

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2008

Synthèse des résultats des réseaux
de surveillance de l'IRSN


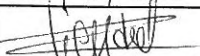

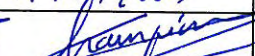



Projet 3.1.1. - Macro processus R3

BILAN DE L'ETAT RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT FRANÇAIS EN 2008

SYNTHESE DES RESULTATS DES RESEAUX DE SURVEILLANCE DE L'IRSN

Rapport DEI n° 2009-04

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur	Chef du SESURE	Directeur de la DEI	Directeur Général
Noms	Voir liste	O. PIERRARD	J.M. PERES	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	31/08/2009	10/11/2009	10/11/2009	17/11/2009	25/11/09
Signatures					

DIFFUSION : Libre Interne Limitée

Ont contribué à l'élaboration de ce rapport :

Nom	Organisme
CHAPTAL-GRADOZ Nathalie	Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement
CHEVREUIL Martial	
D'AMICO Donato	
DEBAYLE Christophe	
LEPRIEUR Fabrice	
MANIFICAT Guillaume	
PERES Jean-Marc	
PIERRARD Olivier	
TOURNIEUX Damien	
VERAN-VIGUIE Marie-Pierre	
RENAUD Philippe	
ROUSSEL-DEBET Sylvie	
MASSON Olivier	
POURCELOT Laurent	
FAYOLLE Corinne	Service de traitement des échantillons et de mesure pour l'environnement
LOYEN Jeanne	
ROBE Marie-Christine	
PICOLO Jean-Louis	
GALLERAND Marie-Odile	Service d'analyse des risques liés à la géosphère

Le programme de surveillance radiologique du territoire de l'IRSN nécessite les compétences techniques et les moyens métrologiques de plusieurs laboratoires :

- le laboratoire de veille radiologique de l'environnement ;
- 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 ;
- le service d'intervention et d'assistance en radioprotection.

La réalisation des prélèvements d'échantillons répartis sur l'ensemble du territoire ne pourrait se faire sans la contribution de nombreux correspondants :

- les services techniques des exploitants du nucléaire et des centres de recherches ;
- Météo France ;
- la Marine nationale ;
- des institutions locales et des services déconcentrés de l'état (mairies, préfetures, directions régionales et départementales des affaires sanitaires et sociales - DRASS et DDASS) ;
- 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).

Contact :

Pour toute information complémentaire, vous pouvez contacter :

IRSN/DEI/SESURE/LVRE

31 rue de l'Ecluse

BP 40035

78116 Le Vésinet Cedex

- SOMMAIRE -

I. AVANT PROPOS.....	9
II. RAPPEL DES MISSIONS DE L'IRSN.....	11
III. MODE DE PRESENTATION DES RESULTATS.....	14
IV. LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT.....	15
IV.1. LES OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE	15
IV.2. ORGANISATION DE LA SURVEILLANCE	16
IV.2.1 Dispositifs mis en œuvre et évolutions.....	16
IV.2.2 Les réseaux de télémessure de la radioactivité.....	18
IV.2.3 Les réseaux de prélèvements.....	20
IV.3. METHODOLOGIE ADOPTEE POUR LE CHOIX DES STATIONS DE SURVEILLANCE	22
IV.3.1 Choix des stations de prélèvements.....	22
IV.4. CHOIX DES MATRICES ENVIRONNEMENTALES	23
IV.4.1 Compartiment terrestre.....	23
IV.4.2 Compartiment aquatique continental.....	24
IV.4.3 Compartiment marin.....	24
IV.5. PLANS D'ANALYSES	25
IV.6. PREPARATION ET CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS	26
IV.7. RADIOCHIMIE ET MESURES PHYSIQUES.....	27
V. LES RADIONUCLEIDES PRESENTS DANS L'ENVIRONNEMENT FRANÇAIS.....	30
V.1. LES RADIONUCLEIDES D'ORIGINE NATURELLE.....	30
V.2. LES RADIONUCLEIDES D'ORIGINE ARTIFICIELLE.....	31
V.2.1 Césium 137.....	32
V.2.2 Strontium 90.....	32
V.2.3 Transuraniens (plutonium, americium).....	32
V.2.4 Tritium et carbone 14.....	32
V.2.5 Autres radionucléides artificiels	33
V.3. EXPOSITION AUX DIFFERENTES SOURCES DE RAYONNEMENTS IONISANTS	34
VI. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE GENERALE DU TERRITOIRE.....	35
VI.1. LE COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE	35
VI.1.1 Le réseau Téléray.....	35
VI.1.2 Le réseau de dosimètres thermoluminescents (DTL).....	38
VI.1.3 Le réseau OPERA-AIR : les aérosols atmosphériques.....	39
VI.1.4 Le réseau SARA (télésurveillance de la radioactivité des aérosols).....	44
VI.1.5 Les eaux de pluies.....	45
VI.2. LE MILIEU CONTINENTAL.....	46
VI.2.1 Les cours d'eau (fleuves et rivières).....	46
VI.2.2 Le milieu terrestre.....	50
VI.3. LE LITTORAL.....	57
VI.4. CONSTATS RADIOLOGIQUES REGIONAUX	59
VI.4.1 Principe.....	59
VI.4.2 Pré-étude Vallée de la Loire	59
VII. EVENEMENTS RADIOLOGIQUES DE L'ANNEE 2008	62
VII.1. DETECTION DE COBALT 58 DANS LES PRELEVEMENTS D'AEROSOLS A BELLEVILLE-SUR-LOIRE	62
VII.2. DETECTION D'URANIUM DANS L'EAU DE L'ESSONNE A PITHIVIERS	63
VII.3. SURVEILLANCE DE L'IMPACT DU REJET ACCIDENTEL D'URANIUM PAR L'USINE SOCATRI.....	64
VII.4. ETUDE DE L'IMPACT INDUIT PAR LE REJET DE CARBONE 14 A L'ATMOSPHERE, DE L'USINE SOCATRI.....	67
VII.5. SURVEILLANCE DE L'IMPACT DU REJET ACCIDENTEL D'IODE 131 PAR LE CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE FLEURUS (BELGIQUE)	68

VIII. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES SITES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE	70
VIII. 1. LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE	70
VIII. 2. LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT A PROXIMITE DES SITES NUCLEAIRES	72
VIII. 3. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AUTOUR DES ANCIENS SITES MINIERS	74
VIII. 3. 1 <i>Division minière de la Crouzille (87)</i>	76
VIII. 3. 2 <i>Site de Vendée (44)</i>	79
VIII. 4. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES INDUSTRIES SITUEES EN AMONT DANS LE CYCLE DU COMBUSTIBLE ...	80
VIII. 4. 1 <i>Site de Malvesi (11)</i>	80
VIII. 4. 2 <i>Site de Pierrelatte-Tricastin (26)</i>	84
VIII. 5. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES CENTRALES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE	86
VIII. 5. 1 <i>Compartiment atmosphérique</i>	87
VIII. 5. 2 <i>Compartiment terrestre</i>	91
VIII. 5. 3 <i>Compartiment aquatique continental</i>	94
VIII. 5. 4 <i>Compartiment marin</i>	104
VIII. 6. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES INDUSTRIES SITUEES EN AVAL DANS LE CYCLE DU COMBUSTIBLE	106
VIII. 6. 1 <i>Site de Marcoule (30)</i>	106
VIII. 6. 2 <i>Site de la Hague (50)</i>	112
VIII. 7. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES CENTRES DE STOCKAGE DES DECHETS	126
VIII. 7. 1 <i>Centre de stockage de la Manche (50)</i>	126
VIII. 7. 2 <i>Centre de stockage de Soulaines (10)</i>	126
IX. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES CENTRES DE RECHERCHE ET DES BASES NAVALES NUCLEAIRES	128
IX. 1. LES CENTRES D'ETUDES NUCLEAIRES DU CEA	129
IX. 1. 1 <i>Généralités</i>	129
IX. 1. 2 <i>Tritium</i>	132
IX. 1. 3 <i>Radionucléides autres que le tritium</i>	137
IX. 2. CENTRES DE RECHERCHES INTERNATIONAUX	142
IX. 2. 1 <i>Institut Laue Langevin - Grenoble (38)</i>	142
IX. 2. 2 <i>CERN - Prévessin (01)</i>	142
IX. 3. LES BASES NAVALES NUCLEAIRES	143
IX. 3. 1 <i>Brest (29)</i>	143
IX. 3. 2 <i>Cherbourg (50)</i>	144
IX. 3. 3 <i>Toulon (83)</i>	147
X. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES REJETS RADIOACTIFS DES SERVICES DE MEDECINE NUCLEAIRE : LE RESEAU TELEHYDRO	148
X. 1. CONTEXTE	148
X. 2. IMPLANTATION ET FONCTIONNEMENT	149
X. 3. RESULTATS ACQUIS EN 2008	150
XI. DIFFUSION DES DONNEES DE L'IRSN	151
XI. 1. SITE INTERNET THEMATIQUE « ENVIRONNEMENT » DE L'IRSN	151
XI. 2. DIFFUSION D'INFORMATION DANS LE CADRE DE TRAITES OU CONVENTIONS INTERNATIONAUX	153
XI. 2. 1 <i>La diffusion des données dans le cadre du traité EURATOM</i>	153
XI. 2. 1. 1 <i>Les données transmises à la Commission OSPAR</i>	153
XII. GLOSSAIRE	154
XIII. ELEMENTS D'INFORMATION SUR LA RADIOACTIVITE ET LES RAYONNEMENTS IONISANTS	157
XIII. 1. QU'EST-CE QUE LA RADIOACTIVITE ?	157
XIII. 2. LA PERIODE RADIOACTIVE D'UN ELEMENT	157
XIII. 3. D'OU VIENT LA RADIOACTIVITE ?	158
XIII. 3. 1 <i>Les sources d'exposition naturelle</i>	158
XIII. 3. 2 <i>Les sources d'exposition provenant des applications des rayonnements ionisants</i> ..	159

XIII. 4. LES RAYONNEMENTS IONISANTS.....	159
<i>XIII. 4. 1 Les différents rayonnements ionisants.....</i>	<i>159</i>
<i>XIII. 4. 2 Les effets biologiques des rayonnements ionisants.....</i>	<i>160</i>
<i>XIII. 4. 3 Les modes d'exposition aux rayonnements.....</i>	<i>160</i>
XIV. NOTIONS DE RADIOPROTECTION	161
XV. EXPRESSION DES RESULTATS SOUS FORME DE VALEURS MOYENNES.....	162
XVI. REFERENCES.....	163

I. AVANT PROPOS

La surveillance radiologique de l'environnement français est 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 les milieux environnementaux, dans toutes leurs composantes, restent dans un état radiologique satisfaisant qui n'induit pas une exposition excessive des personnes ou des écosystèmes ;
- détecter aussi rapidement que possible et caractériser toute élévation anormale de la radioactivité pouvant résulter d'un accident radiologique ou nucléaire survenu en France ou à l'étranger.

Pour y répondre, l'IRSN gère un ensemble de stations de prélèvements et de mesures, réparties sur la totalité du territoire, et met en œuvre deux natures de dispositifs :

- des balises de mesure automatique (environ 200) avec une transmission en temps réel, qui assurent la mesure en continu de la radioactivité dans l'air et dans les fleuves, et pouvant déclencher une alerte en cas d'élévation inhabituelle de la radioactivité ;
- la collecte régulière d'échantillons sur environ 600 stations du territoire, qui permet de quantifier les niveaux d'activité dans une vingtaine de matrices différentes (aérosols, sédiments, herbes, mousses, mollusques ...). Les échantillons sont mesurés dans les laboratoires accrédités de l'Institut.

Pour répondre aux objectifs fixés, l'implantation des stations de surveillance prend en compte la présence des sources potentielles des rejets radioactifs telles que les installations nucléaires. La stratégie de surveillance tient également compte de la connaissance des vecteurs et des mécanismes de transferts dans les compartiments surveillés. Afin d'établir des points de référence, les milieux non soumis à l'influence d'installations nucléaires sont également régulièrement caractérisés.

En 2008, près de 28000 prélèvements ont été effectués et ont donné lieu à plus de 40 000 analyses. Les réseaux de télémesure de la radioactivité ont quant à eux produit quelques 17 millions de mesures. Un marquage de l'environnement par des radionucléides artificiels est mis en évidence à proximité de sources de rejet connues (activités de l'industrie nucléaire, hospitalières) et également hors des zones d'influence, en raison de l'apport des retombées passées (essais atmosphériques d'armes nucléaires entre 1945 et 1980, accident de Tchernobyl en 1986 ...) qui affectent l'ensemble du territoire. Ce marquage est plus particulièrement observable dans les sols et dans les milieux aquatiques continentaux et marins (sédiments, mollusques et crustacés). Du point de vue qualitatif, les niveaux de radioactivité mesurés par le dispositif de surveillance de l'IRSN en 2008 sont faibles et dans la gamme habituellement observée ces dernières années. Néanmoins, les réseaux de surveillance de l'IRSN ont détecté ou caractérisé à cinq reprises une élévation inhabituelle de la radioactivité dont quatre d'origine artificielle. Parmi ces événements, décrits au chapitre VII de ce bilan, les incidents de la Socatri à Pierrelatte et l'incident de l'IRE à Fleurus (Belgique) auront marqué plus particulièrement l'été 2008. Pour ces deux événements, l'Institut a mis en œuvre au plus tôt sa capacité d'expertise et de communication pour répondre aux questionnements des autorités et du public. En particulier, l'IRSN a rédigé un rapport pour le haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) relatif à l'état du marquage des nappes phréatiques et des cours d'eau autour des sites nucléaires.

La cinquième édition de ce bilan annuel s'accompagne d'évolutions qui sont le reflet des inflexions opérées en 2008 par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance radiologique du territoire.

Ces inflexions tiennent compte :

- de la diminution des niveaux de radioactivité d'origine artificielle dans l'environnement, due à la réduction globale des rejets des installations et à la décroissance radioactive des radionucléides introduits par les essais nucléaires atmosphériques ou les accidents nucléaires ;
- du besoin, en conséquence, de pouvoir mesurer la radioactivité de l'environnement à des niveaux très bas ou sur des indicateurs spécifiques, avec des moyens métrologiques aux performances accrues, tout en veillant à maîtriser les coûts de la surveillance ;
- des évolutions technologiques en matière de détection des rayonnements, de (télé)transmission du signal et de localisation géographique, sans omettre les développements d'outils numériques de modélisation de plus en plus performants ;
- de la nécessité de mieux intégrer la surveillance de la radioactivité de l'environnement et les capacités techniques associées dans la démarche d'expertise des conséquences accidentelles et post-accidentelles provoquées par des activités nucléaires ;
- du nombre croissant d'acteurs, partenaires possibles de l'IRSN, aujourd'hui impliqués à divers titres dans des actions de surveillance radiologique de l'environnement, en lien avec une demande de la société d'un plus grand pluralisme des sources de mesure ;
- de la demande forte, exprimées par de multiples parties prenantes, d'une plus grande transparence des activités de surveillance radiologique de l'environnement et, pour certaines d'entre elles, d'y être plus étroitement associées, afin que soit mieux prise en compte leur perception des risques nucléaires et radiologiques ;
- du développement de la diffusion des résultats de surveillance à un public de plus en plus large et attentif, nécessitant un contenu informatif et explicatif pertinent ;
- de l'état des dispositifs déployés par d'autres pays, notamment européens.

Un axe d'évolution concerne la mise en place des constats radiologiques territoriaux. Un constat radiologique doit permettre de disposer d'un référentiel complété de l'état radiologique des milieux et des denrées alimentaires produites sur un territoire. En cas d'évènement radiologique, ce référentiel serait utilisé pour faciliter le déploiement d'une surveillance renforcée et pour évaluer les conséquences radiologiques de l'accident. Les premiers résultats du constat pilote réalisé par l'IRSN sur la vallée de la Loire en 2008 sont présentés dans ce rapport. Un second axe d'évolution concerne plus particulièrement la télésurveillance. Les travaux, conduits depuis 2008, ont mené à la qualification de solutions techniques performantes, robustes et évolutives. Ils permettent d'envisager l'avenir avec l'assurance d'une fiabilité de mesure améliorée et d'un redéploiement pertinent. Enfin, le travail initié en 2007 par l'IRSN pour regrouper la diffusion des résultats sur une seule application internet s'est concrétisé en début d'année 2009 par la mise en ligne d'un nouveau portail de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement, accessible à l'adresse suivante : <http://environnement.irsrn.fr>. Il met à disposition du public des informations générales ou spécifiques sur la radioactivité sous forme de fiches et de rapports et offre aux internautes la possibilité de consulter en détails les résultats de surveillance acquis quotidiennement par l'IRSN et pour lesquels le présent rapport constitue une synthèse annuelle.

L'édition 2008 du bilan fait également l'objet d'améliorations, notamment sur le contenu qui se veut encore plus synthétique. L'enchaînement des chapitres change de manière à offrir au lecteur une information densifiée expliquant la présence de radionucléides dans l'environnement. La présentation des résultats évolue aussi et se traduit par la simplification des tableaux (présentation d'une valeur moyenne) et une meilleure mise en perspective des résultats dans le temps (par des chroniques) et l'espace (par la systématisation des cartes).

Je vous souhaite une agréable lecture du bilan 2008, en souhaitant qu'il réponde à vos attentes, et en vous remerciant par avance de nous faire part de vos commentaires et suggestions d'améliorations en complétant le formulaire joint à cet effet.

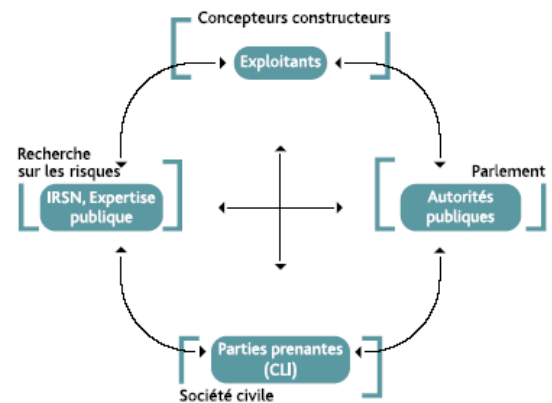
Jacques Repussard
 Directeur Général

II. 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, expert public** 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.



L'IRSN est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) rattaché aux ministres chargés de l'écologie, de la recherche, de la santé, de la défense et de l'industrie.

Son budget 281 M€ en 2008 est financé à hauteur de 212 M€ par une subvention inscrite au budget du ministère de l'Écologie, dans le cadre de la mission LOLF « recherche et enseignement supérieur », programme « recherche sur les risques environnementaux », action « risques nucléaires et radiologiques ». 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 près de 1700 salariés, dont plus d'un millier d'experts et de chercheurs.

Ses ressources sont consacrées :

- pour 46 % 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 39 % à l'appui technique aux autorités et aux missions de service public (surveillance radiologique, information, enseignement, etc.) ;
- pour 8 % à l'expertise nucléaire de défense, en appui aux autorités compétentes dans ce domaine ;
- pour 7 % aux prestations d'expertises et d'études réalisées dans un cadre contractuel.

L'IRSN couvre l'ensemble du champ des activités nucléaires civiles ou de défense :

- **la sûreté des installations nucléaires** (on en dénombre environ 250, dont 58 réacteurs EDF et 85 installations intéressant la défense, parmi lesquelles le porte-avions *Charles de Gaulle* et 10 sous-marins) ;
- **la sûreté des transports de matières radioactives et fissiles** (plus de 1 500 par an) ;
- **la protection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants** : l'IRSN gère les données d'exposition individuelle d'environ 250 000 travailleurs ;
- **la protection de la population et de l'environnement** contre les risques liés aux rayonnements ionisants : l'IRSN dispose sur l'ensemble du territoire national de réseaux automatisés de surveillance radiologique et d'alerte, et surveille par échantillonnage la radioactivité des eaux de boisson et de la chaîne alimentaire ;
- **la protection des matières nucléaires et sensibles** contre les risques de détournement à des fins de prolifération ainsi que la protection des installations et des transports nucléaires contre la malveillance ;
- **le suivi des sources radioactives**, notamment en secteur médical ;
- **en cas d'accident**, l'IRSN est prêt à déployer ses moyens d'expertise, de mesure et d'intervention en appui aux autorités publiques, grâce à son Centre technique de crise et à ses moyens mobiles. Ces moyens permettent de dresser, en temps réel, un pronostic de l'évolution de l'installation accidentée et des rejets possibles de radioactivité dans l'environnement, de cartographier ces rejets sur le terrain, d'évaluer l'exposition des victimes éventuelles et de fournir un appui médical spécialisé aux unités de soins. Ce dispositif est régulièrement testé lors d'exercices nationaux.

L'IRSN est un acteur de la transparence nucléaire :

- **l'information du public** fait partie des missions de l'IRSN. Son portail Internet (www.irsn.fr) propose une large palette d'informations adaptées à différents types de publics, plus de 1 100 000 pages vues en 2008 ;
- **l'IRSN anime une exposition itinérante** sur le thème de la maîtrise des risques nucléaires. Il contribue à l'enseignement sur ces sujets ;
- **l'IRSN a signé un accord cadre avec la fédération des CLI, l'ANCLI**, afin de rendre son expertise accessible aux parties prenantes et ainsi faciliter la compréhension de dossiers techniques qui sont souvent complexes ;
- **l'IRSN anime à la demande des pouvoirs publics des groupes d'expertise pluraliste** sur des thèmes potentiellement générateurs de controverse au sein de la société.

III. MODE DE PRESENTATION DES RESULTATS

Ce rapport présente les données acquises en 2008 dans le cadre du suivi par l'IRSN des niveaux de radioactivité sur le territoire national. Il ne traite pas du suivi de la radioactivité en Polynésie française dont les résultats font l'objet d'un rapport spécifique.

La présentation des résultats se décline selon un découpage thématique par type d'installation utilisant la radioactivité (centre nucléaire de production d'électricité : CNPE, centre de retraitement, service de médecine nucléaire ...) et pour les résultats généraux concernant le territoire dans son entier, par compartiment environnemental surveillé (air, eaux, milieu biologique...). Les CNPE ont été regroupés par bassins versants ou par littoraux.

Chaque partie peut être consultée indépendamment des autres.

Compte tenu du grand nombre de données acquises tout au long de l'année, accessibles intégralement sur le site Internet de l'IRSN, seuls les résultats les plus pertinents sont présentés sous forme de graphiques ou de tableaux synthétiques (moyenne sur l'année) et commentés spécifiquement dans ce bilan.

En outre :

- les signes « < » indiquent des résultats de mesure inférieurs aux limites de détection des appareils ou des protocoles de mesures. Dans les représentations graphiques, ces valeurs sont représentées par des barres vides (□) ;
- le sigle « nm » dans les tableaux indique un paramètre ou un radionucléide non mesuré ;
- les moyennes indiquées dans les tableaux et dans les graphiques sont des valeurs calculées par pondération de l'incertitude associée à chaque résultat individuel (voir calcul au chapitre XV). A cette moyenne est associée une incertitude ;
- les résultats sont assortis de commentaires faisant référence aux mesures acquises antérieurement. Dans cette édition 2008, le bilan fait ressortir certaines de ces séries chronologiques à travers des focus spécifiques.

Pour des sites de même nature, des différences peuvent apparaître dans les plans de surveillance appliqués pour des raisons géographiques, historiques ou à titre d'étude spécifique.

Une carte d'implantation des stations de surveillance est généralement présentée en début de chaque chapitre thématique.

Pour retrouver ces résultats ou accéder à ceux qui ne sont pas repris dans ce bilan, reportez-vous au site internet de l'IRSN (<http://environnement.irsn.fr>).

IV. LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT

IV.1. LES OBJECTIFS DE LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE

La surveillance radiologique du territoire français est une des missions fondamentales de l'IRSN¹. Celle-ci est indissociable de celles d'information du public et d'appui technique aux pouvoirs publics, notamment à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

La surveillance radiologique de l'environnement menée par l'IRSN répond à trois objectifs principaux et complémentaires :

- VERIFIER QUE LES ACTIVITES NUCLEAIRES SONT MENEES DANS LE RESPECT DES REGLES DE REJET QUI S'IMPOSENT A ELLES, EN S'ASSURANT DE L'ABSENCE DE CONTAMINATION ENVIRONNEMENTALE DUE AUX REJETS DECLARES

Afin de déceler d'éventuels « marquages discrets » provenant des rejets chroniques autorisés des installations, et en complément de la surveillance réglementaire assurée par les exploitants, l'Institut exploite des dispositifs de prélèvements dans les différents compartiments de l'environnement, localisés à proximité des installations nucléaires. Par son expérience acquise et ses moyens d'expertise opérationnels qu'il déploie dans ce cadre, l'Institut contribue à l'évolution de la réglementation dans ce domaine.

- S'ASSURER, QUE LE TERRITOIRE, DANS TOUTES SES COMPOSANTES, RESTENT DANS UN ETAT RADIOLOGIQUE SATISFAISANT QUI N'INDUIT PAS D'EXPOSITION EXCESSIVE DES PERSONNES OU DES ECOSYSTEMES

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

- DETECTER RAPIDEMENT ET CARACTERISER TOUTE ELEVATION DE RADIOACTIVITE POUVANT RESULTER D'UN INCIDENT OU D'UN ACCIDENT SURVENANT DANS UNE INSTALLATION NUCLEAIRE

Pour cela, l'Institut utilise des moyens permettant de détecter et de suivre aussi rapidement que possible une évolution anormale de la radioactivité dans l'environnement. Ainsi, l'IRSN est en mesure d'alerter précocement les pouvoirs publics d'une situation accidentelle et d'appuyer la gestion de crise qui en découle.

¹ Voir le décret de création de l'IRSN n°2002-254 du 22 février 2002. L'article 1-II précise que l'Institut « participe à la veille permanente en matière de radioprotection, notamment en concourant à la surveillance radiologique de l'environnement... ».

IV.2. ORGANISATION DE LA SURVEILLANCE

IV.2.1 DISPOSITIFS MIS EN ŒUVRE ET ÉVOLUTIONS

Pour mener à bien sa mission de surveillance radiologique de l'environnement, l'IRSN exploite un ensemble de stations de prélèvement et de mesure ayant un rôle de « sentinelle » réparties sur l'ensemble du territoire national, en privilégiant l'environnement proche des principaux sites nucléaires. Ce dispositif de surveillance permanente distingue :

- des réseaux automatisés de télésurveillance en continu la radioactivité de l'air et des eaux superficielles permettant la transmission en temps réel de résultats à un central de l'IRSN (Les réseaux de télémesure de la radioactivité - IV.2.2) ;
- des réseaux de prélèvement d'échantillons suivant une fréquence régulière, dans les différents compartiments de l'environnement (Les réseaux de prélèvements - IV.2.3). Ces échantillons concernent des matrices variées : les aérosols principalement, mais aussi les eaux de pluies, les eaux de surface (fleuves et eau de mer), les indicateurs biologiques (mousses, feuilles d'arbres, algues), les denrées (principalement le lait et le blé).

En complément de cette surveillance permanente de la radioactivité, l'IRSN mène depuis de nombreuses années des études ou des expertises radioécologiques aussi bien dans l'environnement des sites nucléaires que dans des territoires non soumis à l'influence directe des installations. Ces études ont pour objectifs de caractériser aussi précisément que possible l'état radiologique des milieux, d'expliquer l'origine et le devenir des radionucléides décelés, ainsi que, pour certaines d'entre elles, d'évaluer les doses reçues par les personnes susceptibles d'être exposées. Elles sont engagées soit de la propre initiative de l'Institut, soit à la demande d'exploitants ou des autorités.

Ainsi, l'IRSN bénéficie d'une solide expérience en matière de connaissance de l'état radiologique de l'environnement. Pour autant, la question de la surveillance de l'environnement n'est pas dépourvue de défis nouveaux, liés aux évolutions techniques et aux changements de contexte, notamment en termes de transparence :

- d'une part, les chroniques de mesures de la radioactivité en France montrent une tendance générale à la diminution de l'activité de la plupart des radionucléides artificiels dans l'environnement, en relation avec l'évolution des activités nucléaires dont les rejets ont été significativement réduits ;
- d'autre part, des évolutions techniques sont nécessaires pour répondre à des demandes nouvelles des autorités et des acteurs de la société (meilleure capacité de détection), ainsi qu'au vieillissement des équipements en place (perte progressive de leur fiabilité).

Ce contexte a conduit l'IRSN à définir un programme de modernisation et de redéploiement des dispositifs de surveillances selon les axes stratégiques suivants :

- *une orientation plus marquée du dispositif de surveillance générale du territoire vers la protection des populations* et les composantes les plus sensibles de l'environnement et de l'économie (agriculture notamment) ;
- *le maintien à jour de la connaissance sur l'état radiologique de l'environnement*, en systématisant la réalisation périodique de constats radiologiques régionaux ; il s'agit de disposer d'états radiologiques de référence représentatifs des différentes parties du territoire et leurs composantes (air, eaux, sols et cultures), en veillant à associer des acteurs et parties prenantes locaux pour à la fois discuter des plans de prélèvements et de mesures et analyses à mettre en œuvre, mais également pour contribuer à la réalisation opérationnelle de ces constats ;

- *la modernisation et le redéploiement de l'ensemble des réseaux de surveillance* à la fois autour des sites nucléaires et sur l'ensemble du territoire national, notamment afin de traiter l'obsolescence de certains équipements due à leur ancienneté et d'améliorer une couverture optimale du territoire en situation de contamination accidentelle ;
- *la mise en place d'une surveillance plus flexible*, ce qui concerne aussi bien les équipements que les personnels appelés à les exploiter ou à les maintenir. Elle peut être considérée comme l'un des critères d'adaptabilité et de réactivité de l'Institut, et vise à doter l'IRSN d'une capacité :
 - à faire face à des situations imprévues de pollution radioactive exigeant rapidement une évaluation, notamment en cas de crise environnementale ou de situation post-accidentelle ;
 - à mettre en place des dispositifs de surveillance dans le cadre d'opérations programmées, périodiques ou non, permettant de compléter et d'actualiser la connaissance de l'état radiologique de l'environnement, d'expliquer les éventuels marquages de l'environnement décelés au voisinage des activités nucléaires actuelles ou passées et, le cas échéant, à investiguer des situations jugées inhabituelles ou anormales afin d'en évaluer l'impact réel ;
- *le développement de partenariats, locaux ou nationaux, avec des organismes pouvant apporter un concours à l'IRSN*, en vue d'optimiser et, s'il y a lieu, de mutualiser certaines activités de surveillance ;
- *l'amélioration de l'appropriation et de la compréhension, par le public, des résultats de la surveillance menée par l'IRSN et de l'interprétation qu'on peut en faire*, en poursuivant le développement de la mise à disposition du public des résultats de la surveillance et des études radioécologiques, notamment sur les sites Internet de l'IRSN et du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM), mais aussi en développant le dialogue avec les acteurs locaux sur la restitution des résultats.

Ce programme de modernisation et de redéploiement des réseaux de surveillance de l'environnement de l'Institut, engagé progressivement à partir de 2008, s'effectue dans un cadre d'échange technique et stratégique avec les autres acteurs français de la surveillance (ASN, services de l'état, exploitants), les parties prenantes (CLI, collectivités locales, etc.), ainsi que nos homologues étrangers. Il se poursuivra encore sur plusieurs années.

IV.2.2 LES RESEAUX DE TELEMESURE DE LA RADIOACTIVITE

Les réseaux automatisés de télémessure de la radioactivité sont constitués en 2008 de 206 sondes analysant en continu la radioactivité ambiante de l'eau et de l'air, et réparties en quatre réseaux différents :

- **Téléray** : réseau dédié à la surveillance en continu du rayonnement gamma ambiant de l'air, avec une fonction d'alerte en cas d'élévation inhabituelle de la radioactivité mesurée (chapitre VI.1.1) ;
- **SARA** : réseau dédié à la surveillance en continu de la radioactivité des aérosols atmosphériques (chapitre VI.1.4) ;
- **Hydrotéléray** : réseau dédié à la surveillance en continu de la radioactivité des principaux fleuves, en aval de toutes les installations nucléaires et avant leur sortie du territoire national (chapitre VI.2.1.2) ;
- **Téléhydro** : réseau dédié à la surveillance en continu des eaux usées au sein des stations d'épuration de grandes agglomérations françaises (chapitre X).



Figure 2 : Sonde Téléray déclenchant une alerte en salle de télésurveillance de l'IRSN

Un serveur centralisé reçoit automatiquement, et en temps réel, les données de ces quatre réseaux et les stocke. Un système de supervision associé à ce serveur peut déclencher une alarme, en cas d'élévation inhabituelle de la radioactivité. La consultation et l'exploitation des données ainsi que le pilotage des réseaux s'effectuent à partir d'un central de télésurveillance situé sur le site IRSN du Vésinet.

Tableau 1 : Nombre de mesures collectées en 2008 par les réseaux de télémessure de la radioactivité sur le territoire français

Réseau	Nombre de mesures /an
Téléray (164 stations)	17 000 000
SARA (13 stations)	90 000
Hydrotéléray (7 stations)	30 000
Téléhydro (7 stations)	245 000

FOCUS

Le plan de modernisation des réseaux de télémétrie

Un vaste projet de modernisation des réseaux de télémétrie de la radioactivité est lancé depuis 2007. Ce projet consiste à rénover et à redimensionner le parc de balises vieillissant par un système plus performant en termes de mesures, de transmission et de gestion des données. Il impose un programme de tests et de développements conduits principalement à partir de la plateforme expérimentale « ARGOS » de l'IRSN.

En 2008, l'IRSN a testé et adapté un système informatique de gestion de données, permettant d'intégrer progressivement l'ensemble des réseaux automatisés de télésurveillance air et eau dans un outil unique et modulable. Ce nouveau système SPARTE sera déployé en 2010.

Le premier réseau à être modernisé est le réseau Téléray. Deux axes sont visés : le remplacement de l'intégralité des technologies (les sondes, la technique de transmission des données, le système de gestion des données) et le redimensionnement de la couverture du territoire par ce réseau.

En ce qui concerne le 1^{er} axe, des tests menés en 2008 ont consisté à comparer les performances métrologiques et techniques de différentes sondes de mesure du débit d'équivalent de dose gamma ambiant. Leur adaptabilité à l'interface du logiciel de supervision a également été considérée.

Parallèlement, une étude approfondie des solutions de transmissions des données existant sur le marché est engagée afin de sécuriser cette transmission en cas d'accident.

En ce qui concerne le 2^{ème} axe, deux principes sont retenus pour faire évoluer l'implantation géographique des équipements de mesure Téléray :

1. la relocalisation de certaines balises au niveau de la couverture globale du territoire afin de compléter les départements qui en sont actuellement dépourvus ;
2. le renforcement de la surveillance aux abords des sites nucléaires, en complément des dispositifs de surveillance des exploitants (déjà existants dans la zone 10 km), à une distance des installations variant entre 10 et 30 km environ. Ce déploiement spécifique conduira à un déploiement supplémentaire de plus de 200 sondes.

Au total, plus de 400 nouvelles sondes devraient être déployées entre 2010 et 2014 en remplacement des 164 actuelles.

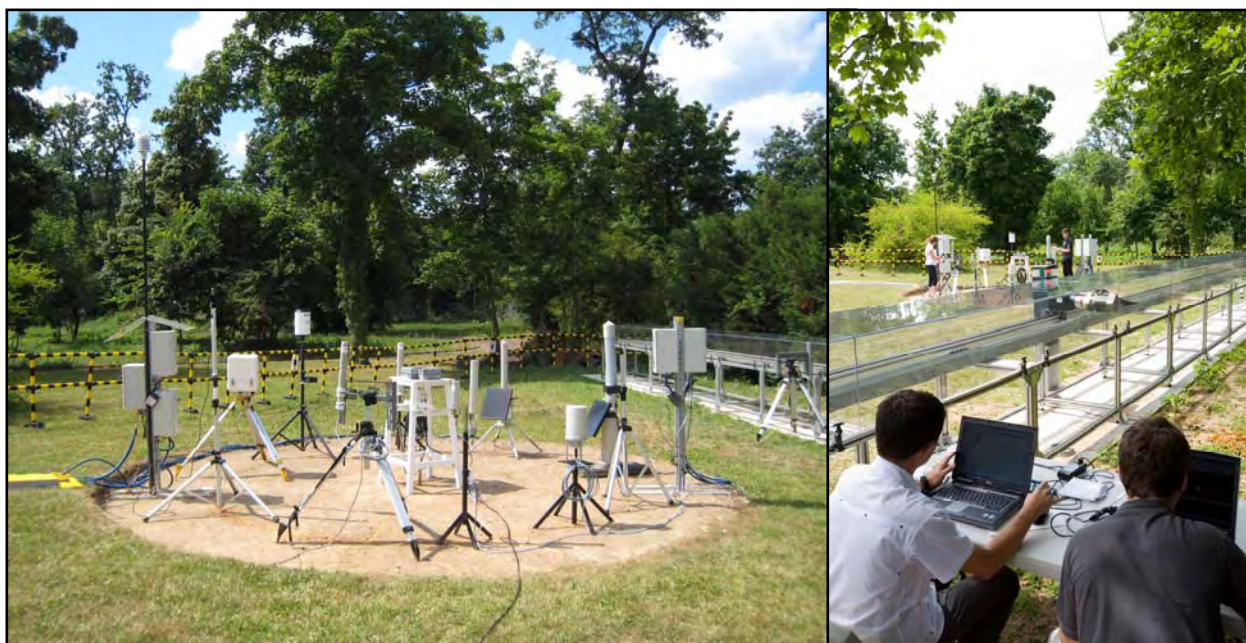


Figure 3 : Plateforme de test ARGOS de l'IRSN

IV.2.3 LES RESEAUX DE PRELEVEMENTS

Les réseaux de surveillance par prélèvements de l'IRSN couvrent l'ensemble du territoire français et sont constitués de plus de 600 points d'échantillonnages. Les échantillons prélevés sont ensuite analysés dans les laboratoires de l'Institut accrédités par le COFRAC (Service de traitement des échantillons et de métrologie de l'environnement - STEME).

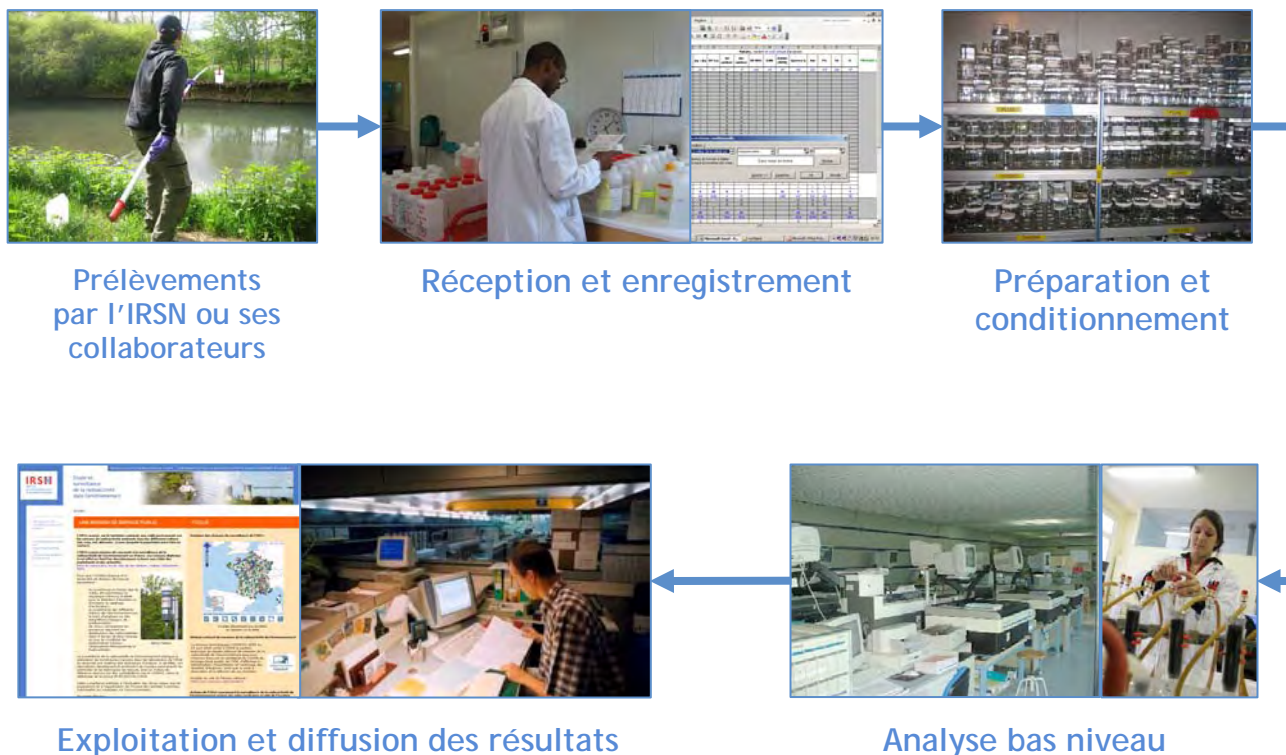


Figure 4 : Schéma des étapes de la surveillance par prélèvement et analyse en laboratoire

Ces prélèvements concernent les différents compartiments de l'environnement dans lesquels un marquage est susceptible d'être observé :

- le compartiment atmosphérique (stations de prélèvements d'aérosols atmosphériques et de collecte d'eaux de pluies, réseau « DTL » de dosimètres intégrateurs environnementaux pour la mesure du rayonnement gamma ambiant de l'air ;
- le compartiment terrestre (sols, végétaux, produits de la chaîne alimentaire) ;
- le compartiment aquatique continental (prélèvements d'eaux de surface continentales, matières en suspension (MES) décantées, sédiments, flore ou faune aquatiques) ;
- le compartiment marin (prélèvements d'eaux de surface marines, sédiments, flore et faune).

En 2008, plus de 28 000 prélèvements de 20 types différents ont été effectués sur l'ensemble du territoire français. Ils ont donné lieu à plus de 40 000 analyses.

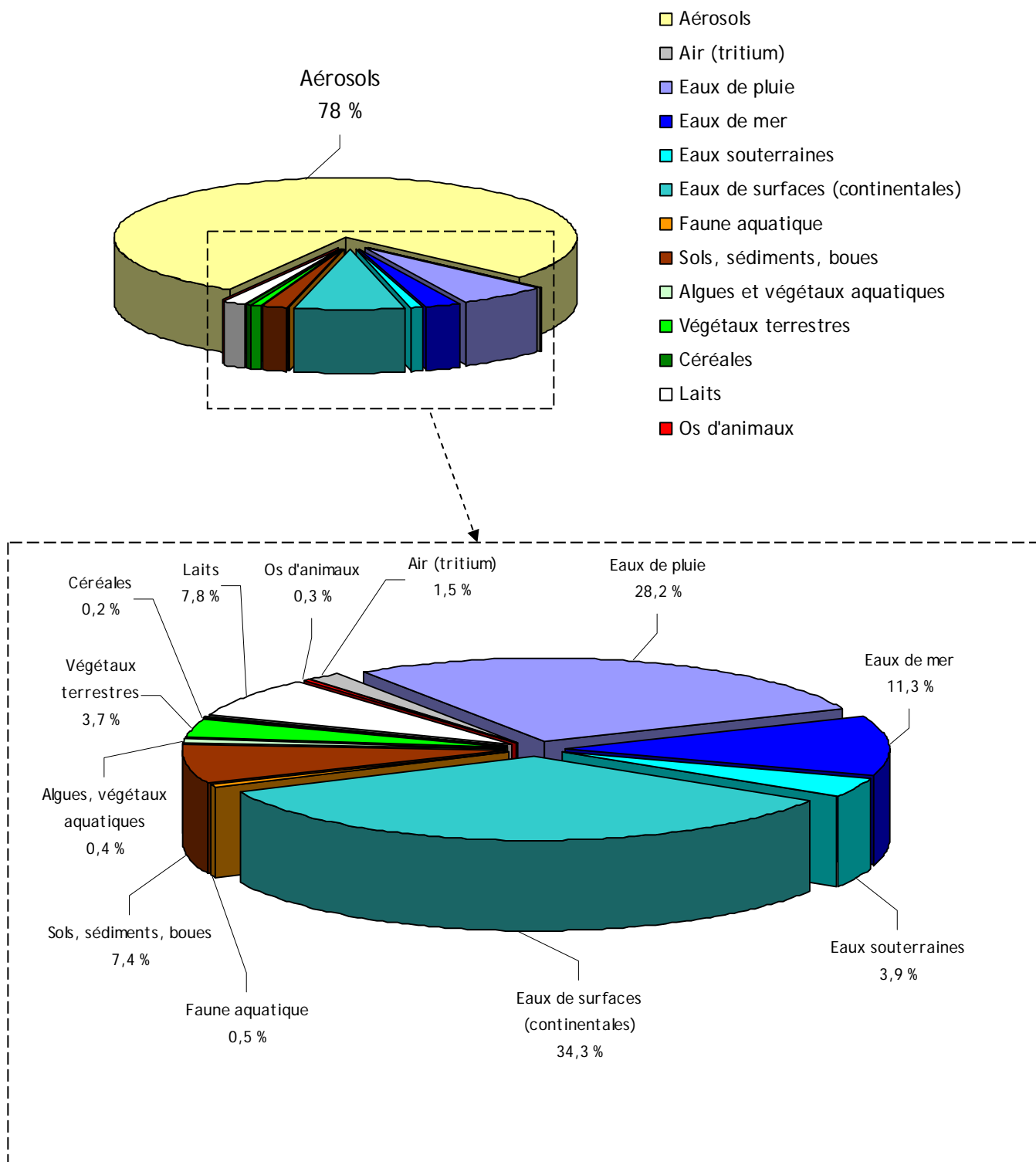


Figure 5 : Répartition par matrice des prélèvements réalisés en 2008

IV.3. METHODOLOGIE ADOPTEE POUR LE CHOIX DES STATIONS DE SURVEILLANCE

Les principes généraux d'échantillonnage appliqués in situ sont similaires à ceux utilisés pour la caractérisation de toute contamination. Ils s'appuient sur les guides et normes établis notamment dans le cadre du Bureau de normalisation des équipements nucléaires (BNEN - AFNOR). Le recours à des bio-indicateurs 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 dépend de la stratégie d'échantillonnage adoptée. Pour chaque milieu étudié, il convient de définir les critères de choix de l'implantation des stations.

IV.3.1 CHOIX DES STATIONS DE PRELEVEMENTS

IV.3.1.1 COMPARTIMENTS TERRESTRE ET ATMOSPHERIQUE

Dans le compartiment terrestre, 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, les stations de prélèvement d'aérosols atmosphériques et les collecteurs d'eau de pluie sont systématiquement disposés sur des secteurs sous l'influence des vents dominants. 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, il a été jugé pertinent de surveiller certaines agglomérations afin d'évaluer l'exposition des populations dans des sites très urbanisés, qu'ils soient proches ou non de sites nucléaires ou industriels.

IV.3.1.2 COMPARTIMENT AQUATIQUE CONTINENTAL

Dans ce compartiment, l'implantation des stations de prélèvement tient compte de la présence d'installations nucléaires. Les échantillons d'eau et de flore 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.

IV.3.1.3 COMPARTIMENT MARIN

L'implantation des stations tient compte de la localisation des sources potentielles de pollution 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, en plus des marées, des courants résiduels 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 de ce courant ligure.

IV.4. 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.

IV.4.1 COMPARTIMENT TERRESTRE

Tableau 2 : Stratégie de surveillance des matrices surveillées dans le compartiment terrestre

Milieux/Produits	Justification	Moyens de prélèvements 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 irradiation externe et interne (inhalation)	Sonde Téléray Balise SARA Collecteur d'aérosols Dosimètre environnemental
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	Collecteur d'eaux de pluies
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 graminées	Prélèvement manuel
Productions végétales	Contamination par dépôt sur les parties aériennes ou par absorption racinaire. Risque de contamination interne après consommation	Prélèvement manuel
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,...)	Prélèvement manuel

IV.4.2 COMPARTIMENT AQUATIQUE CONTINENTAL

Tableau 3 : Stratégie de surveillance des matrices surveillées dans le compartiment aquatique continental

Milieux/Produits	Justification	Moyens de prélèvements 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	Sonde Hydrotéléray Hydrocollecteur Prélèvements ponctuels
Matières en suspension (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	Bac de décantation associé à un hydrocollecteur ou filtration
Sédiments	Les sédiments sont de bons intégrateurs de contamination, et constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption	Prélèvement manuel
Végétaux aquatiques	Les végétaux aquatiques ont une grande capacité à fixer rapidement certains radionucléides. Leur large répartition géographique permet de comparer les concentrations en radionucléides en différents lieux.	Prélèvement manuel
Poissons	Régulièrement consommés par l'homme, les poissons sont de bons intégrateurs des radionucléides	Pêche

IV.4.3 COMPARTIMENT MARIN

Tableau 4 : Stratégie de surveillance des matrices surveillées dans le compartiment marin

Milieux/Produits	Justification	Moyens de prélèvements
Eaux 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	Prélèvement manuel ou hydrocollecteur
Sédiments	Les sédiments sont de bons intégrateurs de radionucléides et constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption	Prélèvement manuel
Algues	Les algues marines réagissent rapidement à des variations de la radioactivité de l'eau	Prélèvement manuel
Mollusques	De par leur mode de nutrition, les mollusques marins sont de bons bio-indicateurs de surveillance à long terme, qu'ils soient filtreurs ou brouteurs	Prélèvement manuel (ou collecte chez des producteurs)
Poissons	Leur position en fin de chaîne alimentaire en fait de bons intégrateurs des radionucléides, et ils sont largement consommés par les populations	Pêche

IV.5. PLANS D'ANALYSES

Dès réception au laboratoire, les caractéristiques des prélèvements sont enregistrées dans une base de données informatique. Chaque prélèvement est ensuite traité et conditionné en fonction des analyses radiologiques auxquelles il va 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 - voir au paragraphe VIII.2. milieux récepteurs...) et de son historique événementiel (incidents passés, rejets passés, retombées...). Le tableau suivant présente, selon une représentation simplifiée, les plans d'analyses tels qu'ils sont réalisés régulièrement dans l'environnement des différents types de site :

Tableau 5 : Plans d'analyses types réalisés régulièrement dans le cadre de la surveillance radiologique du territoire

Environnement étudié	Radionucléides recherchés							
	U	Am, Pu	³ H	¹⁴ C	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	Iodes	Autres β/γ (*)
Environnement hors influence	X	X	X		X	X		X
Ancien site minier	X							X
Amont du cycle du combustible	X							X
CNPE arrêté	Alpha global		X		X	X	X	X
CNPE en activité			X	X	X	X	X	X
Aval du cycle du combustible	X	X	X	X	X	X	X	X
Site de stockage	X	X	X		X	X	X	X
Service de médecine nucléaire							X	X
Centres de recherches	X	X	X	X	X	X	X	X
Bases navales			X			X		X

 Radionucléide recherché systématiquement

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

Les résultats d'analyse sont ensuite intégrés dans la base de données afin d'y être validés, exploités puis diffusés.

IV.6. PREPARATION ET CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS

La mesure de la radioactivité sur un échantillon débute par sa préparation physique. Celle-ci va du simple conditionnement en récipient de géométrie 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'induisse pas de biais sur la représentativité de la mesure.

Les différents types de préparation des échantillons sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Synthèse des types de traitement appliqués aux échantillons

Milieus/Produits	Types de préparation	Etats du produit	Types de mesures réalisées
Air	Fixation des poussières	Filtre collodionné Cartouche de piège à iode	Spectrométrie gamma Comptages globaux α , β
Eaux de pluie Eaux de mer Eaux de surface Eaux souterraines	Homogénéisation Mélange Filtration Evaporation	Eau brute Eau filtrée Matières en suspension	Spectrométrie gamma Spectrométrie alpha Comptages globaux α , β Strontium 90 Tritium
Sols MES Sédiments	Séchage Broyage Homogénéisation Calcination	Produit frais Produit sec Cendres	Spectrométrie gamma Spectrométrie alpha Comptages globaux α , β Strontium 90 Carbone 14, carbone élémentaire
Productions végétales Céréales Algues	Séchage Broyage Homogénéisation Calcination Lyophilisation	Produit frais Produit sec Produit lyophilisé Phase liquide Cendres	Spectrométrie gamma Spectrométrie alpha Tritium libre Strontium 90 Comptages globaux α , β Carbone 14, carbone élémentaire Strontium + Terres Rares
Lait	Homogénéisation		
Poissons Crustacés Mollusques	Séparation de la chair Séchage Broyage Homogénéisation Lyophilisation Calcination		
Os de lapin	Séchage Broyage Calcination	Produit sec Cendres	Comptages globaux β Strontium 90 Calcium

L'IRSN assure également l'archivage d'une partie des échantillons analysés (filtres d'air), en vue d'une éventuelle analyse ultérieure par des moyens complémentaires ou plus performants.

IV.7. RADIOCHIMIE ET MESURES PHYSIQUES

Chaque échantillon est transmis aux laboratoires du STEME pour y être analysé, le cas échéant après traitement chimique.

La nécessité de concentrer l'échantillon ou d'extraire les radionucléides à mesurer implique la mise en œuvre d'une plate-forme technique, 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 préliminaire (séchage, broyage, calcination...) présentée précédemment, les laboratoires de radiochimie réalisent des traitements poussés aboutissant généralement à la concentration ou à la séparation des radionucléides recherchés. Ces laboratoires disposent 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. Un parc de plus de 200 compteurs ou 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) permet 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, et réalisés au sein de l'Institut.

La compétence des laboratoires du STEME est démontrée par les bons résultats obtenus aux essais inter-laboratoires et reconnue par l'accréditation COFRAC ainsi que la participation active aux groupes de travail liés à la normalisation des méthodes.

Le référentiel d'accréditation suivi est la norme NF EN ISO/CEI 17025. Les domaines couverts par les accréditations sont :

- l'« analyse en laboratoire des radionucléides présents dans tous types d'échantillons de l'environnement » (programme n°135 du COFRAC) ;
- l'« analyse de contaminants chimiques chez les animaux, dans leurs produits et les denrées alimentaires destinées à l'homme ou aux animaux : radionucléides » (programme n° 99-4 du COFRAC).

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

- mesures alpha-bêta global pour le suivi des filtres d'aérosols et des eaux ;
- mesure du ^{226}Ra ;
- mesure des émetteurs bêta (^3H , ^{14}C , ^{63}Ni , ^{90}Sr , ^{241}Pu , ^{210}Pb ...) ;
- mesure des 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 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 6 : Salles de comptage alpha/bêta global (gauche) et de spectrométrie alpha (droite) de l'IRSN sur le site du Vésinet



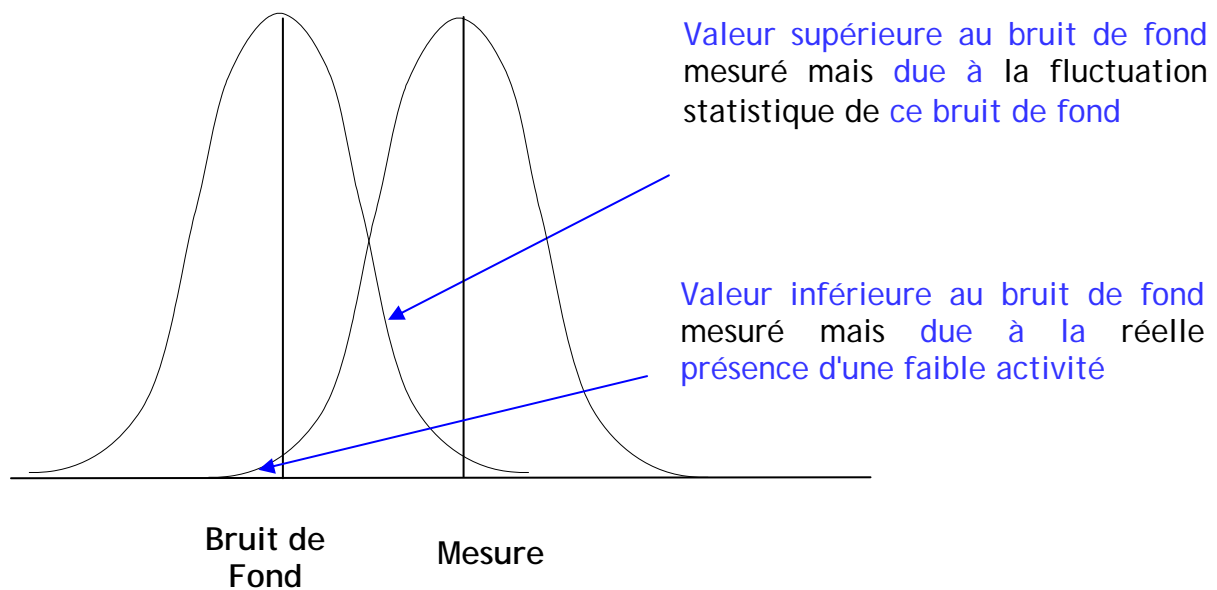
Figure 7 : Salles de spectrométrie gamma (gauche) et de scintillation liquide (droite) de l'IRSN sur le site du Vésinet

FOCUS

Limite de détection et 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 comptage, 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, 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 tous cas inférieure à une valeur appelée Limite de Détection (LD).

Selon les techniques de mesure la Limite de Détection est approximativement égale à 2 fois la valeur du seuil de décision.

V. LES RADIONUCLÉIDES PRÉSENTS DANS L'ENVIRONNEMENT FRANÇAIS

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 20^{ème} siècle ; certains de ces radionucléides ayant la double origine, naturelle et anthropique (^3H , ^{14}C notamment - voir Tableau 7)

V.1. LES RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE NATURELLE

L'air, l'eau et toutes les substances minérales, végétales et animales, y compris le corps humain, contiennent des éléments radioactifs (voir chapitre XIII). Près de 70 radionucléides naturels constituent l'essentiel de la radioactivité de l'environnement. 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, rubidium 87 et cérium 142), 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 (exemple de la chaîne de filiation de l'uranium 238 en Figure 8).

