pas pu être exploitées dans ce bilan mais sont cependant consultables sur le site Internet du RNM : www.mesure-radioactivite.fr

Les résultats de la surveillance régulière des installations, impactés par les retombées en France de l'accident de Fukushima, sont présentés séparément afin de ne pas interférer avec les résultats obtenus en dehors de cette période.

Les résultats de la surveillance du compartiment marin et littoral (eaux de mer, sédiments, faune et flore aquatiques) à proximité des installations nucléaires sont présentés dans le chapitre IV (Milieu marin et littoral) afin de permettre une exploitation de toutes les données disponibles par façade maritime. De même, tous les résultats de mesures de dosimétrie environnementale passive et active sont traités au chapitre IV (Le compartiment atmosphérique).

Par ailleurs :

- Les signes « < » indiquent des résultats de mesure inférieurs aux seuils de décision des appareils ou des protocoles de mesures. Dans les représentations graphiques, ces valeurs sont représentées par des barres vides (*) ou des traits s'étendant jusqu'à l'origine.
- Le sigle « nm » dans les tableaux indique un paramètre ou un radionucléide non mesuré.
- Les moyennes indiquées sont des valeurs calculées par pondération de l'incertitude associée à chaque résultat individuel. À cette moyenne est associée une incertitude.
- Les résultats sont assortis de commentaires faisant parfois référence aux mesures acquises antérieurement. Dans cette édition, le bilan fait ressortir certaines séries chronologiques, notamment à travers des focus spécifiques.

Expression des résultats sous forme de valeurs moyennes

Pour restituer dans ce bilan les mesures de la radioactivité dans l'environnement de manière plus synthétique et représentative, l'IRSN a choisi d'exprimer les résultats acquis sous la forme d'un estimateur unique qui tient compte de toutes les valeurs acquises en un point au cours de la période considérée, y compris des valeurs inférieures aux seuils de décision. Cette présentation évite de délivrer l'ensemble des résultats individuels dans des tableaux ou graphiques de manière trop répétitive, tout en restant scientifiquement rigoureuse.

L'estimateur choisi correspond à une moyenne pondérée (m), associée à une incertitude (um). La méthode consiste à prendre les valeurs significatives avec leur incertitude associée et à substituer aux valeurs dites inférieures au seuil de décision ($< Y$), une valeur Y associée à une incertitude de $Y/2$. Cette méthode de substitution n'est pas la plus précise mathématiquement, mais ne minimise pas l'influence possible de valeurs considérées comme non significatives.

Le meilleur estimateur de la moyenne d'un ensemble de valeurs Y_i associées à des incertitudes u_i (y compris les valeurs substituées précédemment), peut être calculé comme suit :

$$\text{Moyenne pondérée} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{u_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i^2}}$$

$$\text{avec comme incertitude} : u_m = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i^2}}}$$

À titre d'exemple, si l'on dispose des résultats de mesures ci-dessous (Bq/L) :

Échantillon	Résultat	Incertitude
A1	130	20
A2	140	10
A3	< 160	

Le tableau des résultats pour le calcul de la moyenne pondérée est le suivant (Bq/L) :

Échantillon	Résultat	Incertitude
A1	130	20
A2	140	10
A3	160	80

Le calcul de cette moyenne s'exprime de la façon suivante :

$$m = \frac{\frac{130}{20^2} + \frac{140}{10^2} + \frac{160}{80^2}}{\frac{1}{20^2} + \frac{1}{10^2} + \frac{1}{80^2}} = 138,0$$

L'incertitude associée est :

$$u_m = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{20^2} + \frac{1}{10^2} + \frac{1}{80^2}}} = 9,0$$

La moyenne pondérée correspondant aux trois mesures A1, A2 et A3 est donc égale à $138,0 \pm 9,0$ Bq/L.

Arrondissement

L'arrondissement utilisé pour l'expression des résultats sous forme de moyenne est établi de manière à pouvoir disposer de deux chiffres significatifs sur l'incertitude associée au résultat.

Lorsque le troisième chiffre significatif est compris entre 0 et 5, le second est arrondi au chiffre inférieur. Lorsque le troisième chiffre significatif est compris entre 5 et 9, le second est arrondi au chiffre supérieur. Chaque résultat est ensuite exprimé avec le même nombre de chiffres après la virgule que son incertitude.