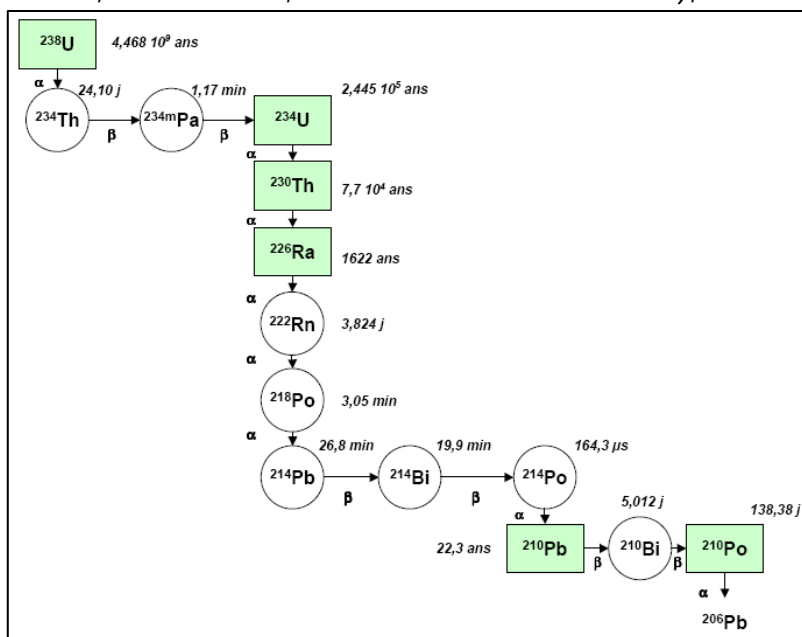


Figure 8 : chaîne de filiation de l'uranium 238

Les procédés de production de certaines activités industrielles, non liées au cycle électronucléaire, modifient les équilibres physico-chimiques de la radioactivité naturelle contenue dans les matières utilisées et la concentrent 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 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 d'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 contenant 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'eaux de consommation ;
- les établissements thermaux.

L'extraction et le traitement de minerais d'uranium génère aussi une radioactivité naturelle renforcée, mais dans ce cas, à la différence des activités industrielles mentionnées ci-dessus, le minerai est utilisé pour ses propriétés radioactive. Cette activité s'inscrivant dans le cycle du combustible, la problématique de l'impact radiologique des sites de stockage des résidus de traitement de minerais d'uranium est abordée au paragraphe VIII.4.

V.2. LES RADIONUCLÉIDES D'ORIGINE ARTIFICIELLE

Actuellement, une dizaine de radionucléides artificiels sont régulièrement mesurés dans l'environnement français au moyen des techniques d'analyses développées par l'IRSN, principalement : le tritium, le carbone 14, le strontium 90, le césium 137, l'iode 131, les isotopes du plutonium (^{238}Pu , ^{239}Pu , et ^{240}Pu) ainsi que l'américium 241.

Ces radionucléides ont trois origines principales :

- les rejets réglementés des installations nucléaires et ceux liés aux activités de médecine nucléaire ;
- les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires, pratiqués entre 1945 et 1980 par l'ex-URSS, les Etats-Unis, le Royaume-Uni, la France et la Chine ;
- les retombées de l'accident de Tchernobyl survenu le 26 avril 1986, qui ont affecté le territoire du 1^{er} au 5 mai 1986 [7].



Figure 9 : Origine des principaux radionucléides artificiels mesurés en France

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.

V.2.1 CESIUM 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 les conséquences de ces rejets dans l'environnement terrestre car elles sont très largement masquées par la rémanence des retombées anciennes.

Après avoir atteint son maximum de 4000 Bq/m² en 1963, l'activité surfacique des sols a ensuite lentement diminué suite à l'arrêt des essais américains et soviétiques, par décroissance radioactive et par des processus de dilution et de migration. L'accident de Tchernobyl a conduit en mai 1986 à des dépôts hétérogènes sur le territoire. Aujourd'hui, les concentrations de césium 137 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 5000 Bq/m², alors que dans la partie Est du pays, les dépôts sont très hétérogènes et peuvent atteindre 40 000 Bq/m².

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.

V.2.2 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 son maximum de 2500 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 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.

V.2.3 TRANSURANIENS (PLUTONIUM, AMERICIUM)

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 assurée 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 de plutonium par certaines installations, comme Marcoule ou La Hague, ont conduit à des enrichissements 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 en 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).

V.2.4 TRITIUM ET CARBONE 14

Produit naturellement dans l'atmosphère et provenant des retombées des tirs, le tritium (³H) et le carbone 14 (¹⁴C) figurent parmi les radionucléides les plus rejetés par l'industrie nucléaire.

A 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.

Dans tous les compartiments de la biosphère (air, végétaux, produits animaux) non influencés par une installation, on mesure en 2008 une activité de 242 Bq de carbone 14 par kilogramme de carbone stable et de 1 à 10 Bq de tritium par kilogramme de produits frais. Cependant, au voisinage de certaines installations nucléaires et sous les vents dominants ainsi qu'en aval des émissaires de rejet, les activités en ^3H et ^{14}C sont souvent 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, Bruyères-le-Châtel et Brennilis. Enfin, le ^3H est, ou a été, rejeté par certaines industries qui l'utilisent pour sa luminescence dans les aiguilles de montres ou certains panneaux de signalisation. Le Rhône est ainsi marqué en ^3H par les rejets de l'industrie horlogère suisse.

V.2.5 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 (^{54}Mn), les cobalts 58 et 60 (^{58}Co et ^{60}Co), l'argent 110 métastable ($^{110\text{m}}\text{Ag}$), l'iode 129 (^{129}I) et très sporadiquement le ruthénium 106 (^{106}Ru) et le césium 134 (^{134}Cs) ;
- sous influence des rejets hospitaliers, l'iode 131 (^{131}I) dans des MES ou 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'institut a engagé, dans l'environnement proche de la Hague, un suivi des concentrations en krypton 85 (^{85}Kr) dans l'air, radionucléide gazeux, dont un premier bilan sera fait en 2010.

Tableau 7 : Principaux radionucléides artificiels présents dans l'environnement français

Radionucléide	Période radioactive	Emissions principales	Principal descendant	Origines principales
^3H	12,32 ans	bêta	^3He	cosmique, essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire et horlogère
^{14}C	5730 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
$^{239+240}\text{Pu}$	24100 et 6560 ans	alpha	$^{235+236}\text{U}$	essais nucléaires, rejets de l'industrie nucléaire

V.3. EXPOSITION AUX DIFFERENTES SOURCES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

L'ensemble de ces sources de radioactivité d'origine naturelle ou artificielle, contribuent à l'exposition des individus (voir chapitre XIII). Un français reçoit au total une dose annuelle moyenne de l'ordre de 3,3 mSv, qui dépend de l'emplacement géographique [8]. La Figure 10 présente la répartition de cette dose en fonction des différentes sources de rayonnement. Le radon, descendant de l'uranium, peut s'accumuler dans les habitations et représente une dose importante, de l'ordre de 1,4 mSv par an et par personne.

L'exposition naturelle due aux rayonnements cosmique, tellurique et à l'ingestion d'aliments et d'eaux compte pour 1,0 mSv par an et par personne, mais dépend de la région considérée.

La source d'exposition artificielle principale est due à la médecine nucléaire (diagnostics fonctionnels), qui représente une moyenne d'équivalent de dose de 0,8 mSv par an et par personne. L'industrie, les installations nucléaires et les retombées anciennes ne représentent qu'une faible part de l'exposition aux rayonnements (< 0,1 mSv/an).

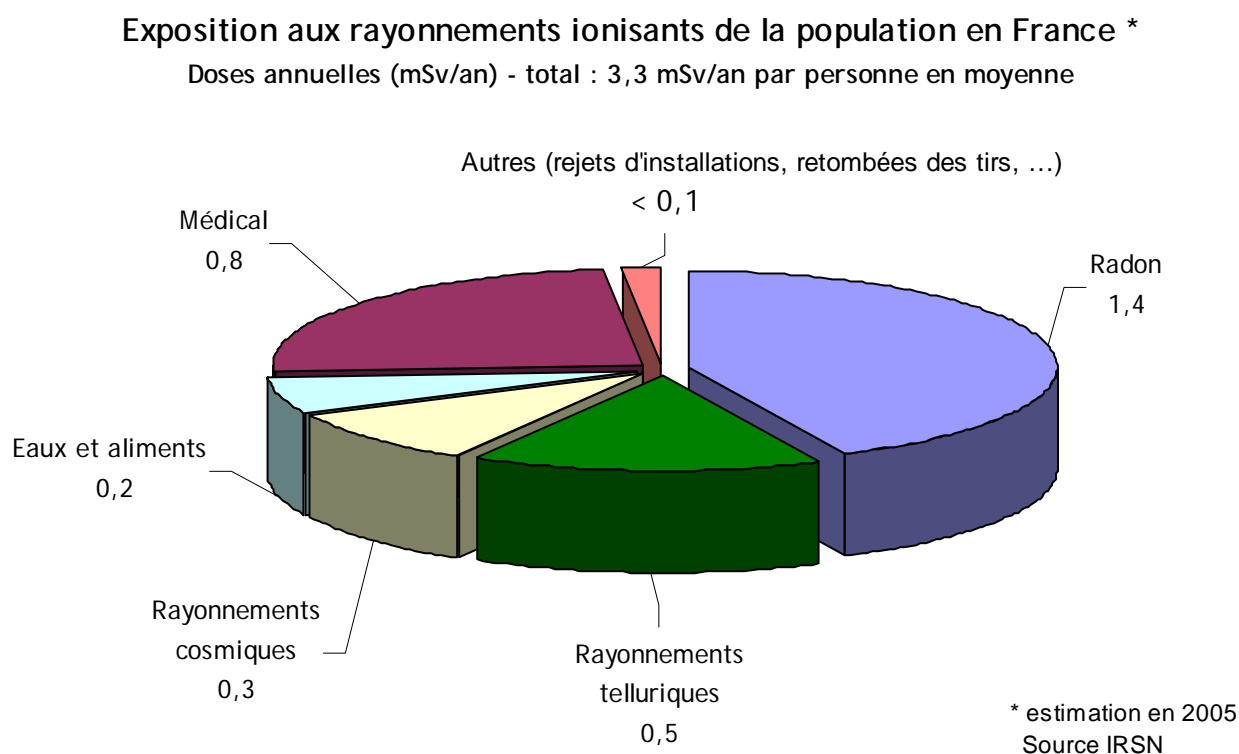


Figure 10 : Exposition aux différentes sources de rayonnements en France [8]

VI. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE GENERALE DU TERRITOIRE

VI.1. LE COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

VI.1.1 LE RESEAU TELERAY



Depuis 1991, le réseau Téléray assure de façon permanente la veille radiologique du territoire français. Les 164 stations métropolitaines (plus 4 installées en outre mer) sont implantées majoritairement aux abords des sites nucléaires et des grandes agglomérations (Figure 12). Les sondes (Figure 11) sont constituées de compteurs Geiger-Müller permettant de mesurer le rayonnement gamma ambiant, exprimé en débit de dose ($\mu\text{Gy}/\text{h}$) ou de dose équivalente ($\mu\text{Sv}/\text{h}$). Toutes les mesures, intégrées sur cinq minutes, sont transférées automatiquement vers un serveur situé sur le site IRSN du Vésinet (78).

Figure 11 : Photo d'une sonde Téléray (déTECTEUR Geiger Müller)

En situation normale, le serveur, auquel est adjoInt un système d'analyse de premier niveau des données (système de supervision), acquiert régulièrement les mesures auprès de chacune des sondes au cours de la journée. Si le débit de dose augmente sensiblement, les sondes concernées envoient une alarme au système de supervision, qui alerte aussitôt le personnel d'astreinte de l'IRSN. La fréquence du rapatriement des données est alors augmentée.

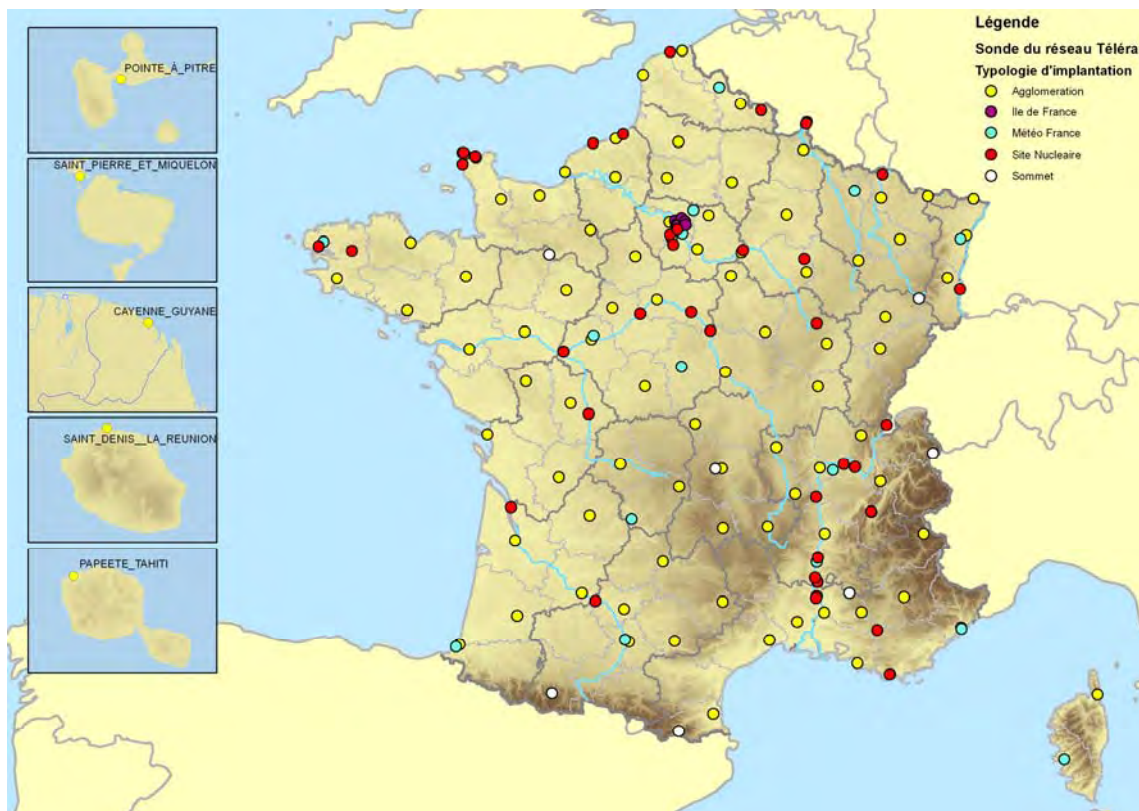


Figure 12 : Implantation des sondes du réseau Téléray en 2008

L'IRSN a mis en place un indicateur qualité semestriel relatif à la disponibilité des balises métropolitaines du réseau Téléray. Cet indice est calculé à partir du nombre de valeurs radiologiques moyennes quotidiennes enregistrées par le réseau. Le taux de disponibilité ainsi calculé s'établit à plus de 95% en 2008 et à 99% pour les stations implantées sur les centres nucléaires.

Les valeurs de débit de dose γ ambiant moyen en France enregistrées au cours de l'année 2008 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées les années précédentes. La moyenne annuelle sur le territoire métropolitain est estimée à environ 0,09 $\mu\text{Sv/h}$ (Figure 13).

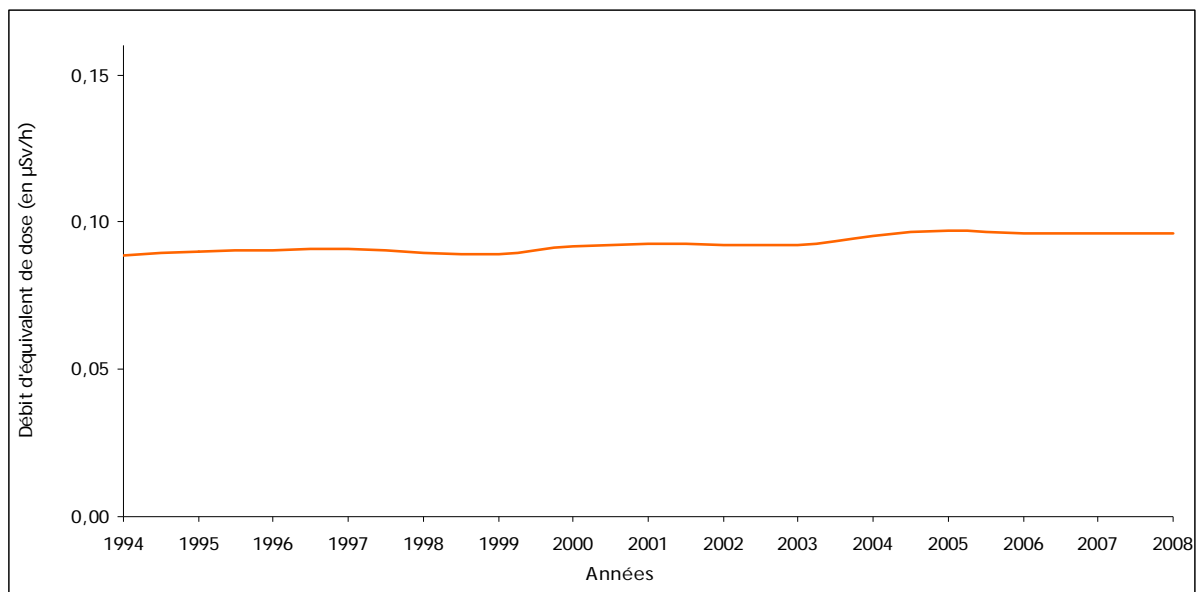


Figure 13 : Evolution de la moyenne annuelle des mesures du réseau Télecay de 1994 à 2008

Le bilan des mesures du réseau Télecay permet de mettre en évidence les évolutions moyennes quotidiennes acquises durant l'année et présentées en fonction des catégories d'implantation (Figure 14). Les rayonnements telluriques et cosmiques jouent une influence importante sur le débit de dose enregistré par les stations Télecay notamment pour celles situées en altitude.

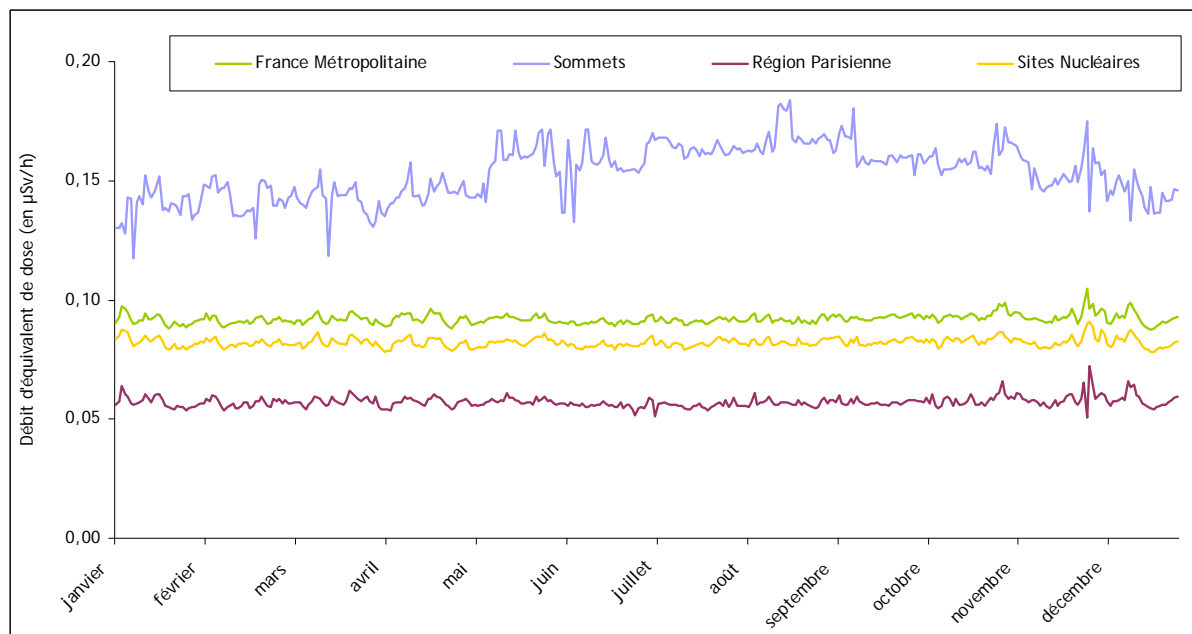


Figure 14 : Evolution du débit de dose par catégorie d'implantation en 2008

Les fluctuations importantes des mesures du débit de dose enregistrées sur les sommets sont engendrées par des variations météorologiques, notamment par la présence occasionnelle de couvertures neigeuses au sol qui diminuent l'influence du rayonnement tellurique. L'homogénéité de la répartition géographique des sites d'implantation Télecay permet d'établir une moyenne annuelle du débit de dose par région (Figure 15).

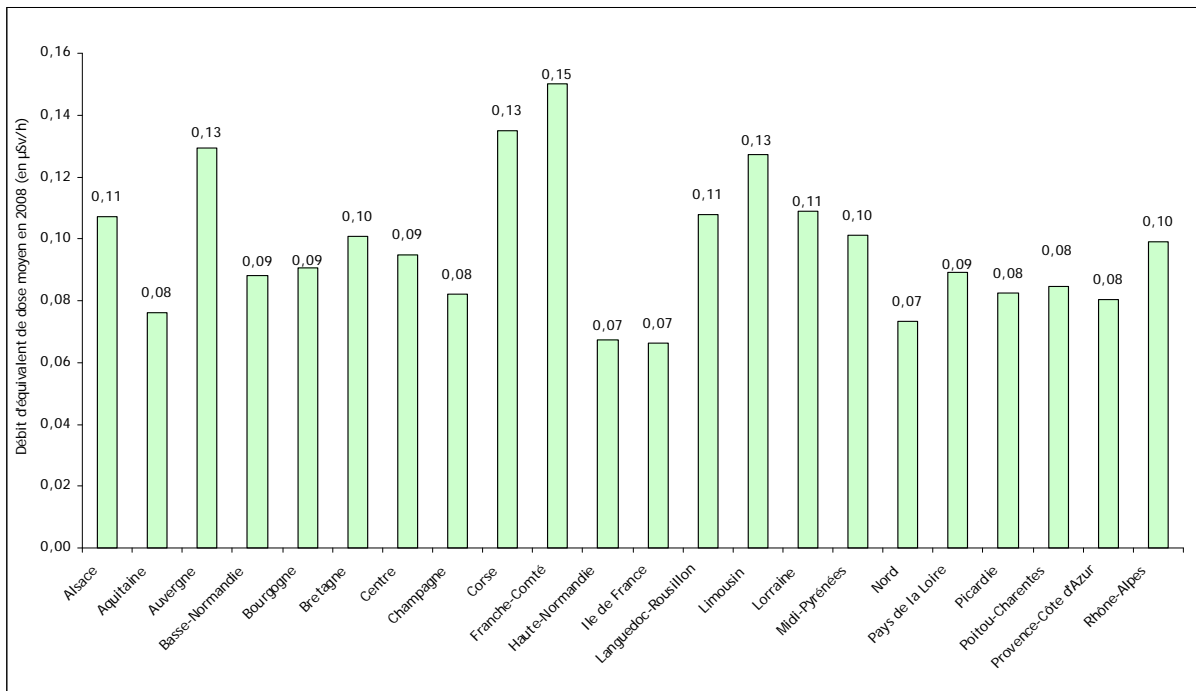


Figure 15 : Moyennes annuelles régionales du débit de dose en 2008

Le bruit de fond ambiant est faible dans les bassins sédimentaires (bassins parisien et aquitain ou vallée du Rhône) et plus élevé sur les massifs composés de roches plutoniques (essentiellement granitiques) ou métamorphiques (Alpes, Massif Central, etc.) où l'influence du rayonnement gamma d'origine tellurique est plus élevée. A ce phénomène se superpose l'influence du rayonnement cosmique, plus important en altitude qu'au niveau de la mer. Cette influence, minoritaire aux altitudes moyennes, devient non négligeable à partir de 3500 mètres d'altitude (ex : Aiguille du Midi) comme l'illustre le graphique présenté ci-après (Figure 16).

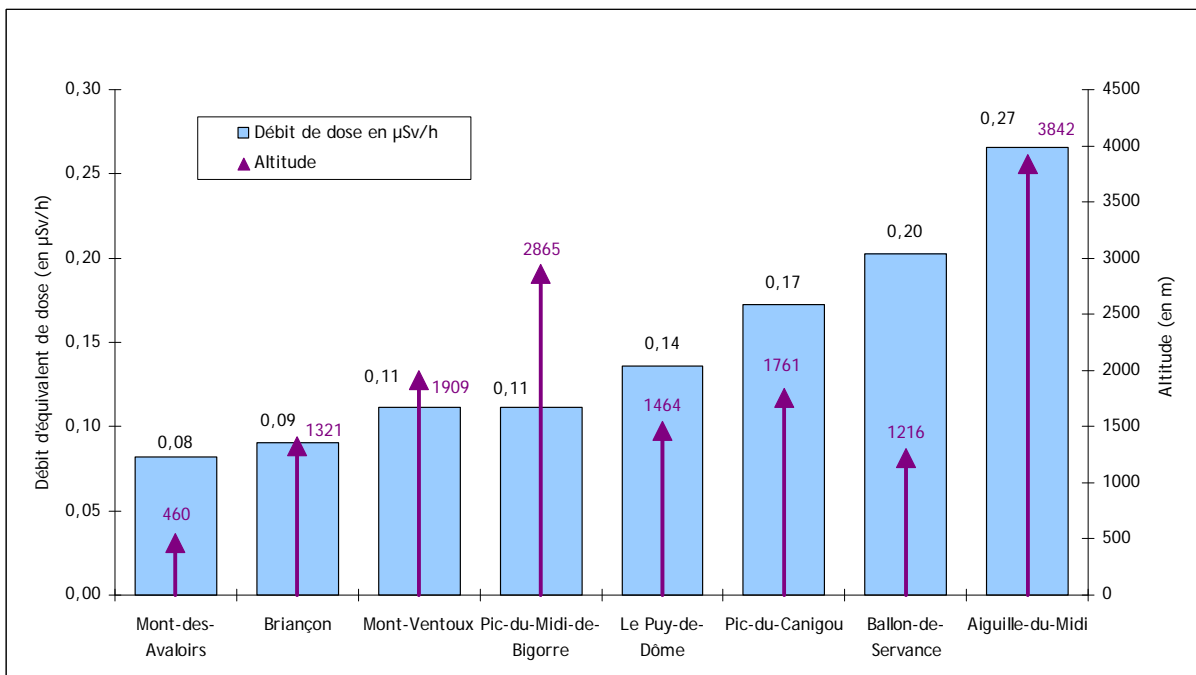


Figure 16 : Evolution du débit de dose en fonction de l'altitude en 2008

En 2008, aucune mesure anormale relative à un événement radiologique accidentel n'a été détectée par le réseau Téléray. Quelques événements naturels d'origine météorologique ou électromagnétique ont occasionné des augmentations du débit de dose et ont conduit à des dépassements des seuils d'alarme.

VI.1.2 LE RESEAU DE DOSIMETRES THERMOLUMINESCENTS (DTL)

Développé à partir de 1985, le réseau de dosimètres thermoluminescents (réseau DTL) permet d'effectuer la surveillance de la dose externe due au rayonnement gamma ambiant dans l'environnement, intégrée sur des périodes de 6 mois.

Environ 900 DTL sont déployés sur le territoire (métropole et DOM-TOM), avec une densité renforcée aux abords des sites nucléaires.



Le réseau met en œuvre un dispositif passif ne nécessitant pas d'apport d'énergie, peu coûteux, facile d'installation et sans maintenance.

Les DTL employés, tous identiques, permettent l'enregistrement de doses de 10 micrograys à 1000 grays (ou sievert s'agissant de rayonnement gamma). Ils couvrent la gamme des débits de dose possibles dans un contexte environnemental, tout en étant d'une sensibilité suffisante pour mesurer de faibles variations en chaque lieu d'implantation.

Figure 17 : Photo d'un dispositif DTL

L'interprétation cartographique simplifiée ci-après représente la moyenne annuelle des mesures enregistrées par les dosimètres, avec cependant un biais lié à l'hétérogénéité des implantations.

Les résultats obtenus en 2008 sont du même ordre de grandeur que ceux des années précédentes. Ces résultats varient entre 0,3 mSv/an et 1,4 mSv/an. A l'instar de l'analyse des résultats de mesure du réseau Téléray, les doses annuelles varient en fonction de la nature des roches (influence des descendants du radon et du rayonnement tellurique) et de l'altitude (influence du rayonnement cosmique). Elles sont ainsi représentatives de la radioactivité naturelle du territoire français.

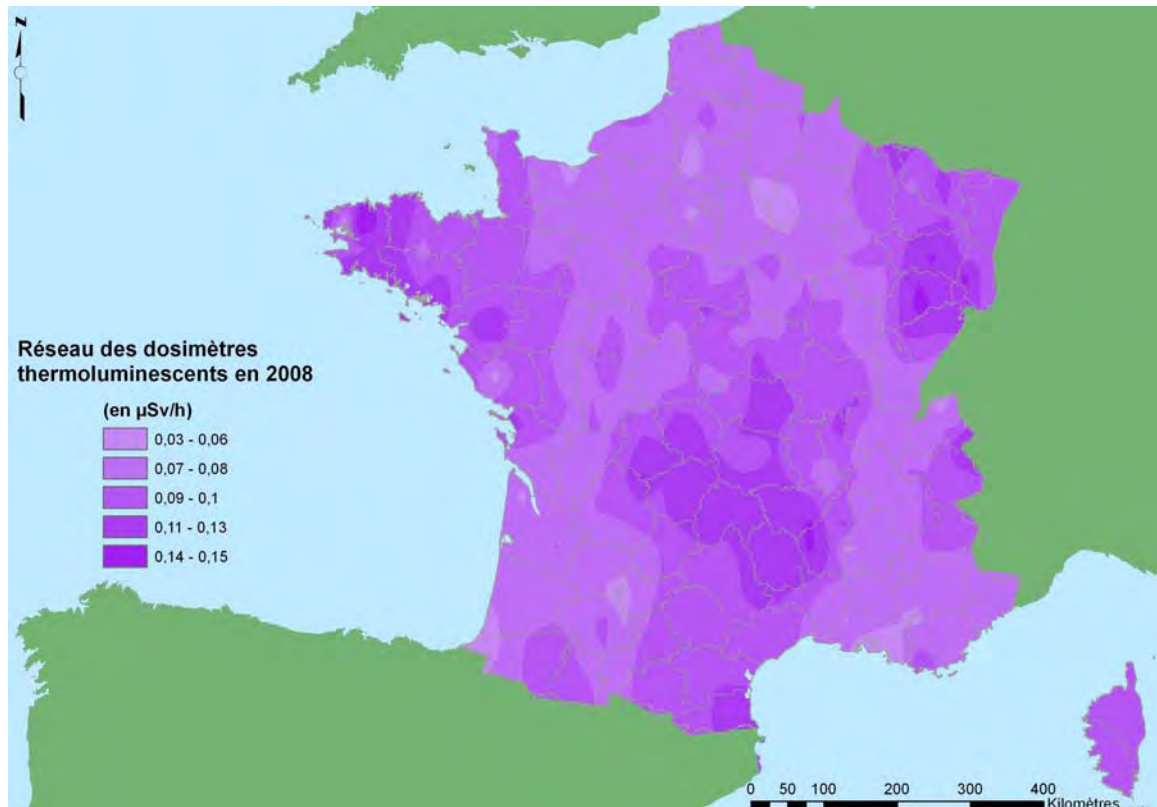


Figure 18 : Représentation cartographique des données (équivalent de débit de dose) du réseau de DTL en France en 2008

VI.1.3 LE RESEAU OPERA-AIR : LES AEROSOLS ATMOSPHERIQUES

La surveillance de la radioactivité dans les aérosols atmosphériques est assurée sur l'ensemble du territoire par deux types de stations complémentaires constituant le réseau OPERA-AIR (observatoire permanent de la radioactivité de l'environnement dans l'air) :

- des stations dites « AS » (Air au niveau du Sol) qui permettent d'obtenir une information quotidienne de la radioactivité des aérosols ;
- des stations dites « TGD » (Très grand débit) 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).



Figure 19 : Implantations des stations métropolitaines du réseau « OPERA-AIR » en 2008

L'activité volumique bêta global varie en fonction des régions et des conditions météorologiques tels que la pression atmosphérique ou encore l'humidité de l'air. Elles s'expliquent également par la remise en suspension de particules terrigènes dont l'activité dépend des conditions géologiques et pédologiques à l'échelle locale (voir focus du chapitre VI.1.3.2). Les moyennes mensuelles de l'activité bêta global des aérosols, observée en 2008, sont présentées en Figure 22.

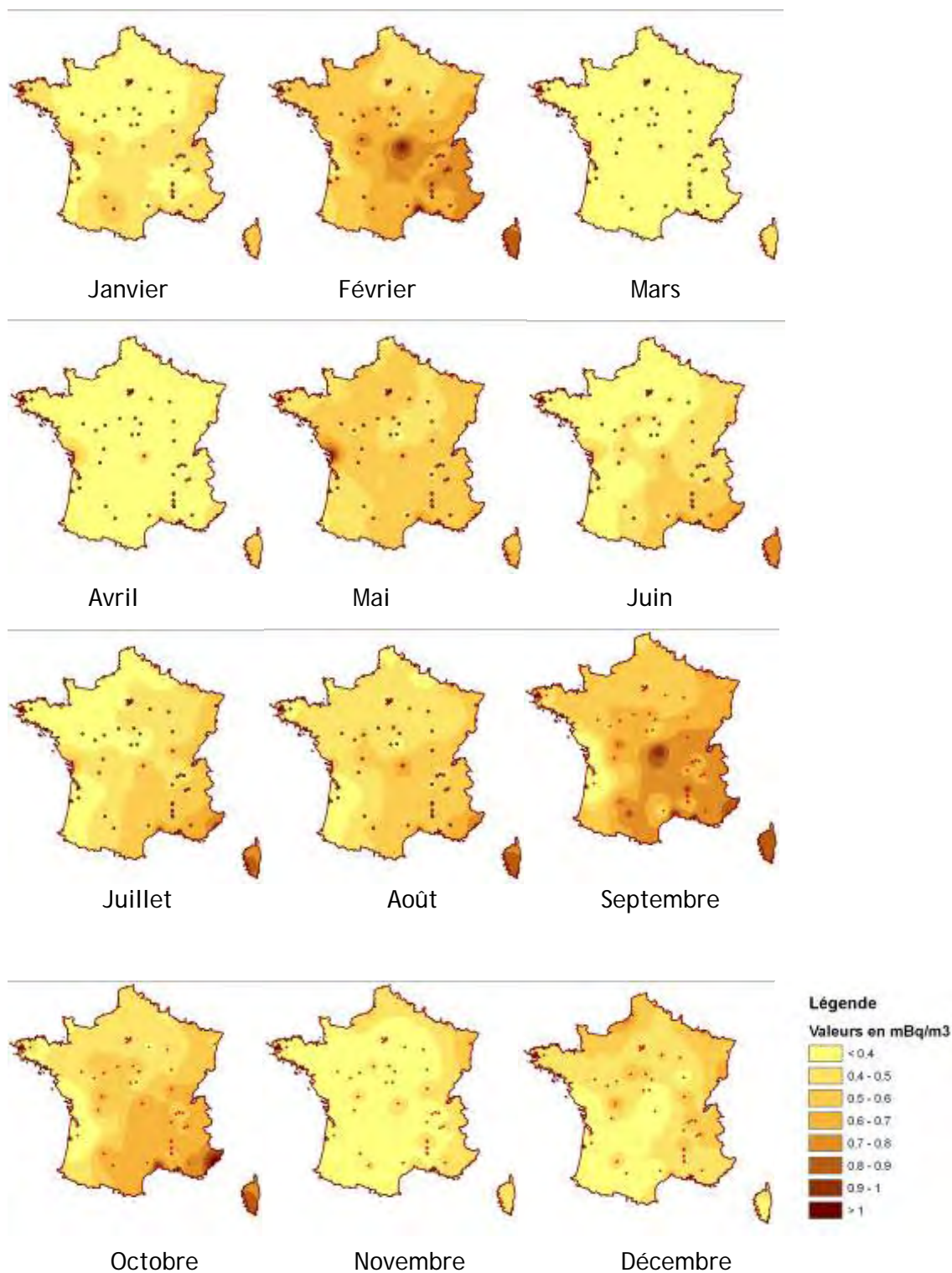


Figure 22 : Représentation cartographique des moyennes mensuelles de l'activité bêta global des aérosols sur l'ensemble du territoire en 2008

VI.1.3.1 LES STATIONS AS (AIR AU NIVEAU DU SOL) EN 2008

65 stations de prélèvements d'aérosols « AS » sont déployées sur le territoire, dont 33 sont implantées sous l'influence potentielle d'une installation nucléaire. Après un prélèvement à un débit moyen de l'ordre de $10\text{m}^3/\text{h}$, les filtres sont relevés quotidiennement (Figure 20) pour des analyses radiologiques en laboratoire.



Figure 20 : Station AS du site IRSN du Vésinet (gauche) et prélèvement du filtre (droite)

En 2008, les analyses de spectrométrie gamma montrent la présence constante du béryllium 7, radionucléide d'origine naturelle créé sous l'effet du rayonnement solaire dans les hautes couches atmosphériques (Figure 21). En fonction des variations climatiques saisonnières, on le retrouve en plus ou moins grande concentration dans les aérosols (entre autres) au niveau du sol.

Une seule valeur singulière a été détectée à la station AS1 du CNPE de Belleville (paragraphe VII.1).

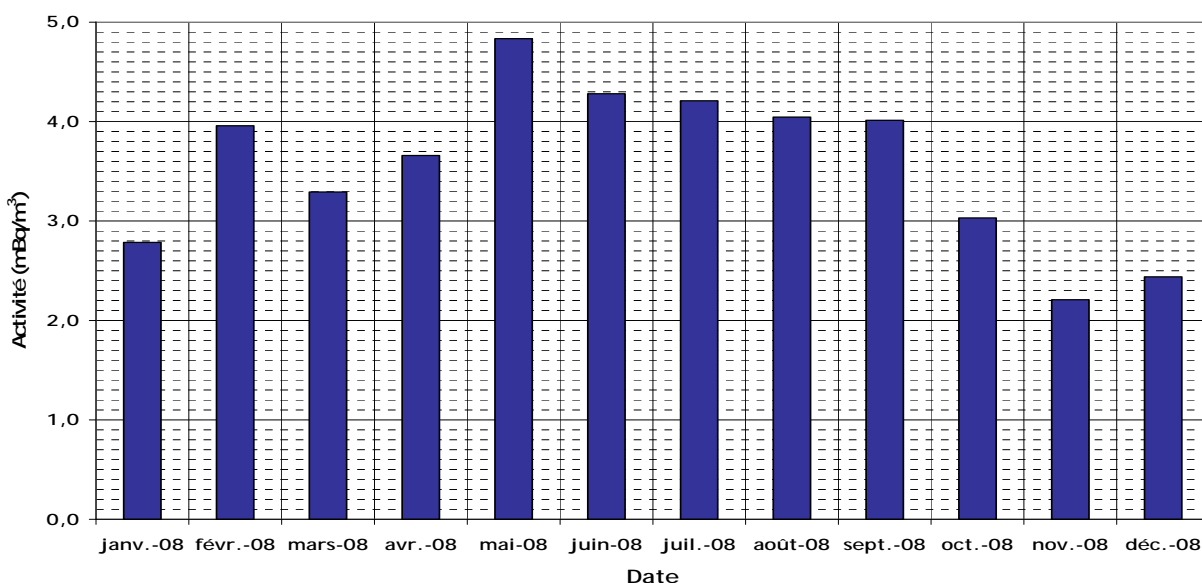


Figure 21 : Activités volumiques moyennes en ⁷Be mesurées en 2008 par le réseau AS

VI.1.3.2 LES STATIONS « TGD » EN 2008

8 stations de collecte d'aérosols à très grand débit (300 à 700 m³/h - Figure 23) sont distribuées sur le territoire. La collecte s'effectue sur 10 jours consécutifs de façon à accumuler une grande quantité d'aérosols. En complément, une métrologie de pointe permet de mesurer des niveaux représentatifs des traces infinitésimales (< 0,1 µBq/m³).



Figure 23 : Stations de prélèvement TGD : version à gauche 300 m³/h - version à droite 700 m³/h

FOCUS

Evolution de l'activité en césium 137 dans l'air depuis 1959 et fluctuations actuelles

Le réseau OPERA-AIR est aussi un dispositif de recherche, permettant l'étude des mécanismes naturels à l'origine des fluctuations du bruit de fond de la radioactivité dans les aérosols. La figure suivante présente l'évolution moyenne annuelle du niveau d'activité en ^{137}Cs depuis 1959 ainsi qu'un zoom sur les fluctuations enregistrées sur des périodes de 10 jours à la station de la Seyne-sur-Mer depuis 2000.

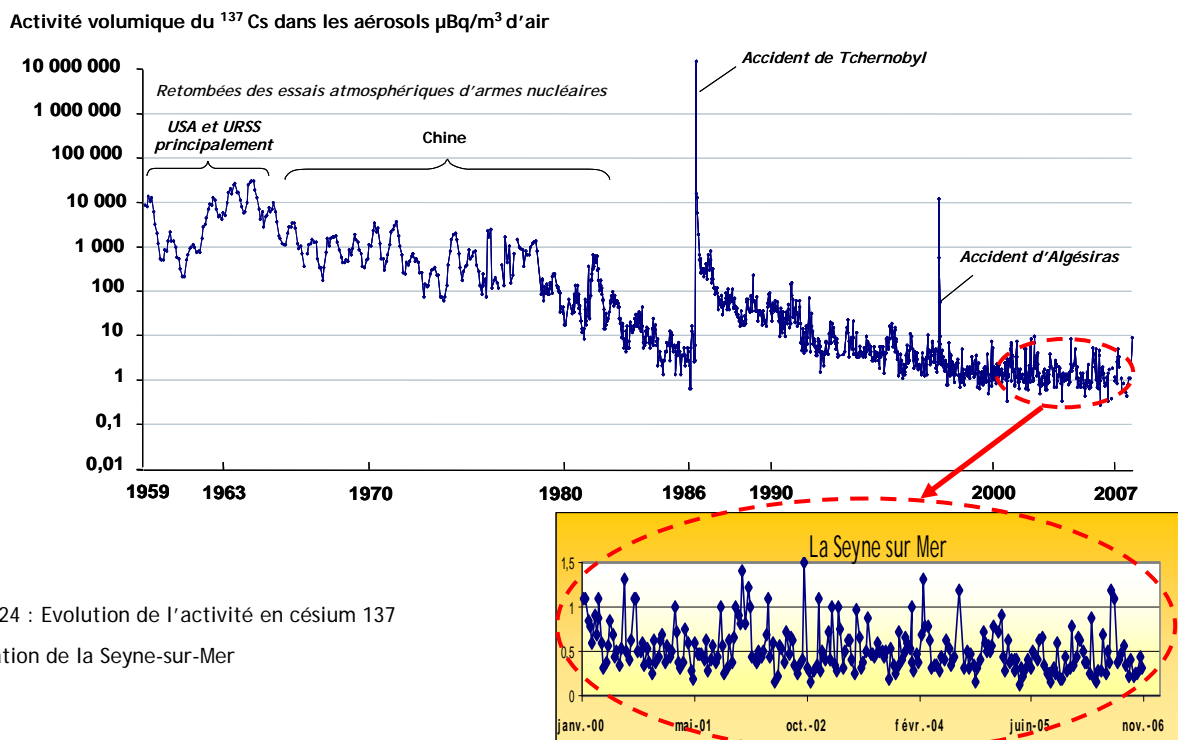
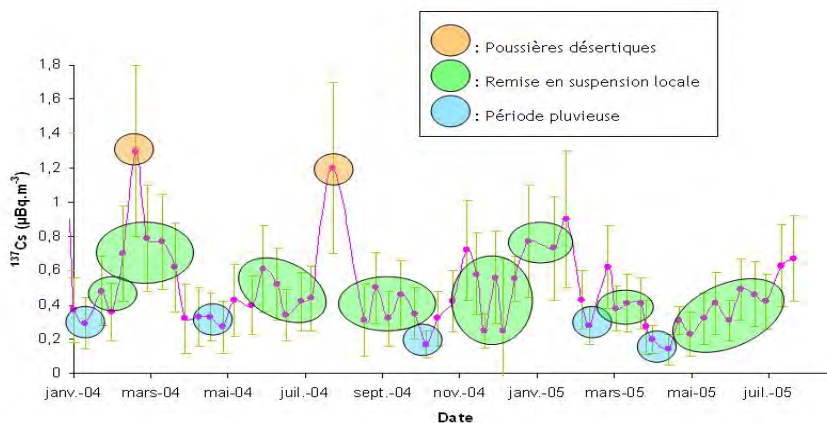


Figure 24 : Evolution de l'activité en césium 137 à la station de la Seyne-sur-Mer

Les fluctuations enregistrées sont à mettre en relation avec l'origine des masses d'air et le marquage des sols qu'elles survolent. Les niveaux d'activité des masses d'air continentales sont environ 45 % plus élevés que ceux des masses d'air océaniques. En hiver, les conditions météorologiques étant souvent défavorables à la dispersion des composés présents dans l'atmosphère, les niveaux sont plus élevés qu'en été. Des processus extrêmes peuvent également expliquer des hausses des niveaux d'activité comme par exemple les épisodes de poussières sahariennes arrivant sur la France ou encore les particules rejetées dans l'atmosphère par des incendies de forêt. Ces événements sont à l'origine d'aérosols chargés en radionucléides antérieurement déposés. Des événements plus anodins participent au maintien dans l'air à une échelle locale d'un bruit de fond ambiant ténu (travaux agricoles, combustion de biomasse...). Ce bruit de fond ambiant est lui aussi sujet à un affaiblissement par rabattement des aérosols soit par temps sec (effet de la gravité notamment) soit par temps de pluie (effet de lessivage par la pluie).

Figure 25 : Illustration des phénomènes influant sur l'activité en césium 137 dans l'air à la station de la Seyne-sur-Mer



VI.1.4 LE RESEAU SARA (TELESURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE DES AEROSOLS)

Le réseau OPERA-AIR présenté au paragraphe précédent, ne permet de disposer d'une caractérisation des aérosols qu'a posteriori, au mieux après une période d'environ une douzaine de jours. En cas d'événement radiologique important, la connaissance rapide de la contamination atmosphérique, qui permettrait de conforter l'évaluation, par l'IRSN, du diagnostic de la contamination de l'air et, par conséquent, l'estimation des doses dues au panache, est un enjeu majeur dans la gestion des populations, tant en phase d'urgence qu'au début de la phase post-accidentelle.

A cet effet, l'IRSN a mis en place depuis 2000 le réseau SARA, composé de 11 balises dédiées à la « Surveillance Automatisée de la Radioactivité des Aérosols ». Dix stations sont implantées dans des sites de Météo-France et une au Vésinet. Chaque balise est systématiquement jumelée avec une sonde Téléray et une station AS.

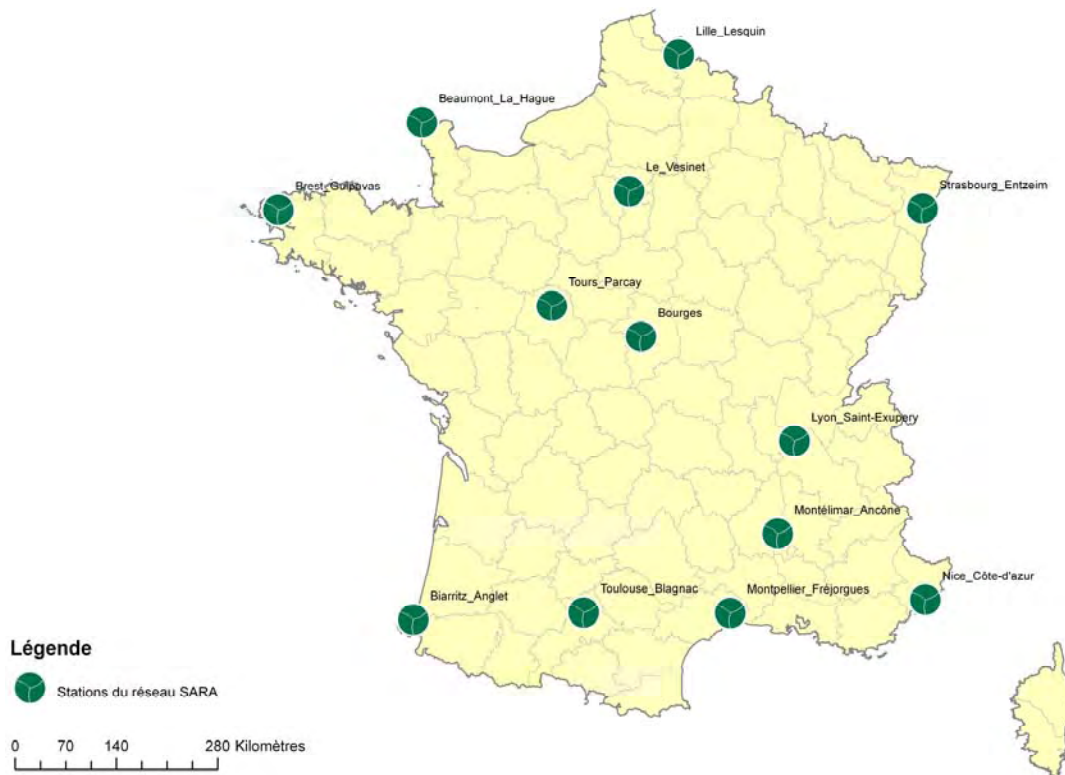


Figure 26 : Implantation des stations du réseau SARA en 2008



Figure 27 : Photo de la station SARA

Ce réseau permet la mesure de manière automatique et en continu de la radioactivité des aérosols. Une pompe d'aspiration collecte, via la tête de prélèvement (en forme de chapeau chinois), les particules atmosphériques qui sont déposées sur une bande de filtre en papier.

Le détecteur mesure la présence d'éventuels radionucléides artificiels émetteurs alpha (LD de l'ordre de $0,02 \text{ Bq/m}^3$) et bêta artificiels (LD de l'ordre de $0,25 \text{ Bq/m}^3$) mais permet également de quantifier les descendants naturels du radon.

En 2008, aucun événement dû à la présence de radionucléide d'origine artificielle n'a été mis en évidence par le réseau SARA.

VI.1.5 LES EAUX DE PLUIES

Le dispositif actuel de collecteurs d'eau de pluie, représentant plus d'une cinquantaine de stations (Figure 28), permet de connaître la part de radionucléides qui est lessivée lors des précipitations. Les collecteurs sont installés sous les vents dominants des installations nucléaires et sur des sites hors influence de ces installations (sites Météo-France et exploitations agricoles), en métropole et dans les départements et territoires d'outre-mer.



Figure 28 : Photo de collecteur et implantation des points de collecte d'eau de pluie en 2008

En 2008, les analyses des prélèvements d'eau de pluie réalisés hors influence des installations nucléaires, n'ont mis en évidence, comme les années précédentes, que la présence du béryllium 7, radionucléide d'origine cosmogénique.

Pour l'ensemble des radionucléides hors tritium, il n'y a pas d'écart enregistré entre les eaux de pluie collectées au voisinage des sites nucléaires et celles collectées en dehors des zones d'influence de ces installations.

Les niveaux de concentrations en tritium mesurées à proximité de certaines installations nucléaires, sont à mettre en relation avec les rejets de ces installations. Les résultats détaillés d'analyses des prélèvements d'eau de pluie réalisés sous les vents dominants des installations nucléaires, sont présentés aux chapitres VIII et IX.

VI.2. LE MILIEU CONTINENTAL

VI.2.1 LES COURS D'EAU (FLEUVES ET RIVIERES)

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 (paragraphe VI.2.1.2).



Figure 29 : Implantation des stations Hydrotéléray et des hydrocollecteurs en 2008

VI.2.1.1 LE RESEAU DE PRELEVEMENTS PAR HYDROCOLLECTEURS

Au niveau de chaque hydrocollecteur, l'eau est pompée par un dispositif automatique qui alimente en permanence un bac de décantation. Après décantation des MES au fond du bac, les boues sont récupérées et analysées mensuellement. L'eau du bac est pompée au rythme moyen de 15 ml par heure pour générer un échantillon d'environ 2 l tous les 6 jours, transféré mensuellement en laboratoire, où les fractions d'eaux brute et filtrée à 0,45 µm sont analysées.



Figure 30 : Hydrocollecteur en fonctionnement (gauche) et détail du dispositif de prélèvement (droite)

En plus des hydrocollecteurs et des points de prélèvements localisés en amont ou en aval immédiat des installations nucléaires (résultats détaillés au chapitre VIII), 5 stations sont implantées en des points éloignés de ces installations nucléaires, en aval ou en amont :

- sur la Loire, en aval des installations nucléaires à l'usine des eaux des Ponts-de-Cé (Maine-et-Loire) ;
- sur le Rhône, en amont des installations nucléaires, au barrage de Génissiat (Ain) et au barrage de Vallabrègues (Gard) en aval de ces installations ;
- sur la Seine, en aval des installations nucléaires à Croissy-sur-Seine (Yvelines) et en aval de l'usine des eaux d'Achères à Porcheville (Yvelines).

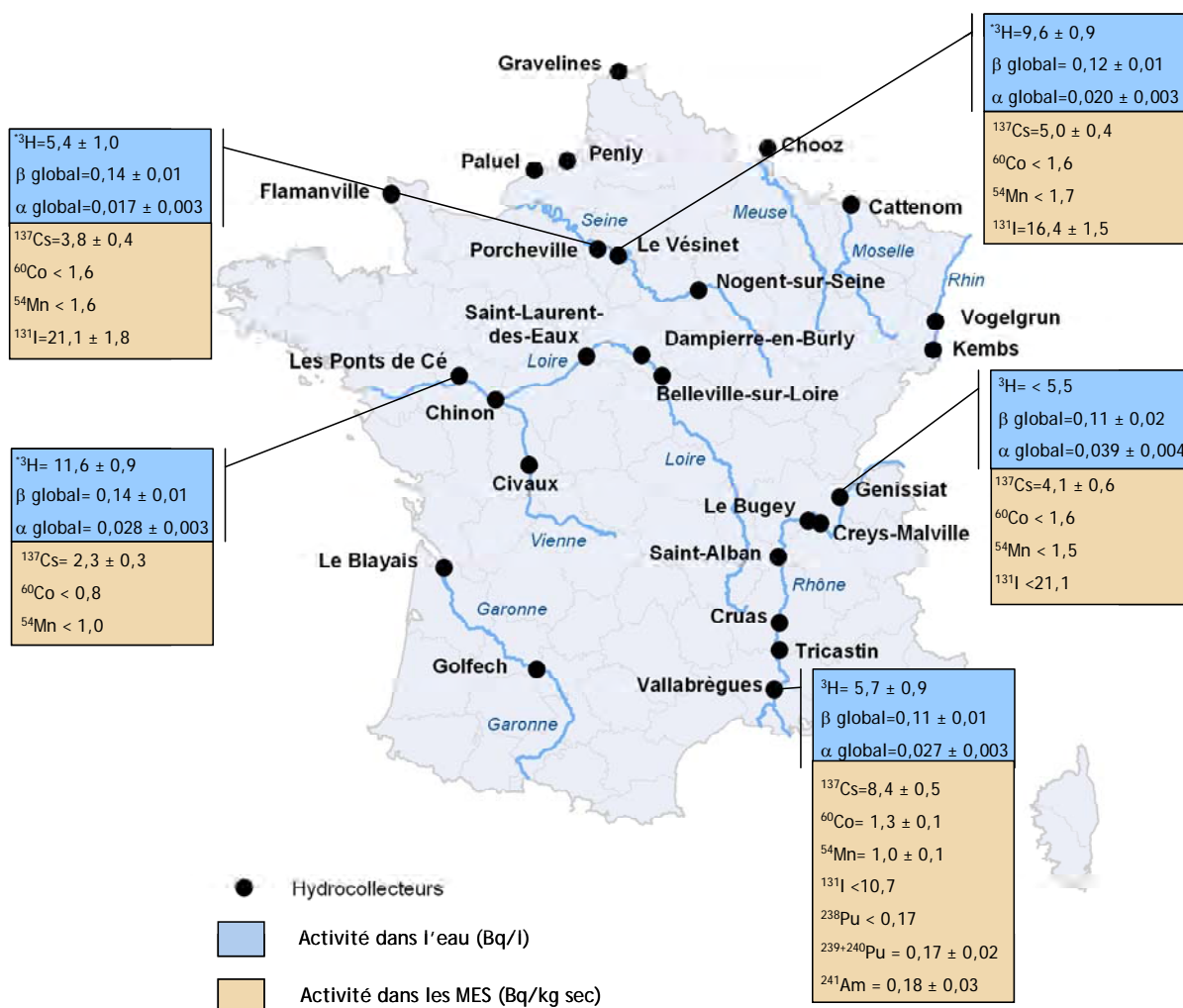


Figure 31 : Activités mesurées dans les eaux et les MES décaantées collectées en 2008 par les hydrocollecteurs implantés en champ éloigné des installations nucléaires.

De l'ensemble des résultats de radioactivité mesurée en 2008 dans les cours d'eau (Figure 31 pour les stations en champ éloigné d'une installation nucléaire et chapitre VIII pour les stations implantés au plus près des installations nucléaires), il ressort que :

- Ces résultats mettent en exergue un marquage en tritium en aval hydraulique des rejets d'effluents liquides de certaines installations nucléaires telles que les CNPE (paragraphe VIII.5.3.1). Ce marquage diffère en fonction des niveaux de rejets des installations et des caractéristiques hydrologiques des cours d'eau récepteurs. En 2008, les concentrations en tritium sont comprises en moyenne entre 6 et 28 Bq/l (valeur inférieure à la valeur guide de 100 Bq/l, recommandée par le code de la santé publique - CSP - pour les eaux d'adduction destinées à la consommation humaine).
- L'activité alpha globale, se situe en moyenne entre 0,01 et 0,03 Bq/l et s'explique par la teneur en uranium d'origine naturelle présente dans les cours d'eau. Ces résultats sont inférieurs à la valeur guide de 0,1 Bq/l, recommandée par le CSP concernant les eaux d'adduction destinées à la consommation humaine.
- L'activité bêta globale moyenne, comprise entre de 0,10 et 0,15 Bq/l, est inférieure à la valeur guide de 1 Bq/l, recommandée par le code de la santé publique concernant les eaux destinées à la consommation humaine.

En complément des mesures de radioactivité de la fraction liquide, des analyses de spectrométrie gamma sont réalisées sur les matières en suspension (fraction solide) sur lesquelles peuvent s'adsorber les radionucléides. Les résultats de ces analyses, détaillés pour l'aval des CNPE au chapitre VIII.5.3.2, indiquent que :

- les niveaux de césium 137 sont du même ordre de grandeur que ceux observés les années précédentes et ne diffèrent pas significativement d'un cours d'eau à l'autre (activité massique comprise entre 2 à 9 Bq/kg frais). La présence de ce radionucléide s'explique principalement par les retombées atmosphériques passées ;
- la présence de produits d'activation et de fission, telles que le cobalt 60, le manganèse 54 et l'argent 110m, est parfois détectée en aval hydraulique de certains CNPE ;
- des traces de plutonium 239+240 et d'américium 241 sont mesurées à la station de Vallabrègues, qui s'expliquent par les rejets liquides anciens des installations des sites de Marcoule et Pierrelatte, mais également par les retombées atmosphériques passées (l'évolution de la contamination des sédiments du Rhône en aval du site de Marcoule est décrite au paragraphe VIII.6.1) ;
- De l'iode 131 est régulièrement mesuré en aval de grandes agglomérations disposant d'activités de médecine nucléaire. Ainsi en 2008, des niveaux d'une dizaine à quelques dizaines de Bq/kg sec ont été mesurés dans la Vienne, le Rhône et la Seine.

VI.2.1.2 LE RESEAU HYDROTELÉRAY

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.

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).

A chacune des stations, une mesure de spectrométrie gamma est réalisée sur un temps d'intégration de 2 heures pour un débit passant de l'ordre de 6 à 10 m³/h.



Figure 32 : Station Hydrotéléray

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.

Les limites de détection sont d'environ 0,5 à 1 Bq.l⁻¹ pour les ¹³⁷Cs, ¹³¹I et ⁶⁰Co. 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.

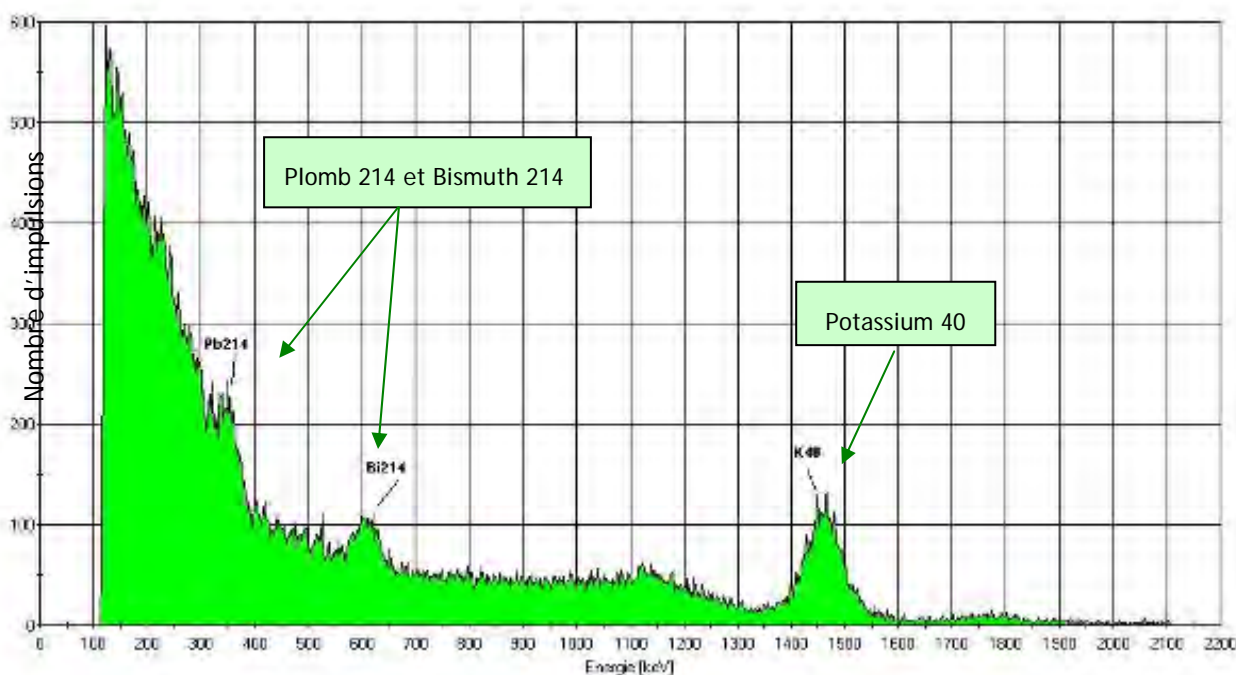


Figure 33: Spectre enregistré par la station d'Angers lors d'un événement orageux

En 2008, Les seuls radionucléides détectés sont d'origine naturelle : le plomb 214 et le bismuth 214, issus de la filiation du radon ainsi que le potassium 40 (Figure 33).

VI.2.2 LE MILIEU TERRESTRE

Des prélèvements de sols, de végétaux et des productions d'origine animale et végétale sont réalisés dans l'environnement terrestre français en dehors de zones d'influence des Installations Nucléaires de Base (INB). Ces suivis permettent de caractériser le « bruit de fond » d'une zone géographique donnée (une station de référence, un département, une région climatique,...). Ce bruit de fond ou « état radiologique » de la zone peut être d'origine naturelle (^7Be , ^{40}K , ^{228}Ra , ^{214}Bi ,...) ou lié aux rémanences (^{90}Sr , ^{137}Cs) des retombées atmosphériques passées (essais militaires, accident du réacteur de la centrale de Tchernobyl...).

L'état radiologique des zones non influencées par les rejets d'installations nucléaires est établi à partir d'une surveillance de très bas niveau sur des zones ciblées ou à partir d'études ou de constats radiologiques spécifiques.

En complément des connaissances acquises sur le bruit de fond, une veille régulière (au moins annuelle) est réalisée à l'échelle régionale sur deux principales productions françaises : le lait et les céréales. A partir de 2009, avec la contribution des services déconcentrés de la DGAL (DDSV) et de la DGCCRF, un réseau de préleveurs de productions végétales et animales est ainsi réparti sur l'ensemble du territoire permettant de renforcer en tant que de besoin la surveillance d'une zone géographique.

VI.2.2.1 LES NIVEAUX DE RADIOACTIVITE DE L'ENVIRONNEMENT FRANÇAIS

Les données acquises par l'IRSN sur l'ensemble du territoire au titre de la surveillance radiologique de l'environnement ou dans le cadre d'études spécifiques permettent de connaître les niveaux d'activités présents aujourd'hui dans plusieurs compartiments [3] [4].

La Figure 34 précise les gammes d'activités mesurées pour les cinq principaux radionucléides artificiels ($^{239+240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^3H et ^{14}C) dans 6 denrées radiologiquement représentatives de la chaîne alimentaire : la salade, les céréales, le vin, le lait de vache, la viande, les poissons de fleuve et des moules de méditerranée.

Les activités sont extrêmement variables d'un radionucléide à l'autre et s'étalent sur près de 7 ordres de grandeur. Ainsi, les activités de ^{14}C les plus élevées, comprises le plus souvent entre 10 Bq/kg et 100 Bq/kg, sont 10 000 à plus de 1 million de fois supérieures à celles de $^{239+240}\text{Pu}$. Ces dernières (en rouge sur le graphique) sont le plus souvent inférieures à 1 mBq/kg (0,001 Bq/kg).

En revanche, pour un même radionucléide, les activités varient peu d'une denrée à l'autre, notamment au regard de la variabilité au sein d'une même denrée. Ainsi, les activités de ^{137}Cs , ^{90}Sr et $^{239+240}\text{Pu}$ mesurées sur l'ensemble du territoire couvrent chacune 2 à 3 ordres de grandeur sans qu'il ne soit plus possible de discriminer statistiquement d'effet régional. L'origine des radionucléides artificiels et les phénomènes radioécologiques expliquent cette variabilité.

Les gammes d'activités indiquées sur ce graphique sont représentatives du « bruit de fond » en France et plus largement en Europe de l'Ouest pour les radionucléides considérés. Sous l'influence des rejets industriels de certaines installations nucléaires, des activités plus élevées peuvent être localement mesurées. C'est le cas des activités de ^3H et ^{14}C autour des installations de Marcoule et de La Hague, du tritium autour du centre de Valduc, et du plutonium dans les poissons en aval de Marcoule.

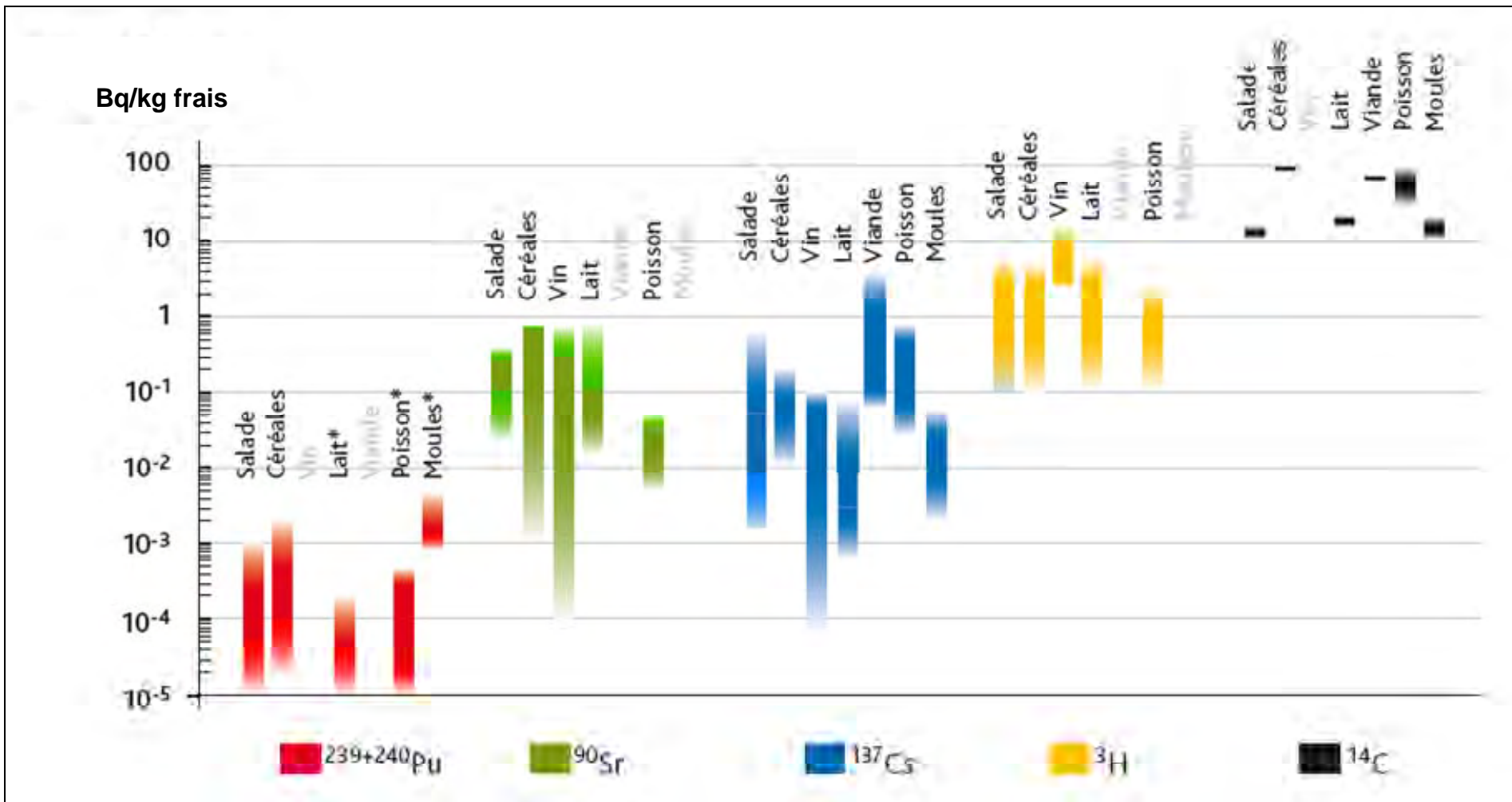


Figure 34 : Gammes des activités actuelles des radionucléides artificiels les plus couramment observés dans 6 denrées radiologiquement représentatives de la chaîne alimentaire [4]

FOCUS

Radioactivité d'origine artificielle en Bretagne en 2008

La Bretagne est une zone particulièrement représentative du bruit de fond en France, hors de l'influence d'installations nucléaires (si l'on excepte d'une part les environs immédiats du site de Brennilis et le secteur de l'Île Longue-rade de Brest et, d'autre part, les anciennes zones minières localisées au nord ouest du Morbihan). Cette région présente une très faible rémanence des dépôts historiques de ^{137}Cs liés aux tirs atmosphériques d'essais d'armes des années 60 à 80 et aux retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Pour vérifier par des mesures directes que cette région est très peu marquée par la radioactivité d'origine artificielle, une campagne de prélèvements en milieu terrestre a eu lieu en 2008 en Bretagne [10] ciblant des indicateurs tels que le gibier, les sols, la végétation spontanée, l'herbe mais aussi les productions agricoles majeures de la région.

Résultats des mesures réalisées sur les matrices biologiques

Les résultats des mesures de ^{137}Cs sont présentés Figure 35. Plus de la moitié des valeurs sont inférieures à la limite de détection qui est de l'ordre de 0,01 à 0,1 Bq/kg frais. C'est en particulier le cas des productions maraîchères (Roscoff), des œufs et volailles (élevage industriel, Quimper) et de l'herbe. Les valeurs significatives sont pour les autres denrées échantillonnées (lait, fromage, cidre, porc industriel de Quimper) dans la même gamme et à peine supérieures (0,01 à 0,1 Bq/kg frais), ce qui confirme la très faible rémanence du ^{137}Cs dans cette région. Les seules valeurs un peu plus élevées concernent, sans surprise, les échantillons de viande de sanglier : environ 1 Bq/kg frais et la bruyère, végétal persistant et susceptible de capter les dépôts de poussières remises en suspension : 5 Bq/kg frais. Ces résultats ne présentent aucune anomalie par rapport aux niveaux français.

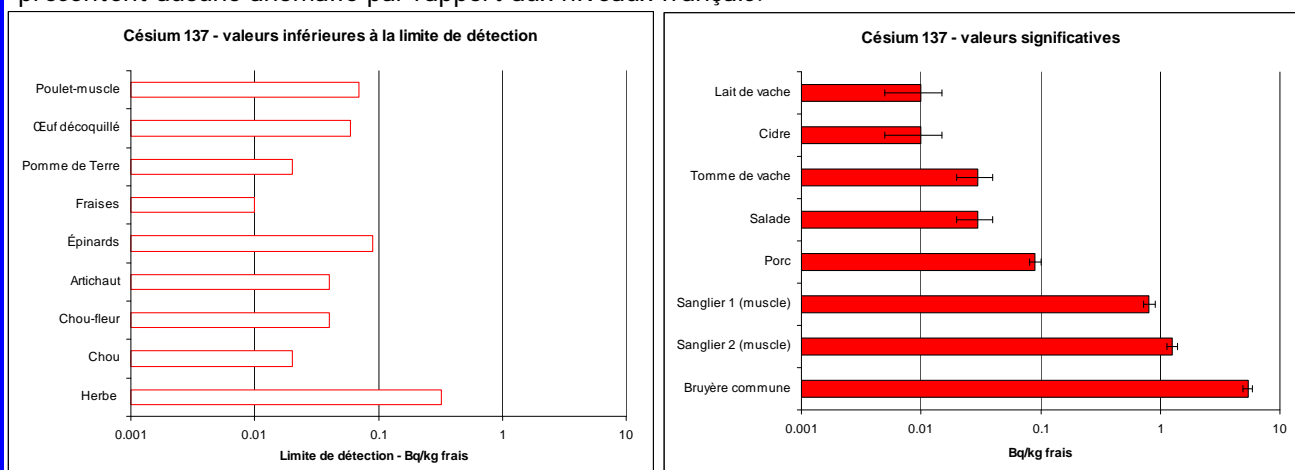


Figure 35 : Activités en ^{137}Cs dans les échantillons biologiques prélevés en Bretagne en 2008

En ce qui concerne le ^{90}Sr mesuré dans du lait de vache et du fromage (tomme), les niveaux sont cohérents avec la rémanence des dépôts liés aux tirs atmosphériques (0,03 Bq/l de lait et 0,31 Bq/kg frais de fromage).

Une dizaine d'échantillons biologiques ont fait l'objet de mesure du carbone 14 et de tritium.

L'activité spécifique du ^{14}C , qui est exprimée en becquerels de ^{14}C par kilogramme de carbone total, ne dépend quasiment pas de la matrice ni de la situation géographique en tant que telles, mais peuvent être affectées d'une variabilité naturelle. Les valeurs obtenues sont groupées autour de la valeur moyenne, soit 240 ± 17 Bq/kg C. Elles reflètent un bruit de fond en 2008, lié au ^{14}C naturel pour l'essentiel et, pour moins de 10 %, à la rémanence des tirs atmosphériques des années 60 à 80.

Pour le tritium (Figure 36), les mesures acquises concernent le tritium lié à la matière organique (organically bound tritium, OBT). Sur 11 mesures d'échantillons biologiques, 6 sont inférieures à la limite de détection (1,3 à 1,5 Bq/l) et les autres sont du même ordre de grandeur ou très légèrement supérieures à ces limites de détection, variant de 0,9 à 3 Bq/l pour tous les échantillons, indépendamment de leur nature et de leur localisation. Ces valeurs sont tout à fait conformes aux niveaux attendus actuellement en zone non influencée par un rejet de tritium.

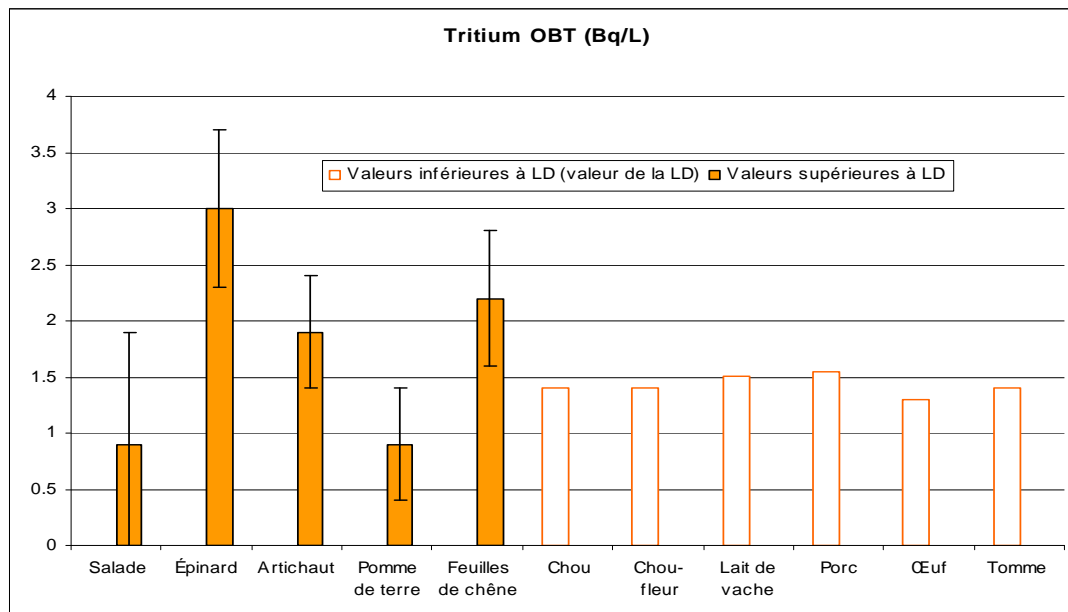


Figure 36 : Niveaux d'activité en ^3H dans les échantillons biologiques

Mesures effectuées sur des sols

Les concentrations faibles en ^{137}Cs des strates de surface des sols, comprises entre $3,6 \pm 0,4$ et $11,2 \pm 0,9$ Bq/kg sec, sont imputables aux retombées anciennes des tirs atmosphériques, les apports suite à l'accident de Tchernobyl ayant été négligeables sur cette région.

Les niveaux en ^{90}Sr mesurés dans les horizons de surface des sols correspondent à l'ordre de grandeur des valeurs attendues (1 à 2 Bq/kg sec).

Les activités des actinides à la surface des sols sont de l'ordre de ce qui est attendu en zone non influencée par une activité nucléaire : sur la strate de surface, 147 ± 9 à 536 ± 23 mBq/kg sec en $^{239+240}\text{Pu}$, 56 ± 6 à 197 ± 16 mBq/kg sec en ^{241}Am et 5 ± 1 à 14 ± 2 en ^{238}Pu .

En conclusion, les résultats de mesure acquis à partir des échantillons prélevés en milieu terrestre en Bretagne en 2008 ne mettent pas en évidence aucune anomalie particulière par rapport aux niveaux de radioactivité connus sur le territoire français. Des prélèvements supplémentaires seront réalisés en 2009 (légumes, viandes pour analyses gamma et feuilles de chêne pour ^3H et ^{14}C), pour assurer une couverture plus étendue de la région. Ultérieurement seront étudiées les zones susceptibles de présenter des élévations de radioactivité : zone de Brennilis (étude en cours) et anciennes zones minières.

VI.2.2.2 RESEAUX DE VEILLE SUR DEUX PRODUCTIONS NATIONALES

VI.2.2.2.1. Le lait

En complément de la collecte de lait effectuée dans des fermes situées à proximité des installations nucléaires (chapitres VIII et IX), la collecte de lait provenant de coopératives permet d'acquérir des valeurs de référence représentatives de la production laitière à l'échelle départementale et d'assurer une veille sanitaire à l'échelle du Territoire.

Le réseau de surveillance des laits de coopératives était constitué jusqu'en 2003 d'environ 85 stations. En 2008, le nombre de stations est réduit à 56 en raison du désengagement progressif des DDASS, qui assuraient ces prélèvements et dont les missions ont été modifiées. A partir de 2009, la mise en œuvre d'un programme de surveillance des denrées, mutualisé avec la Direction Générale des Aliments (DGAL), devrait permettre de couvrir à nouveau l'ensemble du territoire.

La fréquence des prélèvements, actuellement trimestrielle, peut être adaptée aux événements radiologiques observés sur le territoire (fréquence bimensuelle suite à l'accident de Tchernobyl).

En 2008, la radioactivité mesurée est essentiellement d'origine naturelle, due au potassium 40, dont la concentration (entre 35 et 70 Bq/l) varie d'une station à l'autre.

Parmi les radionucléides d'origine artificielle, le césium 137 a été détecté sur quelques échantillons à des niveaux proches des limites de détection (de l'ordre de 0,1 Bq/l) pour les échantillons prélevés dans les Bouches-du-Rhône et en Corse du Sud. Des traces de strontium 90 sont mesurées dans quelques échantillons à des valeurs inférieures à 0,06 Bq/l.

La présence de ces radionucléides dont les concentrations sont comparables à celles des échantillons prélevés à proximité des installations, est due essentiellement aux retombées anciennes des tirs aériens et de l'accident de Tchernobyl.

Tableau 8 : Activités en ^{90}Sr et en ^{137}Cs mesurées dans les échantillons de lait de vache prélevés en 2008 (Bq/l)

	Radionucléide	Département de la coopérative laitière	Activité volumique
Lait	^{137}Cs	Corse du sud	$0,23 \pm 0,10$
		Bouches du Rhône	$0,14 \pm 0,08$
		Allier	$0,14 \pm 0,03$
	^{90}Sr	Mayenne	$0,054 \pm 0,010$
		Drôme	$0,037 \pm 0,010$
		Bas Rhin	$0,035 \pm 0,009$
		Isère	$0,033 \pm 0,008$
		Alpes de Haute Provence	$0,033 \pm 0,008$
		Dordogne	$0,036 \pm 0,009$

VI.2.2.2.2. Les céréales

La surveillance du blé (métropole) est assurée grâce à la contribution de France Agrimer (ex ONIC : Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures) qui prélève des échantillons provenant de 210 silos répartis sur l'ensemble du territoire. Les échantillons sont ensuite regroupés en 11 mélanges régionaux (répartition climatique) (Figure 37).

La surveillance des céréales à l'échelle régionale complète celle réalisée aux abords des principales installations nucléaires dont les résultats sont présentés par installation aux chapitres VIII et IX.

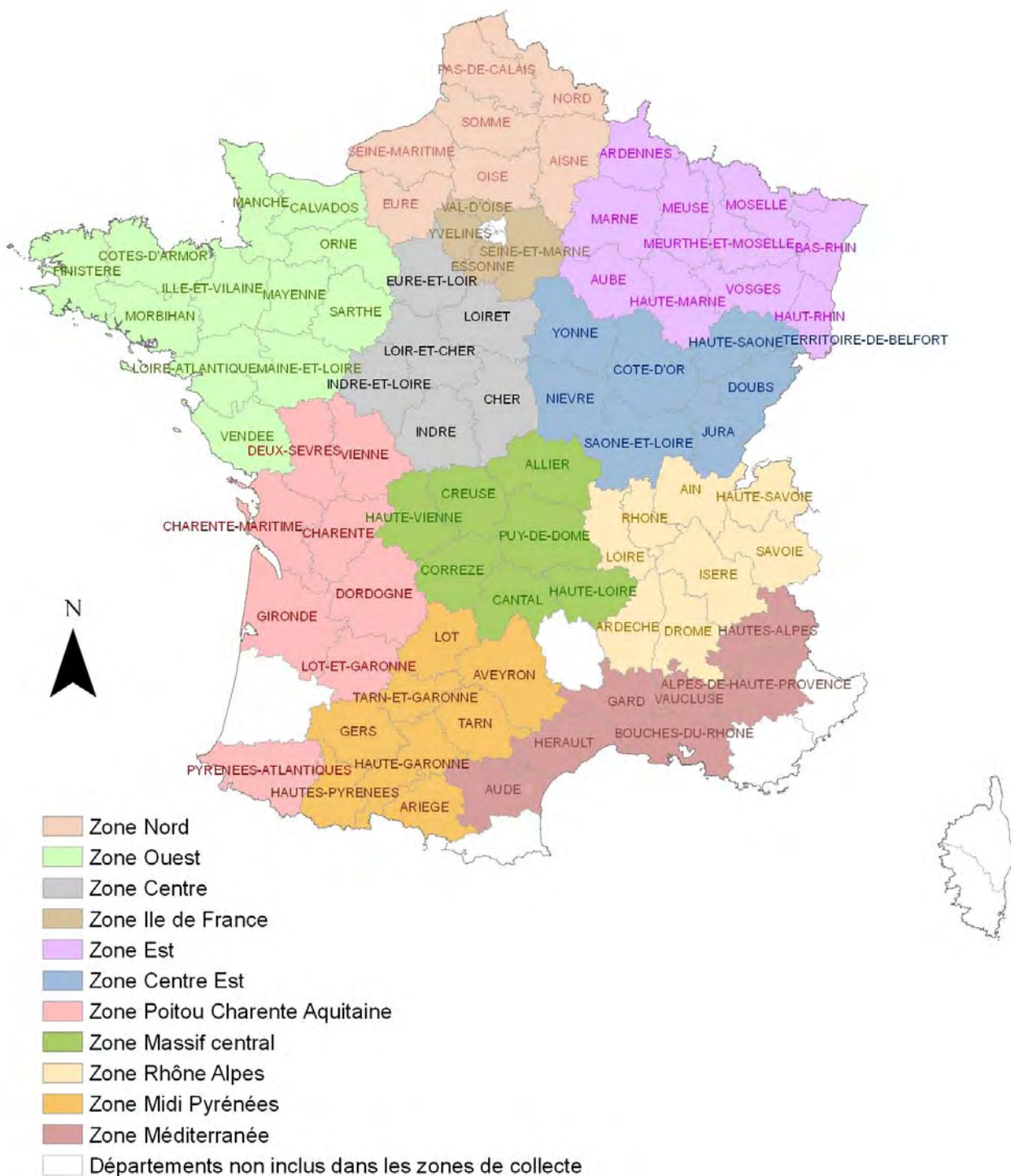


Figure 37 : Répartition des régions de prélèvements de blé

Le Tableau 9 présente les résultats d'analyse par regroupement régional. Comme pour les autres années, les analyses réalisées en 2008 sur les grains entiers indiquent la rémanence de strontium 90, seul radionucléide d'origine artificielle détectable, dont la présence est principalement attribuée aux retombées atmosphériques liées aux essais aériens d'armes nucléaires (Figure 38).

Tableau 9 : Activités mesurées dans les échantillons de blé de la récolte 2008 - Mélanges régionaux (Bq/kg frais)

	Regroupement régional	Activité massique					
		⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co
Céréales	Nord	0,09 ± 0,01	115,7 ± 8,8	< 0,34	< 0,37	< 0,31	< 0,35
	Est	0,14 ± 0,02	114,0 ± 8,8	< 0,34	< 0,39	< 0,38	< 0,44
	Ile de France	0,14 ± 0,02	118,7 ± 9,7	< 0,41	< 0,46	< 0,42	< 0,49
	Centre	0,17 ± 0,02	121,3 ± 9,2	< 0,44	< 0,40	< 0,41	< 0,34
	Ouest	0,24 ± 0,02	121,4 ± 8,7	< 0,51	< 0,51	< 0,48	< 0,56
	Centre Est	0,15 ± 0,02	124,2 ± 9,6	< 0,42	< 0,46	< 0,47	< 0,44
	Massif Central	0,21 ± 0,02	107,0 ± 7,8	< 0,57	< 0,55	< 0,55	< 0,57
	Rhône Alpes	0,23 ± 0,03	108,6 ± 9,4	< 0,40	< 0,47	< 0,46	< 0,52
	Méditerranée	0,15 ± 0,02	120,4 ± 19,7	< 0,44	< 0,55	< 0,48	< 0,49
	Poitou Charente / Aquitaine	0,17 ± 0,02	129,1 ± 17,0	< 0,44	< 0,49	< 0,45	< 0,55
	Midi Pyrénées	0,20 ± 0,03	108,2 ± 19,9	< 0,49	< 0,46	< 0,48	< 0,54

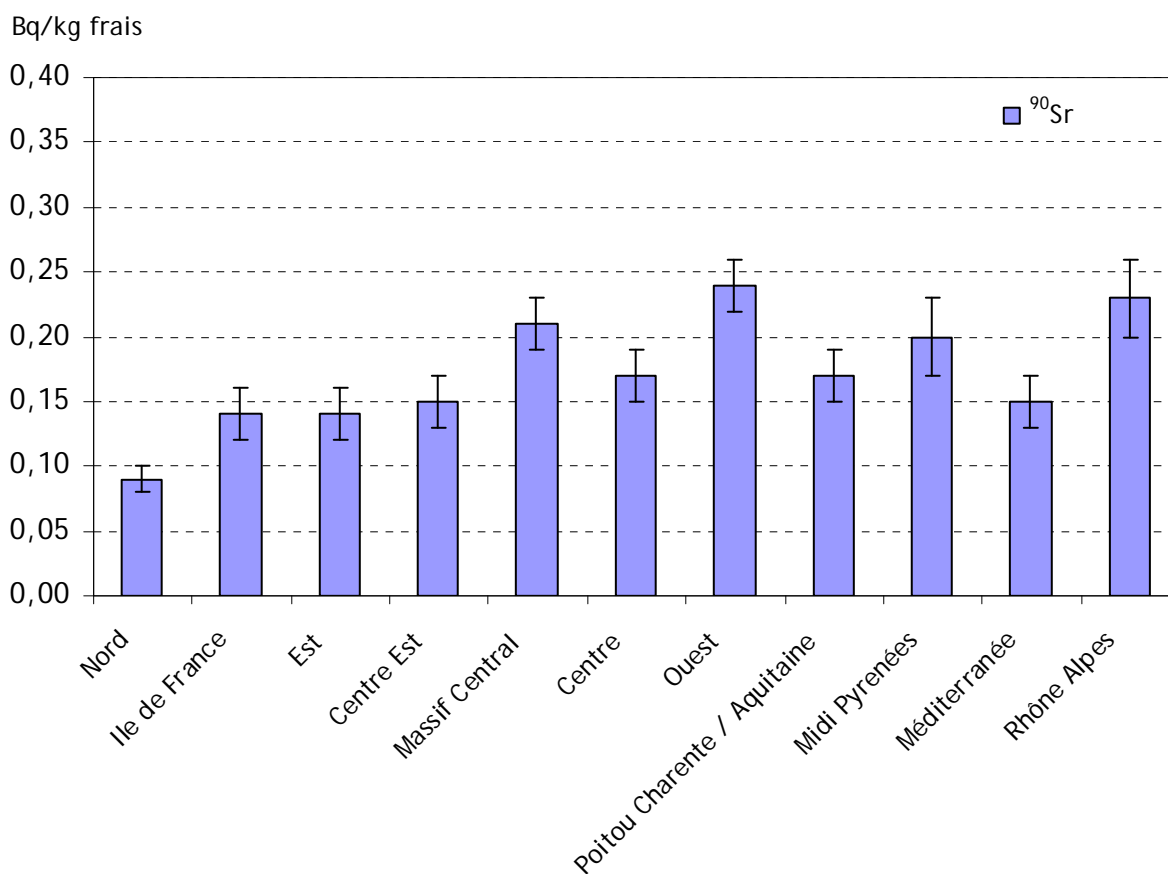


Figure 38 : Activités en ⁹⁰Sr mesurées sur les échantillons de blé de la récolte 2008 - Mélanges régionaux

VI.3. LE LITTORAL

La surveillance des eaux de mer est exercée à partir de 33 stations métropolitaines et 2 stations Outre-Mer (prélèvements mensuels). Les résultats sont présentés sur la Figure 39 pour ce qui concerne les stations situées hors champ proche d'une installation nucléaire, et aux chapitres VIII.5 et VIII.6.2 pour ce qui concerne respectivement les stations proches des CNPE (hydrocollecteurs implantés dans les ouvrages de rejet) et les stations du Cotentin proches de l'usine AREVA NC de la Hague.

En 2008, les seules valeurs significatives de radioactivité (supérieures aux limites de détection) détectées en mer le long des côtes françaises, concernent le tritium mesuré en Manche, principalement le long du littoral du Cotentin, ainsi qu'en mer du Nord. La présence de ce radionucléide a pour principale origine les rejets des effluents liquides du site AREVA NC de la Hague. Les niveaux mesurés à Dunkerque, station située en aval maritime du CNPE de Gravelines, peuvent aussi être dus en partie aux rejets d'effluents liquides de la centrale, compte tenu des concentrations mesurées dans le canal de rejet de ce site (chapitres VIII.5).



Figure 39 : Résultats de la surveillance des eaux de mer en 2008 prélevées hors champ proche d'une installation nucléaire

Les niveaux de césium 137 restent inférieurs à la limite de détection (0,02 Bq/l). La surveillance de ce radionucléide est également effectuée à partir du suivi de la radioactivité dans des organismes bioindicateurs tels que les mollusques.

Pour les moules prélevées sur le littoral Méditerranéen, ce radionucléide est détecté à des valeurs n'excédant pas 0,025 Bq/kg frais. Sur le littoral du Cotentin, sous influence des rejets du site AREVA NC- la Hague, les niveaux mesurés dans les patelles sont de l'ordre de 0,1 Bq/Kg frais.

Par ailleurs, une surveillance des eaux du littoral des Antilles prévoit des prélèvements mensuels en Guadeloupe et en Martinique. Les analyses portent sur des regroupements semestriels. Aucune activité n'a été mesurée au dessus des limites de détection, respectivement de 7,3 Bq/l pour le tritium et de 0,022 Bq/l pour les isotopes du césium.

Cette surveillance est renforcée à proximité du site de la Hague, le long du littoral du Cotentin (eaux, flore, faune), les résultats sont détaillés au chapitre VIII.6.2.

VI.4. CONSTATS RADIOLOGIQUES REGIONAUX

VI.4.1 PRINCIPE

Un des axes d'évolution de la stratégie et du dimensionnement des dispositifs exploités par l'IRSN dans le cadre de sa mission de surveillance radiologique du territoire concerne la mise en place de constats radiologiques régionaux.

Les constats radiologiques ont pour objectif de disposer d'un référentiel étendu de l'état radiologique des milieux et des denrées alimentaires produites sur un territoire. Ce référentiel doit rendre compte des hétérogénéités imputables au bruit de fond (naturel ou rémanent) et aux rejets d'installations nucléaires. En cas d'évènement radiologique, ce référentiel servirait de base de comparaison et faciliterait l'orientation du déploiement d'une surveillance renforcée permettant d'évaluer les conséquences radiologiques de l'accident.

Les constats sont déployés géographiquement en prenant en compte la localisation des installations (zone influencée : ZI) mais concernent également les territoires hors influence (zone non influencée : ZNI) en situation normale. Ainsi, le territoire est découpé en zones définies en fonction :

- ⇒ des sources d'exposition radiologiques ;
- ⇒ des caractéristiques géographiques et climatiques ;
- ⇒ de l'homogénéité des productions sélectionnées. La sélection des productions agricoles et des denrées est réalisée en fonction de critères tels que la valeur économique (>10% à l'échelle nationale), les quantités produites et les spécificités régionales. A ces productions sont ajoutés des bioindicateurs de radiocontamination.

Chaque constat se déroule en plusieurs campagnes de prélèvements et dure au total environ 2 ans entre le lancement et la production du rapport final. Un constat devrait être actualisé selon une période de 5 ans.

VI.4.2 PRE-ETUDE VALLEE DE LA LOIRE

Cette étude, destinée à expérimenter concrètement le concept de « constat régional », consiste à établir sur la période 2008-2009 un état du niveau de concentration des radionucléides de la région du Val de Loire, avec un accent sur les productions agricoles et les denrées représentatives.

Les installations susceptibles d'être à l'origine d'un renforcement local du niveau de radioactivité de l'environnement retenues dans cette étude sont les 4 CNPE de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon-Avoine (le CNPE de Civaux n'a pas été pris en compte dans le cadre de cette pré-étude spécifique à la Loire).

L'étude nécessite de rechercher les différentes composantes agricoles ou naturelles qui permettront de dresser ce constat, en discriminant :

- les zones potentiellement influencées (ZI) situées, pour le milieu terrestre à proximité (jusqu'à quelques km) et sous les vents dominants de chacun des CNPE et, pour le milieu aquatique en aval de chacun des CNPE (Figure 40) ;
- les zones « non influencées » (ZNI), situées, pour le milieu terrestre à plus de 20 km environ de chacun des CNPE et, pour le milieu aquatique à l'amont des 4 CNPE.

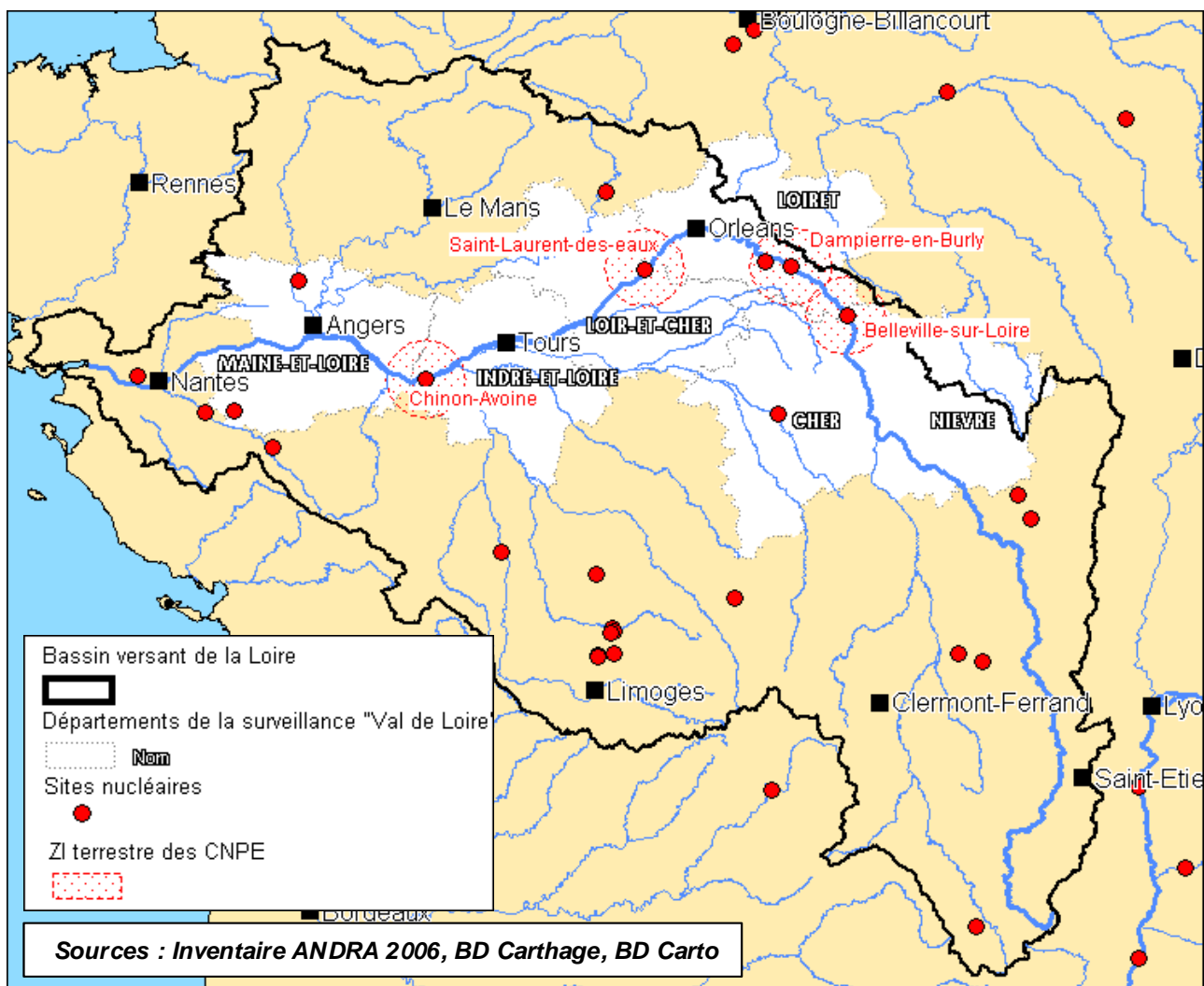


Figure 40 : Zone concernée par la pré-étude « Val de Loire »

Sont recherchés, d'une part, des échantillons repères (bio-indicateurs ou autres...), pertinents pour la mesure de certains radionucléides (par exemple, le carbone 14 est systématiquement recherché sur des feuilles d'arbres à feuillage caduc) et, d'autre part, des productions agricoles ou des denrées particulièrement représentatives de la région.

Au vu des statistiques agricoles départementales, puis communales, sont présélectionnés un certain nombre de denrées ou de productions agricoles brutes, caractéristiques de la région, soit en raison de leur prépondérance (volume ou prix), soit parce qu'elles sont emblématiques de celle-ci.

Pour ce qui concerne les produits naturels, des contacts sont pris avec divers organismes (fédération de chasse, associations mycologiques...). Ces données sont ensuite confrontées aux contacts locaux plus précis établis d'abord par téléphone et ensuite au cours des premières missions sur place.

Une liste quasi-définitive des prélèvements envisagés est alors établie, hors aléas climatiques ou techniques.

En ce qui concerne le calendrier, la connaissance des périodes de développement végétal ou de récolte permet de planifier certains prélèvements à l'époque la plus propice à la collecte (exemple : légumes) ou inversement en période « creuse », pour les matrices qui ne sont pas soumises à une production saisonnière (exemple : lait) afin d'optimiser les missions sur le terrain (cf. tableau ci-après).

Le choix précis des lieux de prélèvement s'effectue sous forme itérative, en fonction des renseignements obtenus au fur et à mesure de l'avancement de l'étude.

Tableau 10 : Planning des campagnes de prélèvement de la pré-étude Val de Loire 2008-2009

Type de prélèvement	2008				2009								
	sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.
Lait, viande, gibier, champignons sol forestier													
Raisin, vin, feuilles d'arbre													
Concombres, asperges													
Salade, sol maraîcher													
Phanérogames aquatiques et poissons													

Il convient de souligner que, dans le cadre de l'ouverture à la société (loi TSN), l'association des parties prenantes aux constats régionaux sera engagée par une présentation des résultats obtenus aux CLIs concernées au printemps 2010.

Ce constat Val de Loire ayant en effet débuté avant que la démarche d'ouverture à la société de l'IRSN ne soit étendue à ce type d'étude, il n'a pas été possible de présenter en amont aux CLIs la planification de l'étude. L'IRSN étudiera dans quelle mesure et comment les remarques qui seraient formulées pourraient être prises en compte.

VII. EVENEMENTS RADIOLOGIQUES DE L'ANNEE 2008

Au cours de l'année 2008, les réseaux de surveillance radiologique de l'IRSN ont, à 2 reprises, enregistré une élévation inhabituelle du niveau d'activité de certains radionucléides dans l'environnement. 3 autres événements, déclarés par ailleurs par les exploitants concernés, ont fait l'objet d'une analyse par l'IRSN.

Ces événements ont fait l'objet d'études spécifiques destinées à rechercher l'origine de ces hausses d'activité. Les marquages radiologiques de l'environnement induits par ces événements ont été faibles et n'ont pas eu de conséquences sanitaires sur la population.

VII.1. DETECTION DE COBALT 58 DANS LES PRELEVEMENTS D'AEROSOLS A BELLEVILLE-SUR-LOIRE

Une activité significative ($0,035 \pm 0,011$ mBq/m³) en cobalt 58 a été mesurée sur le regroupement des prélèvements d'aérosols effectués sur le CNPE de Belleville-sur-Loire en janvier 2008.



Figure 41 : Photo de la cabine aérosols IRSN implantée sous les vents dominants du CNPE de Belleville (AS1)

Les analyses complémentaires ainsi que les investigations auprès de l'exploitant ont montré que :

- la contamination était uniquement présente sur le prélèvement effectué du 1^{er} au 2 janvier ;
- l'activité déposée sur le filtre correspondant serait équivalente à une activité volumique de 2,8 mBq/m³ en moyenne sur la période de prélèvement ;
- toutes les stations de prélèvements appartenant au CNPE, y compris celle localisée à proximité du point de prélèvement de l'IRSN n'ont révélé aucune contamination.

L'IRSN a d'autre part constaté la présence de plusieurs produits d'activation dans les rejets des effluents gazeux (cheminée de rejet de la tranche 2) de la période du 8 au 14 décembre 2007, et en particulier une activité en cobalt 58 de l'ordre de 0,1 Bq/m³. Ces valeurs s'écartent des valeurs habituellement mesurées, qui sont inférieures aux limites de détection.

Le cobalt 58 ayant une période courte (71 jours), sa présence sur les filtres ne peut avoir pour origine qu'un événement récent survenu au CNPE. Toutefois, il n'est pas possible de relier de façon certaine l'activité sur le filtre aux rejets de la tranche 2 entre le 8 et le 14 décembre.

Une autre hypothèse est que le filtre aurait pu être contaminé accidentellement lors de ses diverses manipulations (par le correspondant qui change le filtre ou pendant le transit entre laboratoires...) sans aucun lien avec un dysfonctionnement de la centrale.

En tout état de cause, cet événement ne révèle pas une contamination chronique ou accidentelle liée au fonctionnement du CNPE de Belleville, compte tenu :

- du faible niveau de la contamination (2,8 mBq/m³) ;
- de l'observation de cette contamination en un lieu unique d'observation (mis en évidence uniquement par la station de prélèvement de l'IRSN) ;
- et de la courte durée d'observation de la contamination (du 1^{er} au 2 janvier 2008).

VII.2. DETECTION D'URANIUM DANS L'EAU DE L'ESSONNE A PITHIVIERS

L'eau de l'Essonne, surveillée par l'IRSN depuis les années 60, présente en certains points de prélèvements une activité alpha globale significative et permanente (aux environs de 0,1 Bq/l), jusque récemment attribuée aux anciennes activités industrielles du site CEA du Bouchet, situé sur les communes de Vert-le-Petit et Itteville. Dans le cadre de la révision de son programme de surveillance, des investigations ont été entreprises par l'IRSN à partir de 2006 pour quantifier et préciser l'origine de ce niveau d'activité. Il est alors apparu que l'ancien site du Bouchet ne contribuait pas significativement à ce niveau d'indice. En remontant l'Essonne et certains de ses affluents, l'origine du marquage a pu être localisée dans le cours d'eau « l'Œuf » entre Pithiviers et Pithiviers-le-Vieil, où l'activité alpha globale atteint 0,4 Bq/l, attribuable à l'uranium (la concentration chimique est d'environ 22 µg/l).

En 2008, une campagne d'investigation a été réalisée afin d'apporter des précisions sur la caractérisation du marquage. Il s'avère qu'hormis la zone de Pithiviers-le-Vieil, l'eau des différents cours d'eau situés entre Pithiviers et Orléans possède une activité alpha globale comprise entre 0,03 Bq/l et 0,13 Bq/l.

Deux axes de recherche ont été approfondis pour identifier l'origine de ce marquage :

- ⇒ Le premier a consisté à rechercher si des études géologiques ou géochimiques auraient pu faire apparaître des formations géologiques expliquant ce marquage. Il se trouve qu'une campagne de géochimie de 1980-1981 a montré l'existence d'anomalies uranifères dans les eaux et les sédiments en Sologne et dans la forêt d'Orléans, située sur la rive nord de la Loire. L'analyse radiologique des carottages de contrôle effectués dans certains puits a montré que ces anomalies étaient causées par des accumulations uranifères primaires dans les argiles et sables de Sologne. Compte tenu de la localisation de la source de l'Œuf, qui draine les argiles et les sables de Sologne, l'uranium mesuré dans les eaux de cette rivière pourrait provenir de cette formation géologique ;
- ⇒ Le deuxième axe de recherche a consisté à effectuer des analyses isotopiques précises pour caractériser plus finement le marquage. En effet, les rapports isotopiques constatés à partir des résultats des premières mesures disponibles pouvaient, en l'absence d'éléments complémentaires, laisser ouverte l'hypothèse d'une origine artificielle. Les analyses par ICPMS ont permis d'établir qu'il s'agissait d'uranium dont le rapport isotopique ²³⁵U/²³⁸U est de 0,71%, donc parfaitement compatible avec une origine naturelle du marquage.

En l'absence de risque sanitaire avéré sur le plan radiologique, il ne semble pas nécessaire de poursuivre davantage les investigations, l'origine vraisemblable étant naturelle.



Figure 42 : Prélèvement de sédiment dans l'Essonne

VII.3. SURVEILLANCE DE L'IMPACT DU REJET ACCIDENTEL D'URANIUM PAR L'USINE SOCATRI

Dans la nuit du 7 au 8 juillet 2008, le déversement accidentel par la société SOCATRI, d'une solution contenant de l'uranium, a conduit à un rejet de cet élément dans le ruisseau de la Gaffière qui traverse le site industriel du Tricastin.

Les analyses des prélèvements d'eau de la Gaffière réalisées par l'exploitant de SOCATRI au matin du 8 juillet en sortie de site ont révélé des concentrations en uranium dépassant 40 mg/l, c'est-à-dire plus de 10 000 fois la teneur habituelle de ces eaux. Le front de contamination s'est ensuite propagé en aval de l'usine et a été observé à un moindre niveau dans le Lauzon, ruisseau alimenté par la Gaffière, puis dans le Rhône, mais extrêmement atténué compte tenu de la dilution.

L'IRSN a réalisé des mesures complémentaires afin, d'une part, de déceler un éventuel marquage induit par ce rejet dans les plantes aquatiques, les sédiments et les poissons de la Gaffière et du Lauzon, d'autre part, de vérifier si l'uranium avait été transféré à des cultures par irrigation avec de l'eau prélevée dans ces deux ruisseaux au cours de la nuit du 7 au 8 juillet, avant l'interdiction préfectorale de cette pratique suite au rejet accidentel.

Le suivi réalisé jusqu'à fin août par l'IRSN sur les plantes aquatiques, les sédiments et les poissons n'a montré aucune augmentation significative de la teneur en uranium par rapport à celle qui préexistait. Par ailleurs, il s'est rapidement avéré que depuis plusieurs années l'irrigation locale ne se faisait plus par prélèvement direct dans les cours d'eau mais par captages d'eau souterraine. En outre, en cette saison, de nombreuses cultures ne nécessitaient aucune irrigation (céréales récoltées ou en cours de récolte, vignes). Toutefois, quelques cultures irriguées avec de l'eau souterraine (carottes, radis noirs...) ont fait l'objet d'analyses qui n'ont révélé aucune contamination liée au rejet accidentel.

Par ailleurs, une teneur en uranium de 50 µg/l ayant été mesurée dans l'eau d'un captage exploité par SOCATRI au titre de la surveillance environnementale réglementaire, des analyses d'eaux souterraines ont été réalisées par l'IRSN et l'exploitant chez les riverains, dans le cadre d'un plan de surveillance élargi prescrit par l'ASN.

Bien que très variables d'un puits à l'autre (de moins de 1 µg/l à plus de 15 µg/l), les teneurs en uranium mesurées ne sont pas imputables au rejet accidentel de l'été 2008. Elles avaient déjà été constatées avant cet évènement, dans le cadre d'une étude effectuée en 2007 par l'IRSN en partenariat avec les DDASS de la Drôme et du Vaucluse, et AREVA.

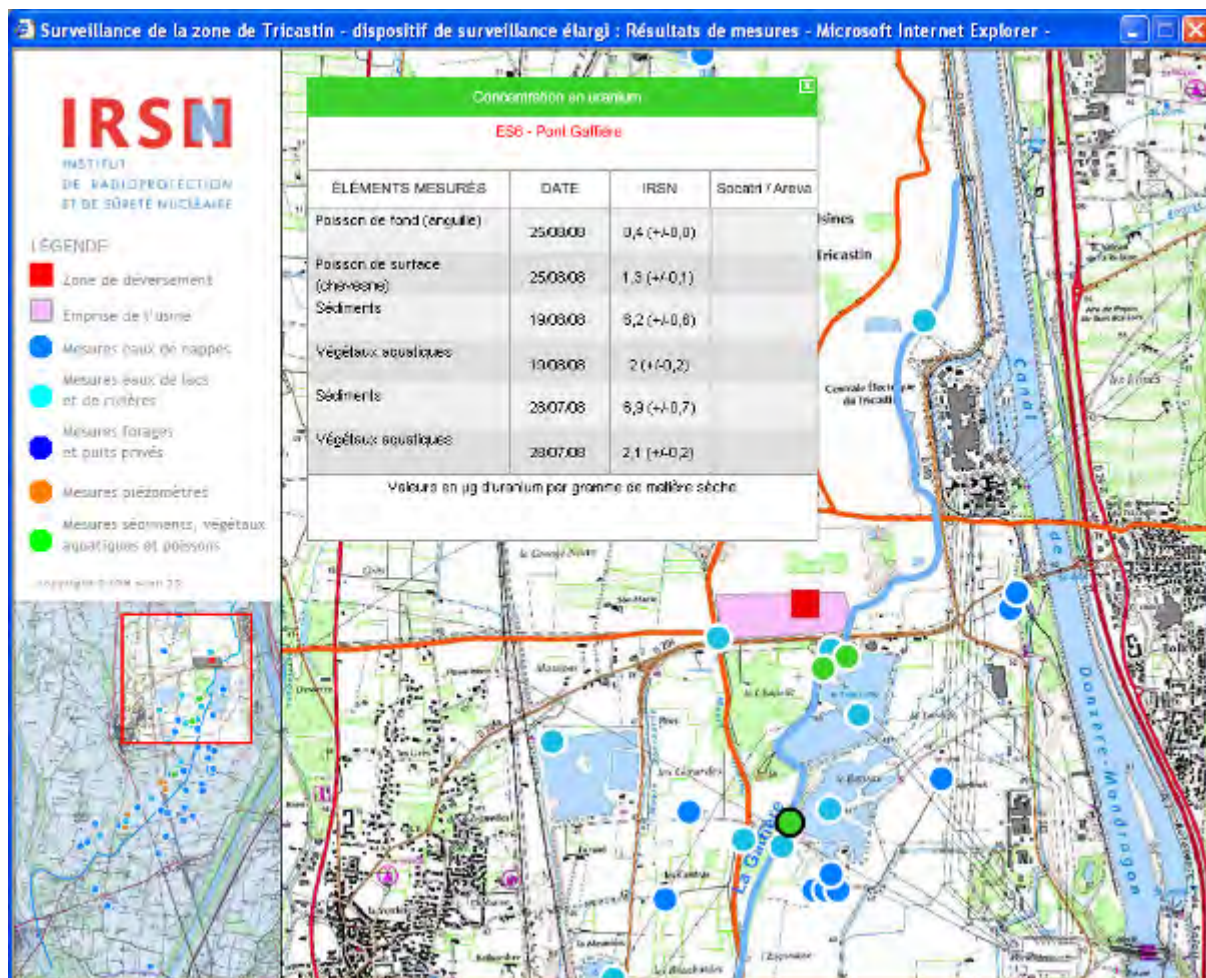


Figure 43 : Extrait de la carte interactive publiée sur le site Internet de l'IRSN

Aucune augmentation de la concentration en uranium dans les eaux souterraines n'a été observée tout au long du suivi qui perdure encore en 2009. Ce constat est cohérent avec la connaissance du transfert des polluants par une nappe (dispersion importante, écoulement lent et absorption par les sols de l'uranium comme de la plupart des radionucléides).