À titre d'exemple, si l'on dispose du résultat suivant : $23,12548 \pm 1,58569$ Bq/L

- La valeur significative retenue sur l'incertitude sera 1,6
- Le résultat exprimé = $23,1 \pm 1,6$ Bq/L

Le détail des règles utilisées pour l'arrondissement des valeurs des mesures et des moyennes est décrit dans le document : « *Moyenne, arrondissement et nombre de chiffres significatifs pour les essais interlaboratoires organisés par le STEME/LEI* » – Document technique IRSN/STEME/DT/2009 – 07.

Conversion de certains résultats pour une meilleure compréhension

Afin d'exploiter tous les résultats transmis au RNM et de restituer une information synthétique et compréhensible tout en minimisant l'utilisation d'unités diverses, l'IRSN a parfois appliqué des facteurs de conversion aux résultats bruts (Bq/kg frais \leftrightarrow Bq/kg sec par exemple). Les facteurs de conversion appliqués ont été extraits des différentes bases de données de l'IRSN (En-Cours, Sylvestre).

XI.2 GLOSSAIRE

AASQA : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air.

Acro : Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest.

Actinide : famille d'éléments chimiques de numéro atomique égal ou supérieur à l'actinium (numéro atomique 89). Quatre actinides existent à l'état naturel : l'actinium (89), le thorium (90), le protactinium (91) et l'uranium (92). Il existe également des actinides artificiels, ce sont les transuraniens (plutonium, américium, neptunium et curium). On qualifie de « mineurs » ceux que l'on ne sait pas recycler pour produire de l'électricité et de « majeurs » ceux que l'on sait recycler (uranium et plutonium).

Activation : processus par lequel des noyaux atomiques sont rendus radioactifs sous l'action d'un rayonnement (neutrons, gamma, etc.) d'un flux de neutrons ou d'autres particules.

Activité : nombre de désintégrations spontanées de noyaux atomiques par unité de temps. L'unité d'activité est le Becquerel (Bq).

Aérosol : suspension, dans un milieu gazeux, de particules solides ou liquides ou les deux, présentant une vitesse de chute négligeable. Dans l'air et dans les conditions normales, ceci correspond à des particules de diamètres inférieurs à 100 micromètres, les plus fines n'ayant que quelques fractions de nanomètres.

AFCN : Agence fédérale de contrôle nucléaire (Belgique).

Afnor : Association française de normalisation.

Alpha (symbole α) : rayonnement composé de noyaux d'hélium 4, fortement ionisant mais très peu pénétrant. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter sa propagation.

α global (alpha global) : indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs alpha.

Anccli : Association nationale des comités et commissions locales d'information.

Andra : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Areva : groupe industriel français intervenant notamment dans le cycle du combustible et la fabrication d'installations nucléaires.

ARS : Agence régionale de santé.

ASN : Autorité de sûreté nucléaire.

Atome : constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

Autorisation de rejet : elle fixe, pour chaque installation, les limites des rejets d'effluents liquides ou gazeux et les conditions de leur contrôle. Elle est accordée par arrêté interministériel, après dépôt d'un dossier soumis aux ministères chargés de l'Industrie, de la Santé et de l'Environnement.

Becquerel (Bq) : unité de mesure, légale et internationale, utilisée pour la radioactivité. Le becquerel (Bq) est égal à une désintégration par seconde. Multiples les plus courants : méga (MBq) pour 1 million de becquerels, giga (GBq) pour 1 milliard de becquerels, téra (TBq) pour mille milliards de becquerels, ou sous-multiple : milli (mBq) pour 1 millième de becquerel.

Bêta (symbole β) : rayonnement composé d'électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffit à l'arrêter.

β global (bêta global) : indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs bêta.

BNEN : Bureau national de normalisation d'équipements nucléaires. Le BNEN est l'un des 31 bureaux de normalisation sectoriels qui composent le système national de normalisation animé par l'Afnor.

Bruit de fond (bdf) : en métrologie, il indique le niveau de comptage induit par l'environnement, la composition des réactifs et l'électronique de l'appareil. Il convient de soustraire ce bruit de fond (utilisation d'un « blanc ») à la valeur de mesure brute pour déterminer l'activité nette contenue dans un échantillon. En termes environnementaux, il représente un niveau d'activité mesurée à un point hors influence de toute source de radioactivité artificielle et dont on ne peut s'affranchir.

CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

Césium (Cs, numéro atomique 55) : métal rare et toxique dont les caractéristiques sont comparables à celles du potassium. Les isotopes 134 et 137 sont des produits de fission radioactifs dont la période radioactive est de 2,2 ans pour le premier et de 30,17 ans pour le second.

Cli : Commission locale d'information.