FOCUS

L'analyse de l'uranium dans l'eau





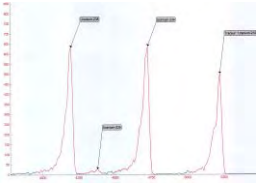
L'uranium est un métal naturel radioactif. Sa composition isotopique et ses rapports d'activité tel qu'il est extrait de son minerai sont les suivants² :

Composition massique (%)	
²³⁸ U	99,275 %
²³⁵ U	0,719 %
²³⁴ U	0,0057%

Rapport d'activités	
²³⁸ U/ ²³⁴ U	1
²³⁸ U/ ²³⁵ U	21

Il existe plusieurs techniques d'analyse de l'uranium : on peut en effet déterminer sa concentration pondérale ou rechercher les activités de ses différents isotopes, Dans le cas d'une analyse pondérale, le résultat de mesure est une concentration qui s'exprime par exemple en gramme par litre, en milligramme par litre (mg.l⁻¹) ou en microgramme par litre (µg.l⁻¹). Dans le cas d'une analyse isotopique, les résultats de mesure sont des activités des différents isotopes de l'uranium mesurés (masses 234, 235, 238) exprimées en becquerel par litre. Ces données sont directement utilisables pour le calcul de la « Dose Totale Indicative » (DTI), finalité des analyses de radioactivité des eaux destinées à la consommation humaine. Les différentes méthodes de mesure dans les eaux sont normalisées sous la référence NF M60-805, parties 1 à 5.

Les laboratoires de l'IRSN pratiquent l'analyse isotopique, par spectrométrie alpha suivant la norme NF M60-805-5. La radiochimie consiste à ajouter un traceur (²³²U), à minéraliser l'échantillon puis à concentrer l'uranium par exemple par précipitation des phosphates, à séparer les uraniums des autres éléments par chromatographie sur résine et enfin à co-précipiter un fluorure de cérium qui pourra être mesuré en spectrométrie alpha.

				
Minéralisation	Séparation	Co-précipité	Chambre à grille	Spectre d'uranium

Sur la base des activités des différents isotopes de l'uranium mesurées, il est possible de calculer la masse d'uranium correspondante, sachant que la masse due à l'uranium 238 sera prépondérante dans le résultat final. Par exemple, on peut calculer les équivalences suivantes :

	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U
Bq/l	1	1	1	0,190	0,009	0,185
µg/l	0,00434	12,5	80,4	0,000825	0,108	14,895
U total (µg/l)	92,9			15,0		

Dans les eaux naturelles, on peut aussi bien trouver les isotopes de l'uranium à l'état d'équilibre (l'activité en ²³⁸U est sensiblement identique à celle de l'activité en ²³⁴U) qu'en déséquilibre en faveur de l'un ou l'autre, d'où l'intérêt de faire des mesures isotopiques pour calculer la DTI. Ces isotopes 234 et 238 de l'uranium apportent des contributions relativement faibles au calcul de dose induite par la consommation d'eau du fait des valeurs de dose efficaces engagées par unité d'incorporation (respectivement 4,9.10⁻⁸ et 4,5.10⁻⁸ Sv par Bq pour un adulte de plus de 17 ans). Comme indiqué dans les publications de l'OMS de 2004 relatives à la qualité des eaux de consommation humaine, l'uranium est un métal surtout chimiquement toxique. Ainsi, l'OMS propose la valeur guide de 15 µg/l d'uranium dans l'eau de boisson, à ne pas dépasser dans le contexte d'une contamination chimique.

² Fiche radionucléide « Uranium naturel et environnement » disponible sur le site www.irsn.org

VII.4. ETUDE DE L'IMPACT INDUIT PAR LE REJET DE CARBONE 14 A L'ATMOSPHERE, DE L'USINE SOCATRI

Un rejet de carbone 14 à l'atmosphère, émis par l'usine SOCATRI entre le 25 juin et le 2 juillet 2008, a conduit au dépassement de la limite annuelle autorisée pour cette installation. Dans le cadre d'une saisine de l'ASN, l'IRSN a prélevé des végétaux en juillet et août 2008 dans l'environnement proche du site et a mesuré l'activité du carbone 14 de ces échantillons, afin de détecter un marquage éventuel lié à ce rejet. Les résultats obtenus et leur comparaison avec les données acquises antérieurement permettent de tirer les conclusions suivantes. L'activité spécifique moyenne du ^{14}C dans les végétaux terrestres de la zone du Tricastin, hors influence des vents dominants passant sur le site nucléaire, est, en 2008, de 240 Bq de ^{14}C par kg de carbone (Bq $^{14}\text{C}/\text{kg C}$), c'est-à-dire égale au bruit de fond des autres régions françaises. Les échantillons collectés dans la zone sous les vents dominants, donc potentiellement sous influence des rejets de l'usine SOCATRI, présentent une augmentation faible, mais statistiquement significative de l'activité moyenne en carbone 14 : 256 à 259 Bq $^{14}\text{C}/\text{kg C}$, soit une augmentation d'environ 7,5 % (+ 18 Bq $^{14}\text{C}/\text{kg C}$) par rapport au bruit de fond. Ce rejet accidentel de la SOCATRI a participé très probablement à cette légère augmentation, pour une part estimée au maximum à 10 Bq $^{14}\text{C}/\text{kg C}$ (4,5 %), le reste du marquage provenant des rejets autorisés de carbone 14 de la centrale nucléaire EDF du Tricastin.

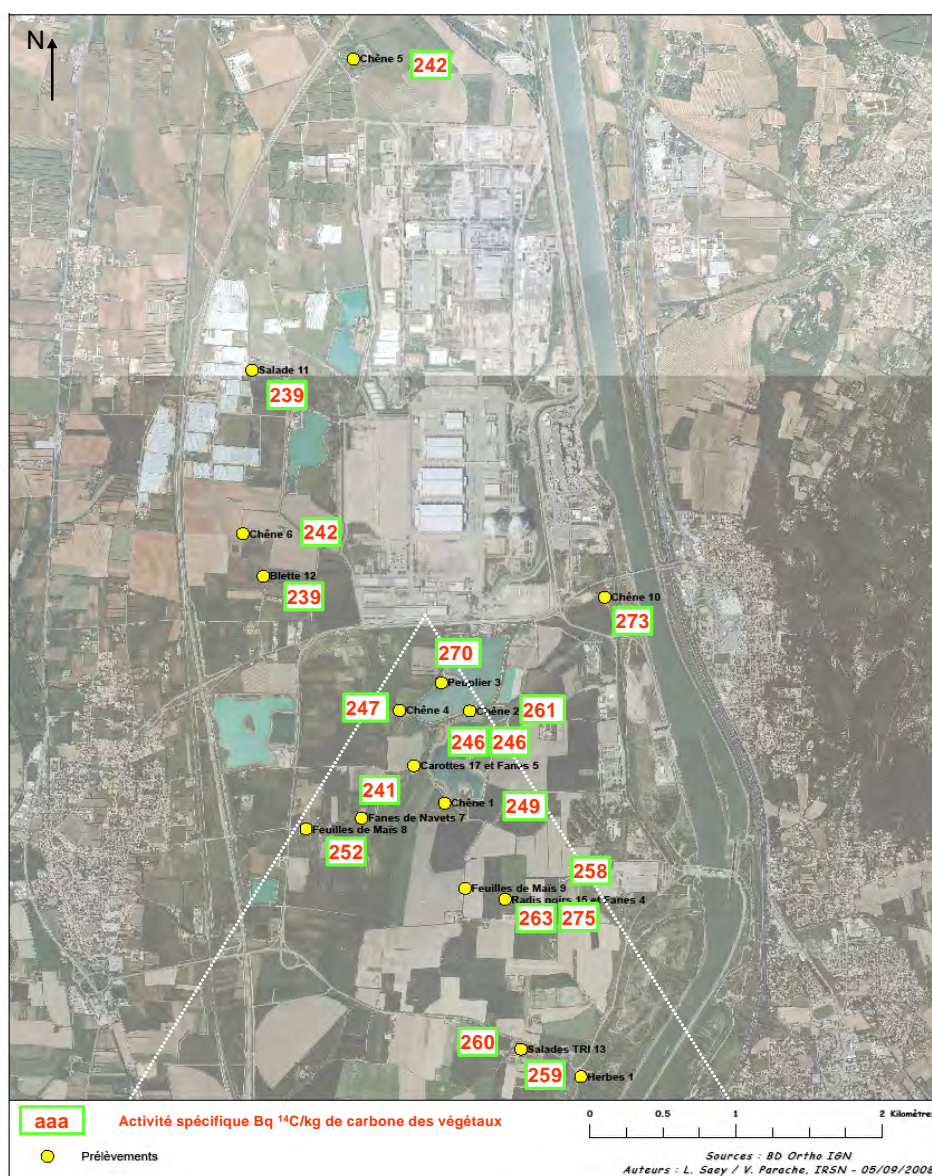


Figure 44 : Prélèvements effectués en juillet et août 2008 et activité spécifique mesurée dans les végétaux, exprimée en Bq $^{14}\text{C}/\text{kg}$

* Le trait blanc pointillé représente la limite de la zone théoriquement la plus affectée par le rejet.

VII.5. SURVEILLANCE DE L'IMPACT DU REJET ACCIDENTEL D'IODE 131 PAR LE CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE FLEURUS (BELGIQUE)

Le 25 août 2008, l'exploitant de l'Institut des RadioEléments (IRE) en Belgique a informé l'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire belge (AFCN) de rejets anormaux d'iode 131 gazeux par l'une des cheminées de ses installations. Situé à Fleurus dans le sud de la Belgique, cet institut isole, purifie et conditionne les radionucléides les plus importants utilisés en médecine nucléaire (^{99}Mo , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , ^{133}Xe , ^{90}Sr et ^{90}Y) à des fins de diagnostic ou de thérapie. Le rejet dans l'environnement, estimé sur la base des dispositifs de prélèvement implantés sur le circuit d'extraction d'air, a été estimé à 45 gigabecquerels (GBq), ce qui a conduit l'AFCN à classer cet événement au niveau 3 de l'échelle internationale INES.

Si les balises d'alerte du réseau belge TELERAD n'ont pas enregistré d'augmentation significative du bruit de fond gamma ambiant, les mesures réalisées par l'exploitant de l'IRE dans l'environnement du site ont montré un marquage de quelques échantillons d'herbe prélevée dans les premiers kilomètres autour de l'installation. Les balises du réseau français TELERAY n'ont pas enregistré d'augmentation du débit de dose aux stations françaises situées au plus près du site belge (Chooz et Heer-Agimont). Néanmoins, par précaution, l'IRSN a demandé le 27 août qu'EDF réalise des mesures spécifiques sur ses dispositifs de prélèvements environnementaux (filtre aérosols et cartouche de piégeage de l'iode) implantés sur les sites de Cattenom et de Chooz, les deux centrales françaises les plus proches de la frontière belge. Les analyses réalisées sur ces prélèvements ainsi que sur ceux de la station AS de l'IRSN de Charleville-Mézières n'ont pas révélé d'activité significative.

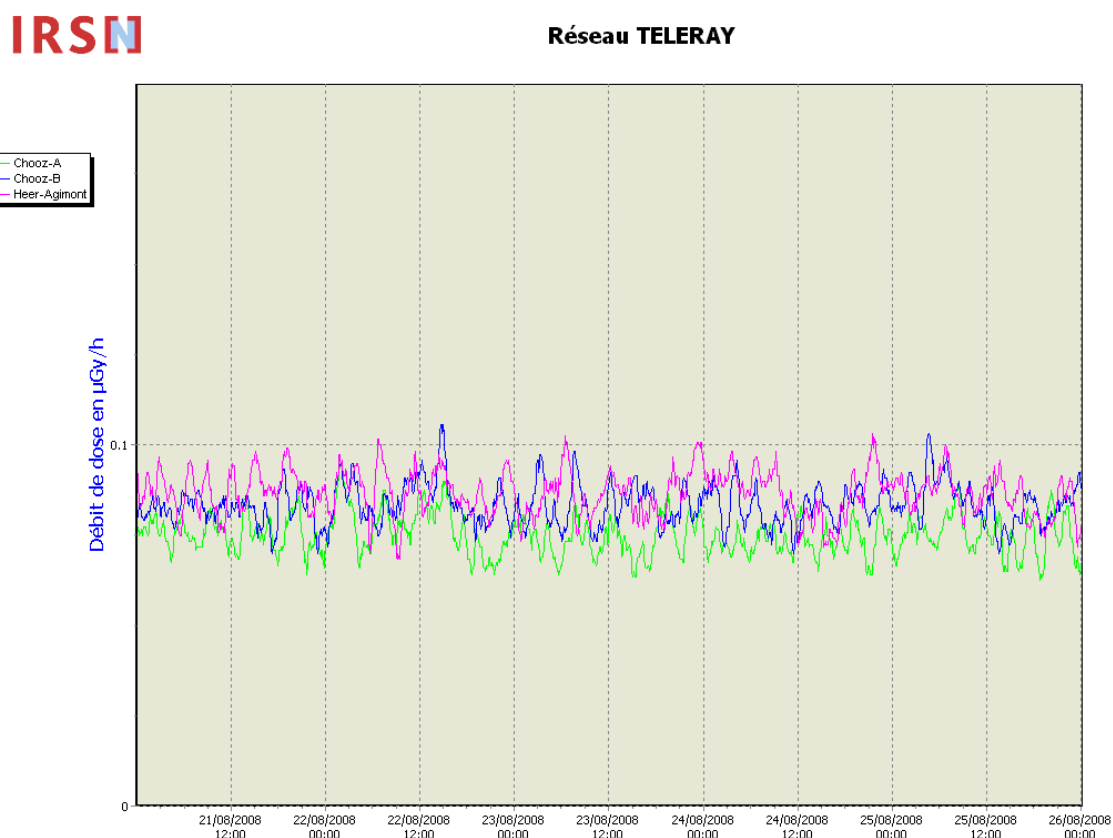


Figure 45 : Evolution du débit de dose gamma ambiant mesuré par 3 sondes Téléray frontalières de la Belgique durant la période correspondant à l'incident de l'IRE à Fleurus en 2008

Afin d'évaluer plus précisément l'impact éventuel de ce rejet accidentel sur le territoire français, l'IRSN a organisé une campagne de prélèvements d'herbe et de lait entre le vendredi 29 et le samedi 30 août, le long de la frontière belge, de Maubeuge à Longwy.

Compte-tenu de la courte période du radionucléide recherché (8 jours), les prélèvements ont été traités et mis en analyse par spectrométrie gamma dans la soirée du 30 août.

Aucun des échantillons mesurés n'a révélé de trace d'iode 131, tous les résultats d'analyses étant inférieurs aux limites de détection des appareils de mesure utilisés. Ces résultats confirment que le rejet accidentel de l'IRE, s'il a marqué transitoirement l'environnement proche de l'installation belge, n'a pas eu d'impact environnemental en France.

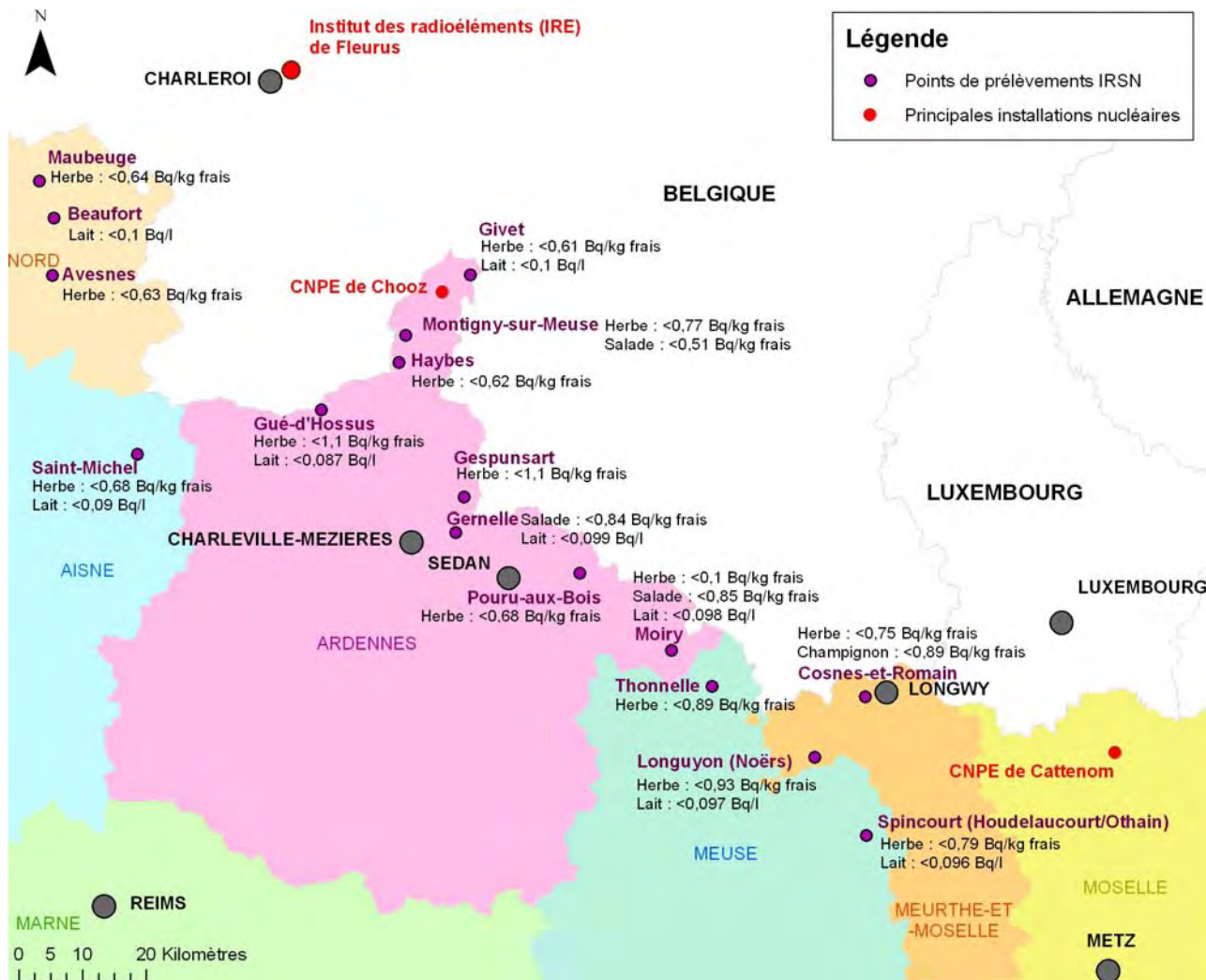


Figure 46 : Résultats des analyses d'¹³¹I sur les prélèvements réalisés par l'IRSN suite à l'incident de l'IRE à Fleurus

VIII. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES SITES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

VIII.1. LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

Toutes les installations du cycle du combustible donnent lieu à une surveillance systématique de leur environnement. Ce cycle regroupe les étapes industrielles suivantes :

- extraction de l'uranium des mines ;
- concentration et conversion des composés d'uranium ;
- enrichissement isotopique en uranium 235 (processus par lequel est accrue la teneur d'un élément chimique en un de ses isotopes) ;
- fabrication et assemblage du combustible³ ;
- utilisation dans les réacteurs des Centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) ;
- retraitement du combustible utilisé déchargé des réacteurs ;
- traitement et stockage des déchets issus ou non du retraitement.

Le cycle du combustible français est dit fermé ou semi-ouvert du fait des étapes de retraitement et de réutilisation d'une partie du combustible utilisé.

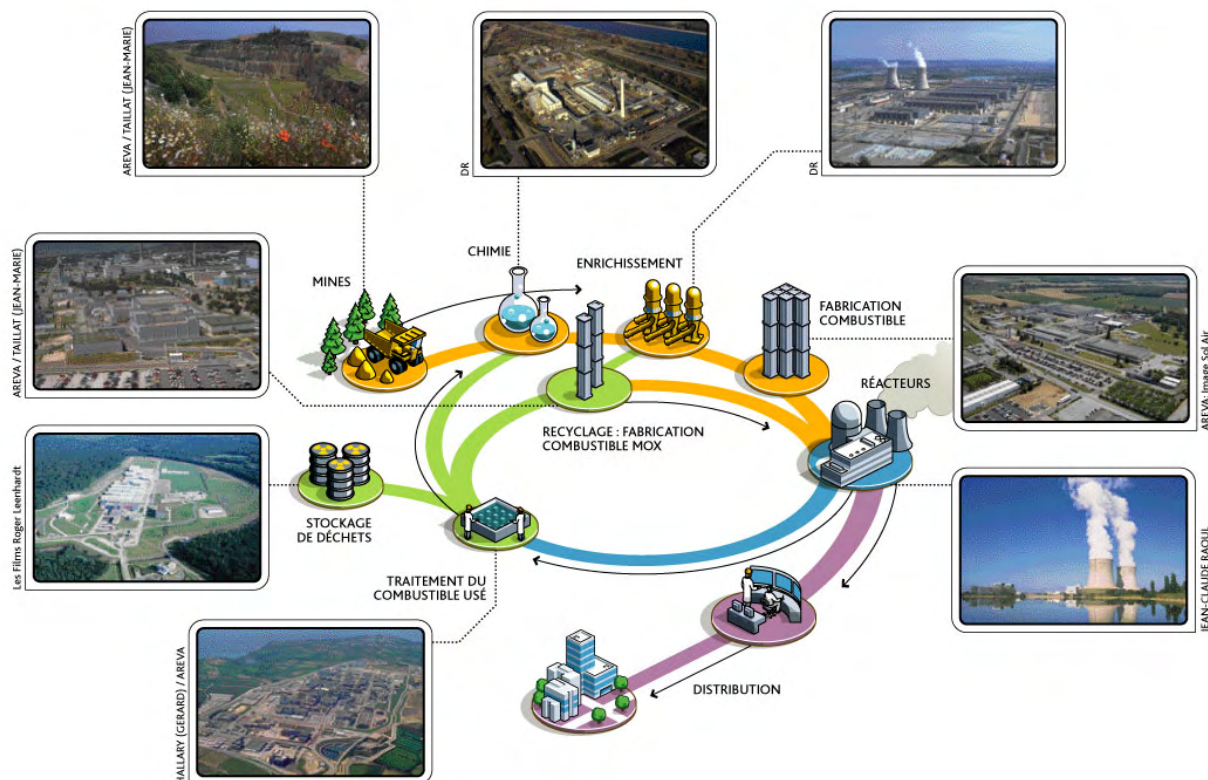


Figure 47 : Schéma simplifié du cycle du combustible nucléaire

Jusqu'en 2001, date de fermeture de la dernière mine en exploitation, la France était le seul pays à être doté sur son territoire de l'ensemble des industries du cycle décrit ci-dessus.

³ Le combustible peut être « moxé » (MOX), c'est-à-dire constitué d'un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium issu du retraitement

Les installations du cycle du combustible rejettent, en fonctionnement normal, des effluents radioactifs liquides et gazeux selon des prescriptions réglementaires spécifiques à chacune fixant les limites annuelles et les conditions de rejet ainsi que les contrôles à effectuer. C'est dans ce cadre que les exploitants de ces installations sont amenés à exercer une surveillance réglementaire de l'environnement de leurs sites dès la mise en service de l'installation et pendant toute sa durée de vie selon un programme contrôlé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

L'IRSN effectue, indépendamment du programme de surveillance imposé à l'exploitant, des mesures de surveillance dans l'environnement des sites suivants :



Figure 48 : Implantation des sites du cycle du combustible français surveillés par l'IRSN en 2008

VIII.2. LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT A PROXIMITE DES SITES NUCLEAIRES

Les plans de surveillance développés par l'IRSN autour des installations du cycle du combustible tiennent compte du type d'installation surveillée et donc de leurs rejets. Ces plans varient également en fonction de l'environnement géographique de l'installation surveillée.

Ils répondent à deux objectifs :

- la détection précoce d'un incident ou d'un événement radiologique par le biais des balises de télémétrie (Téléray) ;
- l'évaluation des niveaux d'activité mesurés dans des prélèvements d'échantillons issus des différents compartiments de l'environnement susceptibles d'être marqués par les rejets liquides ou gazeux de l'installation surveillée.

Le plan type de surveillance établi à proximité des installations surveillées comprend généralement :

- la mesure en continu dans l'air du rayonnement gamma ambiant par une sonde Téléray, complétée par une mesure intégrée de ce paramètre à partir du déploiement de quelques dosimètres thermoluminescents (DTL) ;
- le prélèvement d'aérosols, au niveau du sol, sous les vents dominants de l'installation surveillée. Un dispositif de piégeage du tritium complète la surveillance atmosphérique autour de quelques installations ;
- le prélèvement des eaux de pluies sous les vents dominants par un collecteur ;
- le prélèvement d'eaux de surface et MES en amont et aval des rejets liquides de l'installation (généralement prélèvement semi-automatique par hydrocollecteur en aval de l'installation) ;
- le prélèvement de bioindicateurs de radiocontamination essentiellement pour la surveillance du littoral marin (algues, mollusques) ;
- le prélèvement de deux à trois productions françaises importantes, d'origine animale (le lait) ou végétale (légumes feuille et le blé) dans une exploitation agricole située sous les vents dominants.

Le déploiement de ces prélèvements est présenté sur la Figure 49.

Ce plan type est complété, notamment lors de marquage avéré, par des prélèvements de sols, d'eaux souterraines, de végétaux terrestres et d'autres produits de la chaîne alimentaire, réalisés soit dans le cadre d'une surveillance régulière (environnement des sites de Marcoule ou de la Hague par exemple), soit dans le cadre d'études spécifiques.

Les résultats de la surveillance autour des installations du cycle du combustible sont présentés selon le déroulement du cycle. Ils concernent les analyses réalisées sur les échantillons prélevés en 2008 dans l'environnement des installations.

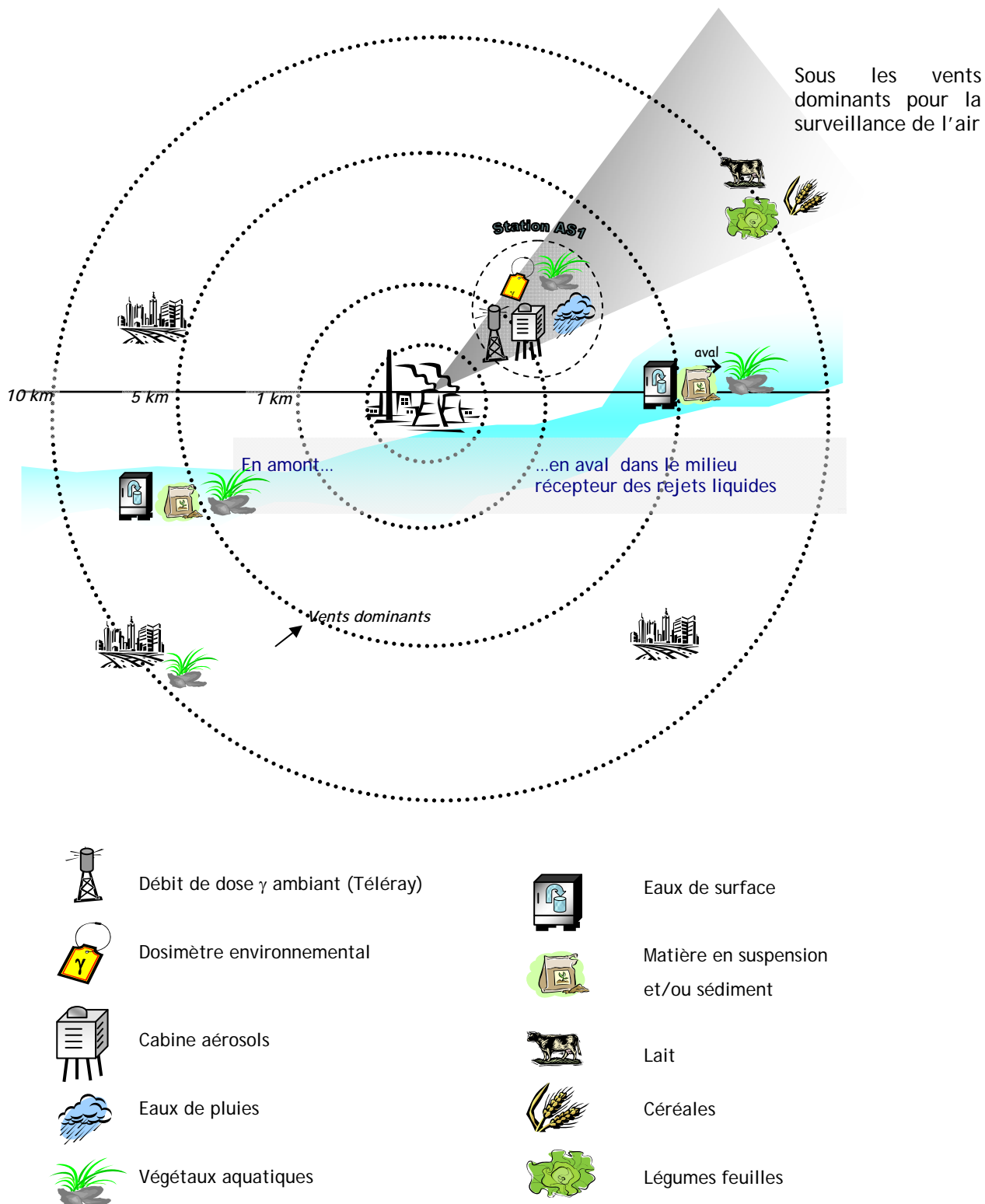


Figure 49 : Schéma de principe du plan de surveillance radiologique en champ proche d'une installation nucléaire fluviale par l'IRSN

VIII.3. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AUTOUR DES ANCIENS SITES MINIERES

L'exploitation industrielle de l'uranium en France a duré près de 50 ans. La quasi-totalité de ces anciens sites miniers est aujourd'hui passée sous la responsabilité d'AREVA NC.

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'Ecologie (MEEDM). L'ensemble des données disponibles est accessible sous forme de fiches via une interface cartographique sur le site Internet de l'IRSN (www.irsn.org).

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 210 sites répartis sur 25 départements. Leur taille ainsi que les quantités de minerais qui ont été 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 (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). L'exploitation et le traitement du minerai d'uranium ont conduit à générer 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 allant de quelques dizaines à quelques centaines de g/t soit quelques Bq à quelques dizaines de Bq/g en activité totale (voir Tableau 11Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Les stériles ont été soit conservés en verse 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 qui se différencient de la roche initiale du fait des modifications physiques (broyage) et minéralogiques 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 répartis sur 17 sites de stockage.

Après exploitation, l'ensemble des sites a été réaménagé de manière à les mettre en sécurité, à réduire leur impact radiologique et à effectuer 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 site 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 11.



Figure 50 : Localisation des zones minières françaises (programme MIMAUSA)
(les couleurs n'ont pas de signification particulière)

Tableau 11 : Ordres de grandeur de la radioactivité associée à plusieurs grands types de roche, des minerais et des résidus miniers (Bq/g)

	Activité en radium	Activité totale
Minerais d'uranium	10 - 70	180 - 900 (1 - 5 ‰)
Résidus miniers	10 - 70	100 - 700
Roches granitiques	0,04 - 0,3	0,7 - 6
Basaltes ou certaines roches sédimentaires	0,0003 - 0,03	0,005 - 0,5
Stériles	0,05 - 5	1 - 100

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 de contamination de l'environnement et d'exposition à la radioactivité de part leur potentiel d'émission de radon, mais surtout leur lessivage par des eaux de pluies ou de ruissellement. Ainsi, sur certains sites de stockage, 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, présentant 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 l'exploitant, AREVA NC, un contrôle des eaux d'exhaure avant rejet et une surveillance de différents compartiments de l'environnement est imposée à 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 la DRIRE, 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 extraits ou de résidus de minerais stockés. Cette surveillance est focalisée essentiellement sur le milieu aquatique et l'exposition externe. Elle sera complétée dans les prochaines années dans l'environnement de certains sites.

VIII.3.1 DIVISION MINIERE DE LA CROUZILLE (87)

Le 25 novembre 1948, la pechblende massive est découverte à La Crouzille (Haute-Vienne). Les travaux miniers débutent aussitôt. Les premières tonnes de pechblende françaises sont extraites. Ce gisement, historique dans l'extraction de l'uranium français, sera exploité jusqu'en juillet 1957 fournissant au total 148 tonnes d'uranium métal qui alimenteront les premières piles atomiques françaises.

La prospection intensifiée en Limousin aboutit dès 1951 à la découverte des principaux gisements de la région (Les Sagnes, Margnac, Fanay, Brugeaud,...) qui feront de la division minière de la Crouzille le plus important district uranifère français. Dans les années 90, les mines sont fermées et sécurisées. Les eaux souterraines sont canalisées et traitées avant d'être rejetées dans l'environnement.

Dans le cadre du suivi de l'évolution de la radioactivité de cette division minière, des prélèvements d'eau sont réalisés mensuellement ou trimestriellement dans des cours d'eau et des étangs.

VIII.3.1.1 EAUX DE SURFACE

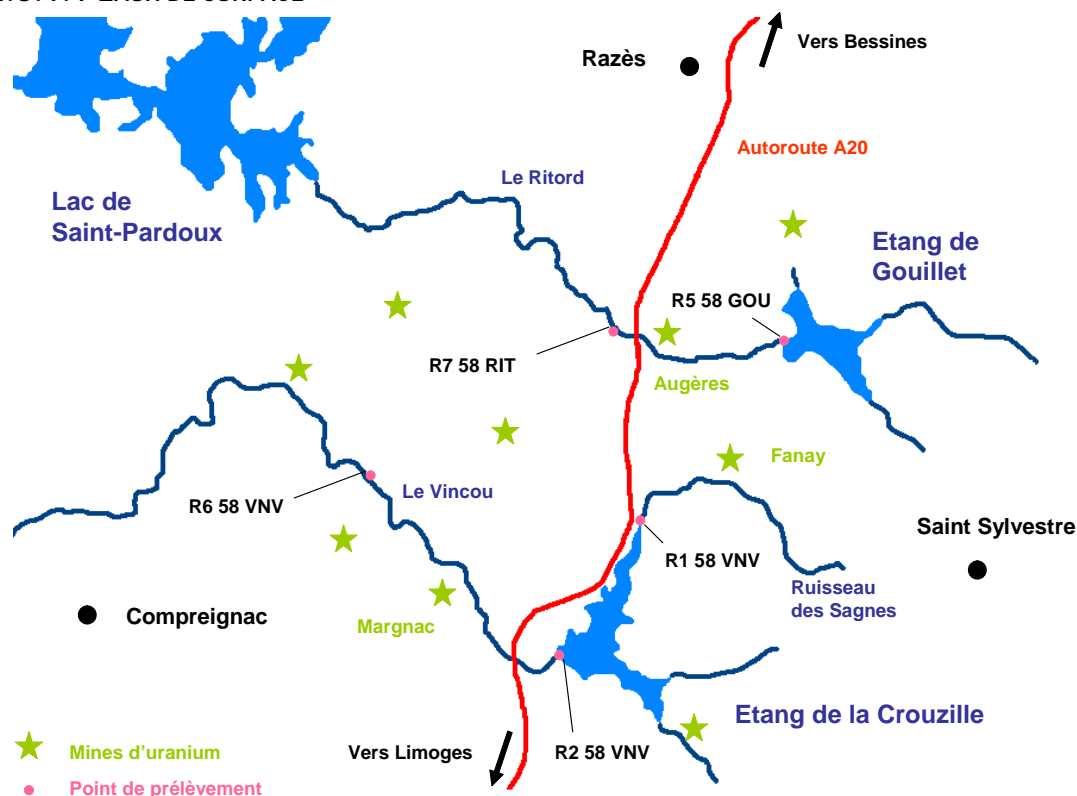


Figure 51 : Schéma du plan de prélèvements dans les eaux de surface du secteur minier de la division de la Crouzille

Secteur de l'étang de la Crouzille

Le ruisseau des Sagnes est l'un des 3 ruisseaux qui alimentent l'étang de la Crouzille ; il traverse le site minier de Fanay. Cet étang alimente lui-même le Vincou, ruisseau qui traverse plusieurs secteurs miniers au niveau de Margnac (voir Figure 51). La surveillance de ce secteur est réalisée à partir de prélèvements d'échantillons d'eaux :

- dans le ruisseau des Sagnes en aval du site minier de Fanay (point R1 58 VNV à environ 500 m en aval du site) ;
- dans le ruisseau du Vincou en aval du site de Margnac (point R6 58 VNV à environ 1 km en aval du site) ;
- en sortie de l'étang de la Crouzille.

En 2008, ce dernier point de prélèvement n'a pu être effectué, du fait de la vidange de l'étang commencée au cours du premier semestre 2007, afin de permettre à AREVA de réaliser des opérations de curage de boues du fond de l'étang. Ce prélèvement reprendra en 2009.

Secteur de l'étang de Gouillet

Trois ruisseaux alimentent l'étang de Gouillet, qui lui-même alimente le Ritord, une rivière qui collecte les rejets de plusieurs sites miniers (dont celui d'Augères) avant de rejoindre le lac de Saint-Pardoux (voir Figure 51). Un premier prélèvement est réalisé à l'étang de Gouillet (point R5 58 GOU), et un second dans le Ritord à Razès (point R7 58 RIT à environ 1 km en aval du site d'Augères).

Secteur de Bessines

La Gartempe est une rivière longeant la zone minière de Bessines. Un prélèvement est réalisé mensuellement à Châteauponsac, à 5 km en aval de la zone minière de la Gartempe (point R4 58 GTP). Pour ces trois secteurs, les résultats des analyses réalisées en 2008 sont présentés dans les tableaux 17, 18 et 19.

Tableau 12 : Résultats d'analyse des eaux prélevées en 2008 dans le secteur de l'étang de la Crouzille

Eau	Radionucléide	Unité	Sagnes à St-Sylvestre	Vincou à Margnac
	²²⁶ Ra	Bq/l	0,13 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	²³⁴ U		0,42 ± 0,01	0,1 ± 0,01
	²³⁸ U		0,42 ± 0,01	0,10 ± 0,01
	α global		0,75 ± 0,04	0,22 ± 0,03
	β global		1,00 ± 0,10	0,40 ± 0,09
	U pondéral équivalent	µg/l	34,0 ± 1,1	8,1 ± 1,1

Tableau 13 : Résultats d'analyse des eaux prélevées en 2008 dans le secteur de l'étang de Gouillet

Eau	Radionucléide	Unité	Etang de Gouillet	Ritord à Razès
	²²⁶ Ra	Bq/l	0,015 ± 0,003	0,040 ± 0,003
	²³⁴ U		nm	0,17 ± 0,01
	²³⁸ U		nm	0,16 ± 0,01
	α global		0,030 ± 0,010	0,27 ± 0,01
	β global		0,12 ± 0,01	0,31 ± 0,02
	U pondéral	µg/l	0,34 ± 0,03	13,0 ± 1,1

Tableau 14 : Résultats d'analyse des eaux prélevées en 2008 dans le secteur de Bessines

Eau	Radionucléide	Unité	Châteauponsac sur la Gartempe
	²²⁶ Ra	Bq/l	0,014 ± 0,002
	α global		0,030 ± 0,010
	β global		0,11 ± 0,01
U pondéral	µg/l	0,42 ± 0,03	

Les concentrations en activité alpha global et en isotopes naturels mesurées dans les eaux prélevées en proche aval des sites miniers (Sagnes à St-Sylvestre, Vincou à Margnac et Ritord à Razès) témoignent d'un marquage en relation avec l'activité passée de ces sites miniers. On note qu'au niveau de ces stations de prélèvement, d'une part les activités alpha global sont supérieures aux valeurs guides fixées en application du code de la santé publique (CSP) pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/l), d'autre part les concentrations en uranium pondéral sont proches, voire supérieures, à la valeur guide de 15 µg/l d'uranium préconisé par l'OMS pour l'eau de boisson. Ces concentrations restent néanmoins dans la gamme des niveaux observés dans des eaux en contact avec des roches uranifères.

Lorsque les prélèvements sont réalisés en des points qui bénéficient d'une dilution plus importante par rapport à la localisation des sites miniers, Etang de Gouillet et Châteauponsac sur la Gartempe, les concentrations ne témoignent pas alors d'un marquage particulier.

VIII.3.2 SITE DE VENDEE (44)

Le site de Vendée, situé sur la commune de Gétigné (Loire-Atlantique), comprenait une mine d'uranium souterraine et trois mines à ciel ouvert, ainsi qu'une usine de traitement du minerai. L'exploitation a débuté en 1954 et s'est achevée en 1991. Dans le cadre du suivi de l'évolution de la radioactivité, des prélèvements d'eau de surface sont réalisés mensuellement.

La Moine est une rivière qui coule dans une vallée où est situé le site minier de l'Ecarpière. En aval du site, elle se jette dans la Sèvre Nantaise au niveau de Clisson. Un premier prélèvement d'eau est réalisé dans la Moine à Gétigné, en aval immédiat du site de l'Ecarpière. Le second prélèvement est effectué dans la Sèvre Nantaise à Gorges, en aval de la confluence avec la Moine.

Tableau 15 : Résultats d'analyse des eaux prélevées en 2008 dans l'environnement du site de Vendée

Eau	Radionucléide	Unité	Sèvre Nantaise à Gorges	Moine à Gétigné - aval immédiat site Ecarpière
	²²⁶ Ra	Bq/l	0,019 ± 0,004	0,016 ± 0,003
	²³⁴ U		nm	0,032 ± 0,002
	²³⁸ U		nm	0,032 ± 0,002
	α global		0,035 ± 0,004	0,059 ± 0,004
	β global		0,24 ± 0,02	0,32 ± 0,01
	U pondéral	µg/l	0,47 ± 0,04	2,6 ± 0,2

Les niveaux d'activités mesurées ne soulignent pas un marquage particulier, qui serait en relation avec les activités minières passées. Les activités alpha global et bêta global restent inférieures aux valeurs guides fixées en application du CSP pour les eaux destinées à la consommation humaine. Enfin les concentrations en uranium pondéral restent, en moyenne, inférieures à la valeur de référence fixée par l'OMS pour la concentration en uranium dans l'eau destinée à la consommation humaine.

Implantée depuis 1959 à 3 km au nord de Narbonne, l'usine COMHUREX de Malvésí produit annuellement 14 000 tonnes de tétrafluorure d'uranium (UF₄), 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 la cheminée du site, et dans les canaux environnants par les conduites 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).

VIII.4.1.1 EAUX DE SURFACE

Les résultats des analyses mensuelles des eaux de surface prélevées dans l'environnement sous influence des rejets liquides de l'usine COMURHEX montrent un léger marquage en uranium, dont l'activité de ses isotopes et de ses descendants explique l'activité alpha global mesurée. Dans l'eau prélevée à la résurgence de l'Oeillal, dans le canal de Cadariège comme dans le canal du Tauran, la moyenne de l'activité alpha global est inférieure ou égale à la valeur guide fixée en application du CSP pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/l pour ce paramètre). En ce qui concerne l'activité bêta global, elle est inférieure à la valeur guide de 1 Bq/l fixée en application du CSP pour les eaux destinées à la consommation humaine, en tous lieux de prélèvement autour du site.

Tableau 16 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 dans les canaux du Tauran et de Cadariège et à la résurgence de l'Oeillal (Bq/l)

Eau	Radionucléide	canal du Tauran	résurgence de l'Oeillal	canal de Cadariège
	²²⁶ Ra	0,018 ± 0,003	0,021 ± 0,003	0,021 ± 0,003
	²³⁴ U	0,039 ± 0,004	0,032 ± 0,002	0,034 ± 0,002
	²³⁸ U	0,034 ± 0,004	0,021 ± 0,001	0,026 ± 0,001
	α global	0,041 ± 0,004	0,1 ± 0,008	0,072 ± 0,009
	β global	0,16 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,16 ± 0,02

VIII.4.1.2 INDICATEURS BIOLOGIQUES ET ALIMENTAIRES

En complément de la surveillance régulière de l'environnement du site de Malvésí, une étude radioécologique de l'environnement de ce site a été menée par l'IRSN à la demande de l'exploitant de l'usine COMURHEX de Malvésí entre 2007 et 2009. Cette étude, qui a fait l'objet de deux campagnes de prélèvements en 2007 puis en 2008, a permis de dresser le bilan de l'état radiologique des compartiments terrestre et aquatique de l'environnement du site et de caractériser l'origine des marquages observés.

FOCUS

Etude du marquage de l'environnement du site de Malvési

A la demande de d'AREVA, l'IRSN a réalisé une étude radioécologique dans l'environnement autour du site de l'usine Comurhex de Malvési afin d'évaluer l'impact des rejets des installations sur l'environnement [12][13]. Deux campagnes de prélèvements ont été effectuées en 2007, puis en 2008 (150 échantillons et plus de 220 analyses). La plupart des échantillons ont été collectés dans les zones situées sous l'influence potentielle des rejets du site. Des échantillons ont également été prélevés en dehors de toute influence de manière à déterminer le « bruit de fond » de la radioactivité présente localement et expliquer la provenance des marquages observés. Les prélèvements ont porté sur des sols, des sédiments, des denrées produites localement (blé, salades, tomates, prunes, raisin, figues et poissons), ainsi que sur des bioindicateurs sensibles aux radionucléides rejetés dans l'atmosphère (feuilles de cyprès), ou dans les cours d'eau (mousses et plantes aquatiques).

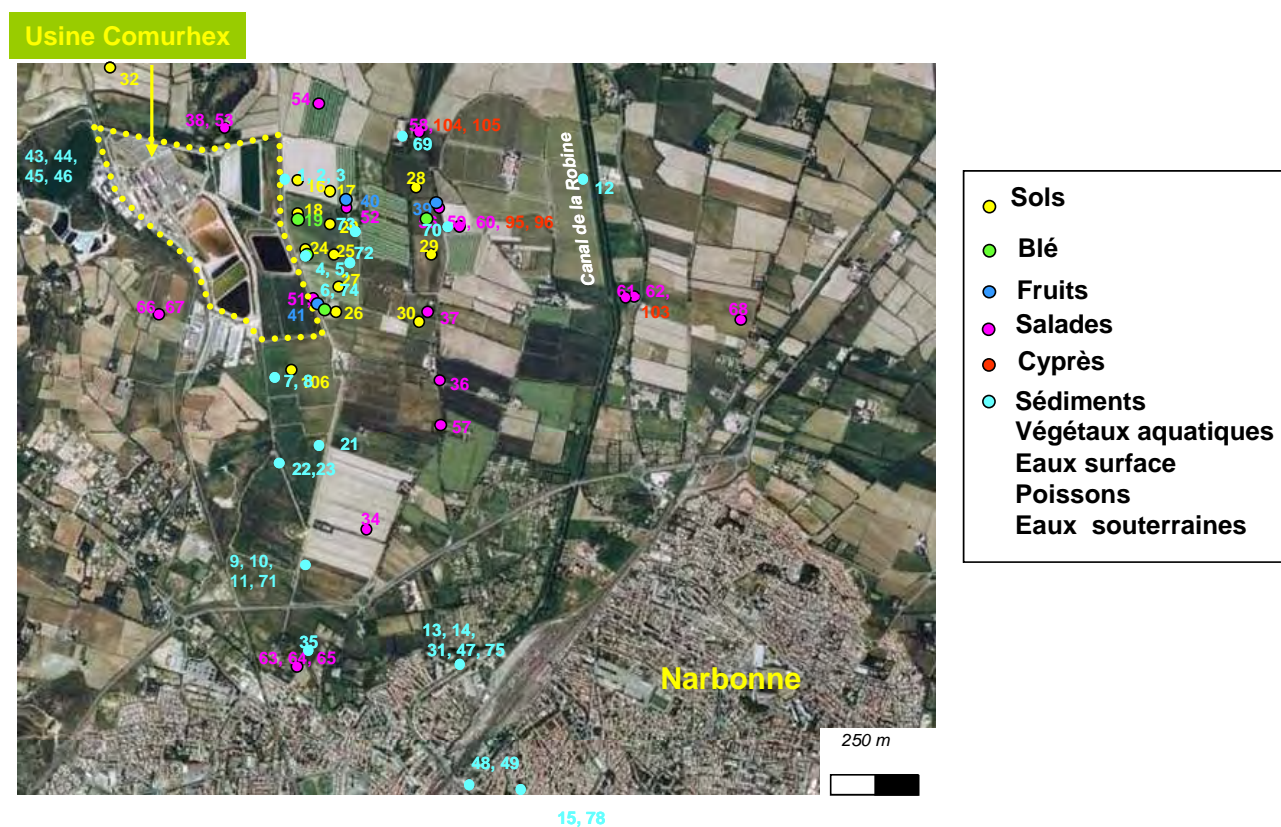


Figure 53 : Localisation de prélèvements effectués en 2007 et 2008 dans l'environnement du site de Malvési

Les résultats de ces campagnes montrent que le marquage de l'environnement est principalement dû aux rejets actuels autorisés du site et à l'existence de bassins d'entreposage liés à des activités industrielles passées.

L'influence des rejets de l'usine sur son environnement apparaît, aussi bien dans le milieu terrestre, jusqu'à 1 km de la clôture à l'est du site sous les vents dominants, que dans le milieu aquatique.

Dans le milieu aquatique, le marquage des échantillons prélevés dans le Tauran, à l'aval des rejets, présente un marquage par rapport au point amont, respectivement 10 fois supérieur en uranium pour les eaux de surface, et environ 4 fois plus élevé en uranium et plutonium pour les sédiments. Le marquage est visible dans les canaux du Tauran et de Cadariège et jusqu'à l'aval du canal de la Robine.

Dans le milieu terrestre, le sol prélevé à l'est du site présente des niveaux en uranium et plutonium environ deux fois plus élevés que le bruit de fond (Figure 54).

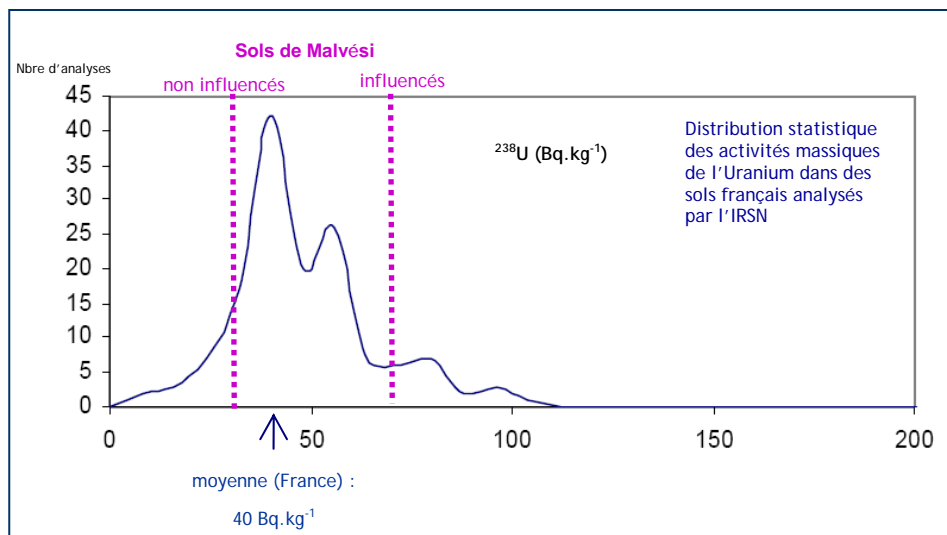


Figure 54 : L'uranium dans les sols de Malvési par rapport aux sols français

Les activités de l'uranium et de ses descendants mesurées dans les végétaux terrestres diminuent très vite dès que l'on s'écarte de la direction des vents dominants ou que l'on s'éloigne de l'installation. Ainsi, ont été observées des activités en uranium 20 fois plus élevées dans les figes prélevées à 20 m de la clôture du site que dans celles prélevées à 1 km, et jusqu'à 100 fois plus élevées dans les feuilles de cyprès par rapport aux feuilles échantillonnées dans la zone non influencée. Le marquage des fruits prélevés à l'est et au sud-est du site sous les vents dominants est illustré sur la figure suivante (Figure 55).

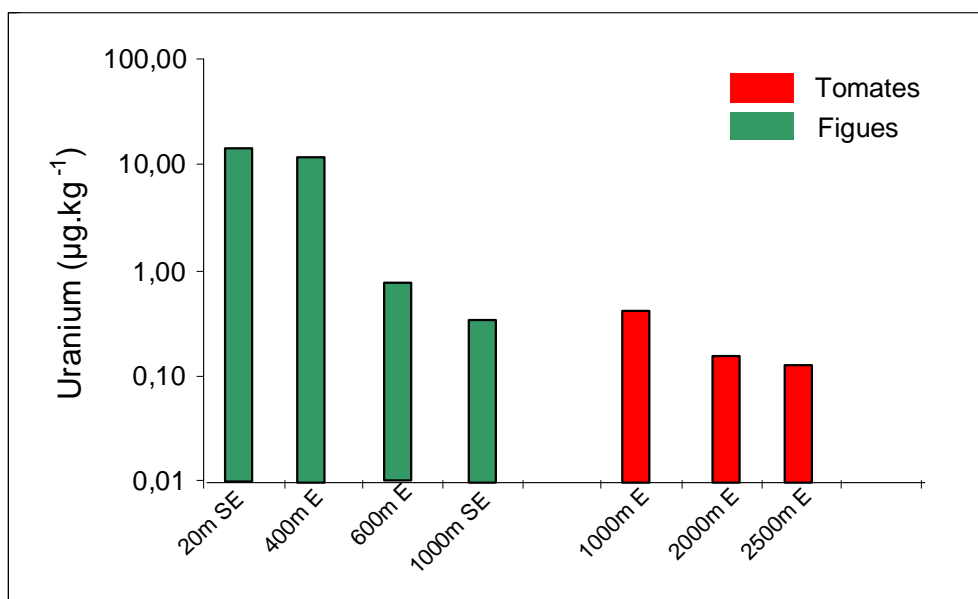


Figure 55 : L'uranium dans les fruits prélevés dans l'environnement proche du site de Malvési

VIII.4.2 SITE DE PIERRELATTE-TRICASTIN (26)

L'environnement des sites du Tricastin et de Pierrelatte, très proches géographiquement, fait l'objet d'une surveillance type (DTL, Téléray, aérosols, eaux de pluies prélevées sous les vents dominants, eaux de surface en amont et en aval, sédiments en aval). Dans ce paragraphe sont présentés les résultats de la surveillance spécifique aux installations exploitées par AREVA (COMURHEX, EURODIF, SOCATRI, FBFC et AREVA NC) et par le CEA Valrhô. Le paragraphe VIII.5 présente les résultats de la surveillance des CNPE, dont celui du Tricastin.

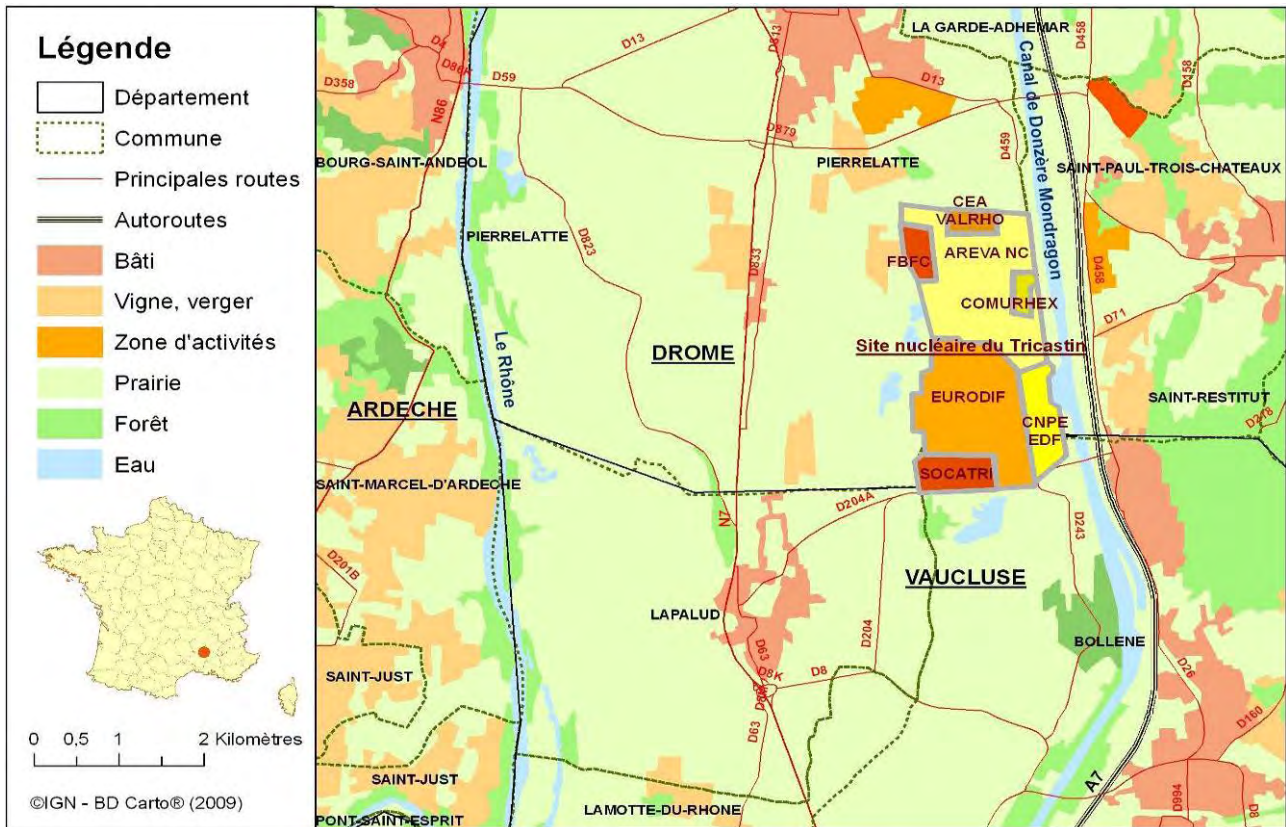


Figure 56 : Situation géographique du site de Pierrelatte-Tricastin et des différentes INB présentes sur ce site

VIII.4.2.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

Aucune activité gamma ambiante anormale n'a été enregistrée par les dosimètres thermoluminescents environnants ou par la balise Téléray implantée sous les vents dominants des installations (voir données au paragraphe VI.1).