CNPE : Centre nucléaire de production d'électricité.

Coefficient de dose : dose reçue par unité d'activité par un individu exposé à un (ou des) rayonnement(s). Ce terme est générique et sa définition diffère selon la voie d'atteinte considérée :

- dans le cas d'une exposition interne (inhalation ou ingestion), le coefficient de dose est représenté par la dose (engagée) par unité d'incorporation (DPUI). Il s'exprime en Sv/Bq ;
- dans le cas d'une exposition externe à un panache, ou de l'immersion dans l'eau, le coefficient de dose est le débit de dose par unité d'activité volumique. Il s'exprime en (Sv/s)/(Bq/m³) ;
- dans le cas d'une exposition externe à un dépôt au sol en surface, le coefficient de dose est le débit de dose par unité d'activité surfacique. Il s'exprime en (Sv/s)/(Bq/m²) ;
- dans le cas d'une exposition externe à un dépôt au sol en profondeur, le coefficient de dose est le débit de dose par unité d'activité volumique. Il s'exprime en (Sv/s)/(Bq/m³).

Dans le cas d'une exposition interne (DPUI), les coefficients de dose tiennent compte du métabolisme des radionucléides dans l'organisme une fois ingérés ou inhalés, de la nature et de l'énergie des rayonnements émis, de la sensibilité des tissus à la radioactivité (radiosensibilité).

Les coefficients de dose DPUI sont calculés grâce à des modèles décrivant le cheminement des radionucléides dans les différentes parties de l'organisme et à l'utilisation de modèles dosimétriques. Ces modélisations incorporent le dernier état des connaissances en radiobiologie. Les tables donnant les coefficients de doses sont fréquemment mises à jour. Il existe différentes bases de données de coefficients de dose interne et externe dans le monde

(base Euratom 96/29, base de la Commission internationale de protection radiologique...) pouvant chacune être privilégiée en fonction de la voie d'atteinte considérée.

Cofrac : Comité français d'accréditation.

Combustible nucléaire : matière fissile constituant la partie active du cœur d'un réacteur. Pour qu'une réaction de fission en chaîne soit possible, l'uranium naturel, mélange comprenant 0,7 % d'uranium 235 – fissile – et 99,3 % d'uranium 238 – non fissile –, a dû être préalablement enrichi à 4 % en uranium 235. Cet uranium est utilisé sous la forme d'oxyde d'uranium, particulièrement stable chimiquement.

Comurhex (Conversion Métal URanium HEXafluorure) : filiale d'Areva, cette société pilote deux sites industriels en France. Le site industriel Comurhex Malvési assure la première étape de conversion des concentrés uranifères provenant des sites miniers en tétrafluorure d'uranium (UF₄) pour des électriciens du monde entier. Cette transformation se poursuit sur le site industriel de Comurhex Pierrelatte (Drôme) qui transforme le tétrafluorure d'uranium en hexafluorure d'uranium (UF₆), dernière étape avant l'enrichissement.

Criirad : Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité.

CSP : Code de la santé publique français.

Cycle du combustible : ensemble des opérations industrielles auxquelles est soumis le combustible nucléaire. Ces opérations comprennent notamment : l'extraction et le traitement du minerai d'uranium, la conversion, l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible, le traitement des combustibles usés, le recyclage des matières fissiles récupérées pour fabriquer de nouveaux combustibles et la gestion des déchets radioactifs. Le cycle est dit « ouvert » lorsqu'il n'inclut pas le recyclage des combustibles usés, ceux-ci étant alors considérés comme des déchets destinés directement au stockage après leur utilisation dans le réacteur. Par opposition, le cycle du combustible est dit « fermé » s'il comprend le traitement des combustibles usés et le recyclage de matières fissiles issues du traitement.

DDCSPP : direction départementale de la cohésion sociale et de la protection des populations.

DDPP : Direction départementale de la protection des populations.

Débit de dose : intensité d'irradiation (énergie absorbée par la matière par unité de masse et de temps). L'unité légale est le gray par seconde (Gy/s).

Déchet : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou, plus généralement, tout bien abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

Décroissance radioactive ou désactivation : diminution naturelle de l'activité nucléaire d'une substance radioactive par désintégrations spontanées.

Démantèlement : ensemble des opérations d'enlèvement des éléments constitutifs d'une installation nucléaire déclassée (structures et composants divers). Le démantèlement peut être partiel ou total.

DGAL : Direction générale de l'alimentation.

DGCCRF : Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes.