En plus de la station de prélèvement d'aérosols dédiée à la surveillance du CNPE du Tricastin (voir données du paragraphe VIII.5.1.3), deux autres stations sont présentes sur ce site (AREVA - Pierrelatte et AREVA - EURODIF). Aucune activité anormale n'a été décelée dans les prélèvements d'aérosols effectués par ces stations.

Deux collecteurs d'eau de pluie sont présents sur le site de Pierrelatte. Ces eaux sont collectées à une fréquence hebdomadaire et font l'objet de mesures sur les mélanges mensuels. En dehors du tritium parfois présent en faible quantité, aucune activité anormale n'a été détectée dans les eaux de pluies recueillies sur les sites du Tricastin et de Pierrelatte.

Tableau 17 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 aux points « Les Genêts » et « Planches » (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Les Genêts	Planches
	^3H	$6,4 \pm 0,7$	$5,5 \pm 0,6$
	α global	$0,010 \pm 0,001$	$0,010 \pm 0,001$
	β global	$< 0,10$	$< 0,10$

VIII.4.2.2 EAUX DE SURFACE

Le plan de surveillance des eaux de surface prévoit trois prélèvements instantanés dans l'année à proximité du site de Pierrelatte (un en amont et deux en aval) et un point de prélèvement continu par le biais d'un hydrocollecteur situé en aval du CNPE du Tricastin.

Tableau 18 : Résultats d'analyse des eaux prélevées en 2008 dans la Gaffière et dans le canal de Donzère

Eau	Radionucléide	Unité	Amont canal Donzère	Aval canal Donzère	Aval la Gaffière
	α global	Bq/l	< 0,033	0,034 ± 0,011	0,10 ± 0,01
	β global		< 0,013	0,010 ± 0,003	0,083 ± 0,011
	²³⁴ U		0,034 ± 0,011	0,030 ± 0,010	0,16 ± 0,03
	²³⁸ U		< 0,12	< 0,10	0,15 ± 0,04
	U pondéral	µg/l	0,34 ± 0,07	0,50 ± 0,10	12,2 ± 0,4

Les activités alpha global et bêta global mesurées dans l'eau du canal de Donzère sont inférieures aux limites de détection en amont du CNPE et proche des limites de détection en aval.

Pour l'eau prélevée en aval du site dans le ruisseau la Gaffière, la présence des isotopes ²³⁴U et ²³⁸U de l'uranium et de leurs descendants émetteurs alpha explique l'activité alpha global équivalente à la valeur guide fixée en application du CSP pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 Bq/l pour ce paramètre). L'activité en uranium correspond à une concentration volumique de 12,2 µg/l. En ce qui concerne l'activité bêta global, le niveau mesuré s'explique par la présence de potassium 40 et d'uranium. Aucune activité anormale n'a été décelée dans les autres eaux de surface collectées et aucune différence significative n'est mise en évidence entre l'amont et l'aval du site.

VIII.5. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES CENTRALES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE

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 exploitations, 9 réacteurs (UNGG, RNR, REP ou à neutrons rapides) sont en démantèlement et un réacteur est en construction (EPR).

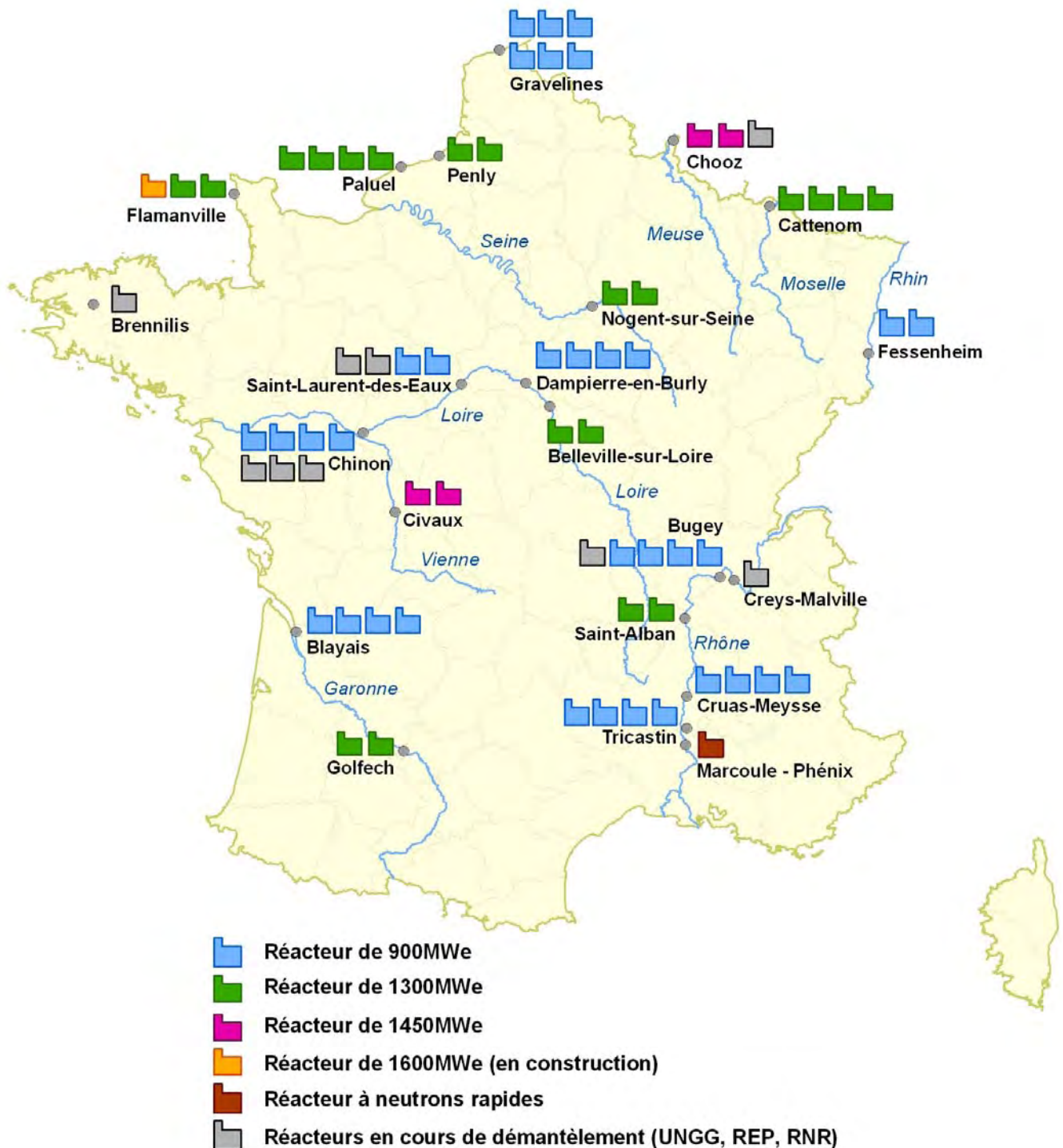


Figure 57 : implantations et état des CNPE français en 2008

VIII.5.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

VIII.5.1.1 TELERAY

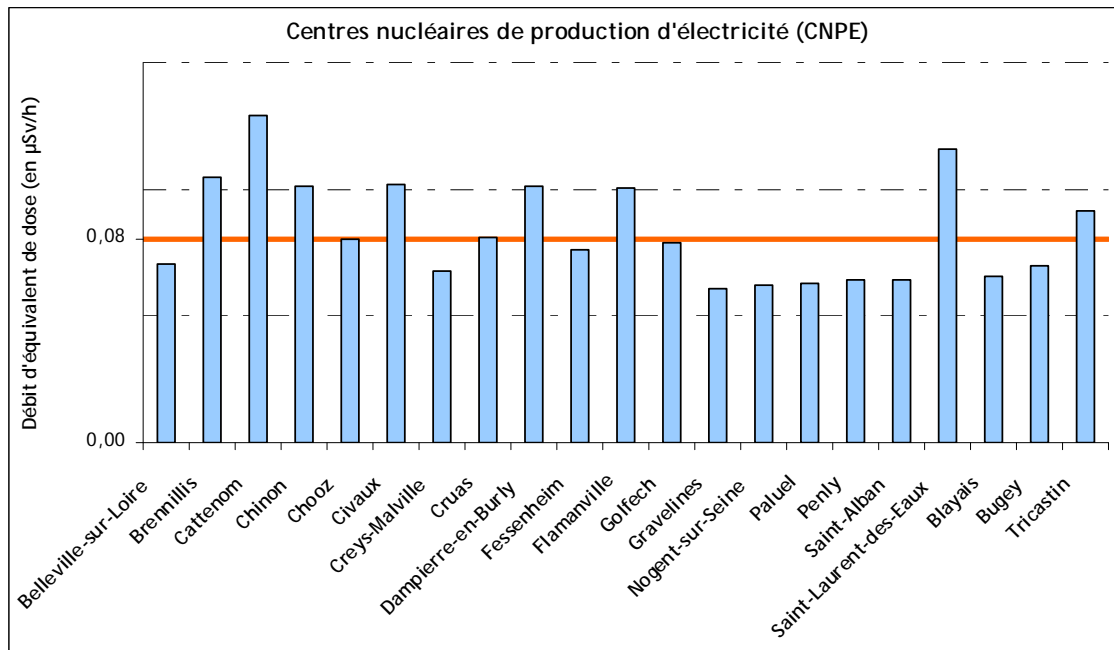


Figure 58 : Moyenne des débits d'équivalent de dose gamma ambiant mesurés par les sondes Teleray autour de chaque CNPE français en 2008 (la moyenne nationale est reportée en orange à titre de comparaison)

Le débit d'équivalent de dose gamma ambiant mesuré autour des CNPE français reflète le niveau d'exposition local d'origine naturelle (Figure 58). Aucune surexposition due à l'activité de ces installations n'a été mise en évidence en 2008.

VIII.5.1.2 DOSIMETRES THERMOLUMINESCENTS

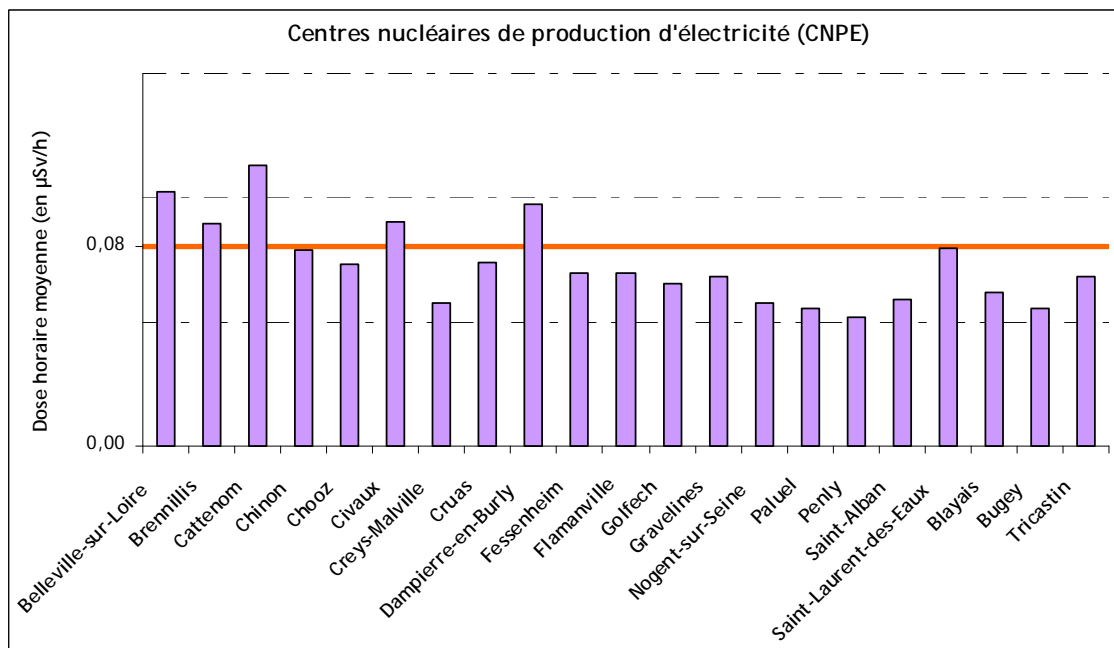


Figure 59 : Moyenne des doses horaires gamma ambiant mesurées par les dosimètres thermoluminescents autour de chaque CNPE français en 2008 (la moyenne nationale est reportée en orange à titre de comparaison)

Le débit de dose intégrée sur une année dû à l'exposition externe, mesuré à partir des dosimètres thermoluminescents disposés à proximité des CNPE, varie de 0,4 à 1 mSv/an. Les différences d'un CNPE à l'autre sont dues à la variabilité naturelle du rayonnement tellurique.

A titre comparatif avec le réseau Téléray, ce débit de dose annuelle a été ramené à la dose horaire moyenne pour chaque CNPE (Figure 59). Cette dose horaire est du même ordre de grandeur que celle obtenue à partir des mesures des sondes Téléray.

Le calcul de cette moyenne étant réalisé à partir de mesures de plusieurs dosimètres disposés autour de chaque CNPE et la mesure étant intégrée à des échelles de temps différentes, il est donc normal d'observer de légers écarts entre les résultats de Téléray et des dosimètres.

VIII.5.1.3 AEROSOLS

L'activité volumique bêta global autour de tous les sites où sont implantés des CNPE est suivie depuis les années soixante. Ces suivis montrent que les activités volumiques bêta global se sont stabilisées aux alentours de 0,5 mBq/m³ et n'évoluent plus depuis l'arrêt des derniers essais atmosphériques d'armes nucléaires effectués par la Chine en octobre 1980 (excepté lors de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986), comme l'illustre les mesures provenant de la station de Chinon (Figure 60).

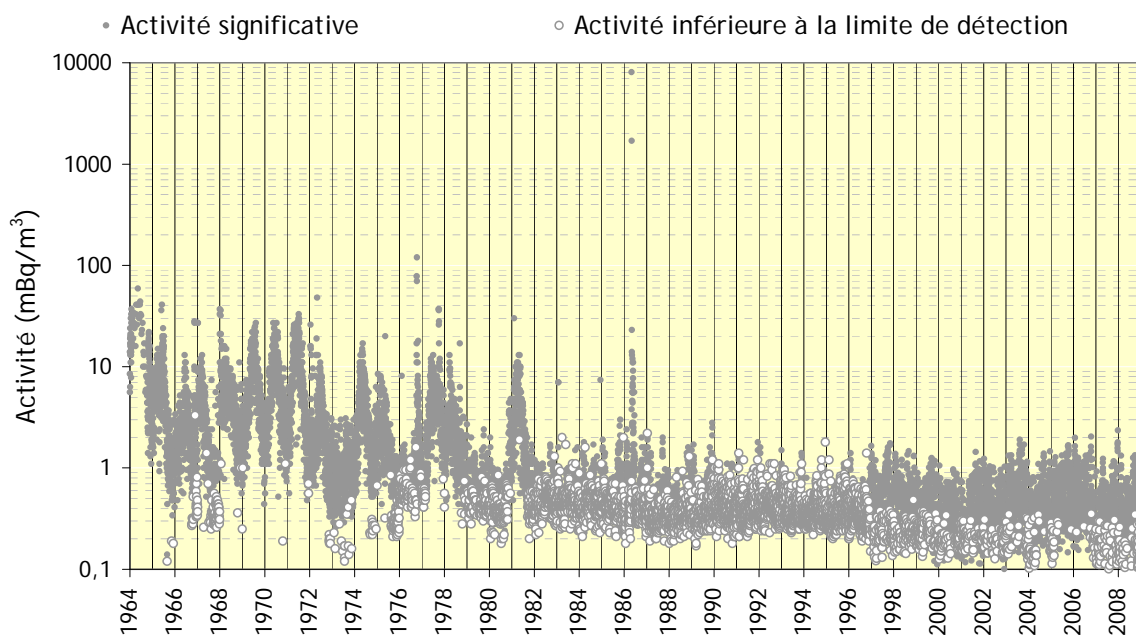


Figure 60 : Suivi de l'activité volumique bêta global des aérosols dans l'environnement du CNPE de Chinon

En 2008, l'activité bêta global mesurée dans les aérosols prélevés dans l'environnement proche du site du CNPE est similaire à celle mesurée dans des zones géographiques hors influence de toute installation nucléaire (Figure 61). De plus, la moyenne des mesures réalisées autour des CNPE est comparable à la moyenne nationale. Ces observations montrent que la surveillance de l'activité bêta global des aérosols autour des CNPE n'a mis en évidence aucun impact décelable imputable aux rejets atmosphériques de ces installations. Il convient toutefois de préciser que la mesure des prélèvements d'aérosols ne permet pas de caractériser l'impact des rejets de tritium et de carbone 14, pour lesquels d'autres techniques de mesure doivent être mises en œuvre.

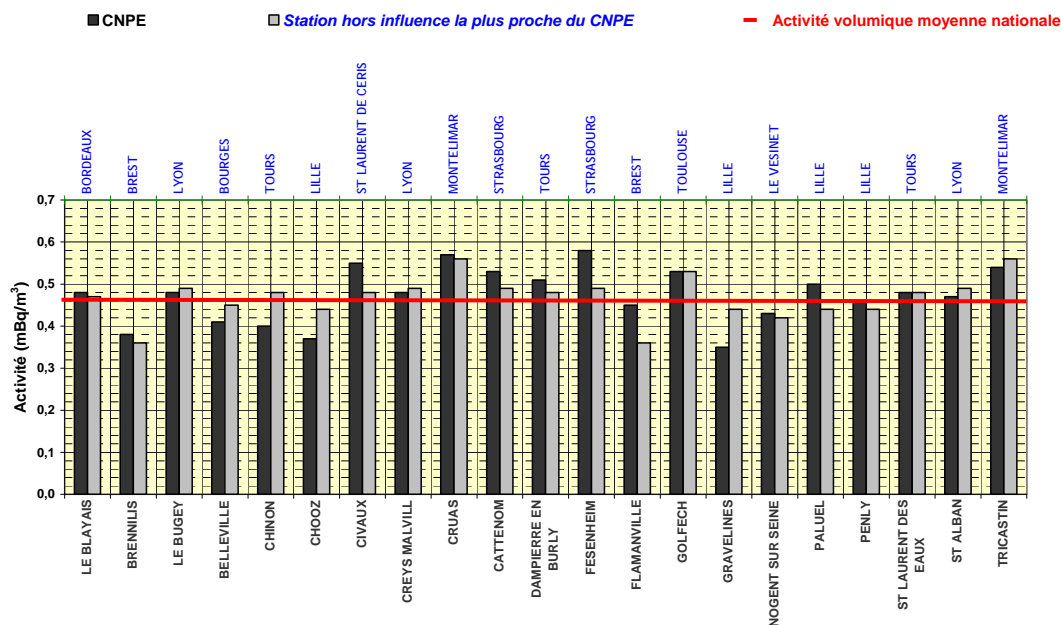


Figure 61 : Activité bêta globale moyenne des aérosols mesurée en 2008 autour de chaque CNPE comparée à l'activité mesurée sur le site le plus proche hors influence de toute installation nucléaire.

En complément du suivi de l'indice d'activité bêta, des spectrométries gamma réalisées sur les regroupements mensuels des prélèvements effectués autour de chaque CNPE permettent de quantifier les radionucléides artificiels rejetés par ce type d'installation. Exceptée la présence de cobalt 58 mesuré sur un prélèvement effectué du 1^{er} au 2 janvier 2008 sur le CNPE de Belleville (voir événements marquants au paragraphe VII.1), aucune autre analyse n'a permis de détecter de radionucléide d'origine artificielle.

Tableau 19 : Activités mesurées par spectrométrie gamma sur les regroupements mensuels des prélèvements d'aérosols effectués sur tous les CNPE en 2008 (mBq/m³)

Aérosols	Radionucléide	Activité volumique
	⁵⁴ Mn	< 0,020
	⁵⁸ Co	< 0,032
	⁶⁰ Co	< 0,020
	⁹⁵ Zr	< 0,062
	^{110m} Ag	< 0,020
	¹⁰⁶ Ru	< 0,16
	¹³⁷ Cs	< 0,017
	¹³⁴ Cs	< 0,017

VIII.5.1.4 EAUX DE PLUIES

Les eaux de pluie collectées en 2008 aux stations situées à 1 km sous les vents dominants des CNPE, dites stations « AS1 », ne présentent pas d'activités en tritium significatives, à l'exception du CNPE de Gravelines en juillet (Figure 62). Les rejets gazeux de ce CNPE, déclarés mensuellement par l'exploitant à l'Autorité de sûreté nucléaire, présentent des activités en tritium plus élevées durant l'été 2008, qui correspondent à la détection de tritium dans les eaux de pluie en juillet 2008 (25 Bq/l).

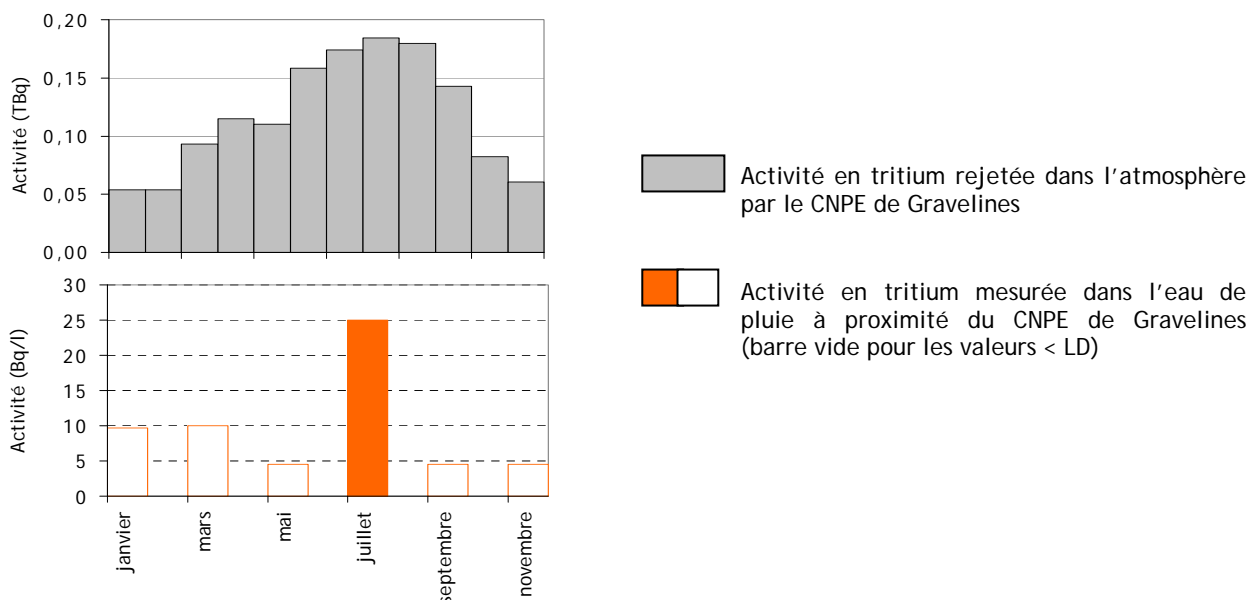


Figure 62 : Activité en ^3H dans les rejets gazeux et dans les eaux de pluies du CNPE de Gravelines en 2008

A titre d'information, le tableau suivant présente les limites de détection usuelles en 2008 des principaux radionucléides recherchés dans le cadre de la surveillance de la radioactivité dans les eaux naturelles. Il est à noter que la limite de détection du tritium est passée de 10 Bq/l à 5 Bq/l à partir de mai 2008.

Tableau 20 : Limites de détection usuelles des principaux radionucléides dans l'eau de pluie en 2008

Eau de pluie	Radionucléide	Unité	Limite de détection
	^{137}Cs	Bq/l	0,11
^{226}Ra	0,027		
^{238}Pu	0,0014		
^{241}Am	0,0020		
^{241}Pu	0,13		
^3H	6,7		
^{90}Sr	0,0062		
α global	0,054		
β global	0,14		
$^{239+240}\text{Pu}$	0,00094		
U pondéral	$\mu\text{g/l}$		0,026

VIII.5.2 COMPARTIMENT TERRESTRE

VIII.5.2.1 FLORE TERRESTRE

La radioactivité est mesurée sur plusieurs indicateurs : mousse, herbe et feuilles d'arbres. Les prélèvements sont effectués en champ proche des centrales considérées (< 10 km sous les vents dominants) selon une fréquence mensuelle à annuelle en fonction des espèces retenues. Le suivi de la radioactivité porte sur les principaux émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par une centrale REP. Le carbone 14 et le tritium, radionucléides prépondérants dans les rejets d'effluents gazeux des CNPE, font également l'objet d'un suivi dans les échantillons de feuilles d'arbre (en complémentarité du réseau atmosphérique présenté au § VIII.5.1.3).

En 2008, le suivi radiologique de la flore terrestre a été principalement concentré aux abords des centrales de Civaux et de Golfech, retenues comme sites pilotes pour redéployer, à partir de 2009, la surveillance du compartiment terrestre autour des CNPE.

Les résultats observés en 2008 sont comparables aux années précédentes et indiquent que :

- la radioactivité mesurée dans les végétaux est principalement due au potassium 40 d'origine naturelle (par exemple, l'activité massique en ^{40}K des végétaux prélevés autour du CNPE de Civaux varie en moyenne, selon l'espèce prélevée, entre 142 ± 36 et 490 ± 13 Bq/kg sec) ;
- parmi les radionucléides émetteurs gamma d'origine artificielle, seules des traces de césium 137 sont régulièrement décelées, principalement dans les échantillons de mousses terricoles, retenues comme bioindicateur de radiocontamination. Par exemple, les niveaux mesurés en 2008 sont en moyenne de $3,47 \pm 1,80$ Bq/kg sec pour Civaux et de $1,87 \pm 0,83$ Bq/kg sec pour Golfech. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux observés dans les zones non influencées par les rejets des installations nucléaires (cf. § 0). Les résultats de mesure des autres émetteurs gamma (^{131}I , ^{60}Co , ^{58}Co ,...), susceptibles d'être rejetés par les effluents gazeux, sont restés inférieurs aux limites de détection (Tableau 21). Les traces de ce radionucléide sont donc attribuées à la rémanence des dépôts suite aux retombées atmosphériques passées (tirs nucléaires atmosphériques, accident de Tchernobyl).

Les niveaux de tritium et de carbone 14 mesurés ne mettent pas en évidence d'évolution anormale de l'activité mesurée dans la flore. A titre indicatif, l'activité massique moyenne annuelle en carbone 14 mesurée en 2008, de $223,4 \pm 27,4$ Bq/kg de carbone, correspond, aux incertitudes près, à la valeur du bruit de fond observée hors zone influencée de 241 Bq/kg de carbone (voir paragraphe VI.2.2).

Pour le tritium, les résultats sont restés inférieurs aux limites de détection (en moyenne de l'ordre de $185,8 \pm 36,7$ Bq/kg frais pour les échantillons de feuilles). Il convient de noter que les performances associées aux moyens de surveillance utilisés pour analyser le tritium et le carbone 14 en 2008 (combustion de l'échantillon par oxydation suivi d'une scintillation liquide), permettent de mesurer uniquement une élévation anormale des niveaux de radioactivité de la flore terrestre liée à un incident significatif de rejet gazeux, mais ne permettent pas une quantification précise du bruit de fond ou d'un marquage de très faible amplitude.

Les limites de détection relatives aux mesures de radioactivité effectuées dans les végétaux prélevés dans l'environnement proche des CNPE en 2008 sont présentées dans le Tableau 21.

Tableau 21 : Limites de détection (en 2008) des radionucléides d'origine artificielle mesurés dans la flore terrestre

	Radionucléide	Unité	Limite de détection
Feuilles d'arbre	^{110m}Ag	Bq/kg sec	0,75
	$^{124}\text{Sb}, ^{125}\text{Sb}$		1,60
	^{131}I		1,79
	^{58}Co		0,82
	^{60}Co		0,93
	$^3\text{H}^*$	Bq/kg frais	150-200
	$^{14}\text{C}^*$	Bq/kg de carbone	225-270

*valeurs indicative : méthode par combustion oxydiser

VIII.5.2.2 PRODUCTIONS AGRICOLES ET ALIMENTS

La surveillance de la radioactivité des productions agricoles et des denrées déployée autour des CNPE porte sur deux principales productions françaises, les céréales, pour les productions d'origine végétale et le lait, pour les productions d'origine animale. En complément, un suivi de la radioactivité des légumes feuilles (type salade) est progressivement mis en place par l'IRSN depuis octobre 2008 avec la collaboration de la Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF). Du fait de leur surface importante de captation des dépôts atmosphériques, les légumes feuilles constituent un indicateur alimentaire pertinent en particulier dans le cadre de la gestion d'une situation post-incidentelle ou post-accidentelle.

VIII.5.2.2.1. Légumes feuilles

Depuis octobre 2008, des prélèvements de salade ont été réalisés dans l'environnement proche des centrales de Cattenom, Golfech, Paluel, Nogent-sur-Seine et Chooz B.

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les échantillons de salade est principalement due à la présence de potassium 40 d'origine naturelle, dont les niveaux fluctuent entre $122,1 \pm 7,8$ Bq/kg frais et $141,6 \pm 10,1$ Bq/kg frais, selon le secteur géographique.

Les activités massiques des principaux radionucléides d'origine artificielle (^{131}I , ^{58}Co , $^3\text{H}...$) susceptibles d'être rejetés par les centrales hors carbone 14 sont restées inférieures aux limites de détection (Tableau 22).

Tableau 22 : Limites de détection (en 2008) des radionucléides d'origine artificielle mesurés dans les salades

	Radionucléide	Unité	Limite de détection
Salade	^{131}I	Bq/kg frais	0,03
	^{58}Co		0,24
	^{60}Co		0,11
	^{137}Cs		0,08
	^{54}Mn		0,11
	^{110m}Ag		0,11
	$^{124}\text{Sb}, ^{125}\text{Sb}$		0,46
	^3H (libre)	Bq/l	4,55

VIII.5.2.2.2. Céréales

Les prélèvements de blé sont réalisés lors de la récolte annuelle, à partir d'un échantillonnage d'un à plusieurs silos situés sur les communes environnantes des centrales. En 2008, le réseau de surveillance des blés, mis en œuvre avec le concours de l'O.N.I.G.C. (devenu France Agrimer en 2009) couvre l'environnement de l'ensemble des CNPE, excepté celui du Blayais dont les cultures de blé sont peu représentatives des cultures céréalières pratiquées dans la zone sous influence des rejets de la centrale.

Les activités massiques en potassium 40, radionucléide d'origine naturelle, sont comprises entre $99,7 \pm 20,5$ Bq/kg sec et $129 \pm 22,1$ Bq/kg sec, en fonction du bruit de fond de la région (paragraphe VI.2.2.2.2 relatif à la surveillance des céréales à l'échelle du territoire).

Les radionucléides émetteurs gamma susceptibles d'être rejetés par les CNPE ne sont pas détectés dans les échantillons de blés collectés aux abords des CNPE. Les activités massiques mesurées sont restées inférieures aux limites de détection précisées ci-après.

NB : les limites de détection des émetteurs gamma hors potassium 40 mesurés dans les céréales sont : ^{106}Ru ($LD \approx 3,9$ Bq/kg frais) ; ^{124}Sb , ^{125}Sb ($LD \approx 1,2$ Bq/kg frais) ; $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ($LD \approx 0,4$ Bq/kg frais) ; ^{134}Cs , ^{137}Cs ($LD \approx 0,5$ Bq/kg frais) ; ^{58}Co , ^{60}Co ($LD \approx 0,5$ Bq/kg frais) ; ^7Be ($LD \approx 3,9$ Bq/kg frais).

VIII.5.2.2.3. Lait

En 2008, la surveillance de la radioactivité dans le lait de vache, sous influence des rejets des CNPE a été réalisée aux abords de 14 sites sur les 19 en exploitation. A partir de 2009, la mise en œuvre d'un programme de surveillance des denrées, mutualisé avec la Direction Générale des Aliments (DGAL), devrait permettre de couvrir à nouveau l'ensemble des CNPE du territoire français.

Cette surveillance est réalisée à partir de l'analyse d'échantillons de lait de vache prélevés au niveau de fermes, situées sous les vents dominants dans un rayon inférieur à 10 km autour des centrales.

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans le lait est principalement due au ^{40}K , d'origine tellurique, dont l'activité volumique est comprise entre $34,5 \pm 3,1$ et $61,9 \pm 3,8$ Bq/l, selon le secteur géographique. Ces valeurs sont cohérentes avec celles mesurées dans les laits collectés à l'échelle du territoire (voir paragraphe VI.2.2.2.1).

Pour les radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être rejetés par les centrales et transférés dans le lait (^{131}I , ^{137}Cs , ^3H), les activités volumiques sont restées inférieures aux limites de détection précisées ci-après.

Tableau 23 : Limites de détection (en 2008) des radionucléides d'origine artificielle mesurés dans le lait (Bq/l)

	Radionucléide	Limite de détection
Lait	^{131}I	0,48
	^{137}Cs	0,17
	^{134}Cs	0,16
	^3H	6,00

VIII.5.3 COMPARTIMENT AQUATIQUE CONTINENTAL

VIII.5.3.1 EAUX DE SURFACE

VIII.5.3.1.1. CNPE en exploitation dans le bassin versant de la Loire

Aucune activité anormale alpha global ou bêta global n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en amont et en aval des CNPE du bassin versant de la Loire.

Excepté le tritium, dont les niveaux mesurés en aval des CNPE sont à mettre en relation avec les rejets des installations (voir Figure 63 pour le CNPE de Civaux et Figure 64 pour les CNPE de la Loire), aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté en 2008

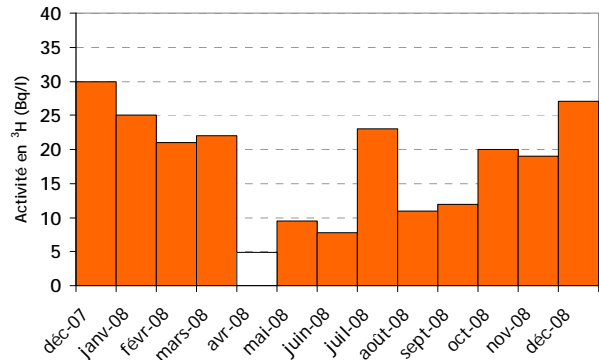


Figure 63 : Activité en ³H dans l'eau de la Vienne en aval du CNPE de Civaux

Tableau 24 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 en amont et en aval des CNPE de la vallée de la Loire (Bq/l)

Eau	Radionucléide	CNPE de Belleville		CNPE de Dampierre	CNPE de Saint-Laurent
		amont	aval	aval	aval
	³ H	< 5,2	11,0 ± 0,7	15,3 ± 0,7	12,1 ± 0,7
	α global	0,022 ± 0,004	0,023 ± 0,004	0,024 ± 0,004	0,030 ± 0,005
	β global	0,11 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,10 ± 0,01
	Radionucléide	CNPE de Civaux		CNPE de Chinon	
		amont	aval	amont	aval
	³ H	< 5,4	15,9 ± 0,7	nm	9,8 ± 0,7
	α global	0,011 ± 0,003	0,010 ± 0,002	0,031 ± 0,005	0,024 ± 0,004
	β global	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,15 ± 0,01

FOCUS

Tritium dans la Loire : comparaison des mesures environnementales et des rejets déclarés par les exploitants

Le tritium rejeté par les quatre CNPE dans la Loire y est détectable en quasi-permanence. Les CNPE rejettent annuellement de l'ordre de 160 TBq en tritium sous forme liquide (représentant 17% des rejets liquides en tritium du parc EDF). La Loire offre un faible coefficient de dilution des rejets, du fait de son débit moyen irrégulier et faible. A titre indicatif, le débit de la Loire à Langeais en aval de Chinon en 2005 s'élevait à 367 m³/s, à comparer à celui du Rhône (1179 m³/s) à Beaucaire en aval d'Avignon la même année. Sur la Loire, c'est le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux qui coordonne les rejets de l'ensemble des CNPE rejetant dans ce fleuve. Sauf dérogation, deux rejets de cuve ne peuvent être réalisés simultanément.

Les résultats d'analyse de l'activité en tritium mesurée dans les échantillons d'eau prélevés en continu (par hydrocollecteur) dans la Loire en aval de chaque CNPE, sont calculés sous forme de moyennes bimestrielles au cours de la période 2004-2007, puis mensuelles à partir de 2008, ceci afin de répondre à un besoin de surveillance temporelle plus fine.

Les activités en tritium sont représentées sur la Figure 64 sous forme d'histogrammes où sont superposées les concentrations mesurées dans l'eau du fleuve en aval des CNPE à celles calculées à partir des valeurs d'activité rejetées par chaque CNPE, pondérées par le débit moyen de la Loire. Cette figure illustre que les niveaux mesurés en tritium correspondent bien, aux incertitudes de mesures près, aux niveaux attendus et déclarés par l'exploitant.

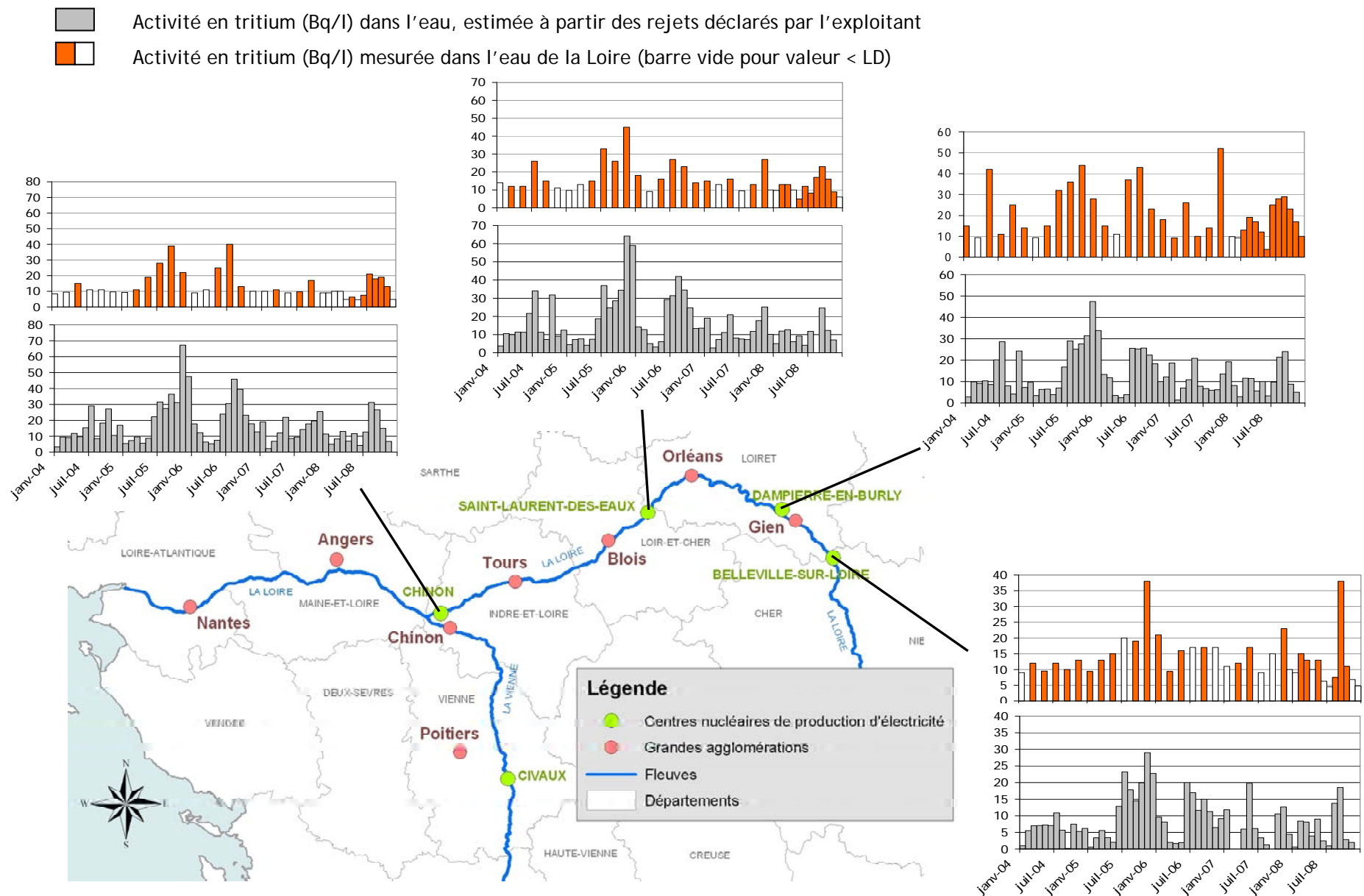


Figure 64 : Implantation des CNPE du bassin versant de la Loire avec représentation graphique de l'activité en ^3H dans l'eau de la Loire et en fonction des rejets déclarés par l'exploitant

VIII.5.3.1.2. CNPE de Cattenom

En 2008, 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 (Tableau 25). Aucun radionucléide artificiel autre que le tritium n'a été mis en évidence. Les concentrations de ce radionucléide mesurées en aval du CNPE (activité maximale de $40 \pm 3,5$ Bq/l) sont à mettre en relation avec les rejets liquides de l'installation.

Une chronique des niveaux d'activité en tritium depuis 2003 est représentée sur la Figure 65 sous forme d'histogramme.

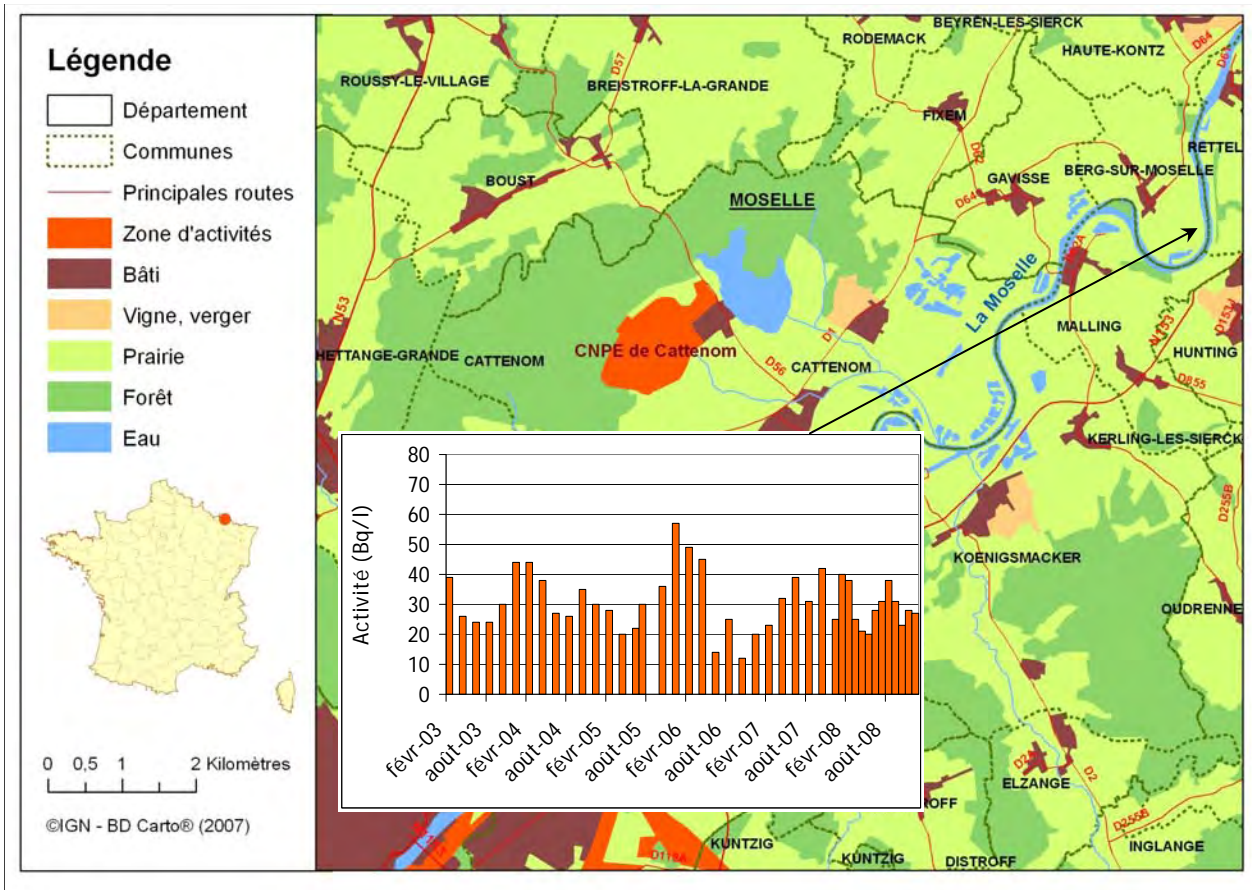


Figure 65 : Implantation du CNPE de Cattenom avec représentation graphique de l'activité en tritium depuis 2003 dans l'eau de la Moselle en aval du CNPE (Bq/l)

Tableau 25 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 en amont et en aval du CNPE de Cattenom, dans la Moselle (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Amont	Aval
	^3H	< 4,8	$28,4 \pm 0,9$
α global	$0,028 \pm 0,008$	$0,014 \pm 0,004$	
β global	$0,25 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,02$	

VIII.5.3.1.3. CNPE du sud-ouest : Golfech et Blayais

Suite au changement d'implantation de l'hydrocollecteur IRSN courant 2005 en aval du CNPE du Blayais, les prélèvements ont été interrompus en 2006 et ont repris en septembre 2007. Comme pour tous les CNPE du littoral de la Manche, les prélèvements d'eaux sont désormais effectués dans l'ouvrage de dilution des rejets du CNPE. La dilution des rejets est donc moindre en ce point de prélèvement que dans le cas des CNPE fluviaux où le prélèvement est réalisé dans le cours d'eau à un niveau où le mélange est supposé homogène.

En 2008, aucune activité anormale alpha global ou bêta global n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en amont et en aval des CNPE du Blayais et de Golfech (Tableau 26). Les concentrations mesurées des eaux prélevées en aval de ces CNPE ont mis en évidence la présence en faible quantité de tritium (activités maximales de 41 ± 4 Bq/l au Blayais et de 24 ± 3 Bq/l à Golfech) due aux rejets liquides (Figure 66).

Aucun radionucléide artificiel autre que le tritium n'a été détecté.

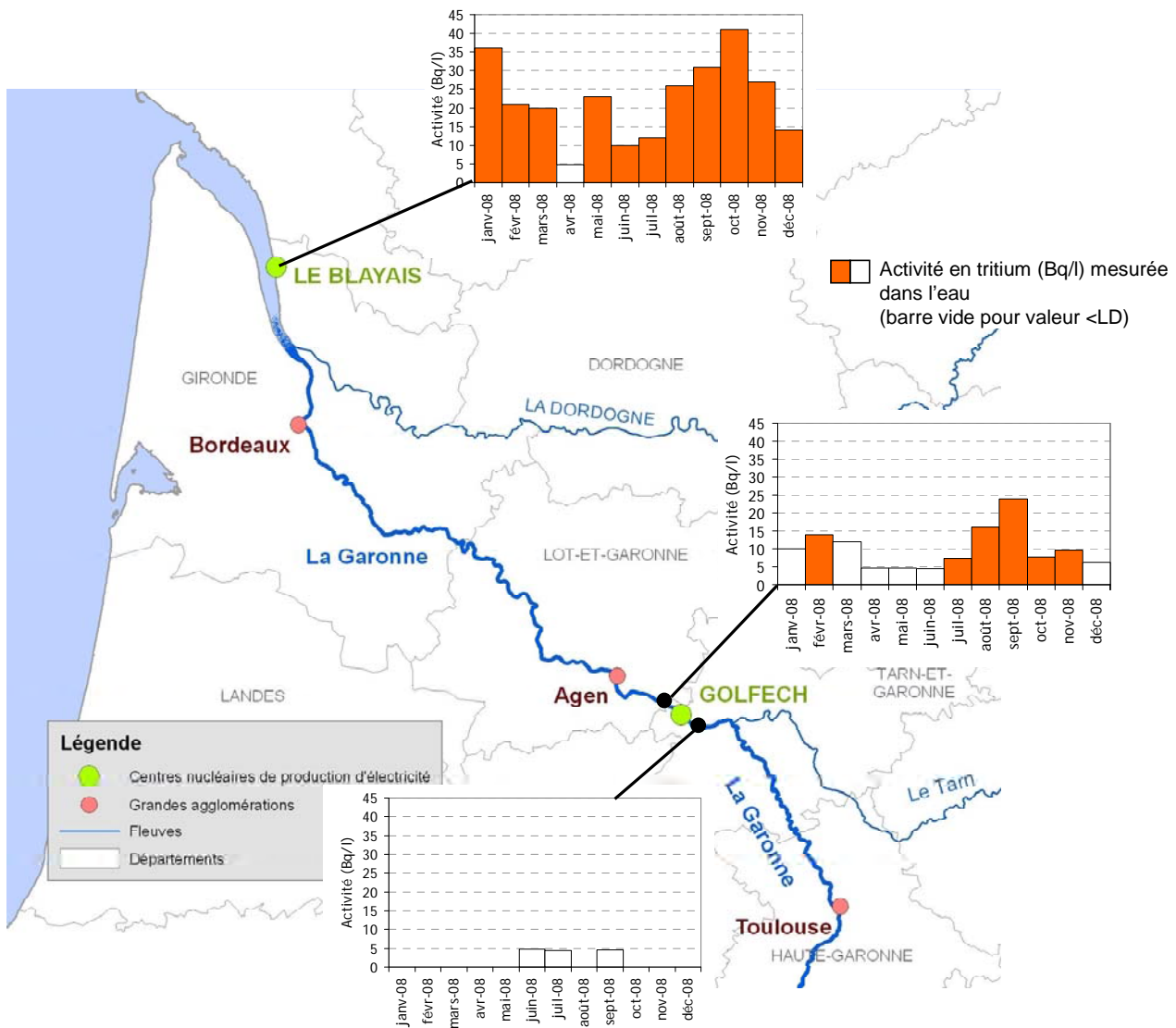


Figure 66 : Implantation des CNPE du bassin versant de la Garonne et représentation graphique de l'activité en ^3H dans l'eau (Bq/l)

Tableau 26 : Activités mesurées dans les eaux de surface prélevées en 2008 autour des CNPE du Blayais et de Golfech (Bq/l)

Eau	Radionucléide	CNPE de Golfech		CNPE du Blayais
		Amont	Aval	Aval
	^3H	< 4,6	$9,2 \pm 0,7$	$19,8 \pm 0,7$
	α global	$0,015 \pm 0,005$	$0,025 \pm 0,004$	$0,10 \pm 0,03$
	β global	< 0,11	$0,10 \pm 0,02$	$0,49 \pm 0,09$

VIII.5.3.1.4. CNPE de la vallée du Rhône

En 2008, aucune activité anormale alpha global ou bêta global n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en aval des CNPE du Rhône (Tableau 27). Les analyses réalisées sur les eaux prélevées en aval des CNPE de Cruas et Bugey ont révélé la présence régulière en faible quantité de tritium (activité maximale respectivement de 26 ± 4 Bq/l au Bugey et 15 ± 2 Bq/l à Cruas), due aux rejets liquides de ces CNPE (Figure 67).

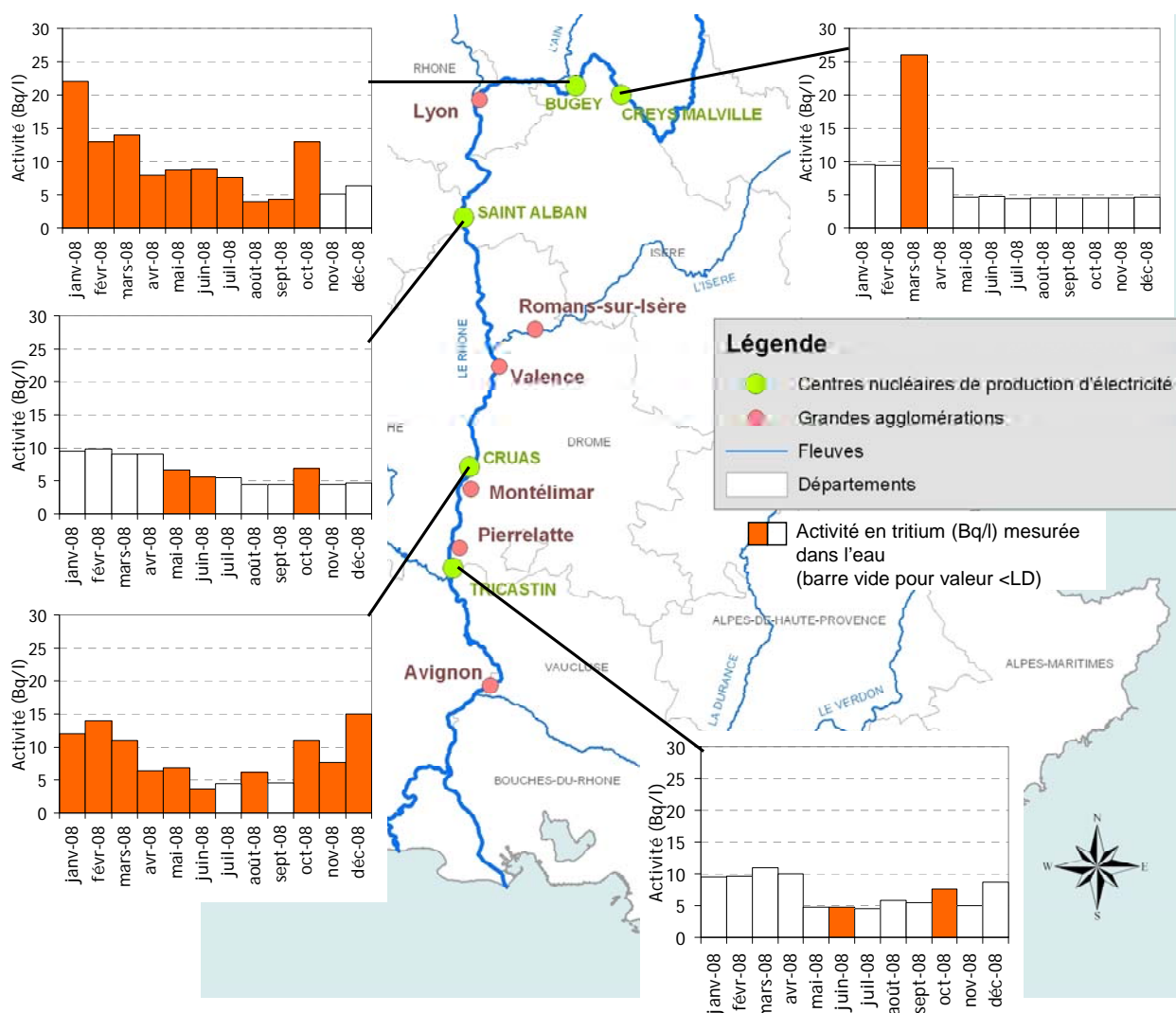


Figure 67 : Implantation des CNPE du bassin versant du Rhône et représentation graphique de l'activité en ^3H dans l'eau du Rhône (Bq/l)

Tableau 27 : Activités mesurées dans les eaux de surface prélevées en 2008 en aval des CNPE de la vallée du Rhône (Bq/l)

Eau	Radio nucléide	CNPE de Creys-Malville	CNPE du Bugey	CNPE de Cruas	CNPE de St-Alban	CNPE du Tricastin
	^3H	< 6,1	9,1 ± 0,6	7,9 ± 0,7	6,0 ± 0,7	6,2 ± 0,8
	α global	0,038 ± 0,005	0,032 ± 0,004	0,027 ± 0,005	0,022 ± 0,004	0,025 ± 0,004
	β global	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,09 ± 0,02

VIII.5.3.1.5. CNPE de Nogent-sur-Seine

En 2008, 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 de Nogent-sur-Seine (Tableau 28). Les analyses réalisées sur les eaux de la Seine prélevées en aval du CNPE ont mis en évidence la présence de tritium, notamment lors de la période juillet-août (activité moyenne de 32 Bq/l) et octobre-décembre (activité moyenne de 34 Bq/l) due aux rejets liquides du CNPE (Figure 68).

En dehors du tritium, aucun autre radionucléide artificiel n'a été mis en évidence.