DGPR : Direction générale de la prévention des risques. La DGPR est constituée d'un service des risques technologiques (en charge notamment des risques radiologiques), un service de la prévention des nuisances et de la qualité de l'environnement et un service des risques naturels et hydrauliques.

DGS : Direction générale de la santé.

Dose absorbée : quantité d'énergie absorbée en un point par unité de masse de matière (inerte ou vivante). Elle s'exprime en gray (Gy) : 1 gray correspond à une énergie absorbée de 1 joule par kilogramme de matière.

Dose efficace : somme des doses équivalentes délivrées aux différents organes et tissus d'un individu, pondérées par un facteur propre à chaque organe ou tissu. Elle s'exprime en Sievert (Sv).

Dosimétrie : détermination, par évaluation ou par mesure, de la dose de rayonnements ionisants absorbée par une substance ou un individu.

Dosimètre DTL : dosimètre passif thermo luminescent.

Dosimètre RPL : dosimètre passif radio photo luminescent.

Dreal : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.

EDF : Électricité de France.

Effluent : tout gaz ou liquide, qu'il soit radioactif ou non, issu des installations.

Électron : particule élémentaire chargée d'électricité négative. Il entre dans la composition des atomes.

Émissaire : exutoire des effluents rejetés par une installation.

EMM : État-major de la Marine nationale.

Entreposage : dépôt temporaire de déchets radioactifs.

Euratom : ce traité, signé à Rome en 1957, institue la Communauté européenne de l'énergie atomique dont la mission consiste à contribuer, par le développement de l'énergie nucléaire, à la mise en commun des connaissances, des infrastructures et du financement, et à assurer la sécurité d'approvisionnement dans le cadre d'un contrôle centralisé.

Eurodif : usine européenne d'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse.

Exposition : l'exposition est le fait d'être exposé aux rayonnements ionisants (exposition externe si la source est située à l'extérieur de l'organisme, exposition interne si la source est située à l'intérieur de l'organisme, etc.).

FBFC : société franco-belge de fabrication de combustibles.

Filière : terme utilisé pour désigner un type de réacteurs nucléaires capables de produire de l'énergie. Il se définit par un ensemble de spécifications communes telles que la nature du combustible, le modérateur, la nature du fluide de refroidissement, etc. On distingue par exemple la filière uranium naturel-graphite-gaz (UNGG), les filières à eau légère, les filières à neutrons rapides (RNR)...

Fissiles : noyaux atomiques pour lesquels on peut induire la fission, par capture d'un seul neutron. Les noyaux fissiles ont une configuration d'énergie très proche de la fission spontanée.

Fission : éclatement du noyau d'un atome sous l'action de neutrons. Cette réaction est accompagnée d'une émission de neutrons, de rayonnements ionisants et d'un fort dégagement de chaleur. C'est ce dernier qui est utilisé pour créer l'énergie électrique dans une centrale électronucléaire.

Fusion : formation, à partir de deux noyaux légers, d'un noyau lourd. Cette réaction est accompagnée d'un dégagement d'énergie. Des recherches sont en cours pour utiliser l'énergie dégagée par la fusion pour produire de l'électricité.

Gamma (symbole γ) : rayonnement électromagnétique, très pénétrant mais peu ionisant, émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger.

Gaz rares : gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon et le xénon.

Gestion des déchets radioactifs : ensemble des dispositions et opérations, réglementaires ou techniques, relatives aux déchets radioactifs depuis leur production jusqu'à leur stockage inclusivement, destinées à assurer la protection des personnes et de l'environnement.

Gray (Gy) : unité d'énergie transmise à la matière par unité de masse (joule par kg) lors de l'absorption de la dose de rayonnement.

GSIE : Groupement de scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire.

Hélium 4 : noyau formé de deux protons et de deux neutrons. Assemblage particulièrement stable, il peut être émis par des noyaux lourds en recherche de stabilité. On l'appelle alors rayon alpha.

ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement.

ILL : Institut Laue – Langevin. Organisme de recherche international situé à Grenoble. Il comprend un réacteur de recherche, le réacteur à haut-flux (RHF, INB n° 67) d'une puissance de 58 MW, utilisé pour produire des faisceaux de neutrons.

INB : Installation nucléaire de base.

INBS : Installation nucléaire de base secrète.

Incertitude de mesure : marge d'imprécision sur la valeur de la mesure d'une grandeur physique.

InVS : Institut national de veille sanitaire.