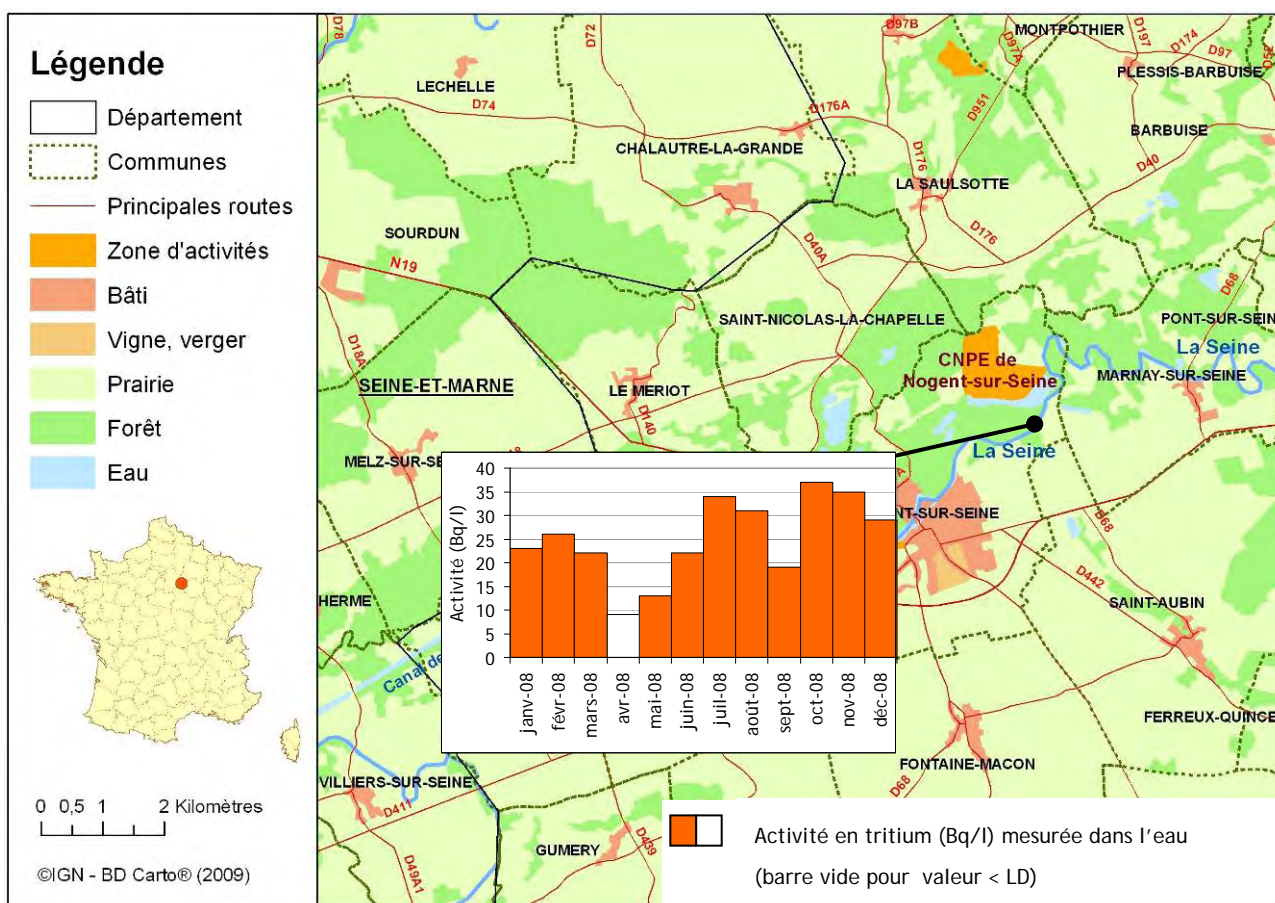


Figure 68 : Implantation du CNPE de Nogent-sur-Seine et représentation graphique de l'activité en ^3H dans l'eau de la Seine (Bq/l)

Tableau 28 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 dans la Seine en aval du CNPE de Nogent-sur-Seine (Bq/l)

Eau	Radionucléide	CNPE de Nogent-sur-Seine
	^3H	25,6 ± 0,9
	α global	0,015 ± 0,004
	β global	0,10 ± 0,01

VIII.5.3.1.6. CNPE de Fessenheim

En 2008, aucune activité anormale n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en amont et en aval du CNPE (Tableau 29). Cependant, une faible activité en tritium a été détectée en aval du CNPE en novembre 2008 ($6,5 \pm 2$ Bq/l).

Aucun radionucléide artificiel autre que le tritium n'a été mis en évidence.

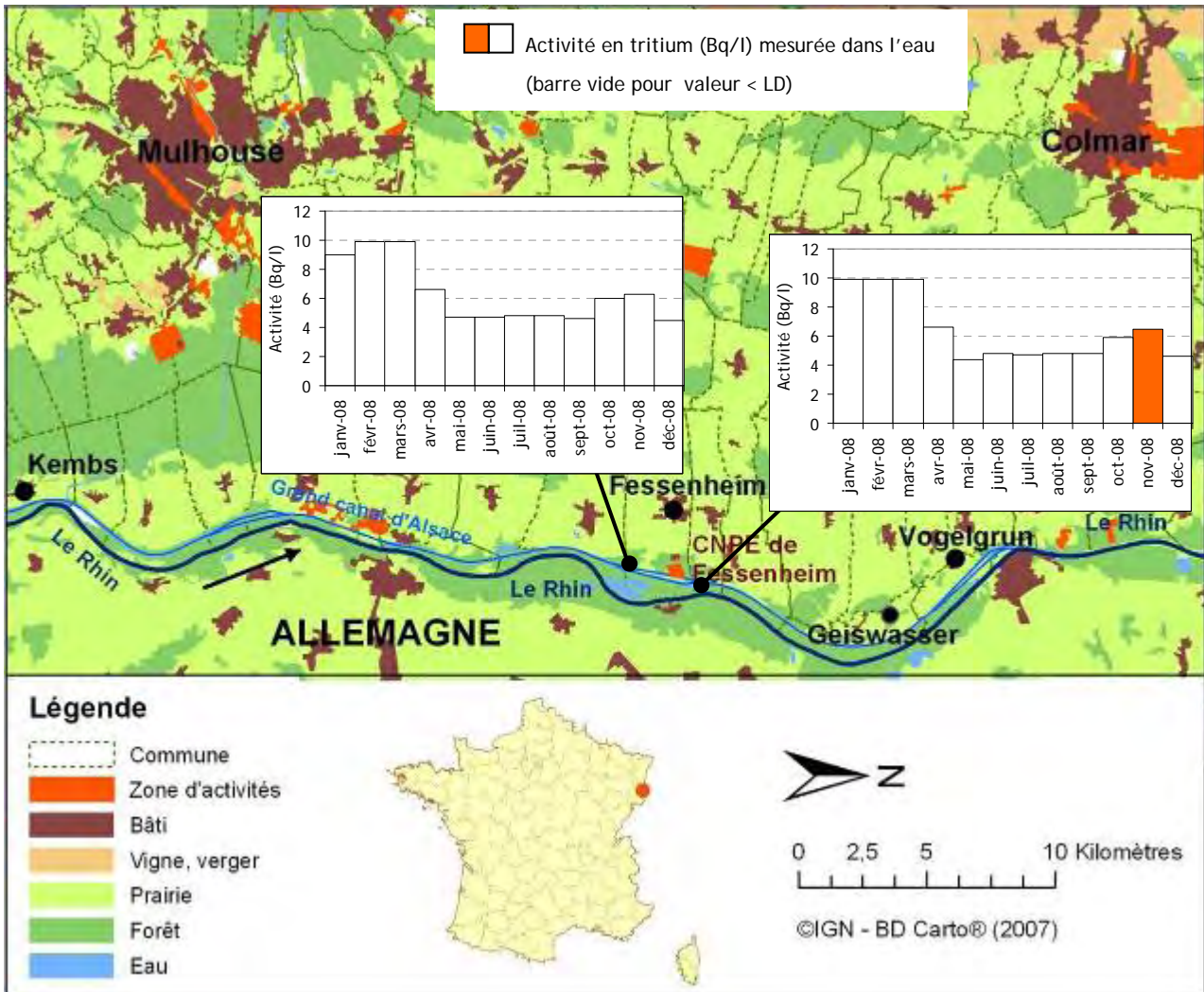


Figure 69 : Implantation du CNPE de Fessenheim et représentation graphique de l'activité en ^3H dans l'eau du Rhin (Bq/l)

Tableau 29 : Activités mesurées dans les eaux prélevées dans le Rhin en 2008 en amont et en aval du CNPE de Fessenheim (Bq/l)

Eau	Radionucléide	CNPE de Fessenheim	
		Amont	Aval
	^3H	< 5,5	$5,6 \pm 0,7$
	α global	$0,017 \pm 0,003$	$0,020 \pm 0,004$
	β global	$0,10 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$

VIII.5.3.2 MATIERES EN SUSPENSION

En complément des analyses de tritium réalisées sur la fraction liquide, des mesures de spectrométrie gamma sont effectuées sur les matières en suspension (MES) sur lesquelles s'adsorbent de nombreux radionucléides. Les MES sont collectées après décantation au niveau de l'hydrocollecteur placé dans le cours d'eau en aval du point de rejets des effluents liquides des CNPE. Les analyses sont réalisées sur les mélanges bimestriels.

En 2008, des valeurs significatives de radioactivité attribuables directement aux CNPE (supérieures aux limites de détection) ont été relevées ponctuellement en aval hydraulique des CNPE de Chooz, Nogent sur Seine, Cattenom, Bugey et Cruas (Tableau 30). Ces valeurs, qui concernent le cobalt 60, le cobalt 58 ou l'argent 110m, correspondent à des périodes pour lesquelles les exploitants ont déclaré une hausse de l'activité volumique rejetée par leur installation. Ces résultats s'expliquent par le fait que les moyens de traitement des effluents liquides utilisés par les exploitants EDF (évaporateur, déminéralisateur...) permettent des rejets à des niveaux d'activité volumique très faibles pour ces radionucléides, généralement inférieurs aux limites de détection (à titre indicatif la limite de détection est de l'ordre de 5 Bq/l pour le ⁶⁰Co dans un effluent radioactif liquide). Les rejets mensuels déclarés par les exploitants auprès de l'Autorité de Sûreté Nucléaire correspondent alors à des valeurs dites « seuillées » (volume d'effluent rejeté multiplié par la valeur du seuil de décision). Lors d'aléas d'exploitation ou d'opérations particulières, des rejets plus importants (activité volumique supérieure aux limites de détection) peuvent être observés, restant néanmoins très inférieurs aux autorisations réglementaires de rejets en vigueur. En fonction du débit du fleuve, les mesures de spectrométrie gamma alors effectuées sur les MES sont suffisamment sensibles pour détecter la présence ponctuelle de radionucléides liée à ces rejets de faible amplitude.

Tableau 30 : Activités mesurées en 2008 dans les MES prélevées en 2008 en aval hydraulique des CNPE situés en bord de rivière (hydrocollecteur)

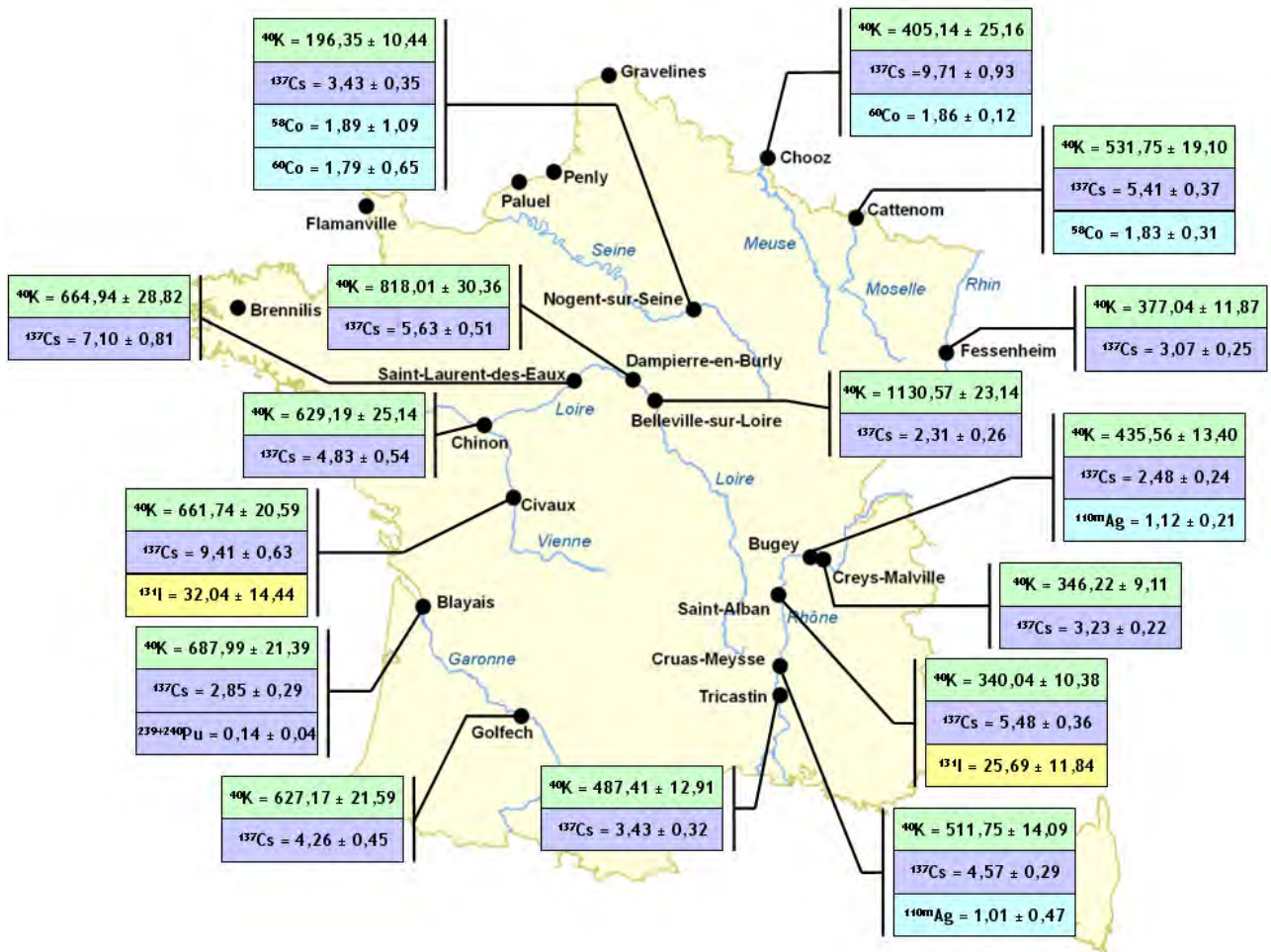
CNPE	Valeur maximale observée (Bq/kg sec)	Période
Chooz B	⁶⁰ Co : 5,3 ± 0,8	janvier-septembre
Nogent-sur-Seine	⁶⁰ Co : 1,9 ± 0,9	juillet-août
	⁵⁸ Co : 1,8 ± 0,6	juillet-octobre
Cattenom	⁵⁸ Co : 1,8 ± 0,9	juin-septembre
Bugey	^{110m} Ag : 8 ± 1,6 en février	février-novembre
Cruas	^{110m} Ag : 1,0 + 0,4	février-mars

Les résultats obtenus pour l'ensemble des points de collecte des cours d'eau du territoire, sont présentés sur la Figure 70 en distinguant les sources de radioactivité (origine naturelle, activité résiduelle liées aux retombées atmosphériques passées, rejets d'effluents liquides de la centrale, rejets liés aux activités de médecines nucléaires « hospitaliers »).

Cette figure illustre, pour la totalité des émetteurs gamma mesurés dans les MES, la proportion importante (91 à 99 %) que représente le potassium 40, d'origine naturelle, par rapport à la radioactivité d'origine artificielle.

En ce qui concerne les émetteurs gamma d'origine artificielle, un marquage résiduel en césium 137 est observé dans chaque cours d'eau. Les concentrations moyennes mesurées, qui ne montrent pas de différence notable avec celles enregistrées les années antérieures, sont liées aux retombées atmosphériques passées (essais militaires, accident de Tchernobyl...).

Des teneurs significatives d'iode 131 sont parfois observées en aval hydraulique des centrales. En 2008, ce radionucléide est décelé en aval de Civaux et de Saint-Alban. Sa présence n'est pas attribuable aux rejets d'effluents liquides des CNPE, mais s'explique principalement par les rejets liés aux activités de médecine nucléaire. Cette hypothèse est confirmée d'une part par le marquage de la flore aquatique prélevée en amont hydraulique de plusieurs CNPE, d'autre part, par les rejets mensuels d'effluents liquides déclarés en 2008 par les exploitants des CNPE, dont les niveaux en iode 131 induits dans le cours d'eau après dilution ne sont pas décelables.



Légende

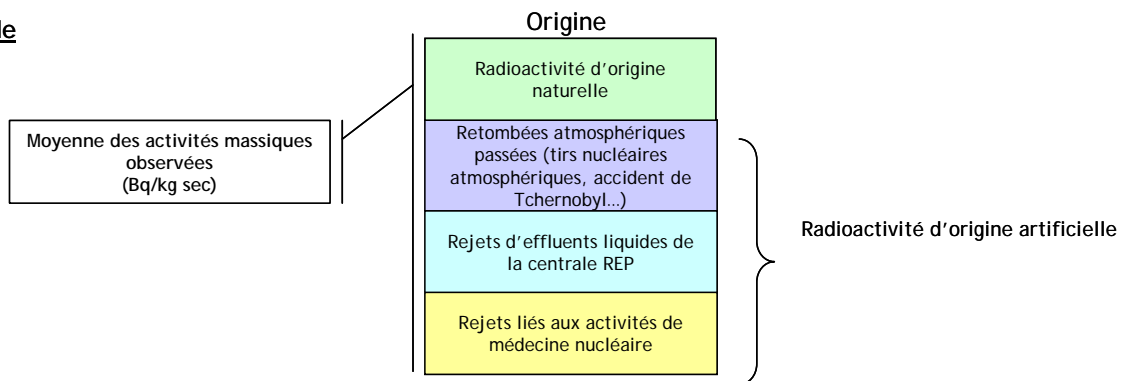


Figure 70 : Valeurs significatives mesurées en 2008 dans les MES collectées en aval des rejets des CNPE fluviaux en activité

VIII.5.3.3 VEGETAUX AQUATIQUES

Les végétaux aquatiques constituent des bons radio-indicateurs des rejets d'effluents liquides.

Un renforcement de la surveillance des végétaux aquatiques, en amont et en aval hydraulique des CNPE débutera progressivement à partir de 2009 et sera complété par des campagnes à l'échelle des bassins versants, afin de mieux apprécier le marquage des rejets « hospitaliers » dans le milieu aquatique. La Figure 71 illustre ce marquage dans la Garonne, où les niveaux en iode 131 mesurés en aval (Lamagistère) de la centrale de Golfech sont inférieurs à ceux de l'amont (Saint-Nicolas de la Grave).

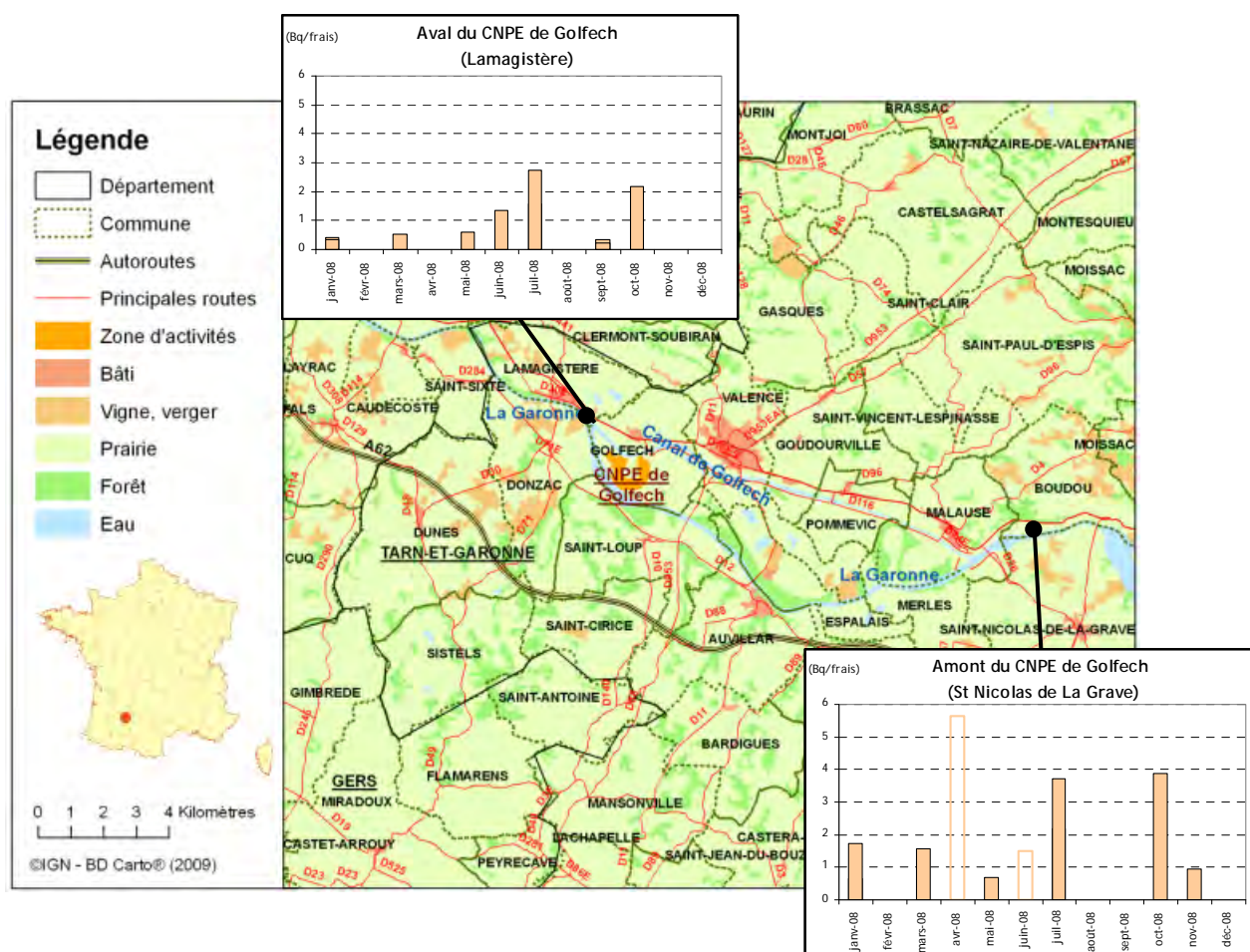


Figure 71 : Activité massique en ¹³¹I dans les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du CNPE de GOLFECH en 2008 (Bq/kg frais)

VIII.5.4 COMPARTIMENT MARIN

VIII.5.4.1 EAUX COLLECTES AU NIVEAU DES HYDROCOLLECTEURS

Afin d'optimiser la diffusion des rejets d'effluents liquides en mer, les CNPE « marins » 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 en un point peu accessible à la mise en place d'un équipement de prélèvement en continu. Afin de palier 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. Les concentrations 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 le 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 concentrations mesurées sur ces dispositifs sont donc supérieures à celles qui seraient mesurées directement dans le milieu marin.

En 2008, seul le tritium a été détecté. Les activités moyennes mensuelles sont présentées ci-après (Figure 72).

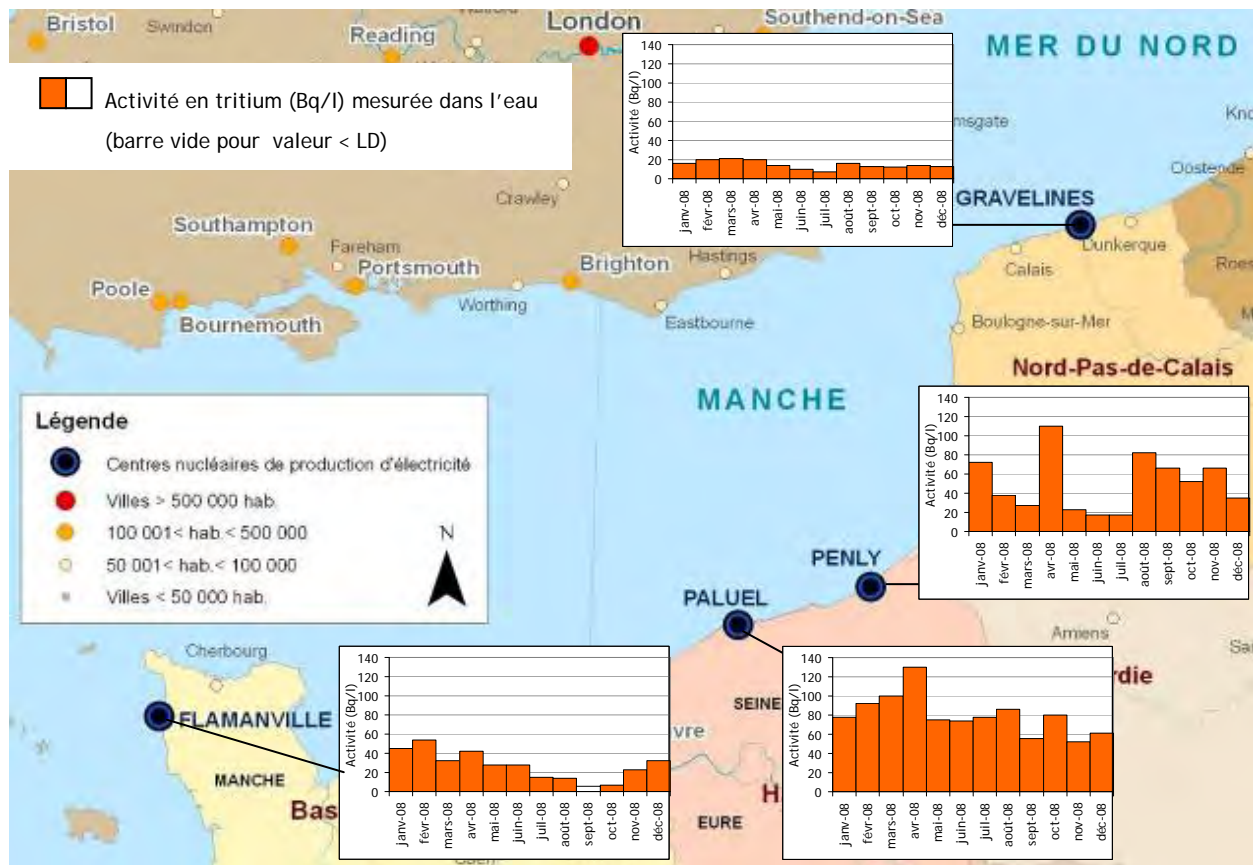


Figure 72 : Evolution de l'activité en ^3H mesurée dans l'eau de mer prélevée à proximité immédiate des CNPE marins (Bq/l)

Les valeurs mensuelles maximales observées en 2008 sont respectivement de 54 ± 5 Bq/l pour le CNPE de Flamanville, de 130 ± 9 Bq/l pour le CNPE de Paluel et de 110 ± 9 Bq/l pour le CNPE de Penly. Ces valeurs sont comparables à celles observées les années antérieures et ne mettent pas en évidence d'élévation anormale d'activité liée aux rejets d'effluents liquides de ces centrales.

Les activités volumiques moyennes plus élevées pour le CNPE de Paluel sont certainement à mettre en relation avec le nombre de réacteurs sur ce site (quatre tranches de 1300 MWe contre deux pour les centrales de Flamanville et Penly).

Pour le site de Gravelines, les activités volumiques restent en général inférieures à 20 Bq/l dans le canal marin (milieu récepteur intermédiaire entre le point de rejet et la mer).

Par ailleurs, aucune activité anormale en bêta global n'a été décelée dans les eaux prélevées au niveau des hydrocollecteurs (Tableau 31).

Tableau 31 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 au niveau des hydrocollecteurs des CNPE marins (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Flamanville (ouvrage de rejet)	Paluel (ouvrage de rejet)	Penly (ouvrage de rejet)	Gravelines (canal marin)
	B global		11,5 ± 0,4	10,6 ± 0,4	10,6 ± 0,4

VIII.5.4.2 MATIERE EN SUSPENSION

En complément des mesures de tritium et bêta global réalisées dans les eaux, des mesures de spectrométrie gamma sont réalisées sur les matières en suspension collectées au niveau des hydrocollecteurs des CNPE de Paluel, Penly et Gravelines.

Les résultats obtenus en 2008 (Tableau 32) ne mettent pas en évidence de pic d'activité lié à une anomalie de rejets d'effluents liquides des « CNPE marins ». Les niveaux de césium 137 mesurés sont comparables à ceux du bruit de fond du littoral, qui sont principalement dus aux retombées atmosphériques passées. Les traces de cobalt 60 et de cobalt 58 correspondent à des produits de corrosion présents dans les rejets d'effluents liquides des CNPE.

Pour le site de Gravelines, des traces de plutonium 238, plutonium 239+240 et d'américium 241, indiquent une influence des rejets du site de la Hague jusqu'au niveau du canal marin du CNPE de Gravelines (mouvements des masses d'eaux et phénomènes des marées).

Les activités des autres radionucléides mesurés sont toutes restées inférieures aux limites de détection.

Tableau 32 : Activités mesurées dans les MES prélevées en 2008 dans les ouvrages de rejet des CNPE de Paluel, Penly et Gravelines (Bq/kg sec)

MES	Radionucléide	Paluel (ouvrage de rejet)	Penly (ouvrage de rejet)	Gravelines (canal marin)
	¹³⁷ Cs	2,35 ± 0,26	1,52 ± 0,20	2,77 ± 0,34
	⁶⁰ Co	1,73 ± 0,14	1,00 ± 0,14	6,24 ± 0,45
	⁵⁸ Co	1,33 ± 0,24	nm	< 1,93
	²³⁸ Pu	nm	nm	0,36 ± 0,04
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	nm	nm	1,73 ± 0,13
	²⁴¹ Am	nm	nm	0,36 ± 0,04

VIII.5.4.3 FLORE ET FAUNE MARINE

En 2008, des suivis de la radioactivité ont été réalisés dans les algues (*Fucus Serratus*) et dans les mollusques principalement prélevés le long du littoral du Cotentin. Parmi les CNPE, seul l'environnement du CNPE de Flamanville a fait l'objet d'une surveillance. Les résultats, détaillés au paragraphe VIII.6.2, montrent les marquages observés (cobalt 60, iode 129, transuraniens principalement) sont attribuables aux rejets d'effluents liquides du site AREVA NC de la Hague.

La surveillance du compartiment biologique (algues et mollusque) sera renforcée à partir de 2009 sur le littoral de la Manche et de la Mer du Nord, en aval maritime des CNPE « marins ».

VIII.6.1.1 COMPARTIMENTS ATMOSPHERIQUE

VIII.6.1.1.1. Dosimétrie environnementale

Aucune activité gamma ambiante anormale n'a été enregistrée par les dosimètres thermoluminescents environnants ou par la balise Téléray implantée sous les vents dominants de l'installation (voir données au paragraphe VI.1).

VIII.6.1.1.2. Aérosols atmosphériques

Aucune activité anormale n'a été décelée sur les prélèvements d'aérosols effectués dans l'environnement du site de Marcoule (voir Figure 102).

VIII.6.1.1.3. Eau 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, due essentiellement aux rejets gazeux des réacteurs Célestin I et II et de l'Atelier Tritium du site de Marcoule, qui sont des installations destinées à produire du tritium. La Figure 74 illustre la variabilité des concentrations mesurées en 2008 à cette station. Cette variabilité est conditionnée par les niveaux de rejets de ces installations et par l'orientation des vents. Les concentrations atteintes (310 Bq/l au maximum en 2008) conduisent l'IRSN à envisager pour les prochaines années, un renforcement de la surveillance du tritium atmosphérique dans l'environnement de ce site.

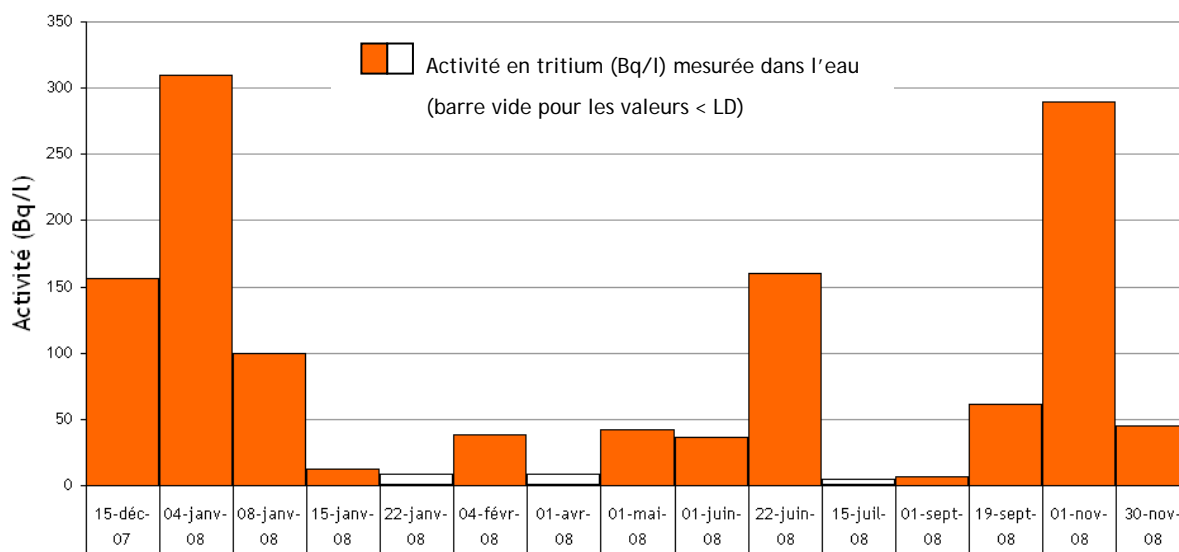


Figure 74 : Activités en tritium mesurées dans les eaux de pluies collectées en fonction des précipitations à une fréquence hebdomadaire en 2008 au sud du site de Marcoule (Codolet)

Aucun autre radionucléide artificiel n'a été détecté de manière significative dans les eaux de pluie.

VIII.6.1.2 COMPARTIMENT TERRESTRE

VIII.6.1.2.1. Végétaux terrestres

Des prélèvements d'herbe sont réalisés trimestriellement dans deux stations situées au sud du site de Marcoule, sous l'influence des vents dominants, dans la commune de Codolet. Les résultats significatifs sont présentés dans le Tableau 33.

Tableau 33 : Activités mesurées dans l'herbe prélevée en 2008 sur la commune de Codolet au sud du site de Marcoule

Herbe	Radionucléide	Unité	station 1	station 2
			contre les grilles du site de Marcoule	1 km environ au sud du site de Marcoule
	Activité massique			
	⁴⁰ K	Bq/kg sec	569,55 ± 20,53	1 080,90 ± 38,34
	⁷ Be		401,28 ± 16,22	273,99 ± 9,80
	⁹⁰ Sr		0,71 ± 0,08	2,15 ± 0,16
	¹³⁷ Cs		1,77 ± 0,39	1,70 ± 0,44
	¹⁴ C*	Bq/kg C	385,92 ± 57,18	296,29 ± 51,55
	³ H *	Bq/kg frais	226 ± 49	296 ± 29
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	Bq/kg sec	< 0,02	0,01 ± 0,004

*valeurs indicatives : méthode par combustion oxydiser

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans l'herbe est principalement due au ⁴⁰K, dont la concentration moyenne varie en 2008 de 569,5 ± 20,5 à 1080,9 ± 38,3 Bq/kg sec selon la station. Le ⁷Be, radionucléide d'origine cosmogénique, est également mesuré à des niveaux moyens compris entre 401,3 ± 16,2 et 274,0 ± 9,8 Bq/kg sec.

Concernant les radionucléides d'origine artificielle, de faibles activités massiques sont mesurées en ⁹⁰Sr au niveau des deux stations. Ces concentrations restent comprises dans la gamme des concentrations observées pour des végétaux prélevés hors influence des rejets industriels (Figure 34).

En 2008, les niveaux en carbone 14 mesurés dans les végétaux sont restés, aux incertitudes près, compris dans la gamme de valeurs habituellement mesurées dans l'environnement non influencé par les rejets industriels (≅ 242 Bq/kg de carbone élémentaire).

Les mesures en tritium réalisées dans les végétaux indiquent un marquage par les rejets atmosphériques du site. Les valeurs maximales observées ont atteint pour ce radionucléide 456 ± 118 et 666 ± 111 Bq/kg frais, respectivement sur les échantillons prélevés aux stations 1 et 2 (méthode d'estimation du tritium total à partir d'une combustion faite par oxydiser sur un échantillon frais, suivie d'une mesure d'émetteur bêta par scintillation liquide).

De faibles niveaux d'activité en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu ont été mesurés dans les végétaux prélevés au point 2, du même ordre de grandeur que certains niveaux mesurés hors influence d'installations nucléaires. La présence de ce radionucléide n'est pas imputable aux rejets atmosphériques du site qui en sont dépourvus.

VIII.6.1.2.2. Productions agricoles et aliments

VIII.6.1.2.2.1. Légumes feuilles

Un prélèvement annuel de salade est effectué dans l'environnement du site de Marcoule sous les vents dominants (commune de Montfaucon).

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans la salade est principalement due à la présence de potassium 40, dont l'activité massique moyenne est de 128,5 ± 8,4 Bq/kg frais. Parmi les radionucléides d'origine artificielle recherchés (³H, émetteurs gamma, ⁹⁰Sr...), le tritium est présent en quantité significative (activité volumique en tritium libre de 34,0 ± 3,4 Bq/l mesurée dans l'eau de lyophilisation). Pour les autres radionucléides, les valeurs sont restées inférieures aux limites de détection (Tableau 34).

Tableau 34 : Activités mesurées dans la salade prélevée en 2008 dans l'environnement proche du site de Marcoule

	Radionucléide	Unité	Activité
Salade	^{40}K	Bq/kg frais	$128,5 \pm 8,4$
	^7Be		$17,9 \pm 2,5$
	^{131}I		$< 0,3$
	^{58}Co		$< 0,2$
	^{60}Co		$< 0,09$
	$^{137}\text{Cs}, ^{134}\text{Cs}$		$< 0,07$
	^{54}Mn		$< 0,09$
	$^{110\text{m}}\text{Ag}$		$< 0,08$
	$^{124}\text{Sb}, ^{125}\text{Sb}$		$< 0,3$
	^{90}Sr		$< 0,43$
	^3H (libre)*	Bq/l	$34,0 \pm 3,4$

* ^3H (libre) : mesure du tritium libre dans l'eau de lyophilisation par scintillation liquide

VIII.6.1.2.2.2. Céréales

Des prélèvements de blé sont réalisés lors de la récolte annuelle à partir de plusieurs silos (Sud Céréales des Angles et de Pont-Saint-Esprit).

La concentration mesurée en potassium 40 est de $112,9 \pm 23,4$ Bq/kg frais (avec une concentration de potassium égale à $4,3 \pm 0,3$ g/kg frais). Cette valeur est cohérente, aux incertitudes près, avec les résultats obtenus pour les blés collectés dans la région « Méditerranée » ($120,0 \pm 19,6$ Bq/kg frais).

Les concentrations des émetteurs gamma hors potassium 40 mesurés dans les blés sont restées inférieures aux limites de détection indiquées ci-après.

NB : les émetteurs gamma hors potassium 40 mesurés dans les céréales sont : ^{106}Ru ($LD \approx 4,3$ Bq/kg frais) ; $^{124}\text{Sb}, ^{125}\text{Sb}$ ($LD \approx 1,2$ Bq/kg frais) ; $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ($LD \approx 0,7$ Bq/kg frais) ; ^{134}Cs ($LD \approx 0,7$ Bq/kg frais), ^{137}Cs ($LD \approx 0,5$ Bq/kg frais) ; $^{58}\text{Co}, ^{60}\text{Co}$ ($LD \approx 0,6$ Bq/kg frais) ; ^7Be ($LD \approx 4$ Bq/kg frais).

VIII.6.1.2.2.3. Riz de Camargue

Compte tenu de la rémanence de certains transuraniens dans le Rhône en aval du site de Marcoule, un prélèvement de riz paddy de variété Thai correspondant à la récolte de l'année en cours est analysé.

Les concentrations des radionucléides d'origine artificielle mesurées en 2008, sont toutes restées inférieures aux limites de détection ($< 0,03$ Bq/kg frais pour le ^{90}Sr , $< 0,002$ Bq/kg frais pour ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$ et $< 0,13$ Bq/kg frais pour l' ^{241}Am).

VIII.6.1.2.2.4. Lait

Des prélèvements de lait de vache sont effectués dans la commune de Montfaucon. Les résultats d'analyses sont présentés au Tableau 35. La radioactivité d'origine naturelle est principalement due au potassium 40.

Aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté.

Tableau 35 : Activités mesurées dans le lait de vache prélevé en 2008 dans l'environnement du site de Marcoule (Bq/l)

Lait	Radionucléide	Activité volumique
	^{131}I	<0,48
	^{129}I	<0,3
	^{137}Cs	<0,17
	^{134}Cs	<0,16
	^3H	<6,9
	^{90}Sr	<0,03
	^{40}K	56,23 ± 6,52

VIII.6.1.3 COMPARTIMENT AQUATIQUE CONTINENTAL

VIII.6.1.3.1. Eaux de surface

Les analyses réalisées dans les eaux du Rhône prélevées mensuellement en amont du site de Marcoule ont mis en évidence la présence en faible quantité de tritium (activité maximale de 10 Bq/l), due vraisemblablement aux rejets liquides des installations nucléaires situées en amont sur le Rhône. Aucune activité anormale n'a été décelée dans les eaux de surface prélevées en aval du site. Seul du strontium 90 a été détecté en 2008 à des activités proches de la limite de détection.

Tableau 36 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 dans le Rhône en amont et en aval du site de Marcoule (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Amont du site	Aval du site
	α global	0,028 ± 0,003	0,027 ± 0,003
	β global	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,01
	^3H	7,3 ± 0,7	5,3 ± 0,7
	^{90}Sr	nm	0,0045 ± 0,0007







VIII.6.1.3.2. Sédiments

Afin d'évaluer l'évolution du marquage des rejets du site de Marcoule dans le Rhône, des échantillons de sédiment sont prélevés sur six stations (Figure 75) disposées le long du Rhône depuis Saint-Etienne-des-Sorts situé en amont du site (pas d'analyse en 2008), jusqu'à l'embouchure du Rhône (Port-Saint-Louis et Sylvéréal, petit Rhône). Les principaux résultats sont présentés dans le Tableau 37.

Tableau 37 : Activités mesurées dans les sédiments prélevés en 2008 en aval du site de Marcoule (Bq/kg sec)

Station de prélèvement	Sédiments				
	^{137}Cs	^{60}Co	^{241}Am	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$
Codolet	52,97 ± 2,36	< 1,48	1,79 ± 0,21	0,35 ± 0,09	1,63 ± 0,22
Roquemaure	6,68 ± 0,26	0,96 ± 0,11	0,19 ± 0,03	0,12 ± 0,02	0,19 ± 0,03
Avignon	12,71 ± 1,52	1,37 ± 0,42	0,24 ± 0,14	0,10 ± 0,03	0,26 ± 0,09
Port-Saint-Louis	10,81 ± 0,57	1,09 ± 0,22	0,28 ± 0,07	0,26 ± 0,09	0,24 ± 0,07
Sylvéréal	9,40 ± 0,47	0,74 ± 0,17	0,16 ± 0,04	0,11 ± 0,04	0,21 ± 0,06

Légende

-  Département
-  Autoroute
-  Bâti, zone d'activité
-  Zone agricole
-  Prairie, forêt
-  Eau
-  Stations de prélèvements



©IFEN - CORINE land cover 2000®



Figure 75 : Stations de prélèvements des sédiments en 2008 dans le Rhône en aval du site de Marcoule

En amont du site de Marcoule, seul le ^{137}Cs est détecté dans les sédiments (concentration moyenne en 2008 de 10 Bq/kg sec). En aval de ce site, plusieurs radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{241}Am , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) sont mis en évidence dans les sédiments. Le ^{137}Cs est mesuré systématiquement dans tous les échantillons, à des teneurs plus élevées que les autres radionucléides, principalement à la station de Codolet. Sa présence est d'origine multiple : retombées atmosphériques passées et rejets liquides du site de Marcoule (antérieurs à 1997). Des traces de transuraniens (principalement $^{239+240}\text{Pu}$) et de cobalt 60, liées principalement aux rejets passés de l'établissement de Marcoule, sont détectées jusqu'à l'embouchure du Rhône (stations de Port-Saint-Louis et de Sylvéréal). Les sédiments les plus marqués en transuraniens sont ceux prélevés à Codolet, station la plus proche de l'émissaire de rejets d'effluents liquides du site de Marcoule. Au-delà de cette station, les niveaux de radioactivité mesurés le long du Rhône deviennent homogènes et proches des limites de détection (Figure 76).

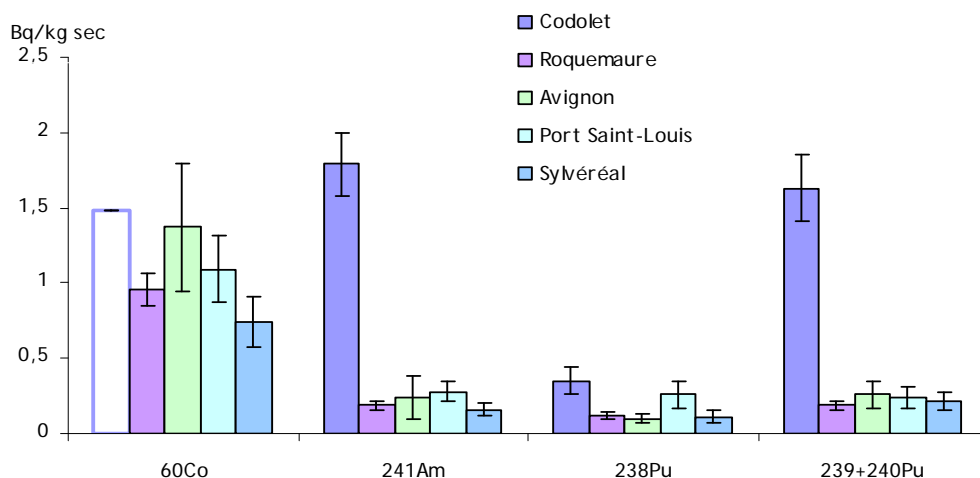


Figure 76 : Evolution des niveaux de radioactivité artificielle dans les sédiments du Rhône en fonction de l'éloignement de l'émissaire de rejet d'effluents liquides du site de Marcoule (Bq/kg sec)

VIII.6.2 SITE DE LA HAGUE (50)

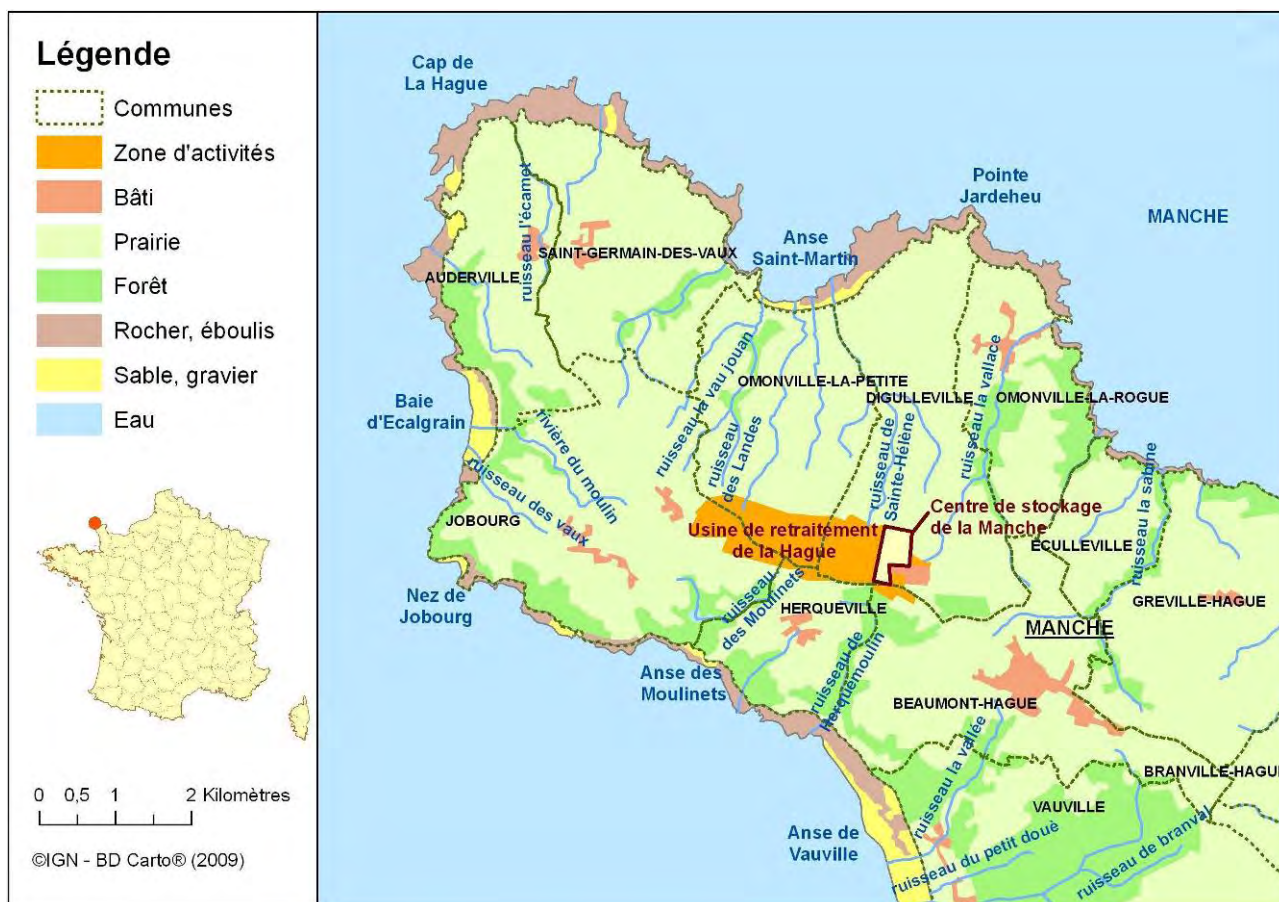


Figure 77 : Implantation du site de la Hague

Sauf indication particulière, le site de la Hague sera entendu ici comme l'ensemble formé par le centre AREVA NC de la Hague, qui assure les opérations de traitement des combustibles usés, et le centre de stockage des déchets de la Manche (ANDRA).

L'environnement proche du site fait l'objet d'une surveillance de l'atmosphère (DTL, Téléray, aérosols), des eaux de pluies et du lait de ferme prélevés sous les vents dominants, de l'eau et des sédiments de rivière, du sol, des végétaux terrestres, des eaux de mer et des sédiments marins, des céréales, de la faune et de la flore marines.

VIII.6.2.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

VIII.6.2.1.1. Dosimétrie environnementale

Aucune activité gamma ambiante anormale n'a été enregistrée par les dosimètres thermoluminescents environnants ou par la balise Téléray implantée sous les vents dominants de l'installation (voir données au paragraphe VI.1).

VIII.6.2.1.2. Aérosols atmosphériques et eaux de pluie

Dans l'environnement du site de la Hague, les suivis quotidiens des activités volumiques bêta global et alpha global des aérosols sont réalisés respectivement depuis 1981 et 1992. En 2008, aucune augmentation importante de celles-ci n'a été constatée par rapport aux valeurs habituellement mesurées (Figure 78 et Figure 79).

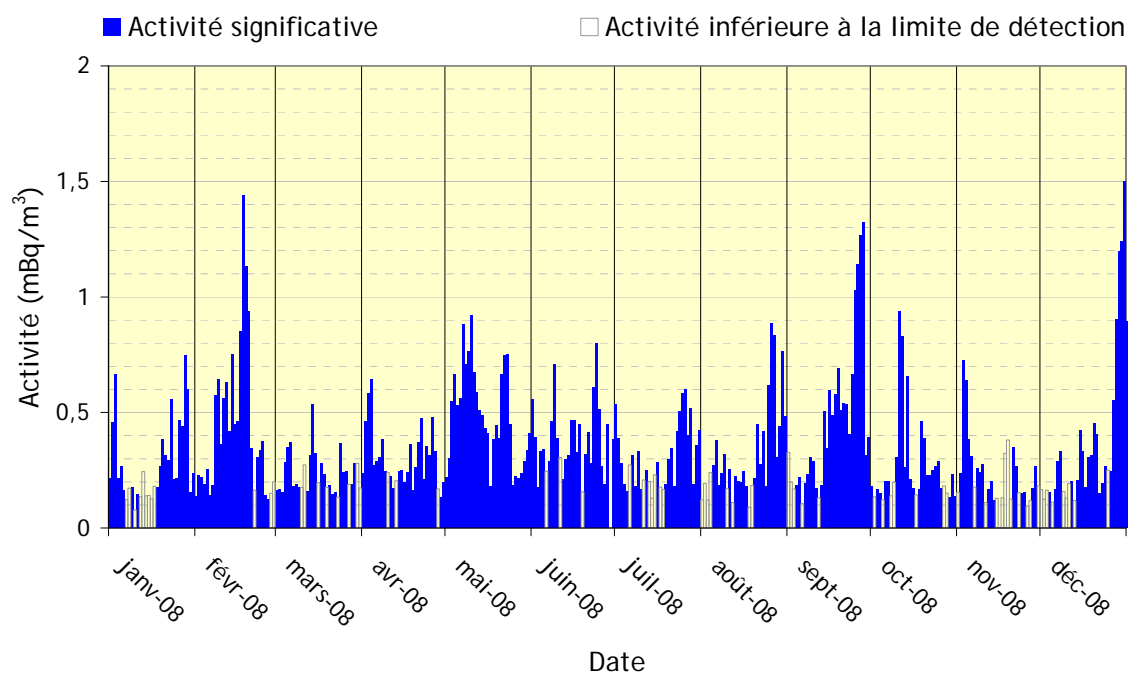


Figure 78 : Activité volumique bêta global des aérosols dans l'environnement du site de La Hague en 2008

Les activités volumiques alpha sont généralement inférieures aux limites de détection des appareils de mesures. Celles-ci sont de l'ordre de 0,03 mBq/m³, mais certaines conditions atmosphériques (météo, pollution, etc.) ou contraintes métrologiques ont une influence sur ces limites de détection. Elles sont donc fluctuantes au cours du temps.

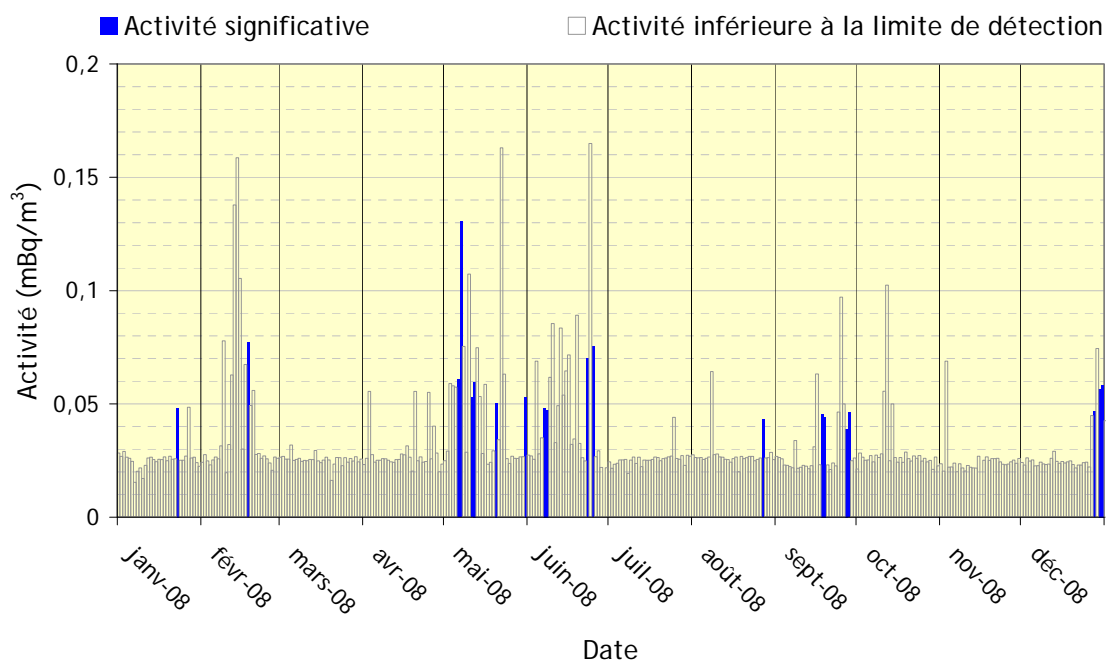


Figure 79 : Activité volumique alpha global des aérosols dans l'environnement du site de La Hague en 2008

En complément du suivi des indices d'activités alpha et bêta, des spectrométries gamma, réalisées sur les regroupements mensuels des prélèvements effectués, permettent de quantifier les radionucléides artificiels rejetés par cette installation. Au cours de l'année 2008, les activités volumiques des radionucléides artificiels sont restées inférieures aux limites de détection (Tableau 38).

Tableau 38 : Résultats des analyses de spectrométrie gamma réalisées sur des aérosols prélevés dans l'environnement du site de La Hague en 2008 (regroupements mensuels) (mBq/m³)

Aérosols	Radionucléide	Activité volumique
	⁵⁴ Mn	< 0,015
	⁵⁸ Co	< 0,028
	⁶⁰ Co	< 0,016
	^{110m} Ag	< 0,016
	¹⁰⁶ Ru	< 0,120
	¹³⁷ Cs	< 0,013
	¹³⁴ Cs	< 0,013
	⁹⁵ Zr	< 0,049
	²⁴¹ Am	< 0,009

Les eaux de pluie sont prélevées en continu à Gréville et relevées à une fréquence hebdomadaire. Les mesures sont réalisées sur un mélange mensuel. En 2008, aucune activité en radionucléides artificiels (hors gaz rares, tritium et carbone 14) n'a été mesurée au-dessus des limites de détection.

VIII.6.2.2 COMPARTIMENT TERRESTRE

VIII.6.2.2.1. Végétaux terrestres

Des prélèvements de végétaux terrestres (herbe) sont réalisés sous les principaux vents dominants, à Herqueville et Beaumont-Hague à un rythme mensuel ou trimestriel, selon la station. Les principaux résultats sont présentés au Tableau 39.

Tableau 39 : Activités mesurées dans des végétaux terrestres prélevés en 2008 autour du site de la Hague

Herbe	Radionucléide	Unité	Station Beaumont-Hague	Station Herqueville
	¹⁴ C	Bq/kg C	515,24 ± 98,12	875,89 ± 55,71
	¹²⁹ I	Bq/kg sec	< 2,48	2,89 ± 0,48
	¹³⁷ Cs		< 1,21	< 0,97
	¹⁰³ Ru		< 1,30	< 1,04
	¹⁰⁶ Ru		< 10,29	< 8,39
	⁴⁰ K		828,5 ± 20,9	658,7 ± 11,0
	⁷ Be		316,1 ± 8,6	331,8 ± 5,6
	⁹⁰ Sr		2,77 ± 0,16	4,37 ± 0,14

La radioactivité d'origine naturelle observée dans les végétaux est majoritairement due au ⁴⁰K (moyenne annuelle respectivement de 658,7 Bq/kg sec à Herqueville et de 828,5 ± 20,9 Bq/kg sec à Beaumont-Hague). Les végétaux accumulent également le ⁷Be, radionucléide d'origine cosmogénique (moyenne annuelle respectivement de 316,1 ± 8,6 à Herqueville et de 331,8 ± 5,6 Bq/kg sec à Beaumont-Hague).