Iode (I, numéro atomique 53) : corps simple dont les isotopes radioactifs sont présents dans les produits de fission. Tous les iodures radioactifs (131, 132, 133, etc.) ont une durée de vie courte (ex : l'isotope 131 a une période radioactive de 8,02 jours) à l'exception de l'iode 129 dont la période est de près de 16 milliards d'années.

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Isotopes : éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons. Ils ont le même nom, et les mêmes propriétés chimiques. On connaît actuellement environ 325 isotopes naturels et 1 200 isotopes créés artificiellement.

K : symbole de l'élément potassium. Il est exprimé généralement en mg/L ou mg/kg (milligramme par litre ou par kilogramme). 1 gramme de potassium naturel a une activité (β/γ) de 31 Bq due à la décroissance de l'isotope radioactif de masse 40 (^{40}K).

Limite de détection (LD) : la limite de détection représente la plus petite valeur d'une activité qui peut être décelée par une méthode de mesure dans des conditions définies et pour un degré de confiance choisi.

Matrice : sous-partie d'un compartiment (atmosphérique, terrestre, aquatique continental ou marin). Exemples : eau de pluie, sol, productions végétales, sédiments, mollusques...

MES : Matières en suspension.

MOX (Mixed Oxide) : mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium destiné à la fabrication de certains combustibles nucléaires.

MW : mégawatt.

Neutrinos : particules élémentaires sans charge électrique ni masse connue émises lors d'interactions faibles.

Neutron : particule fondamentale électriquement neutre qui entre, avec les protons, dans la composition du noyau de l'atome. C'est le neutron qui provoque la réaction de fission des noyaux dont l'énergie est utilisée dans les réacteurs nucléaires.

Noyau : partie centrale des atomes, de charge positive. Dix mille fois plus petit que l'atome, il en contient pourtant quasiment toute la masse. Le noyau est un assemblage de protons et de neutrons liés par l'interaction forte.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

Opera-Air : Observatoire permanent de la radioactivité de l'environnement dans l'air de l'IRSN regroupant des stations « AS » et « TGD ».

Période radioactive (ou demi-vie) : temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

Photons : particules élémentaires sans charge ni masse, porteuses de l'interaction électromagnétique.

Plutonium (Pu, numéro atomique 94) : élément chimique transuranien ; l'isotope 239 a une période de 24 110 ans.

Produits de fission : fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure de nucléides formés selon ce processus.

Proton : particule élémentaire chargée positivement, constituant le noyau avec le neutron.

Radioactivité : propriété de certains éléments dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

Radionucléide : isotope radioactif d'un élément. Exemples : ^3H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène. ^{14}C : carbone 14, isotope radioactif du carbone.

Radioprotection : ensemble de mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et des travailleurs au regard de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Radiothérapie : utilisation du pouvoir destructeur de la radioactivité dans le but de détruire des cellules malades, en minimisant les dommages aux cellules saines environnantes.

Radon (Rn) : gaz radioactif omniprésent à la surface de la Terre. Il possède trois isotopes naturels (^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn) descendants des radioéléments présents dans les sols (^{235}U , ^{232}Th et ^{238}U).

Rayonnements : ondes électromagnétiques (gamma) ou particules (alpha, bêta, neutrons) émises lors de la désintégration de radionucléides. Les rayons X sont également des ondes électromagnétiques, mais ils sont émis par des tubes électroniques. Les rayonnements sont dits « ionisants » car ils produisent des ions en traversant la matière. Les rayons gamma, X, ultra-violet, et la lumière visible sont de même nature, mais différent par leur pouvoir de pénétration et leur capacité à créer des ionisations.

Rayonnement ionisant : rayonnement susceptible d'arracher des électrons à la matière.

REP : Réacteur à eau sous pression. Désigne un réacteur nucléaire utilisant l'uranium ou l'oxyde mixte uranium-plutonium comme combustible et de l'eau ordinaire maintenue à haute pression (155 bars, afin d'éviter sa vaporisation) comme fluide caloporteur. Le parc électronucléaire français repose sur l'utilisation de cette filière, qui compte le plus grand nombre d'unités en service dans le monde.

RNM : Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement.

SCL : Service commun des laboratoires (anciennement les laboratoires de la DGC-CRF). Le SCL effectue depuis 1986, date de l'accident de Tchernobyl, des contrôles réguliers sur les niveaux de radioactivité présents dans les produits de consommation.

SET : filiale d'Areva, la Société d'enrichissement du Tricastin est le maître d'ouvrage du projet et l'exploitant de l'usine Georges Besse II. Elle est implantée sur le site du Tricastin.