La radioactivité d'origine artificielle mesurable dans les végétaux est due au carbone 14, à l'iode 129 et au strontium 90. Les autres radionucléides sont restés inférieurs aux limites de détection.

Les concentrations en ^{14}C mesurées à la station d'Herqueville témoignent d'un marquage des végétaux terrestres lié aux rejets gazeux du site de la Hague. En 2008, la concentration moyenne annuelle de ^{14}C dans l'herbe est de $875,9 \pm 55,7$ Bq/kg C. Cette valeur est nettement supérieure à la valeur de 242 Bq ^{14}C /kg C observée dans les zones non influencées par les rejets des installations. Comme constaté depuis plusieurs années, les valeurs maximales dans les végétaux terrestres sont atteintes entre mai et juillet et sont supérieures d'un facteur 2 à 4 par rapport à la moyenne annuelle. Cette hausse s'explique à la fois par une augmentation de l'activité rejetée par les effluents de l'usine AREVA NC de la Hague pendant cette période (augmentation d'un facteur proche de 2 par rapport à la moyenne annuelle pour les mois avril-mai 2008) et une période de photosynthèse maximale.

Les concentrations mesurées en ^{90}Sr sont comprises entre $2,77 \pm 0,16$ et $4,37 \pm 0,14$ Bq/kg sec. Ces valeurs, actuellement dans la gamme des valeurs mesurées dans les zones non influencées par les rejets industriels (paragraphe VI), peuvent être le signe d'une rémanence des activités passées sur ce site.

Le tritium, radionucléide prépondérant des rejets d'effluents gazeux du site de la Hague, fera l'objet d'une mesure régulière dans les végétaux terrestres à partir de 2009.

VIII.6.2.2.2. Céréales

Des prélèvements de blé sont réalisés lors de la récolte annuelle sur la commune de Digulleville.

La radioactivité mesurée en potassium 40 d'origine naturelle est de $83,8 \pm 9,1$ Bq/kg frais, inférieure aux résultats obtenus pour les blés collectés dans la région « ouest » ($121,4 \pm 8,7$ Bq/kg frais). Les concentrations des émetteurs gamma hors potassium 40 mesurés dans les blés sont restées inférieures aux limites de détection.

NB : les limites de détection des émetteurs gamma hors potassium 40 mesurés dans les céréales sont : ^{106}Ru ($LD \approx 3,9$ Bq/kg frais) ; ^{124}Sb , ^{125}Sb ($LD \approx 1,2$ Bq/kg frais) ; $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ($LD \approx 0,4$ Bq/kg frais) ; ^{134}Cs , ^{137}Cs ($LD \approx 0,5$ Bq/kg frais) ; ^{58}Co , ^{60}Co ($LD \approx 0,5$ Bq/kg frais) ; ^7Be ($LD \approx 3,9$ Bq/kg frais).

VIII.6.2.2.3. Lait

Les échantillons de lait de vache prélevés mensuellement proviennent d'une coopérative située à Sottevast et de trois fermes localisées sous les vents dominants, respectivement à Digulleville, Omonville-la-Rogue et Beaumont-Hague.

Tableau 40 : Activités mesurées dans le lait de vache prélevé en 2008 dans l'environnement du site de la Hague (Bq/l)

	Radionucléide	Coopérative Sottevast	Beaumont - Hague	Digulleville	Omonville
Lait	^{40}K	$49,22 \pm 1,10$	$44,70 \pm 1,65$	$46,84 \pm 0,79$	$49,40 \pm 0,99$
	^3H	< 8,11	< 6,77	< 7,7 * $7,33 \pm 2,70$	< 6,77
	^{131}I	< 0,22	< 0,23	< 0,25	< 0,24
	^{129}I	< 0,007	$0,013 \pm 0,004$	< 0,01 * $0,011 \pm 0,006$	< 0,01
	^{137}Cs , ^{134}Cs	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15

* Une seule valeur significative a été mesurée sur l'année 2008

Parmi les radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être rejetés par le site, des traces d' ^{129}I et de ^3H ont été observées sur quelques échantillons collectés en 2008.

L'iode 129 a été détecté régulièrement dans les échantillons prélevés sur la commune de Beaumont - Hague et ponctuellement dans ceux prélevés à la station de Digulleville (une seule valeur significative pour cette commune en octobre 2008). En 2008, l'abaissement de la limite de détection du tritium de 20 Bq/l à 5-6 Bq/l, a permis de mesurer une valeur significative de $7,33 \pm 2,70$ Bq/l au mois de juillet, pour le lait provenant de la station de Digulleville (mesure trimestrielle du tritium libre après lyophilisation).

Pour les autres radionucléides émetteurs gamma, les résultats sont comparables sur l'ensemble des stations et restent inférieurs aux limites de détection.

VIII.6.2.3 COMPARTIMENT AQUATIQUE CONTINENTAL

VIII.6.2.3.1. Eaux de surface

Des prélèvements d'eau mensuels, bimensuels et trimestriels sont respectivement réalisés dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène, des Landes et des Moulinets (Figure 80).

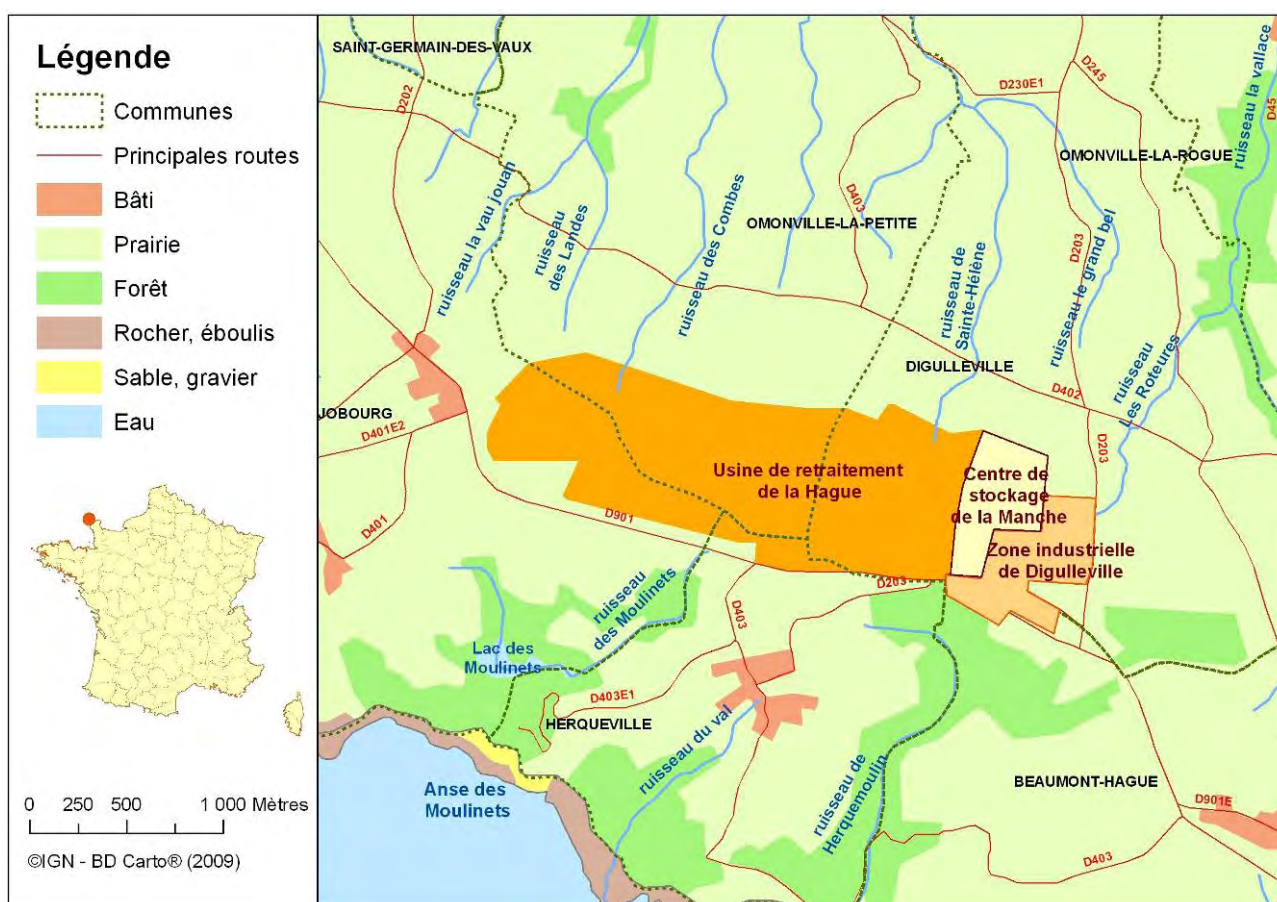


Figure 80 : Les ruisseaux autour du site de la Hague

Des activités en tritium ont été mesurées 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, à mettre certainement en relation avec la présence de tritium dans les eaux de la nappe phréatique provenant d'un incident de stockage survenu en 1976 sur le centre de l'ANDRA qui jouxte le site AREVA NC à l'est (source : résultats des mesures de la surveillance de l'environnement, 2^{ème} semestre 2006, Centre de stockage de la Manche, ANDRA). Dans le ruisseau des Landes situé au nord-ouest du site, le strontium 90 a été détecté dans tous les prélèvements de l'année (Tableau 41). Les niveaux activités sont à mettre probablement en relation avec la contamination en strontium 90 de la nappe phréatique par des déchets mal confinés, entreposés en surface sur le site dans les années 1980.

Tableau 41 : Activités mesurées dans les eaux prélevées en 2008 dans l'environnement du site de la Hague (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Ruisseau Sainte Hélène	Ruisseau des Moulinets, source Recboc	Ruisseau des Moulinets, Le Batardeau	Ruisseau des Landes
	^{226}Ra	0,017 ± 0,003	nm	nm	nm
	^3H	68,7 ± 2,1	15,2 ± 0,6	11,5 ± 0,5	8,9 ± 1,4
	^{90}Sr	nm	nm	nm	1,18 ± 0,11
	α global	0,01 ± 0,002	0,013 ± 0,001	0,024 ± 0,002	0,025 ± 0,005
	β global	0,12 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,20 ± 0,01	2,44 ± 0,13

VIII.6.2.3.2. Sédiments de rivières

Des prélèvements de sédiments sont réalisés chaque trimestre dans les ruisseaux de la Sainte-Hélène, des Landes et des Moulinets. Les analyses révèlent la présence de radionucléides d'origine artificielle (^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am) (Figure 81). Le ruisseau des Landes présente les concentrations les plus élevées, en particulier pour le strontium 90 (Figure 82).

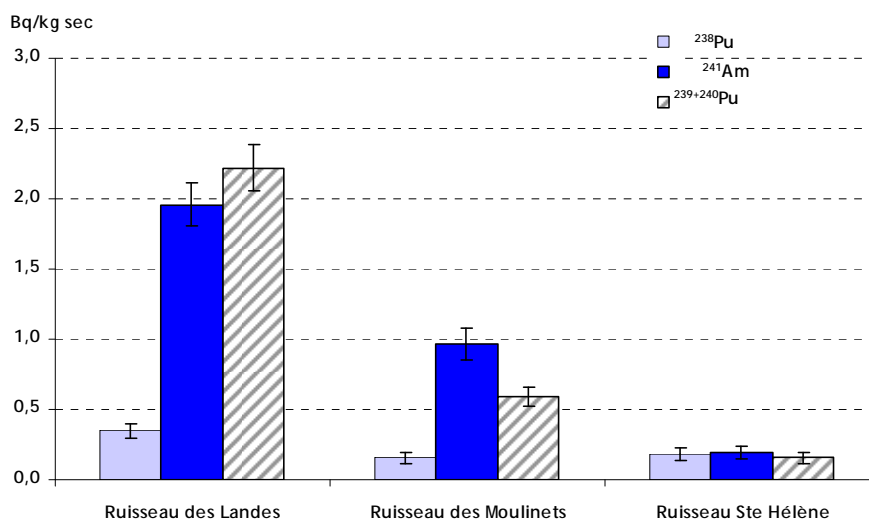


Figure 81 : Activités (moyennes annuelles) mesurées en ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am dans les sédiments prélevés dans les ruisseaux des Landes, Moulinets et Sainte Hélène en 2008, à proximité de l'usine AREVA NC de la Hague

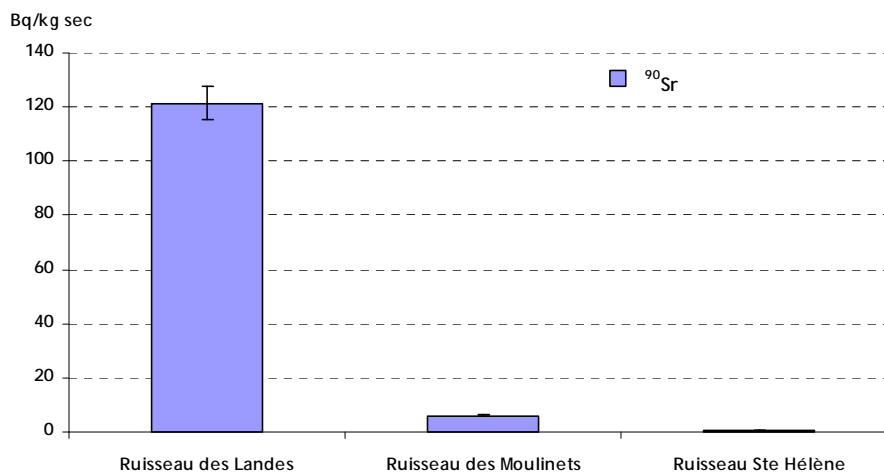


Figure 82 : Activité (moyenne annuelle) en ^{90}Sr mesurée dans les sédiments prélevés dans les ruisseaux des Landes, Moulinets et Sainte Hélène en 2008, à proximité de l'usine AREVA NC de la Hague

D'après les chroniques de concentrations en ^{90}Sr et $^{239-240}\text{Pu}$, disponibles depuis 1996, le marquage des sédiments dans le ruisseau des Landes semble dater principalement de contaminations survenues durant la période 2001-2003 (Figure 83 et Figure 84).

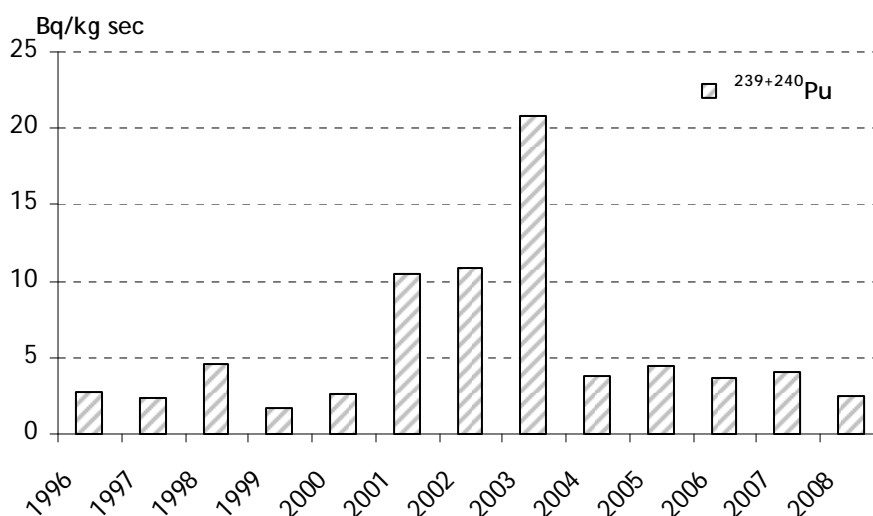


Figure 83 : Evolution des activités massiques moyennes en $^{239-240}\text{Pu}$ dans les sédiments du ruisseau des Landes de 1996 à 2008

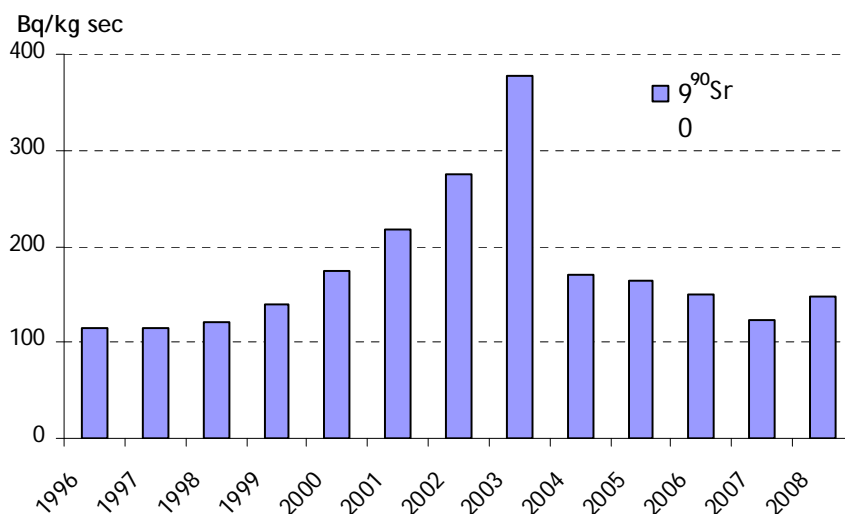


Figure 84 : Evolution des activités massiques en ^{90}Sr dans les sédiments du ruisseau des Landes de 1996 à 2008

VIII.6.2.4 COMPARTIMENT MARIN

VIII.6.2.4.1. Eau de mer

Des prélèvements trimestriels sont réalisés en 10 points le long du littoral de la Basse-Normandie : Granville, Barneville-Carteret, Sciotot, Anse des Moulinets, baie d'Ecalgrain, Pointe de Jardeheu, Querqueville, Cherbourg (paragraphe IX.3.2.1), Anse du Brick et Barfleur (Figure 77).

L'analyse des sédiments révèle la présence de radionucléides d'origine artificielle (^{137}Cs , ^{60}Co , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am), due essentiellement aux rejets d'effluents liquides passés et présents des installations du site de la Hague.

Pour l'ensemble des transuraniens mesurés (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am), on observe une contamination plus importante des sédiments prélevés dans l'Anse des Moulinets, qui représente la zone la plus influencée par les rejets des effluents liquides radioactifs de l'usine de retraitement (Figure 86). L'activité massique maximale à cette station n'excède cependant pas 2 Bq/kg sec en ^{241}Am . Les niveaux d'activité mesurés diminuent le long du littoral à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet.

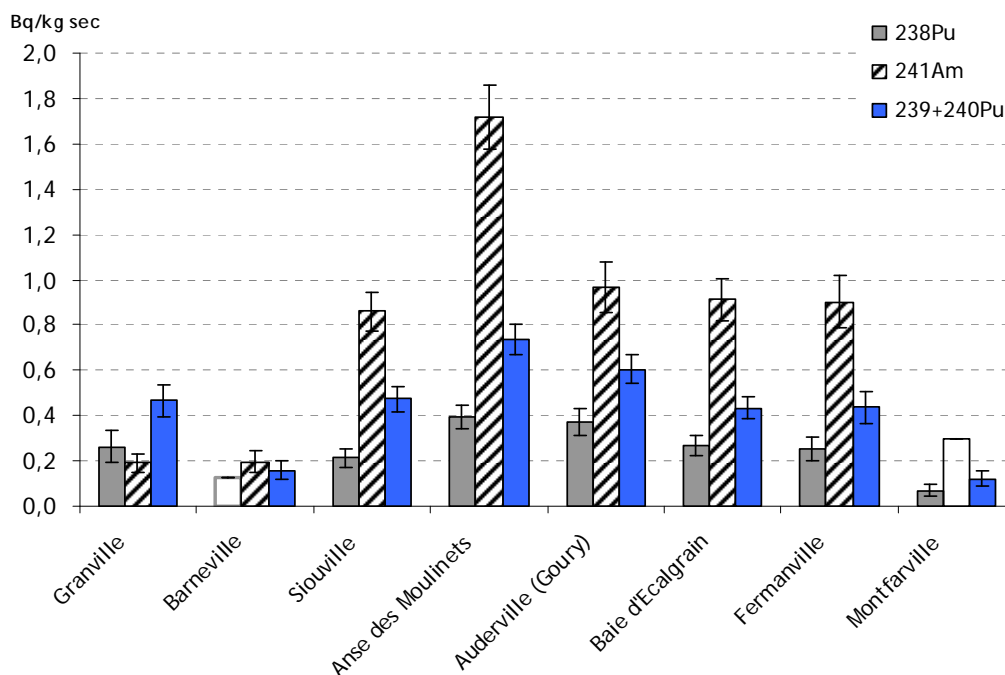


Figure 86 : Activités massiques annuelles en ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am mesurées dans les sédiments marins prélevés en 2008 le long du littoral de la Manche

Conformément aux années précédentes, les concentrations les plus importantes en césium 137 sont mesurées dans les sédiments prélevés sur la plage des Moulinets, qui est la station la plus soumise aux rejets d'effluents liquides de l'usine AREVA NC de la Hague. En 2008, trois stations présentent des valeurs significatives en ^{60}Co dont les niveaux sont proches de la limite de détection (Tableau 43).

Tableau 43 : Activités massiques en ^{137}Cs et ^{60}Co mesurées dans les sédiments marins prélevés en 2008 le long du littoral de la Manche (Bq/kg sec)

Sédiment	Radio-nucléide	Granville	Barneville	Siouville	Anse des Moulinets	Baie d'Ecalgrain	Fermanville	Montfarville
	^{137}Cs		1,66 ± 0,43	< 0,51	< 0,56	4,64 ± 0,48	< 0,58	< 0,55
^{60}Co		1,73 ± 0,30	< 0,50	0,56 ± 0,13	< 0,66	< 0,56	< 0,63	0,87 ± 0,21

VIII.6.2.4.3. Flore marine

Au-delà du fait que les algues marines entrent dans la composition de produits consommés par l'homme (alginate), ces organismes intègrent les variations de la radioactivité de l'eau et représentent donc un bon indicateur biologique de l'évolution de la concentration d'un polluant.

Une surveillance trimestrielle de la radioactivité des algues (*Fucus Serratus*) est assurée sur sept stations de prélèvement disposées le long du littoral : Granville, Barneville-Carteret, Siouville, Auderville, Fermanville, Gatteville-le-Phare et Luc-sur-Mer.



Figure 87 : implantation des stations de prélèvement de la flore et faune marines

Parmi les radionucléides d'origine artificielle recherchés, des valeurs significatives sont mesurées en ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{60}Co et ^{129}I , caractéristiques des rejets d'effluents liquides des installations du site AREVA NC de la Hague.

VIII.6.2.4.3.1. Plutonium 238, Plutonium 239+240, Américium 241

Comme déjà souligné lors du bilan radiologique 2007, les activités massiques des transuraniens mesurés dans les algues ont fortement diminué, en corrélation avec la réduction des niveaux d'activités rejetés dans les effluents liquides du site de la Hague.

En 2008, les activités mesurées dans les algues tendent à se rapprocher des limites de détection. Le marquage est légèrement supérieur à ces limites de détection pour les stations de prélèvement suivantes : Anses des Moulinets, Auderville-Goury et Siouville (Figure 88).

Les valeurs maximales mesurées en 2008 se situent respectivement entre 0,02 et 0,03 Bq/kg frais en plutonium 239+240 et sont de l'ordre de 0,01 Bq/kg frais en plutonium 238 et en américium 241.

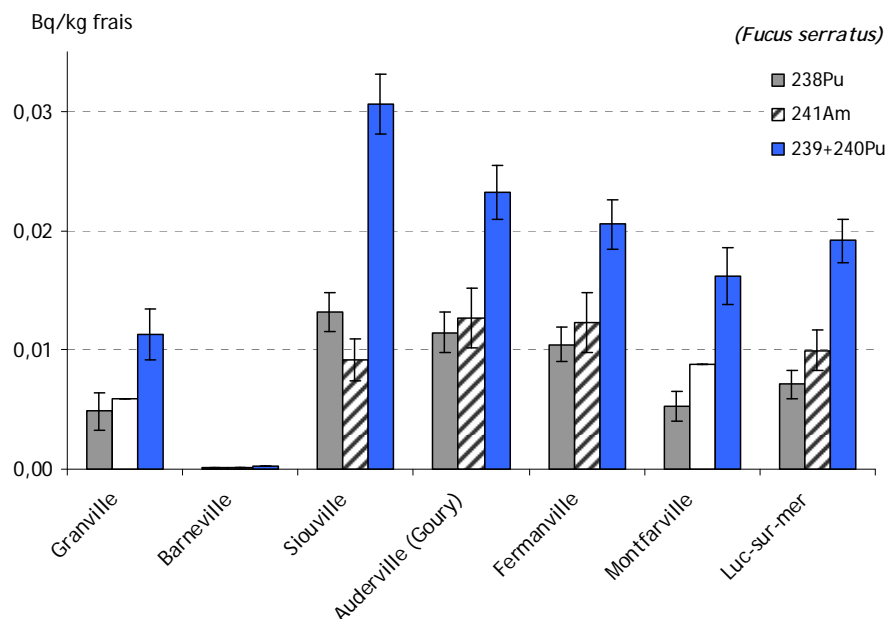


Figure 88 : Activités en ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et ²⁴¹Am mesurées dans les algues (*Fucus serratus*) prélevées en 2008 le long du littoral de la Manche

VIII.6.2.4.3.2. Iode 129, cobalt 60, ruthénium 106

La présence de ces radionucléides dans les algues le long du littoral du Cotentin est attribuable en grande partie aux rejets d'effluents liquides du site d'AREVA NC de la Hague, même pour la station de Siouville située à proximité du CNPE de Flamanville. En effet, la centrale EDF ne rejette pas d'iode 129 ni de ruthénium 106 dans ses effluents liquides et l'activité annuelle rejetée en cobalt 60 par la centrale est environ 1000 fois inférieure à celle rejetée par le site de la Hague. Le marquage des algues (*Fucus serratus*) en iode 129 est visible sur l'ensemble du littoral de la Manche. Les niveaux de contamination observés en 2008 sont du même ordre de grandeur qu'en 2007. Ils se situent en moyenne entre 0,3 à 4,6 Bq/kg frais selon la station (Figure 89). Le marquage est plus élevé à Auderville-Goury (valeur maximale en 2008 de $8,5 \pm 1,4$ Bq/kg frais) qui représente la station de prélèvement la plus exposée aux rejets d'effluents liquides de la Hague.

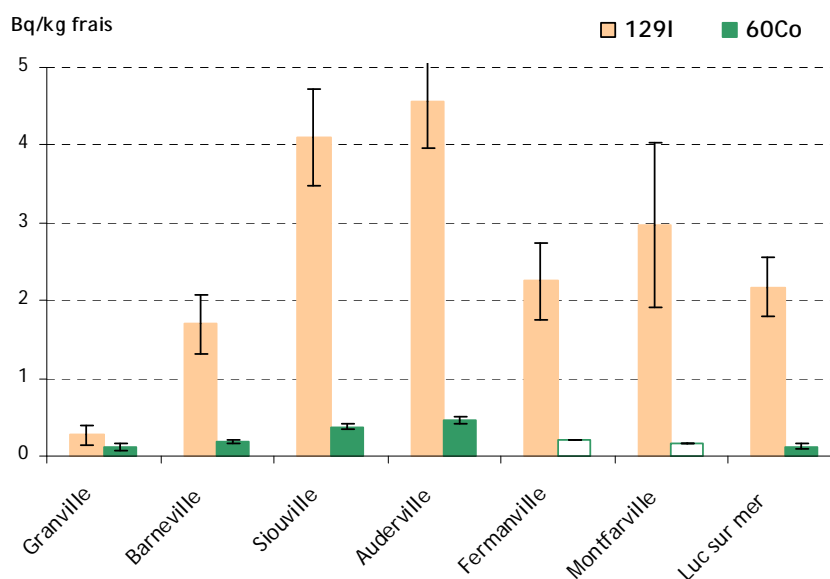


Figure 89 : Activités en ⁶⁰Co et ¹²⁹I mesurées dans les algues (*Fucus serratus*) prélevées en 2008 le long du littoral du Cotentin

Le marquage des algues en cobalt 60 continue de décroître d'année en année. Les algues d'Auderville-Goury présentent les teneurs les plus élevées (moyenne annuelle de $0,47 \pm 0,004$ Bq/kg frais et valeur maximale de $0,70 \pm 0,001$ Bq/kg frais en 2008).

Au cours des 20 dernières années, le niveau de contamination des algues en cobalt 60 a fortement diminué en corrélation avec la réduction des rejets d'effluents liquides des installations AREVA NC de la Hague. Ce point est illustré sur la Figure 90 à partir des chroniques de concentration obtenues sur des algues prélevées à l'Anse des Moulinets de 1988 à 2008, station de prélèvement la plus exposée aux rejets du site de la Hague (à partir de 2008, cette station est abandonnée au profit de la station d'Auderville-Goury).

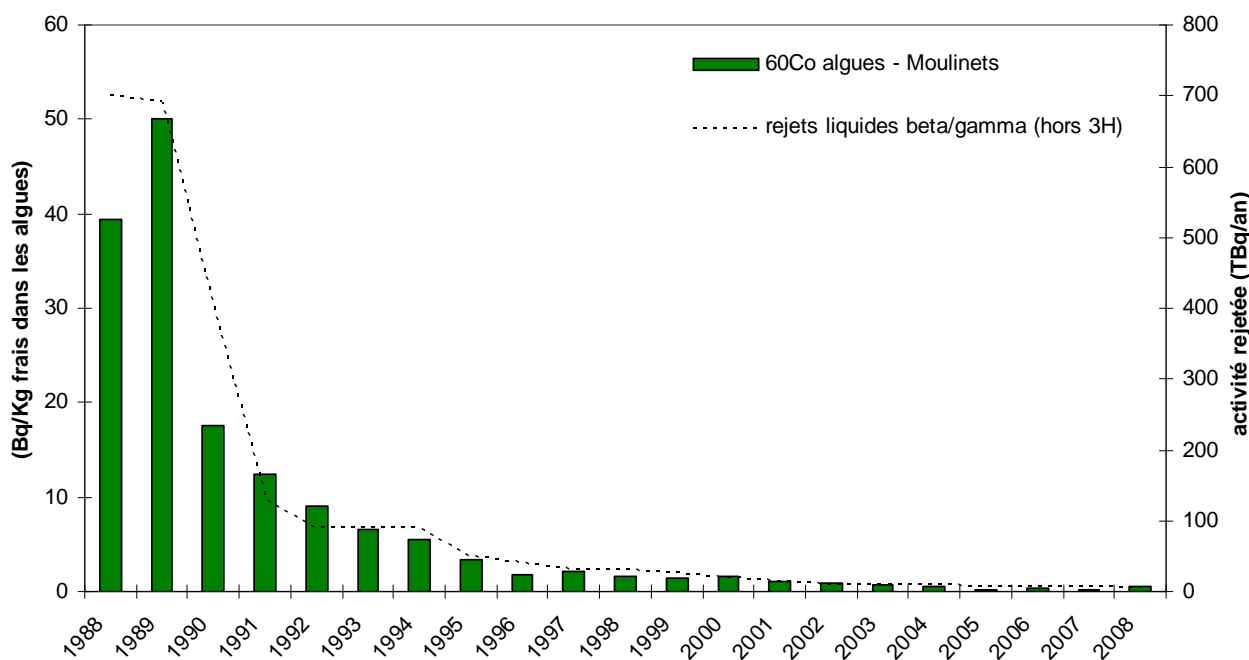


Figure 90 : Evolution de l'activité annuelle en ^{60}Co dans les algues prélevées à l'Anse des Moulinets comparée aux rejets liquides bêta-gamma de l'usine Areva NC de la Hague

En 2008, aucune valeur significative en ruthénium 106 n'est relevée dans les échantillons d'algues prélevés le long du littoral du Cotentin ($\text{LD} \cong 1,0$ Bq/kg frais). En 2007, quelques valeurs significatives étaient encore décelées au niveau de la station de l'Anse des Moulinets.

VIII.6.2.4.3.3. Carbone 14

Les teneurs de carbone 14 mesurées dans les algues prélevées le long du littoral sont présentées dans le Tableau 44.

Les niveaux les plus élevés sont généralement relevés aux stations les plus proches du site de la Hague. Par exemple en 2008, la valeur maximale enregistrée à la station d'Auderville-Goury est de 839 ± 104 Bq/kg de carbone élémentaire et la moyenne annuelle est de 624 ± 53 Bq/kg de carbone élémentaire.

Cette distribution géographique des concentrations en carbone 14 met en évidence le marquage induit par les rejets d'effluents liquides de l'usine AREVA NC de la Hague, d'activités supérieures à ceux du CNPE de Flamanville.

Tableau 44 : Activité de carbone 14 mesurée dans les sédiments marins prélevés en 2008 le long du littoral Cotentin (Bq/kg de carbone)

Flore aquatique	Radionucléide	Granville	Barneville	Siouville	Auderville	Fermanville	Montfarville	Luc sur mer
	^{14}C		540 ± 71	543 ± 50	603 ± 46	624 ± 53	687 ± 56	492 ± 54

VIII.6.2.4.4. Faune marine

Un suivi de la radioactivité est réalisé sur des mollusques filtreurs, tels que les patelles et les moules, retenus comme bioindicateurs de radiocontamination.

Les patelles sont prélevées à un rythme trimestriel, aux stations de prélèvements suivantes : Granville, Barneville-Carteret, Siouville, Auderville (Goury) et Montfarville (Figure 87). Tandis que les moules sont collectées deux fois par an à Montfarville (Pointe du Moulard).

Les radionucléides d'origine artificielle mesurés dans les patelles sont le ^{60}Co et certains transuraniens, caractéristiques des rejets d'effluents liquides du site AREVA NC de la Hague.

VIII.6.2.4.4.1. Plutonium 238, Plutonium 239+240, Américium 241

Les patelles prélevées le long du littoral présentent un léger marquage en transuraniens. Les concentrations les plus élevées concernent l'américium 241 dont les niveaux restent cependant inférieurs à 0,020 Bq/kg frais.

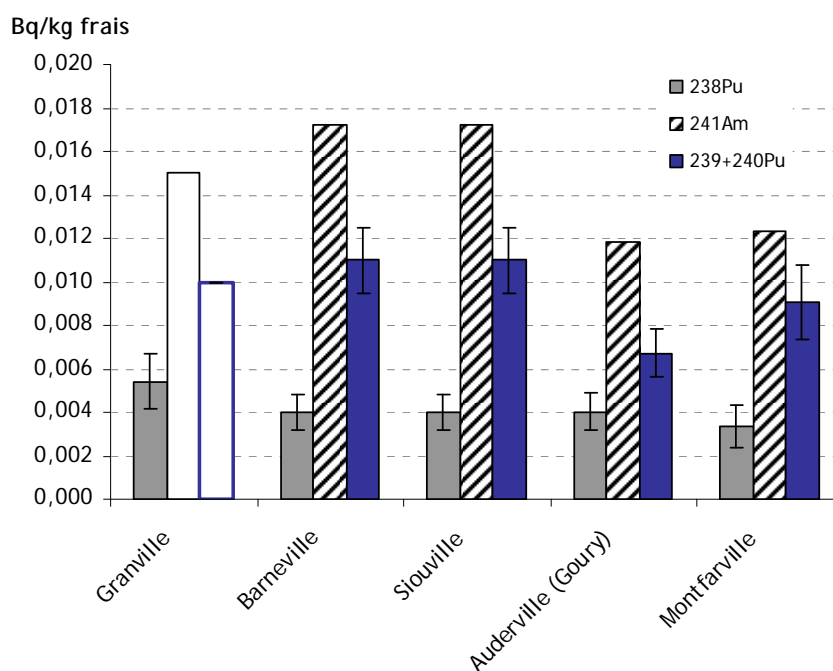


Figure 91 : Activités en ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{241}Am mesurées dans les patelles prélevées en 2008 le long du littoral du Cotentin (Bq/kg frais)

VIII.6.2.4.4.2. Cobalt 60

Les activités massiques mesurées en cobalt 60 dans les patelles, plus faibles qu'en 2007, sont de l'ordre de grandeur des limites de détection ($LD \cong 0,12-0,15$ Bq/kg frais).

Les seules valeurs significatives sont relevées dans les patelles prélevées à Auderville (Goury) et Fermanville. En 2008, la valeur maximale de 0,16 Bq/kg frais est enregistrée à Auderville, station la plus exposée aux rejets liquides du site d'AREVA NC de la Hague (concentration dans l'eau plus élevée).

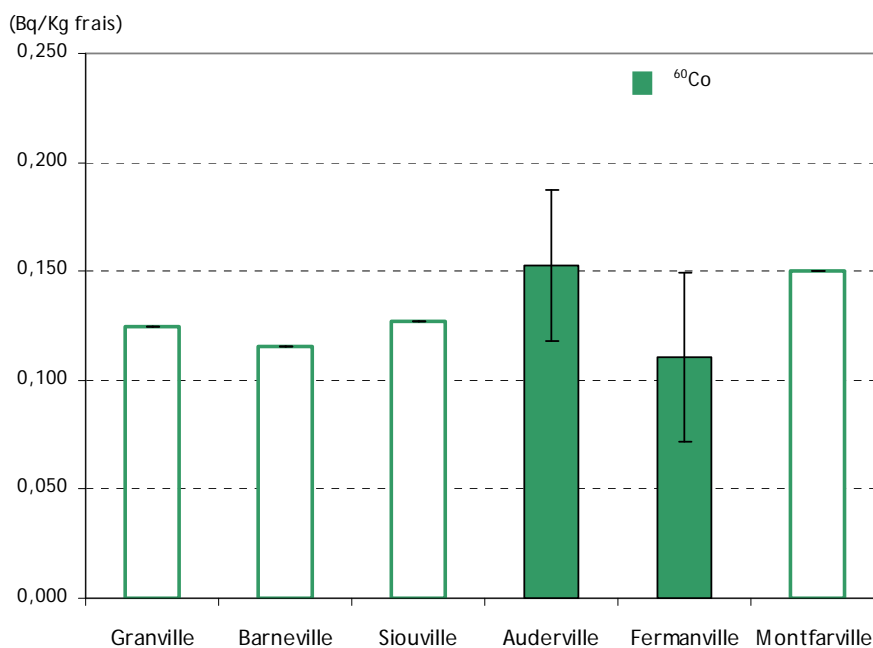


Figure 92 : Activités en ⁶⁰Co mesurées dans les patelles prélevées en 2008 sur le littoral du Cotentin (Bq/kg frais)

Pour les prélèvements de moules effectués à la pointe du Moulard sur la commune de Montfarville, l'amélioration des performances analytiques a permis d'estimer les traces de ce radionucléide de l'ordre de $0,02 \pm 0,005$ Bq/kg frais (soit une réduction d'un facteur 10 environ par rapport au niveau maximal relevé à station d'Auderville).

VIII.7. RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES CENTRES DE STOCKAGE DES DECHETS

Pour les déchets radioactifs de faible et moyenne activité à vie courte, l'ANDRA a exploité le Centre de stockage de la Manche (CSM), désormais fermé. L'ANDRA exploite aujourd'hui dans l'Aube le centre de stockage de déchets de faible et moyenne activité à vie courte (CTFMA) et le centre de stockage de déchets de très faible activité (CSTFA). Ces deux derniers centres sont situés sur les communes de Soulaines et de Morvilliers (Aube). Les colis sont stockés de manière définitive dans ces centres dits « de stockage de surface ».

Les sites de l'ANDRA sont soumis soit à la réglementation applicable aux INB (CSM et CTFMA), soit à celle relative aux ICPE (CSTFA), qui prévoient 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, l'ANDRA maintient 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.

En parallèle, une surveillance est conduite par l'IRSN dans l'environnement du CSM et du CTFMA.

L'environnement proche du centre de stockage de Soulaines fait l'objet d'une surveillance régulière type (DTL, Téléray, des prélèvements d'aérosols, d'eau de pluie, d'eaux usées, d'eau de surface, de sédiments, de végétaux aquatiques et de lait de ferme).

VIII.7.1 CENTRE DE STOCKAGE DE LA MANCHE (50)

Le dispositif de surveillance de ce site étant confondu avec celui du centre AREVA NC, les résultats de cette surveillance sont consultables au paragraphe VIII.6.2 relatif à la surveillance du site de la Hague.

VIII.7.2 CENTRE DE STOCKAGE DE SOULAINES (10)

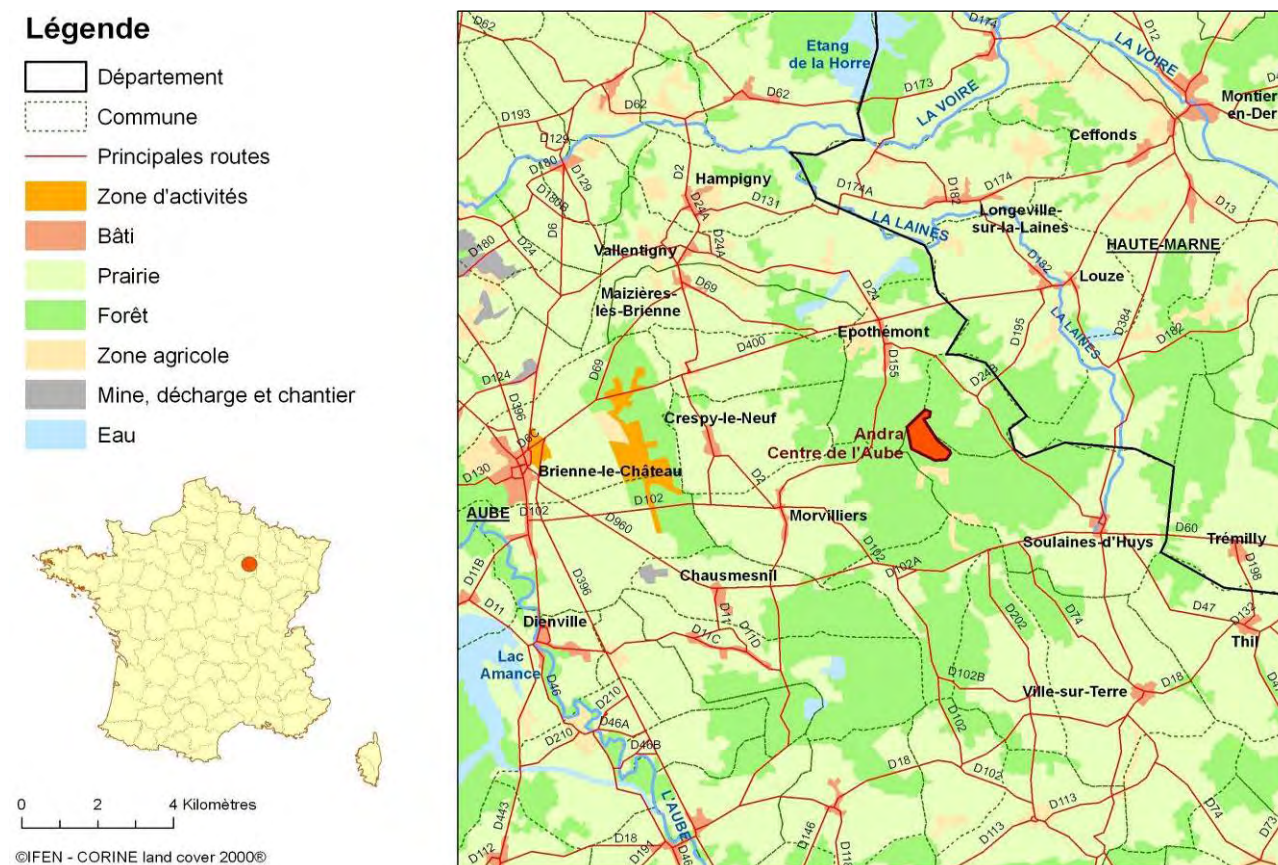


Figure 93 : Implantation du centre de stockage de l'Aube

VIII.7.2.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

Aucune activité gamma ambiante anormale n'a été enregistrée par les dosimètres thermoluminescents environnants ou par la balise Téléray implantée sous les vents dominants de l'installation (voir données au paragraphe VI.1).

Aucune activité anormale n'a été décelée sur les filtres aérosols prélevés quotidiennement, dans l'environnement du centre de stockage.

Un prélèvement d'eau de pluie est réalisé mensuellement. Aucune activité en radionucléide artificiel n'a pu être mise en évidence au-dessus des limites de détection associées aux techniques de mesure utilisées.

VIII.7.2.2 EAUX USEES ET EAUX DU RESEAU DE COLLECTE DES EAUX PLUVIALES

Un prélèvement d'eau continu est réalisé par un hydrocollecteur dans le bassin collecteur du site avant rejet. Ce bassin recueille les eaux pluviales et les eaux usées du site.

Tableau 45 : Activités mesurées dans l'eau prélevée en 2008 dans le bassin collecteur du centre de l'Aube - ANDRA (Bq/l)

	Radionucléide	Centre de l'Aube
Eau	¹³⁷ Cs	< 0,060
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	< 0,0008
	²³⁸ Pu	< 0,0014
	²⁴¹ Am	< 0,0020
	³ H	< 4,9
	α global	0,016 ± 0,002
	β global	0,17 ± 0,01

Aucune activité en radionucléide artificiel n'a pu être mise en évidence au-dessus des limites de détection associées aux techniques de mesure utilisées.

IX. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES CENTRES DE RECHERCHE ET DES BASES NAVALES NUCLEAIRES



Figure 94 : Implantation des centres de recherche et des bases navales nucléaires

IX.1. LES CENTRES D'ETUDES NUCLEAIRES DU CEA

La surveillance mise en place par l'IRSN autour de ces centres d'études nucléaires du CEA est adaptée aux différentes sources d'exposition radiologiques potentielles de l'ensemble d'un site (un site pouvant regrouper des installations nucléaires autres que celles du CEA) et aux spécificités environnementales de chacun des sites.

Ainsi, les programmes de surveillance (fréquence, matrices prélevées, radionucléides) et les résultats associés sont distincts d'un site à l'autre.

Néanmoins, afin d'offrir une vision synthétique de la surveillance radiologique des centres d'études, les résultats sont regroupés pour l'ensemble des sites en distinguant les activités en tritium, radionucléide prépondérant dans les rejets, des autres radionucléides surveillés.

Sont présentés dans ce chapitre, les résultats de la surveillance radiologique des centres de Cadarache, de Saclay, de Bruyères-le-Châtel et de Valduc, ainsi que les contrôles allégés maintenus à proximité des centres de Grenoble et de Fontenay-aux-Roses dont les activités nucléaires sont fortement réduites. Les résultats de la surveillance de l'environnement du centre de Valrhô sont consultables aux paragraphes VIII.4.2 et VIII.7.1.

IX.1.1 GENERALITES

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.

Le centre de Grenoble (38), installé au cœur d'un environnement scientifique, industriel et universitaire très riche, voit ses activités centrées sur les nouvelles technologies de l'énergie et les biotechnologies (piles à combustibles, nanoélectronique, matériaux et biopuces), et les activités liées au nucléaire y sont très réduites.

Le centre de Valrhô (26), implanté à Marcoule (30) et Pierrelatte (26), constitue un regroupement de compétences en R&D portant sur les techniques de préparation de l'uranium, le traitement des combustibles nucléaires usés, les techniques d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires en fin de vie et la gestion des déchets les plus radioactifs ainsi que sur la toxicologie nucléaire.

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 de recherche et de développement technologiques 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).

Le centre de Saclay (91), créé en 1947 dans l'Essonne à Saclay, effectue de la recherche fondamentale dans les domaines de la chimie, la physique, la biologie et la métallurgie. Dans le domaine de la recherche appliquée, le centre étudie des combustibles et participe au développement des technologies de séparation isotopique ainsi que de divers types de réacteurs. Il a enfin joué un rôle important dans le développement de la propulsion des sous-marins nucléaires et la fabrication de radionucléides. Les rejets du centre proviennent essentiellement des effluents des réacteurs expérimentaux Orphée et Osiris, de l'entreprise CIS-Bio international (fabrication de produits utilisés en médecine nucléaire) et du laboratoire de marquage de molécules organiques.

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, le soutien des organisations internationales pour la vérification du traité d'arrêt complet des essais nucléaires et la 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 depuis 2007 (70 TBq rejetés en 2007 et 52 TBq en 2008).

Le centre de Valduc (21), 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 nécessaires à 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 (251 TBq rejetés en 2007 et 185 en 2008).

FOCUS

Les rejets en tritium des installations nucléaires françaises

Le tritium est un radionucléide d'origine naturelle (inventaire mondial de 3,5 kg avec une production naturelle mondiale d'environ 200 g(*) par an), mais il est aussi largement produit par l'activité humaine. L'industrie nucléaire (réacteurs de puissance, réacteurs expérimentaux, usines de retraitement) rejette, de manière localisée, du tritium dans l'environnement. Aujourd'hui, avec le carbone-14, le tritium est, au niveau français, le radionucléide prépondérant en termes d'activité rejetée par les installations nucléaires [14].

Les rejets gazeux (de l'ordre de 2 g en 2008) sont principalement dus aux activités liées à des applications militaires dans les centres CEA de Marcoule, Valduc, Bruyères-le Châtel (en cours d'assainissement), et, dans une moindre mesure, à des activités de retraitement (La Hague) et de recherches (Institut Laue-Langevin - ILL - à Grenoble et CEN du CEA à Saclay).

Activité en ^3H rejetée en 2008 par les effluents gazeux des installations nucléaires françaises (TBq)

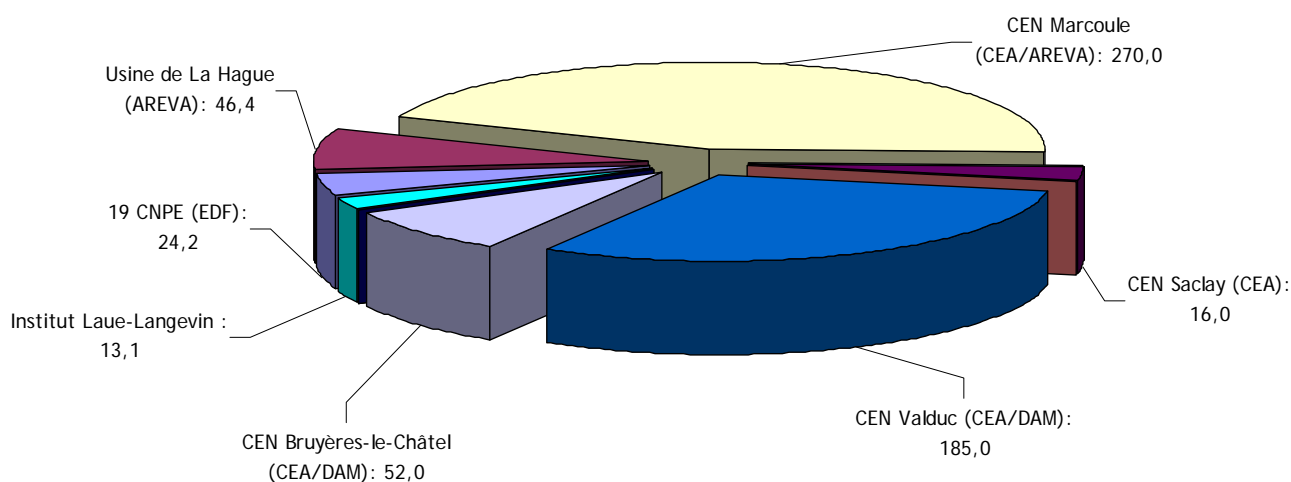


Figure 95 : Bilans 2008 des activités en ^3H rejetées par les effluents gazeux des principales installations nucléaires françaises

Les rejets liquides actuels représentent globalement plus de 90 % des rejets totaux en tritium (environ 26 g en 2008). Ils sont essentiellement représentés par la filière électronucléaire (CNPE EDF et surtout par l'usine de retraitement de la Hague).

Activité en ^3H rejetée en 2008 par les effluents liquides des installations nucléaires françaises (TBq)

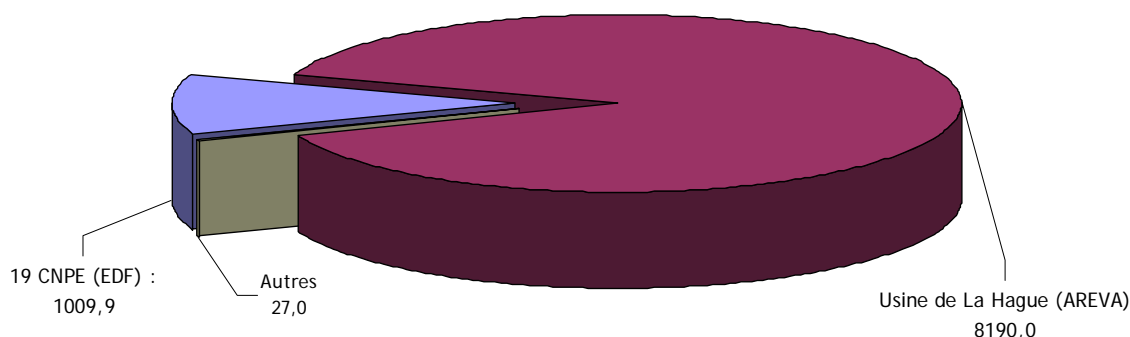


Figure 96 : Bilans 2008 des activités en ^3H rejetées par les effluents liquides des principales installations nucléaires françaises

(*) : 1 g de ^3H équivaut à 359 TBq

IX.1.2 TRITIUM

Le marquage de l'environnement en tritium est perceptible dans l'environnement des sites de Valduc, de Bruyères-le-Châtel, de Marcoule (paragraphe VIII.6.1) et de Saclay. Pour ces sites, ce marquage a pour principale origine les niveaux de tritium rejetés par les effluents gazeux à l'atmosphère. Le focus présenté ci-après permet de situer les niveaux de rejets en fonction des installations nucléaires présentes sur le territoire français.

Les niveaux observés en 2008 dans l'environnement de ces sites sont présentés dans ce qui suit par compartiment (atmosphérique, terrestre et aquatique).

IX.1.2.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

Un barboteur prélève de l'air en continu à la station AS1 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 est comprise entre la limite de détection et 2,6 Bq/m³ (Figure 97). Cet appareil, qui permet de piéger le tritium dans l'air, sera progressivement déployé dans l'environnement d'autres installations dont les rejets tritium gazeux sont les plus importants (Marcoule, la Hague et Saclay, en particulier).

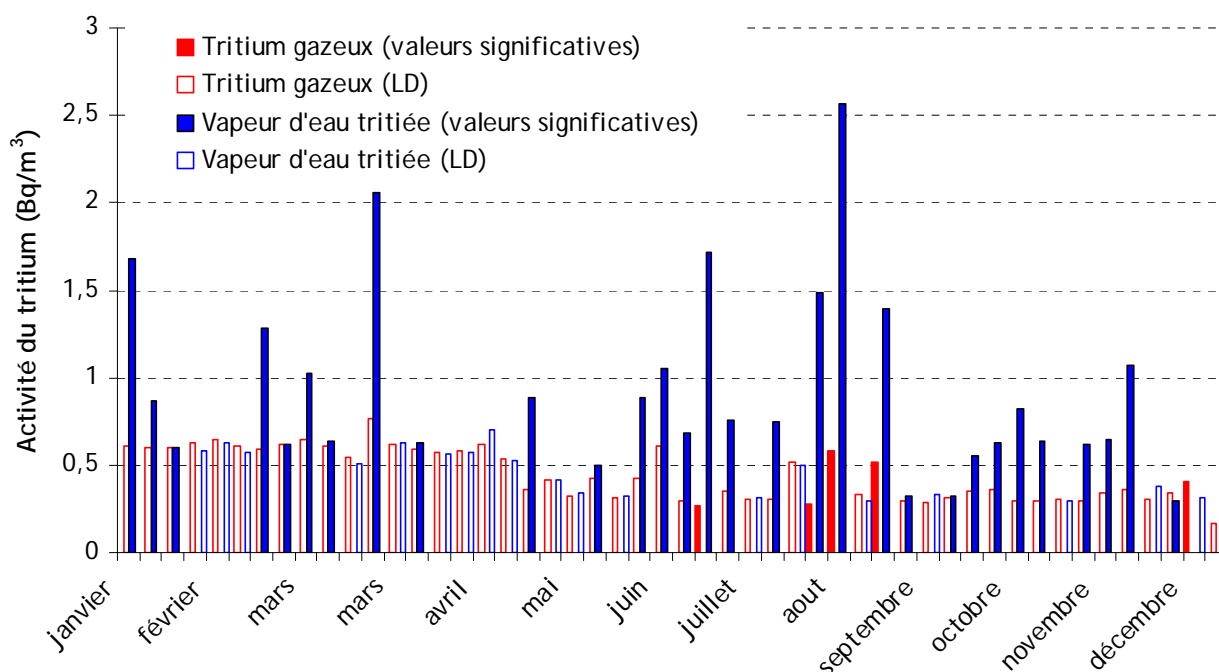


Figure 97 : Activité en ³H mesurée en 2008 dans l'air autour de Valduc

Cette surveillance atmosphérique est complétée par l'analyse des eaux de pluie collectées à proximité de tous les centres d'études nucléaires sauf pour le site de Bruyères-le-Châtel. En 2008, comme pour les années antérieures, des activités volumiques significatives ont été mesurées à proximité des sites de Saclay (jusqu'à 20 Bq/l) et Valduc (jusqu'à 190 Bq/l). Aucune activité significative en tritium n'a été mesurée dans les eaux de pluies collectées dans l'environnement des autres sites (Fontenay-aux-Roses, Grenoble et Cadarache).

IX.1.2.2 COMPARTIMENT TERRESTRE

IX.1.2.2.1. Végétaux et production d'origine végétale

Un suivi du tritium libre dans les végétaux terrestres a été initié en 2008 à proximité des installations de Saclay, Bruyères-le-Châtel et Valduc en regard des activités annuelles rejetées par les effluents gazeux de ces sites.