Seuil de décision (SD) : correspond à une valeur de comptage sur un appareil de mesure pour laquelle on estime que, compte tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond, on peut affirmer avec une probabilité suffisamment élevée de ne pas se tromper qu'un comptage supérieur à cette valeur SD révèle effectivement la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré.

SICN : filiale d'Areva, la Société industrielle de combustible nucléaire produisait les combustibles nucléaires pour la filière uranium naturel graphite-gaz (UNGG) sur deux sites aujourd'hui reconvertis dans des activités non nucléaires (Annecy) ou en cours de démantèlement (Veurey-Voroize).

Sievert (Sv) : unité légale d'équivalent de dose (ou dose efficace) qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée sur un organisme vivant. L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable mais obtenue par le calcul. Elle dépend de l'énergie transmise aux tissus, du type de rayonnement et du tissu traversé.

Socatri : filiale d'Areva, la Société auxiliaire du Tricastin comprend une installation nucléaire de base (INB 138) et une installation d'Assainissement et de récupération d'uranium (ARU).

Spectrométrie : analyse de l'intensité d'un rayonnement émis par une source en fonction de son niveau d'énergie. Cette méthode permet à la fois d'identifier les radioéléments et de préciser leur « activité ».

SPRA : Service de protection radiologique des armées. Le SPRA est placé sous la responsabilité du directeur central du service de santé des armées.

Station AS : station fixe de prélèvement d'aérosols.

Station TGD : station de prélèvement d'aérosols à « très grand débit » de l'IRSN.

Stérile minier : zone minérale dont l'exploitation est jugée non rentable en raison de sa faible concentration.

Strontium (Sr, numéro atomique 38) : élément alcalino-terreux dont certains isotopes sont très abondants dans les produits de fission, en particulier l'isotope 90, qui se fixe dans les tissus osseux et dont la période radioactive est de 28,15 ans.

Traitement des combustibles usés : ensemble des opérations relatives à l'extraction des matières fissiles et fertiles (uranium et plutonium) des combustibles usés, de façon à permettre leur réutilisation et pour conditionner les différents déchets sous une forme apte à l'entreposage ou au stockage.

Transuraniens : famille des éléments chimiques plus lourds que l'uranium (numéro atomique 92). Les principaux transuraniens sont : neptunium (93), plutonium (94), américium (95), curium (96).

UNGG : réacteur à uranium naturel gaz graphite. Des réacteurs de ce type ont fonctionné sur les sites des CNPE de Bugey, Chinon et Saint-Laurent-des-Eaux.

U pondéral : teneur massique en uranium dans une matrice, sans distinction de sa composition isotopique. Elle peut être mesurée ou déduite de l'activité (exprimée en Bq) de chacun des isotopes (on parle alors d'« équivalent U pondéral »).

Uranium : élément chimique de numéro atomique 92 et de symbole U, possédant trois isotopes naturels : l'uranium 234, l'uranium 235 et l'uranium 238. L'uranium 235 est le seul nucléide fissile naturel, une qualité qui explique son utilisation comme source d'énergie.

XI.3 RÉFÉRENCES

Analyse de l'impact de l'accident de Fukushima en France (métropole et DROM-COM) à partir des résultats de la surveillance renforcée de la radioactivité de l'environnement, collectif IRSN/DEI, rapport IRSN/DEI/2011-01.

Bilan radiologique de l'environnement français – synthèse des résultats de surveillance des réseaux de surveillance de l'IRSN, collectif IRSN/DEI, rapports IRSN/DEI/SESURE 2005-33 (2004), 2007-30 (2005), 2007-72 (2006), 2008-48 (2007), 2009-04 (2008), 2010-06 (2009).

Bilan de la surveillance de la radioactivité en Polynésie française de l'IRSN en 2010 et suivi de l'impact de l'accident de Fukushima en Polynésie française et Nouvelle-Calédonie, de mars à mai 2011, Bouisset P., rapport IRSN/DEI/SESURE/2011-40.

Bilan sur la qualité radiologique des eaux du robinet en France – 2008 à 2009, rapport ASN-DGS-IRSN, février 2011 (disponible sur les portails Internet de l'ASN, de la DGS et de l'IRSN).

Constat radiologique régional, étude prototype « Val de Loire », Roussel-Debet S., rapport IRSN/DEI/SESURE/2010-22.

Constat radiologique régional « Vallée du Rhône » - État d'avancement fin 2010 - milieu terrestre, Roussel-Debet S., Saey L., Mourier D., rapport IRSN/DEI/SESURE 2011-02.

Constat radiologique régional. Objectifs et méthode – Application au quart nord-est de la France, Claval D., rapport IRSN/DEI/SESURE 2011-11.

Constat radiologique régional Vallée du Rhône. État d'avancement du volet aquatique, Saey L., Roussel-Debet S., rapport IRSN/SESURE 2011-34.

Constat radiologique Vallée du Rhône, rapport final relatif au milieu terrestre, Roussel-Debet S., rapport IRSN/PRP-ENV/SESURE/2012-06.

Contribution des rapports des isotopes de l'uranium à l'évaluation des rejets dans l'environnement, Pourcelot L., rapport IRSN/PRP-ENV/SESURE n° 2009-03.

État radiologique de l'environnement proche de la société 2M Process (Saint-Maur-des-Fossés) – Incident de contamination au tritium, collectif IRSN/DEI, rapport IRSN/DEI/SESURE/2011-03.

Exposition de la population française aux rayonnements ionisants, Rannou A., Aubert B., Scanff P., rapport IRSN/DRPH/SER 2006-02.

Fiches IRSN « Les retombées en France des essais nucléaires atmosphériques » – disponibles sur le site Internet de l'IRSN : http://environnement.irsln.fr/document/site_21/fckfiles/File/internet_surveillance_environnement/IRSN_serie_fiches_tirs_26_01_2009_web.pdf

Fiches IRSN « Radionucléides et environnement » – disponibles sur le site Internet de l'IRSN : <http://www.irsln.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucléides/Pages/Fiches-Radionucléides-et-environnement-2938.aspx>

Inventaire national des sites miniers – septembre 2007 – version 2 réalisée dans le cadre du programme Mimausa (Mémoire et impact des mines d'uranium : synthèse et archives), rapport IRSN/MEEDDAT.

L'uranium, de l'environnement à l'homme, Métivier H., collection « IPSN », édition EDP Sciences, 2001.

La radioactivité de l'environnement : le bruit de fond et ses origines ; l'influence du fonctionnement normal actuel des installations nucléaires, Renaud P., congrès SFRP Angers, juin 2009.

La surveillance de la radioactivité de l'environnement, Contrôle n° 188, revue de l'Autorité de sûreté nucléaire, juin 2010.

Le césium, de l'environnement à l'homme, Robeau D., Daburon F., Métivier H., collection IPSN, édition EDP Sciences, 2000.

Le cycle du combustible nucléaire, Patarin L., collection « Génie Atomique », éditions EDP Sciences, 2002.

Le radon, collection thématique IRSN, 2012.

Le réseau national de mesures de radioactivité de l'environnement, Leprieur F., congrès national de radioprotection (SFRP), Tours, juin 2011.

Le tritium dans l'environnement, collectif IRSN/DEI, rapports IRSN/DEI/2009-05 et IRSN/DEI/2010-01.

Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français, Renaud P., Champion D., Brenot J., éditions Lavoisier, 2007.

Livre blanc du tritium – groupe de réflexions menées de mai 2008 à avril 2010 sous l'égide de l'ASN, Autorité de sûreté nucléaire – disponible sur le portail Internet www.asn.fr, rubrique Publications, 2010.

Mapping of the geogenic radon potential in France to improve radon risk management: methodology and first application to region Bourgogne, G. Ielsch, M.E. Cushing, Ph. Combes, M. Cuney, Journal of Environmental Radioactivity 101 (2010) 813-820.

Portail Internet du Réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement : www.mesure-radioactivite.fr

Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2011, rapport ASN, 2012.

Rapport d'analyses en appui à l'inspection du site de Malvézi – Juin 2011, Pourcelot L., rapport IRSN/DEI/SESURE n° 2011-37.

Rapport de gestion du Réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement, Leprieur F. et al., rapport IRSN 2004-2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011.

Rapport des isotopes de l'uranium dans l'environnement du site nucléaire du Tricastin, Pourcelot L., Claval D., Gontier G., rapport IRSN/DEI/SESURE n° 2011-05.

XI.4 CRÉDITS ET REMERCIEMENTS

Le *Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011* est publié par l'IRSN et coordonné par le Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement (SESURE) du Pôle radio-protection – environnement – déchets – crise (PRP) de l'Institut.

Coordination	Fabrice LEPRIEUR	PRP-ENV/SESURE/LS3E
Exploitation des résultats IRSN et RNM Rédaction Cartographie SIG*	Thomas BOISSIEUX	PRP-ENV/SESURE/LS3E
	Donato D'AMICO	PRP-ENV/SESURE/LS2A
	Christophe DEBAYLE*	PRP-ENV/SESURE/LS2A
	Jean-Philippe GOYEN	PRP-ENV/SESURE
	Fabrice LEPRIEUR*	PRP-ENV/SESURE/LS3E
	Erwan MANACH	PRP-ENV/SESURE/LS2A
	Olivier PIERRARD	PRP-ENV/SESURE/LS3E
	Damien TOURNIEUX	PRP-ENV/SESURE/LS3E
Ont également contribué à la rédaction et/ou à la relecture de ce bilan	Nathalie CHAPTAL-GRADOZ	PDS-DEND/SACI
	Patrick BOUISSET	PRP-ENV/SESURE/LESE
	Denis BOULAUD	PRP-ENV
	Dominique BOUST	PRP-ENV/SERIS/LRC
	Valérie BRUNO	PRP-ENV/SESURE
	Pascale DELABBAYE	PRP-ENV/SESURE
	Marie-Odile GALLERAND	PRP-DGE/SEDRAN/BRN
	Géraldine IELSCH	PRP-DGE/SEDRAN/BRN
	Olivier MASSON	PRP-ENV/SESURE/LERCM
	Guillaume MANIFICAT	PRP-ENV/SESURE
	Jean-Marc PERES	PDS-DEND
	Philippe RENAUD	PRP-ENV/SESURE/LERCM
	Sylvie ROUSSEL-DEBET	PRP-ENV/SESURE/LERCM
	Laure TARDIEU	PRP-CRI/SIAR/GIRO NORD
Hervé THEBAULT	PRP-ENV/SESURE/LERCM	
	Ainsi que l'ASN et les membres du comité de pilotage du RNM	
Rédaction des focus	ACRO, AFCN (Belgique), ASN, CEA, DGAL et IRSN (SESURE, STEME, SEDRAN, SERIS)	
Support technique du RNM	Bruno GULDNER	IRSN/PRP-ENV/Groupe informatique et scientifique
	Laure WYCKAERT	IRSN/PRP-ENV/Groupe informatique et scientifique

L'IRSN souhaite remercier l'ensemble des acteurs du RNM (chapitre II), ainsi que les laboratoires agréés participant au réseau, pour leur collaboration à ce travail commun.

Le programme de surveillance du territoire de l'IRSN nécessite les compétences techniques et les moyens métrologiques de plusieurs laboratoires de l'Institut :

- le laboratoire de surveillance et d'expertise environnementale par échantillonnage ;
- le laboratoire de surveillance atmosphérique et d'alerte ;
- le laboratoire d'études radioécologiques en milieux continental et marin ;
- le laboratoire de radioécologie de Cherbourg-Octeville ;
- le laboratoire de traitement des échantillons ;
- le laboratoire de mesure nucléaire ;
- le laboratoire de mesure de la radioactivité dans l'environnement ;
- les groupes régionaux du service d'intervention et d'assistance en radioprotection ;
- le bureau d'expertise et d'étude de la radioactivité naturelle.

Les prélèvements d'échantillons effectués dans le cadre de ce programme sont répartis sur l'ensemble du territoire et ne pourraient se faire sans la contribution de nombreux correspondants :

- les services techniques des exploitants nucléaires et des centres de recherches ;
- Météo France ;
- la Marine nationale ;
- des institutions locales et des services déconcentrés de l'État (mairies, préfectures, agences régionales de santé) ;
- l'établissement national des produits de l'agriculture et de la mer (France Agrimer) ;
- la Direction générale de l'alimentation (DGAL) ;
- la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF).

Pour toute information complémentaire, vous pouvez contacter :

IRSN/PRP-ENV/SESURE
31, rue de l'Écluse
BP 40035
78116 Le Vésinet Cedex

IRSN

Siège social
31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses

Conception et réalisation : Chromatiques Éditions
Crédit photos couverture : H. Lepage/IRSN
Imprimé sur papier issu de forêts durablement gérées
et par un imprimeur certifié Imprim'Vert.

Siège social
31, avenue de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
RCS Nanterre B 440 546 018

Téléphone
+33 (0)1 58 35 88 88

Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

Site Internet
www.irsn.fr

**Pôle radioprotection -
environnement - déchets - crise (PRP)**
**Service d'étude et de surveillance
de la radioactivité
dans l'environnement (SESURE)**
31, rue de l'Écluse
BP 40035
78116 Le Vésinet Cedex

Téléphone
+33 (0)1 30 15 52 42