Le tritium libre est analysé par scintillation liquide sur l'eau issue de la lyophilisation de l'échantillon (exprimée en Bq/l). Dans les végétaux, le tritium libre est soumis à des échanges rapides avec l'atmosphère ambiante et, par conséquent, la mesure de ce paramètre ne donne qu'une représentation instantanée du niveau de tritium ambiant. Les résultats présentés ci-après sont issus d'une première campagne annuelle de prélèvements. Cette surveillance sera complétée pour les sites les plus marqués à partir de 2009 par des mesures de tritium liés dans différentes matrices végétales (herbes, feuilles d'arbre, céréales, légumes feuilles) afin d'évaluer les potentialités de transfert du tritium au sein de la chaîne alimentaire.

Site de Saclay. Des mesures de tritium de plusieurs produits agricoles prélevés en 2008 ont confirmé un marquage par ce radionucléide de l'environnement proche de ce site sous les vents dominants. Les analyses de tritium libre effectuées dans l'eau de lyophilisation des échantillons indiquent des niveaux de $28,0 \pm 3,1$ Bq/l pour les légumes feuilles (salade), $28,0 \pm 3,0$ Bq/l pour des tomates et de $6,1 \pm 2,3$ Bq/l pour des courgettes.

Site de Bruyères-le-Châtel. En juillet 2008, une campagne de prélèvements de végétaux terrestres (herbes et feuilles d'arbre) a été conduite sous les principaux vents dominants dans un rayon inférieur à 5 km. Les résultats du tritium libre mesuré dans l'eau de lyophilisation des échantillons témoignent d'un marquage des végétaux terrestres autour du site. Les résultats sont respectivement de $11 \pm 2,4$ Bq/l pour les échantillons d'herbes prélevés au nord-est du site sur la commune d'Ollainville-La-Roche et de $12 \pm 2,2$ Bq/l pour les échantillons de feuilles d'arbres prélevés au sud-est du site sur la commune de Bruyères-le-Châtel.

Site de Valduc. Une campagne de prélèvement d'herbe a été effectuée en octobre 2008 dans un rayon de 2 à 10 km autour du site. Les analyses de tritium libre indiquent des teneurs dépassant les 20 Bq/l dans les communes de Salives et Echalot situées sous les principaux vents dominants (Figure 98).

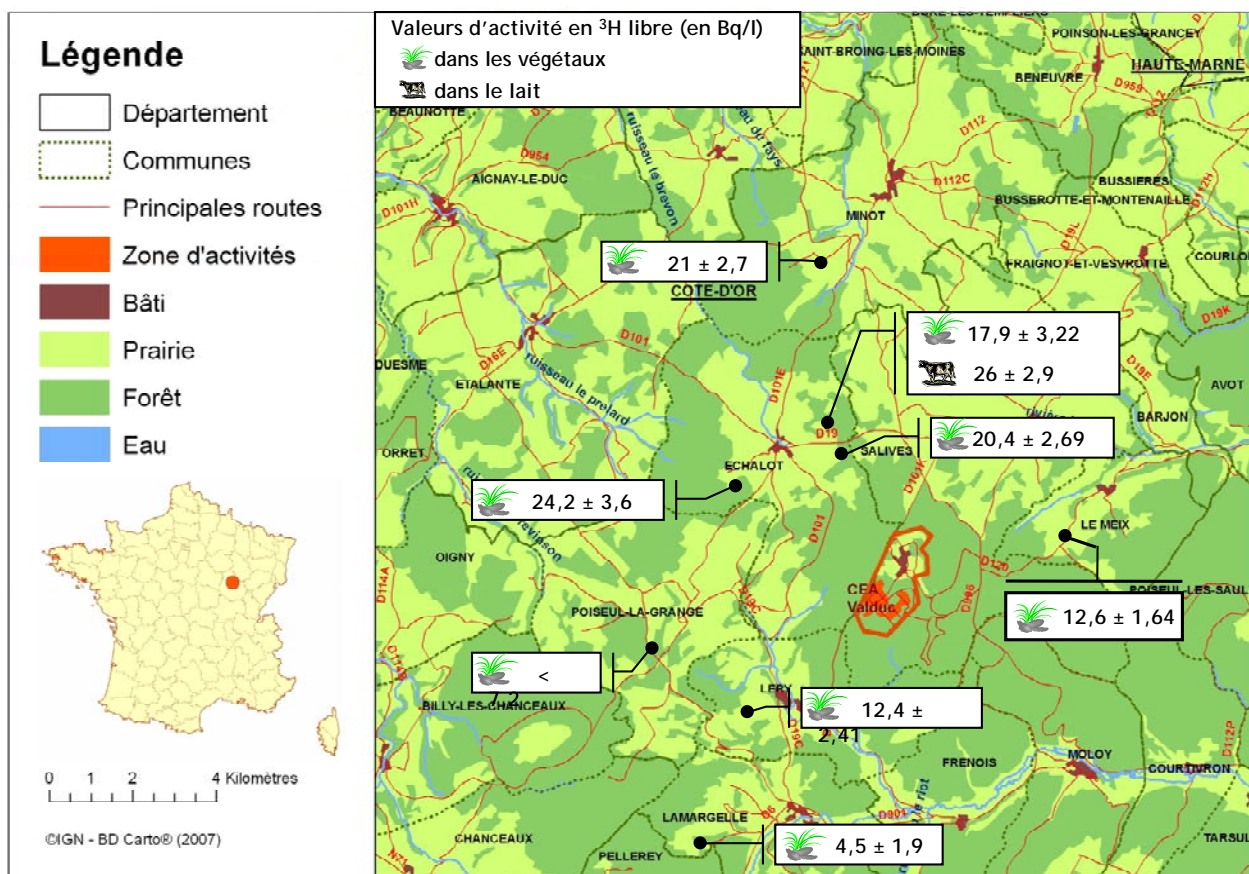


Figure 98 : Activité en ^3H libre dans les végétaux terrestres et le lait prélevés en 2008 autour du site de Valduc

IX.1.2.2.2. Lait

Des prélèvements de lait sont réalisés régulièrement dans des fermes situées à proximité des centres d'études nucléaires lorsqu'une production locale sous les vents dominants existe. La surveillance du tritium est réalisée dans des échantillons de :

- lait de vache de la commune de Salives, pour le site de Valduc ;
- lait de vache de la commune de Jouy-en-Josas, pour le site de Saclay ;
- lait de chèvre de la commune de Rians, pour le site de Cadarache.

Pour le site de Bruyères-le-Châtel, aucun prélèvement de lait de vache n'a pu être effectué à proximité du site (< 10 km) sous influence des vents dominants.

Tableau 46 : Activités en tritium mesurées dans le lait prélevé en 2008 à proximité des sites de Cadarache, Saclay et Valduc (Bq/l)

Lait	Radionucléide	Activité volumique (Bq/l)		
		Commune de Rians	Commune de Jouy-en-Josas	Commune de Salives
	³ H libre	< 6,80	< 5,8	26,0 ± 2,9

L'activité volumique en tritium mesurée dans l'environnement de Valduc (26,0 Bq/l) dans le lait frais est à mettre en relation avec les niveaux de contamination des végétaux terrestres. A ce titre, la surveillance de l'alimentation des vaches sera complétée par des mesures de tritium lié.

IX.1.2.3 COMPARTIMENT AQUATIQUE

Le tritium est régulièrement mesuré dans les eaux de surface et de résurgence, prélevées à proximité des sites de Saclay, de Bruyères-le-Châtel et de Valduc. Aucun suivi de tritium n'est réalisé dans les sédiments.

A Saclay (Figure 99), les activités mesurées dans les eaux prélevées à l'aqueduc des mineurs, dans l'étang vieux et dans l'étang neuf sont comprises entre 6,8 et 110 Bq/l et s'expliquent par les rejets liquides et gazeux du site.

A Bruyères-le-Châtel (Figure 100), les activités mesurées dans les eaux prélevées à Mare la Fosse, à la Roche-Mare Fontaine, à la Fontaine publique d'Ollainville et au Bassin de retenue de l'Orge à Ollainville oscillent entre 5 et 58 Bq/l. Ces niveaux sont attribuables aux rejets gazeux du site.

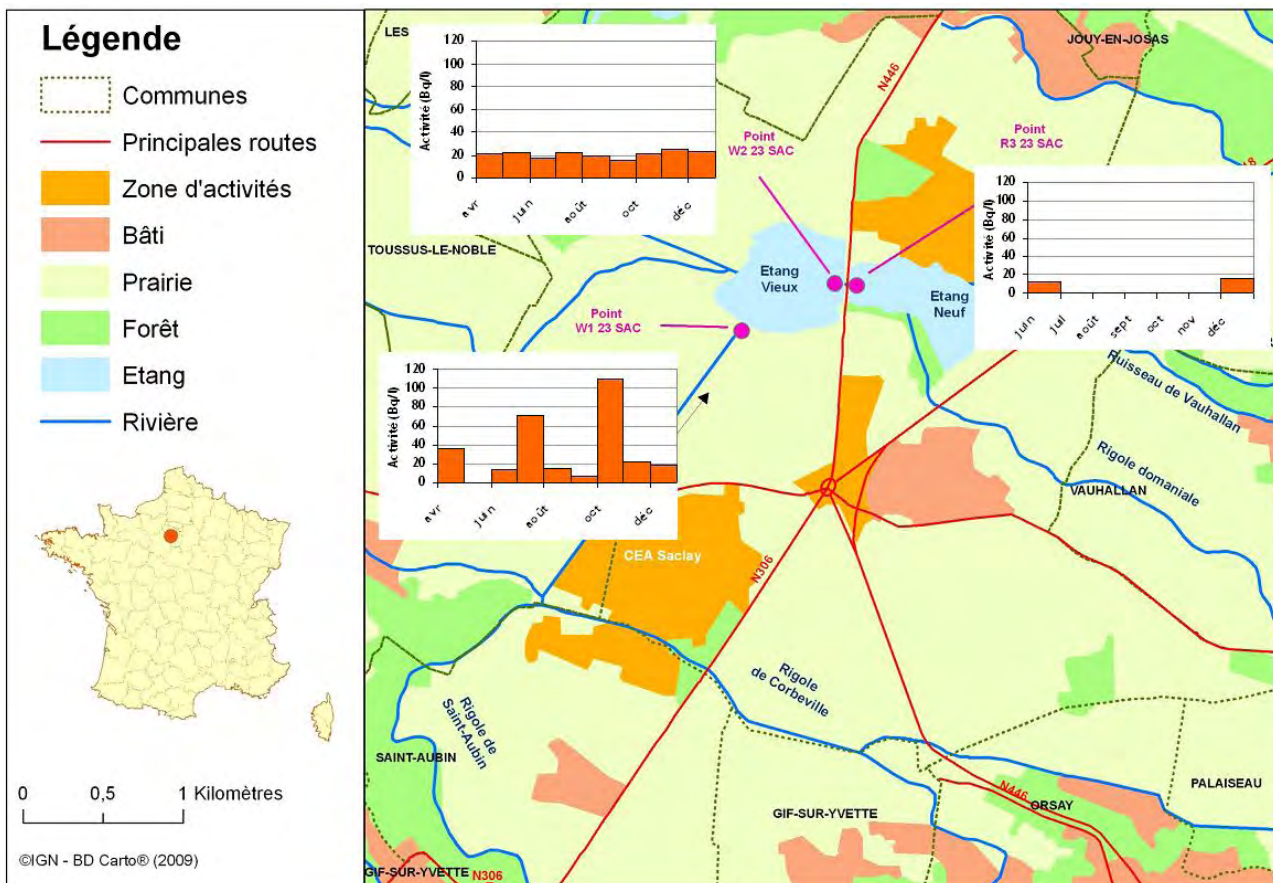


Figure 99 : Activité en ^3H mesurée en 2008 dans les eaux de surface en aval hydraulique du CEN de Saclay

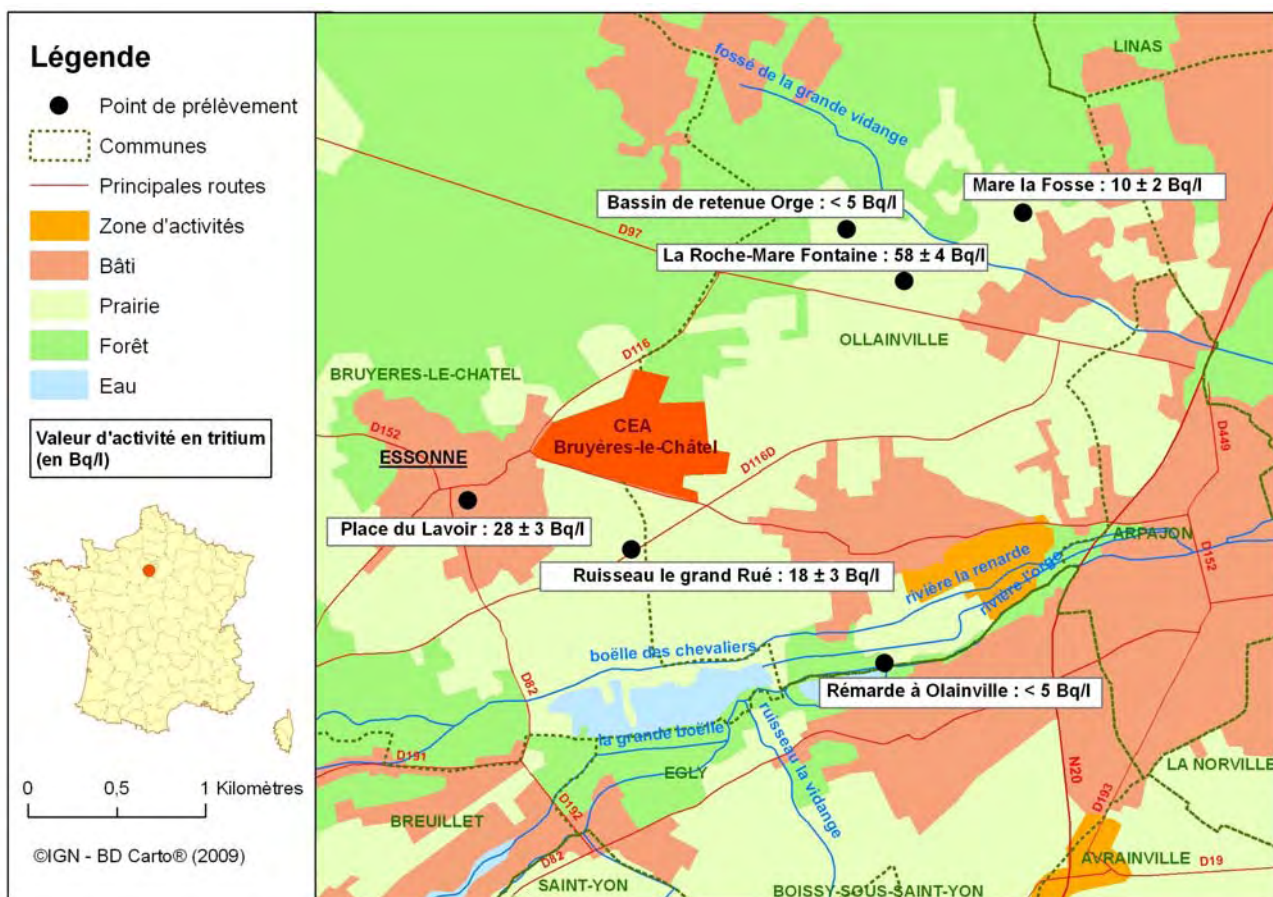


Figure 100 : Activité en ^3H mesurée en 2008 dans les eaux prélevées dans l'environnement du CEN de Bruyères-le-Châtel

A Valduc (Figure 101), des prélèvements d'eaux de rivières sont réalisés semestriellement sur 8 communes environnantes, dans un rayon de 10 km.

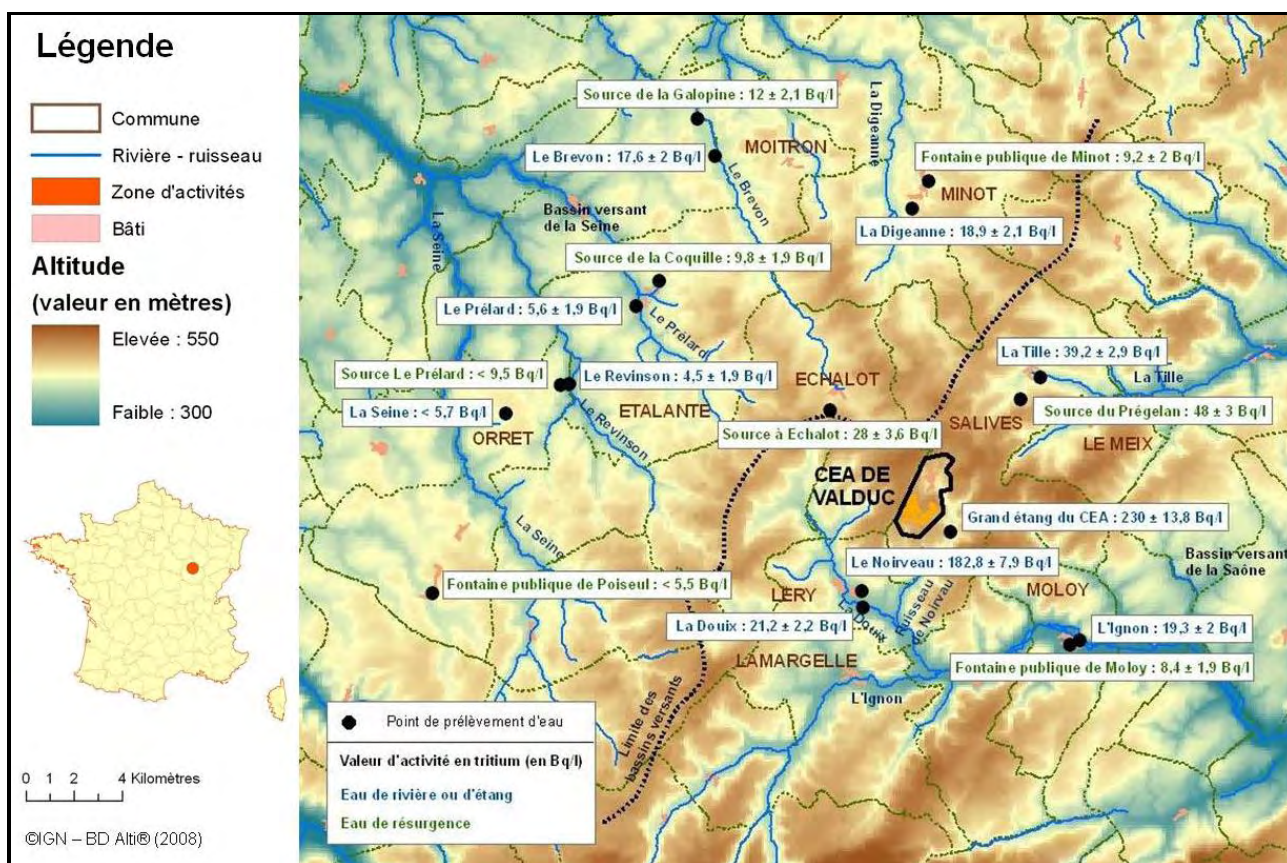


Figure 101 : Localisation et activités en ^3H mesurées dans les prélèvements d'eaux dans l'environnement du centre de Valduc

Les cours d'eau qui coulent au nord et à l'est du site CEA (le Brévon et la Digeanne) sont situés sous les vents dominants du site. De ce fait, la contamination en tritium des eaux de ces cours d'eau est probablement due en partie aux rejets atmosphériques de tritium par le centre de Valduc. Néanmoins cette contamination est peut-être aussi due au drainage de nappes phréatiques marquées en tritium.

A l'ouest du site, hors de la zone des vents dominants, aucune valeur n'a été détectée au-dessus de notre limite de détection, dans le Prélard, le Revinson et la Seine.

Au sud du site, les eaux de la Douix à Léry sont marquées en tritium pour les mêmes raisons indiquées précédemment. En revanche, l'ignon, qui reçoit les eaux de la Douix (24 Bq/l), qui a elle-même reçu les eaux du ruisseau Le Noirveau (environ 180 Bq/l en tritium) en aval de Léry, a une activité en tritium de l'ordre de 20 Bq/l au niveau de Moly, principalement due à ses affluents.

L'influence très probable du marquage en tritium de certains cours d'eau par le drainage des nappes phréatiques, elles-mêmes alimentées par des infiltrations des eaux de pluies marquées en tritium, est confirmée par les mesures réalisées sur des eaux de résurgences de nappes. Comme les années antérieures, des concentrations significatives sont mesurées en 2008 dans les eaux de quelques sources.

IX.1.3 RADIONUCLÉIDES AUTRES QUE LE TRITIUM

IX.1.3.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

En 2008, aucune activité gamma ambiante anormale n'a été enregistrée par les dosimètres thermoluminescents environnants ou par la balise Téléray implantée sous les vents dominants de chacun des centres CEA (voir données au paragraphe VI.1).

S'agissant des mesures effectuées sur les filtres de prélèvement d'aérosols, aucune augmentation des activités volumiques bêta global par rapport aux valeurs habituellement mesurées n'a été constatée sur la station implantée sous l'influence des sites. Il en est de même pour l'activité alpha global.

La Figure 102 montre que pour chaque site, l'activité volumique bêta global des aérosols, mesurée à la station sous influence, n'est pas plus élevée que celle mesurée à une station locale située hors influence.

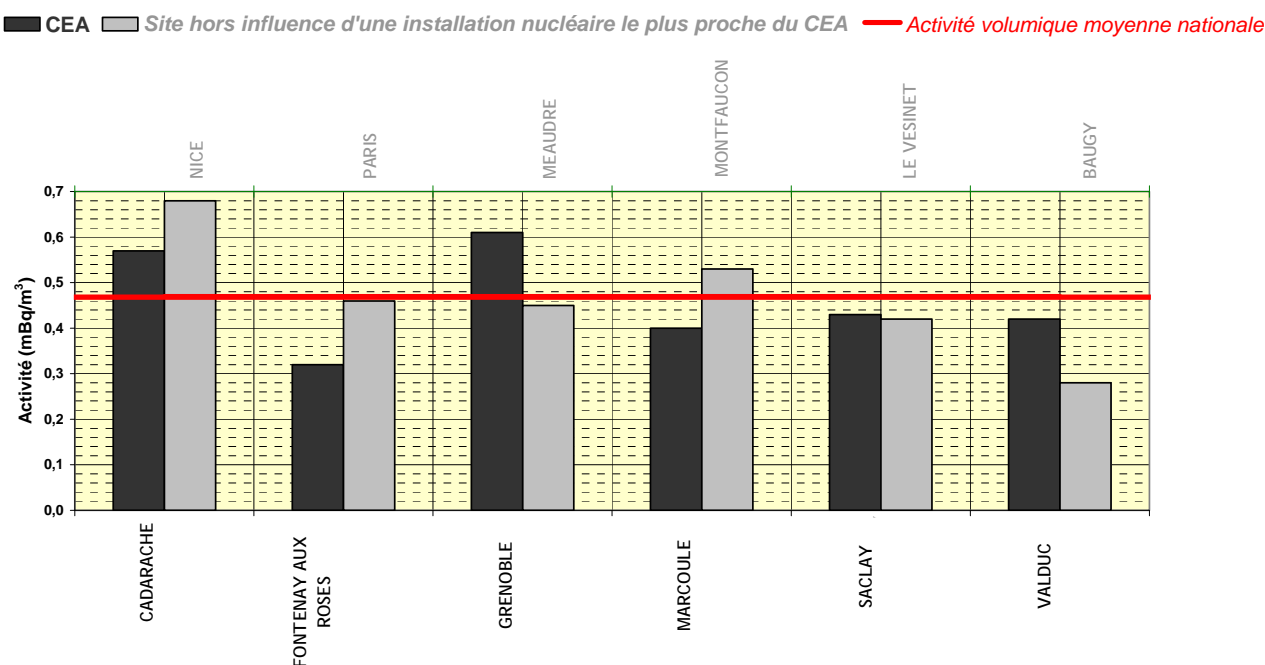


Figure 102 : Activité bêta global mesurée en 2008 sur chaque centre CEA comparée à celle mesurée sur la station la plus proche installée hors influence de toute installation nucléaire.

Les analyses de spectrométrie gamma, réalisées sur les mêmes filtres de prélèvements d'aérosols, montrent que les activités volumiques des radionucléides artificiels sont restées en-dessous des limites de détection (Tableau 47).

Enfin, une recherche des produits de fission et d'activation (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{137}Cs et ^{60}Co notamment) est également effectuée dans les eaux de pluie de Valduc, mais aucune activité n'a été mesurée au-dessus des limites de détection.

Tableau 47 : Moyennes de l'ensemble des résultats de mesures de spectrométrie gamma réalisées sur les regroupements mensuels des prélèvements d'aérosols effectués en 2008 dans l'environnement proche des centres CEA (mBq/m³)

Radionucléide	Activité volumique					
	Cadarache	Fontenay-aux-Roses	Grenoble	Marcoule	Saclay	Valduc
⁵⁴ Mn	< 0,015	< 0,014	< 0,020	< 0,027	< 0,019	< 0,016
⁵⁸ Co	< 0,026	< 0,025	< 0,032	< 0,044	< 0,035	< 0,027
⁶⁰ Co	< 0,015	< 0,016	< 0,020	< 0,025	< 0,019	< 0,016
⁹⁵ Zr	< 0,048	< 0,051	< 0,062	< 0,084	< 0,063	< 0,053
¹⁰⁶ Ru	< 0,13	< 0,13	< 0,16	< 0,21	< 0,15	< 0,14
^{110m} Ag	< 0,015	< 0,015	< 0,020	< 0,026	< 0,021	< 0,017
¹³⁴ Cs	< 0,013	< 0,013	< 0,021	< 0,022	< 0,016	< 0,014
¹³⁷ Cs	< 0,014	< 0,013	< 0,018	< 0,023	< 0,027	< 0,014
²⁴¹ Am	nm	nm	nm	< 0,015	nm	nm

IX.1.3.2 COMPARTIMENT TERRESTRE

IX.1.3.2.1. Céréales

Des prélèvements de blé sont réalisés à proximité des sites de Cadarache (commune de Ginasservis) et de Saclay (commune de Saclay) lors de la récolte annuelle.

Aucun radionucléide émetteur gamma d'origine artificielle n'a été détecté. A titre informatif, les limites de détection des émetteurs gamma sont indiquées ci-après.

NB : les limites de détection des émetteurs gamma hors potassium 40 mesurés dans les céréales sont : ¹⁰⁶Ru (LD=3,9 Bq/kg frais) ; ¹²⁴Sb, ¹²⁵Sb (LD=1,2 Bq/kg frais) ; ^{110m}Ag (LD=0,4 Bq/kg frais) ; ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs (LD=0,5 Bq/kg frais) ; ⁵⁸Co, ⁶⁰Co (LD=0,5 Bq/kg frais) ; ⁷Be (LD=3,9 Bq/kg frais).

IX.1.3.2.2. Lait

Des mesures d'iode 131, de césium 137 et 134 et de strontium 90 sont effectuées sur les échantillons de lait collectés dans les fermes situées à proximité des sites de Cadarache et de Saclay. La composition des rejets gazeux des sites de Valduc et de Bruyères-le-Châtel ne justifient pas de surveiller ces radionucléides dans les échantillons de lait de vache prélevés à proximité de ces sites.

Tableau 48 : Activités mesurées dans le lait prélevé en 2008 en Bq/l

Lait	Radionucléide	Lait de chèvre commune de Rians (Cadarache)	Lait de vache commune de Jouy-en- Josas (Saclay)
	⁴⁰ K		51,9 ± 3,6
⁹⁰ Sr		0,17 ± 0,08	0,08 ± 0,04
¹³¹ I		< 0,24	< 0,20
¹³⁷ Cs		< 0,17	< 0,16
¹³⁴ Cs		< 0,16	< 0,14

La radioactivité mesurée dans les échantillons de lait est majoritairement due au ^{40}K d'origine naturelle (Tableau 48).

Les traces de strontium 90 détectées dans certains des échantillons de lait sont imputables aux retombées atmosphériques passées (tirs d'armes nucléaires en atmosphère), la composition des rejets gazeux de ces installations ne justifiant pas la présence de ce radionucléide dans le compartiment terrestre. Les concentrations mesurées sont d'ailleurs comparables aux niveaux de strontium 90 obtenus pour des échantillons de lait provenant de stations de référence, éloignées de tous rejets d'installations nucléaires.

Les activités volumiques des radionucléides d'origine artificielle susceptibles d'être rejetés dans les effluents gazeux sont restées inférieures aux limites de détection.

IX.1.3.3 COMPARTIMENT AQUATIQUE

IX.1.3.3.1. Eaux de surface

Pour l'ensemble des sites, les activités alpha et bêta globales ne présentent aucune valeur anormale par rapport aux activités habituellement mesurées (Tableau 49). Aucun émetteur gamma artificiel n'est détecté (tableau ci-dessous).

Tableau 49 : Activités mesurées dans des eaux prélevées en 2008 en amont et en aval des CEN du CEA (Bq/l)

Radio-nucléide	CEA de Saclay					
	Etang Neuf	Etang vieux	Aqueduc des mineurs	Etang de Saint-Quentin	Yvette à Saulx les Chartreux	Yvette au pont N118 direction Orsay
α global	0,022 ± 0,008	0,016 ± 0,003	0,013 ± 0,003	0,017 ± 0,005	0,029 ± 0,012	0,030 ± 0,007
β global	0,22 ± 0,03	0,21 ± 0,01	0,20 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,18 ± 0,04	0,12 ± 0,02
^{137}Cs	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	nm
Radio-nucléide	CEA de Fontenay-aux-Roses		CEA de Cadarache			
	Etang Colbert		Amont point rejet	Aval immédiat au point de rejet		Aval - Pont de Mirabeau
α global	0,10 ± 0,02		0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01		0,02 ± 0,01
β global	0,13 ± 0,02		< 0,10	< 0,10		0,10 ± 0,01
^{137}Cs	< 0,059		nm	< 0,151		< 0,069
Radio-nucléide	CEA de Grenoble		CEA de Bruyères-le-Châtel			
	Amont point rejet	Aval point rejet	Bassin de retenue de l'Orge	Orge à Villemoisson		Rémarde à Ollainville
α global	0,037 ± 0,007	0,028 ± 0,005	0,03 ± 0,008	0,039 ± 0,014		0,031 ± 0,007
β global	0,1 ± 0,017	0,1 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,17 ± 0,04		0,18 ± 0,02
^{137}Cs	nm	nm	nm	< 0,065		< 0,052

Enfin, dans l'environnement de Saclay, en 2008, comme en 2007, des traces de strontium 90 ont été détectées à plusieurs reprises dans les eaux de l'aqueduc des Mineurs avec en moyenne une activité de $0,0055 \pm 0,0009$ Bq/l et de $0,0049 \pm 0,0008$ Bq/l dans celles de l'Etang Vieux. Ces activités sont à mettre en relation avec les rejets autorisés du centre. Le strontium 90 est essentiellement rejeté par les installations de CIS-Bio international.

IX.1.3.3.2. Sédiments

Site de Cadarache

Des prélèvements biannuels de sédiments sont réalisés dans la Durance, à Saint-Paul-lez-Durance, à 400 m en aval du point de rejets d'effluents liquides.

Parmi les radionucléides d'origine artificielle recherchés, seules des traces de césium 137 sont détectées. La valeur moyenne annuelle en 2008 pour ce radionucléide, de $3,87 \pm 0,63$ Bq/kg sec, est du même ordre de grandeur que les niveaux observés les années précédentes. Compte tenu des faibles niveaux de césium 137 rejetés 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 de mesures des autres radionucléides sont tous restés inférieurs aux limites de détection précisées dans le ci-après (Tableau 50).

Tableau 50 : Limites de détection pour les radionucléides d'origine artificielle mesurés dans les sédiments prélevés en 2008 dans l'environnement du centre de Cadarache (hors ^{137}Cs) (Bq/kg sec)

Sédiments	Radionucléide	Limite de détection
	^{241}Am	< 0,15
	^{238}Pu	< 0,13
	$^{239+240}\text{Pu}$	< 0,15
	Autres émetteurs gamma (^{134}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{131}I , ...)	< 0,5-2

Site de Saclay

Des prélèvements trimestriels de sédiments sont réalisés dans l'étang Vieux, milieu récepteur des rejets d'effluents liquides du centre de Saclay. Le Tableau 51 présente les activités des radionucléides émetteurs gamma détectés en 2008.

Pour ce qui concerne les radionucléides d'origine artificielle, on observe un marquage rémanent des sédiments par le césium 137, le cobalt 60, les plutonium 239+240 et l'américium 241.

Tableau 51 : Activités mesurées dans des sédiments prélevés en 2008 dans l'étang Vieux à Saclay (Bq/kg sec)

Sédiments	Radionucléide	Activité massique
	^{40}K	$157,2 \pm 7,4$
	^{137}Cs	$72,5 \pm 2,3$
	^{60}Co	$2,66 \pm 0,25$
	$^{239+240}\text{Pu}$	$1,72 \pm 0,17$
	^{241}Am	$0,62 \pm 0,09$

Ces radionucléides ne sont plus rejetés en quantité significative dans les effluents liquides du site de Saclay. Le marquage observé est imputable en partie aux rejets d'effluents liquides passés du site et principalement au pic de pollution survenu en 1990 (chroniques de concentration présentées page 151 dans le bilan radiologique 2007). La concentration moyenne annuelle de ces

radionucléides a fortement décru depuis (réduction d'un facteur 100 depuis 1990 pour le césium 137).

Site de Grenoble

Des prélèvements trimestriels de sédiment sont réalisés dans l'Isère au niveau du barrage de Saint-Egrève situé en aval du site. Les principaux résultats sont reportés dans le Tableau 52.

Tableau 52 : Activités mesurées dans des sédiments prélevés en 2008 dans l'Isère en aval du CEA de Grenoble (Bq/kg sec)

Sédiments	Radionucléide	Activité massique
	¹³⁷ Cs	6,10 ± 0,3
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,16 ± 0,03
	⁴⁰ K	634,30 ± 28,67
	⁷ Be	19,39 ± 4,49

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 du CEN de Grenoble est donc principalement liée aux retombées atmosphériques passées (accident de Tchernobyl et tirs aériens d'armes nucléaires). Des traces de plutonium 239+240 ont ponctuellement été décelées.

Site de Bruyères-le-Châtel

L'environnement de ce centre a fait l'objet en 2008, d'une campagne de prélèvements exploratoire afin d'examiner les niveaux de radioactivité présents dans les sédiments des cours d'eaux et plans d'eaux. Les résultats présentés dans la Figure 103 indiquent un marquage résiduel des sédiments du ruisseau du Grand Rué (milieu récepteur des rejets liquides du site) et du bassin de retenue de l'Orge, en plutonium 239+240 et américium 241, imputables aux rejets d'effluents liquides passés. Ce marquage est moins net dans les sédiments provenant d'une mare située au sud du site, dénommée Trou d'Arny.

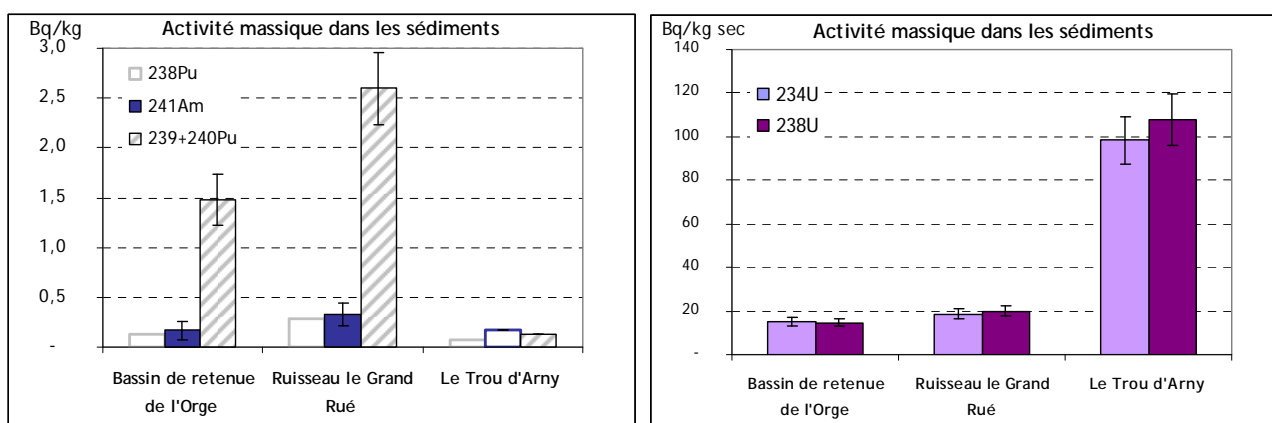


Figure 103 : Activités en Pu/Am et U mesurées dans les sédiments prélevés en 2008 à Bruyères-le-Châtel

Les concentrations en uranium 234 et en uranium 238 mesurées dans les sédiments prélevés à la station du Trou d'Arny sont 5 fois supérieures à celles des deux autres stations (Figure 103). Néanmoins, les rapports isotopiques proches de 1 témoigneraient d'uranium d'origine naturel.

Un suivi annuel des émetteurs alpha des sédiments prélevés dans le bassin de l'Orge et du ruisseau du Grand Rué sera maintenu dans les années à venir, afin de vérifier l'évolution décroissante de ce marquage.

IX.2. CENTRES DE RECHERCHES INTERNATIONAUX

IX.2.1 INSTITUT LAUE LANGEVIN - GRENOBLE (38)

L'Institut Laue-Langevin (ILL), fondé en 1967 sous l'impulsion de l'Allemagne, de la France et du Royaume-Uni, avait pour objectif de concevoir une source de neutrons (réacteur à haut flux) très intense entièrement dédiée à la recherche fondamentale civile. L'ILL est un organisme de recherche international, leader mondial en sciences et techniques neutroniques, implanté sur le polygone scientifique de Grenoble. Plus de 800 expériences y sont effectuées chaque année, et environ 1500 chercheurs viennent y réaliser leurs programmes, sélectionnés par un comité scientifique.

La surveillance de ce site est, pour l'instant, limitée à l'eau du Drac. Aucune activité anormale n'a été décelée dans les eaux prélevées à proximité de l'Institut (activité en tritium < 4,7 Bq/l).

Les résultats des eaux prélevées en aval de l'ILL sont indiqués au paragraphe IX.1 (données relatives au CEN de Grenoble).

IX.2.2 CERN - PREVESSIN (01)

L'organisation européenne pour la recherche nucléaire communément désignée par l'abréviation CERN est une institution intergouvernementale européenne créée par la convention signée à Paris le 1^{er} juillet 1953 et révisée depuis. Le CERN est situé sur les territoires suisse et français. La partie française est située sur la commune de Prévessin. Le CERN utilise principalement des accélérateurs d'électrons, positrons, protons et ions lourds. La circulation des particules accélérées et les collisions entre les particules et les cibles génèrent des rayonnements de haute énergie qui peuvent activer les matériaux qu'ils traversent. Le tritium figure parmi les produits d'activation. Quelques structures sont construites en uranium appauvri.

La surveillance du site du CERN consiste en l'analyse de filtres aérosols, d'eau de pluie et d'eau souterraine.

IX.2.2.1 COMPARTIMENT ATMOSPHERIQUE

Aucune activité anormale n'a été décelée sur les filtres aérosols prélevés quotidiennement à la station AS1, sous les vents dominants du centre de recherche (voir données au paragraphe VI.1).

L'analyse des eaux de pluie recueillies dans l'environnement français du CERN à un rythme mensuel n'a révélé aucune activité anormale.

IX.2.2.2 COMPARTIMENT AQUATIQUE CONTINENTAL

Des prélèvements d'eau effectués semestriellement dans un piézomètre proche du centre n'ont révélé aucune activité anormale.

IX.3. LES BASES NAVALES NUCLEAIRES

Trois ports militaires de métropole abritent des bases navales nucléaires. Ces installations nucléaires présentent la spécificité d'être intégrées au sein d'agglomérations importantes (Toulon : 400 000 hab., Brest : 200 000 hab., Cherbourg : 80 000 hab.). 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.

En parallèle, des analyses de radioactivité sont également effectuées par l'IRSN, uniquement sur des échantillons d'origine marine (eau de mer, sédiments, poissons, mollusques, crustacés et algues).

IX.3.1 BREST (29)

IX.3.1.1 EAU DE MER

La surveillance des eaux de mer prélevées chaque trimestre dans la grande rade de Brest n'a permis de détecter aucune activité d'origine artificielle au-dessus des limites de détection (Tableau 53).

Tableau 53 : Activités mesurées dans des eaux de mer prélevées en 2008 dans la grande rade de Brest (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Rade de Brest
	^{137}Cs	< 0,021
	^3H	< 6,7
	^{40}K	$12 \pm 0,4$
	B global	$10,4 \pm 0,5$

IX.3.1.2 SEDIMENTS MARINS

Des prélèvements trimestriels de sédiments sont effectués au niveau de l'Anse du Fret, située dans la grande rade de Brest. Les résultats sont présentés ci-après (Tableau 54).

Tableau 54 : Activités mesurées dans des sédiments prélevés en 2008 dans la grande rade de Brest (Bq/kg sec)

Sédiments	Radionucléide	Activité massique
	^{40}K	$420,2 \pm 18,7$
	^7Be	$11,6 \pm 2,8$
	^{137}Cs	$0,97 \pm 0,36$
	^{90}Sr	< 1,1
	Autres émetteurs gamma (^{134}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{131}I , ...)	< 0,6

Parmi les radionucléides d'origine artificielle mesurés, seules des traces de césium 137 sont détectées.

IX.3.1.3 FAUNE ET FLORE MARINE

Des prélèvements annuels de poissons, mollusques, crustacés et algues sont effectués en différents points de la grande rade de Brest.

IX.3.1.3.1. Algues

La radioactivité d'origine naturelle mesurée dans les algues est principalement due au potassium 40 ($174,8 \pm 9,8$ Bq/kg frais). Les activités des radionucléides d'origine artificielle recherchés (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{131}I , ^{106}Ru , ...) sont restées inférieures aux limites de détection ($\cong 0,2$ Bq/kg frais).

IX.3.1.3.2. Mollusques, crustacés et poissons

Aucun des radionucléides d'origine artificielle recherchés (émetteur gamma, strontium 90) n'a été mis en évidence dans les échantillons :

- de moules prélevées à la Pointe de Lanvéoc ;
- d'huîtres prélevées à Logonna Daoulas ;
- de tourteaux provenant de la rade-abri ;
- de poissons : congros provenant de la rade-abri, roussettes provenant de la bouée Renard, soles provenant de Plougastel-Daoulas.

NB : les limites de détection des principaux radionucléides d'origine artificielle contrôlés dans la faune aquatique sont : ^{110m}Ag (LD<0,3 Bq/kg frais) ; ^{137}Cs (LD<0,15 Bq/kg frais) ; ^{134}Cs (LD<0,2 Bq/kg frais) ; ^{60}Co (LD<0,2 Bq/kg frais) ; ^{58}Co (LD<0,2 Bq/kg frais) ; ^{124}Sb (LD<0,2 Bq/kg frais) ; ^{106}Ru (LD<1,2 Bq/kg frais) ; ^{90}Sr (LD<0,08 Bq/kg frais)

IX.3.2 CHERBOURG (50)

IX.3.2.1 EAUX DE MER

Les analyses des eaux de mer prélevées chaque trimestre dans la grande rade de Cherbourg n'ont permis de détecter aucun radionucléide d'origine artificielle, sauf le tritium qui, comme en 2007, présente en 2008 des activités significatives imputables aux rejets liquides de l'usine de la Hague (Tableau 55).

Tableau 55 : Activités mesurées dans des eaux de mer prélevées en 2008 dans la grande rade de Cherbourg (Bq/l)

	Radionucléide	Rade de Cherbourg
Eau	^{40}K	$11,8 \pm 0,4$
	^3H	$7,3 \pm 1,7$
	^{137}Cs	< 0,021
	B global	$11,1 \pm 0,6$

IX.3.2.2 SEDIMENTS MARINS

Des prélèvements trimestriels de sédiments marins sont effectués à La Saline dans la grande rade de Cherbourg (Tableau 56).

La radioactivité naturelle est majoritairement due au potassium 40 (moyenne annuelle en 2008 de 312 ± 11 Bq/kg sec. En ce qui concerne la radioactivité d'origine artificielle, il faut noter le marquage en émetteurs alpha (^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$) légèrement plus faible que celui observé en 2007. Ce marquage visible sur le littoral Cotentin, et imputable aux rejets d'effluents liquides passés et actuels de l'usine de retraitement du combustible du site AREVA la Hague, est détaillé au paragraphe VIII.7.2

Tableau 56 : Activités mesurées dans des sédiments prélevés en 2008 dans la grande rade de Cherbourg (Bq/kg sec)

Sédiments	Radionucléide	Activité massique
	⁴⁰ K	312,4 ± 11,5
	⁷ Be	< 4,3
	⁶⁰ Co	< 0,5
	¹³⁷ Cs	0,44 ± 0,13
	¹⁰⁶ Ru	< 4,2
	²³⁸ Pu	< 0,15
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,18 ± 0,04
	²⁴¹ Am	0,33 ± 0,08

IX.3.2.3 FAUNE ET FLORE MARINE

Des prélèvements annuels d'algues, mollusques, crustacés et poissons sont effectués en différents points de la grande rade de Cherbourg.

IX.3.2.3.1. Algues

Les échantillons d'*Ulves* et de *Fucus Serratus* prélevés à La Saline sont marqués par des radionucléides d'origine artificielle (⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, Pu et ²⁴¹Am - Tableau 57) caractéristiques des rejets d'effluents liquides de l'usine de retraitement du combustible du site de la Hague. Les concentrations relevées dans les échantillons de *Fucus serratus* et dans les *Ulves* sont comparables.

Tableau 57 : Activités mesurées dans des algues (en Bq/kg frais) prélevées en 2008 dans la grande rade de Cherbourg

Algues	Radionucléide	<i>Ulves</i>	<i>Fucus Serratus</i>
	⁴⁰ K	32,4 ± 2,0	32,4 ± 2,0
	⁶⁰ Co	< 0,08	0,2 ± 0,1
	¹³⁷ Cs	< 0,08	< 0,08
	²³⁸ Pu	0,016 ± 0,004	0,013 ± 0,003
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,01 ± 0,001	0,01 ± 0,001
	²⁴¹ Am	0,189 ± 0,058	0,15 ± 0,073

IX.3.2.3.2. Mollusques

Des traces de radionucléides d'origine artificielle, caractéristiques des rejets d'effluents liquides du site de la Hague (plutonium et américium), sont également décelables dans la chair des coquilles Saint-Jacques prélevées dans la grande rade de Cherbourg. Les valeurs moyennes sont présentées dans le Tableau 58. Les résultats des autres radionucléides mesurés sont restés inférieurs à nos limites de détection (0,07 Bq/kg frais pour le ⁹⁰Sr).

Tableau 58 : Activités mesurées dans des mollusques prélevés en 2008 dans la grande rade de Cherbourg (Bq/kg frais)

Coquilles Saint-Jacques	Radionucléide	Activité massique
	⁴⁰ K	85,4 ± 4,8
	⁶⁰ Co	0,23 ± 0,06
	¹³⁷ Cs	0,09 ± 0,04
	²³⁸ Pu	0,017 ± 0,003
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,040 ± 0,001
	²⁴¹ Am	0,048 ± 0,009

IX.3.2.3.3. Crustacés

Contrairement à l'année 2007, le cobalt 60, le plutonium 238, le plutonium 239+240 et l'américium 241 présentent des valeurs significatives dans les échantillons de chair de tourteaux prélevés en 2008 dans la grande Rade de Cherbourg (Tableau 59). Néanmoins, ces valeurs ne traduisent pas une augmentation des niveaux d'activités de ces radionucléides, car proches des limites de détection de 2007. Ces radionucléides sont caractéristiques des rejets d'effluents liquides du site de la Hague. Les résultats des autres radionucléides mesurés (⁵⁸Co, ¹³⁴Cs, ⁹⁰Sr) sont restés inférieurs aux limites de détection (LD < 0,3 Bq/kg frais sauf pour le ⁹⁰Sr ≅ 0,07 et le ¹⁰⁶Ru ≅ 1,5 Bq/kg frais).

Tableau 59 : Activités mesurées dans des crustacés prélevés en 2008 dans la grande rade de Cherbourg (Bq/kg frais)

Tourteaux	Radionucléide	Activité massique
	⁴⁰ K	92,6 ± 6,7
	⁶⁰ Co	0,18 ± 0,09
	¹³⁷ Cs	< 0,15
	²³⁸ Pu	0,0024 ± 0,0012
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,004 ± 0,001
	²⁴¹ Am	0,015 ± 0,004

IX.3.2.3.4. Poissons

Les poissons sont pêchés dans les zones dites de Nacqueville (Vieilles) et zone 5 de la grande rade de Cherbourg (carrelets).

Le Tableau 60 présente les résultats mesurés en 2008 dans les échantillons de vieilles et de carrelets. Des traces de césium 137 sont mesurées dans les échantillons de vieilles (moyenne annuelle de 0,25 ± 0,17 Bq/kg frais). Des valeurs significatives en carbone 14 sont mesurées sur les deux lots de poissons.

Comme pour l'année 2007, les activités des autres radionucléides d'origine artificielle recherchés sont restées inférieures à nos limites de détection pour les deux lots de poissons analysés.

Tableau 60 : Activités mesurées dans des poissons prélevés en 2008 dans la grande rade de Cherbourg

Poissons	Radionucléide	Unité	Vieilles	Carrelets
	^{40}K	Bq/kg frais	$93,8 \pm 5,0$	$96,0 \pm 5,12$
	^{14}C	Bq/kg de C élémentaire	404 ± 74	478 ± 83
	^{60}Co	Bq/kg frais	$< 0,19$	$< 0,19$
	^{137}Cs		$0,25 \pm 0,17$	$< 0,17$
	^{238}Pu		$< 0,004$	$< 0,004$
	$^{239+240}\text{Pu}$		$< 0,002$	$0,002$
	^{241}Am		$< 0,51$	$< 0,51$

IX.3.3 TOULON (83)

IX.3.3.1 EAUX DE MER

La surveillance des eaux de mer prélevées chaque trimestre dans la grande rade de Toulon n'a permis de détecter aucun émetteur gamma d'origine artificielle.

Tableau 61 : Activités mesurées dans des eaux de mer prélevées en 2008 dans la grande rade de Toulon (Bq/l)

Eau	Radionucléide	Rade de Toulon
	^{40}K	$11,8 \pm 0,3$
	^3H	$< 7,0$
	^{137}Cs	$< 0,022$
	B global	$12 \pm 0,5$

IX.3.3.2 SEDIMENTS MARINS

Des prélèvements trimestriels de sédiment marins sont effectués à la Tour Royale située dans la grande rade de Toulon. La radioactivité naturelle est principalement due au potassium 40 (moyenne annuelle en 2008 de $398,4 \pm 10,2$ Bq/kg sec). Aucun radionucléide d'origine artificielle n'a été détecté (limites de détection $\cong 0,5$ Bq/l).

IX.3.3.3 FAUNE ET FLORE MARINE

Des prélèvements annuels de posidonies, de moules et de poissons sont effectués dans la grande rade de Toulon. Aucun des radionucléides d'origine artificielle recherchés n'a été mis en évidence dans les échantillons (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{58}Co , ^{54}Mn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{90}Sr). Les résultats sont restés inférieurs aux limites de détection (de l'ordre de 0,2 Bq/kg frais pour la spectrométrie gamma et de 2 Bq/kg frais pour le strontium 90).

Des mesures complémentaires de très bas niveau réalisées sur les moules prélevées à la Seyne-sur-Mer indiquent que les niveaux d'activités en césium 137 ne dépassent pas 0,015 Bq/kg frais.

X. LES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES REJETS RADIOACTIFS DES SERVICES DE MEDECINE NUCLEAIRE : LE RESEAU TELEHYDRO

X.1. CONTEXTE

Depuis 2000, l'IRSN réalise des mesures radiologiques en continu dans les eaux usées collectées par les stations de traitement et d'épuration de quelques grandes villes françaises. Les sondes du réseau Téléhydro, actuellement disposées dans les bassins de collecte des eaux usées de 7 usines de dépollutions (Figure 104), permettent de mesurer directement et en continu la radioactivité d'origine artificielle de ces eaux.

Cette radioactivité provient des installations de recherche, industrielles et surtout hospitalières installées en amont des réseaux d'assainissement. En médecine nucléaire, les radio-isotopes sont utilisés à des fins de diagnostic ou thérapeutiques. L'iode 131 (8 jours de période) et le technétium 99 métastable (6 heures de période) représentent à eux seuls près de 99% de la radioactivité utilisée par les services de médecine nucléaire. Leur emploi conduit à des effluents liquides radioactifs (principalement des urines et des selles) qui sont rejetés dans les réseaux d'assainissement, dans le respect d'un dispositif réglementaire. Ce dispositif réglementaire impose entre autres, un entreposage des effluents dans des cuves tampons implantées dans les établissements hospitaliers, pour une décroissance de la radioactivité avant rejet. Néanmoins, les selles ne sont généralement pas entreposées en raison de leur potentiel d'induction de maladies nosocomiales, et de ce fait rejoignent le réseau d'assainissement plus rapidement.

Les radio-isotopes utilisés dans ce cadre étant de courtes périodes, entre quelques heures à quelques jours, cet entreposage des effluents permet une décroissance importante de leur radioactivité. La radioactivité résiduelle présente dans ces effluents rejetés, transite via les réseaux d'assainissements, jusqu'aux stations d'épurations.



Figure 104 : Implantation des stations du réseau Téléhydro

X.2. IMPLANTATION ET FONCTIONNEMENT

Une station Téléhydro est composée d'un détecteur NaI (iodure de sodium) installé à l'extrémité d'une perche directement plongée dans l'eau (Figure 105). Le système d'acquisition effectue une spectrométrie gamma toutes les heures. Les données ainsi mesurées sont récupérées et exploitées à distance par l'IRSN.

Le milieu agressif dans lequel sont maintenues ces balises conduit à des difficultés de maintenance et d'exploitation qui rendent pratiquement impossible un déploiement de ce réseau de manière permanente. Néanmoins, l'expérience acquise au cours de ces dernières années et les développements techniques engagés, permettent de disposer d'un système léger, compact, transportable et résistant à la corrosion, adapté à des contrôles ponctuels sur diverses installations.



Figure 105 : Photos d'une station Téléhydro (vue générale et détaillée de la sonde)

La mesure consiste en un comptage de photons, exprimé en coups par seconde, qui se distribuent dans la gamme d'énergie du rayonnement gamma. L'analyse du spectre ainsi obtenu permet de détecter les différents radionucléides, qui émettent chacun à des énergies spécifiques. La détermination des activités volumiques d'un radionucléide donné s'effectue par le calcul de l'aire du pic témoignant de sa présence (Figure 106).

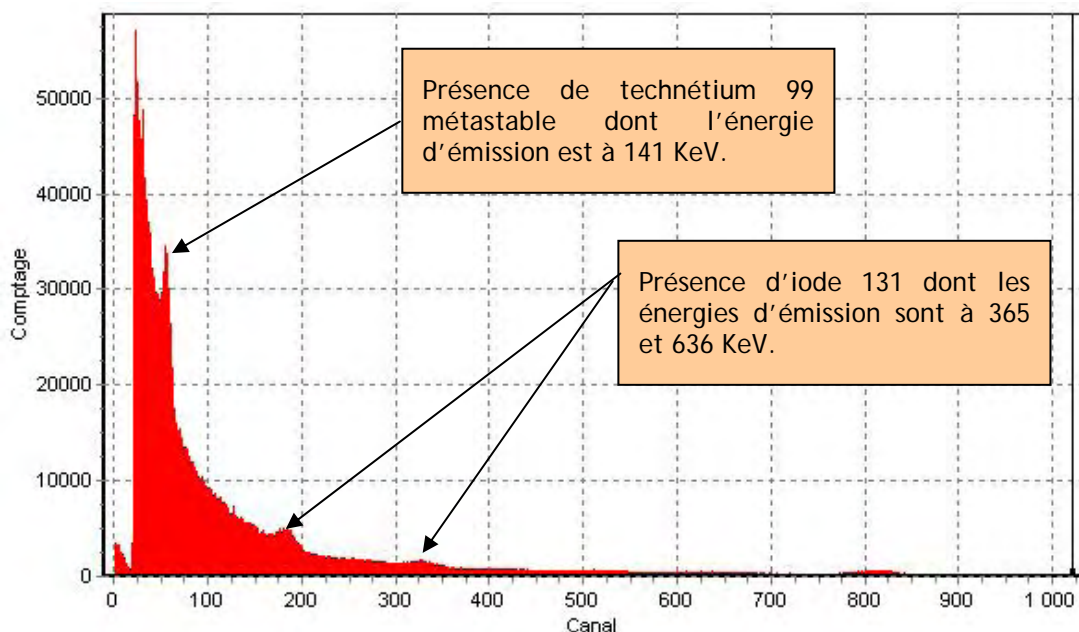


Figure 106 : Spectre acquis dans les eaux usées de la station d'épuration de Strasbourg

X.3. RESULTATS ACQUIS EN 2008

Les résultats acquis en 2008 ne diffèrent pas des années précédentes et confirment la présence d'iode 131 et de technétium 99 métastable dans les eaux usées des agglomérations françaises surveillées (Figure 107).

D'une manière générale, les concentrations mesurées sur l'ensemble des stations varient :

- pour l'iode 131, de quelques Bq/l à plusieurs dizaines de Bq/l en moyenne, avec des maximums de l'ordre de 100 à 200 Bq/l ;
- pour le technétium 99 métastable, de quelques Bq/l à la centaine de Bq/l en moyenne, avec des maximums de l'ordre de plusieurs centaines de Bq/l, et dépassant ponctuellement le millier de Bq/l.

Au-delà des stations d'épuration, les concentrations des radionucléides rejetés dans l'environnement, c'est-à-dire dans les cours d'eau, sont inférieures aux limites de détection des balises Téléhydro, de l'ordre de 1 Bq/l.

Par contre, l'iode 131 est parfois mesuré dans les MES et le plus souvent dans les végétaux aquatiques, à des concentrations comprises entre quelques Bq et quelques centaines de Bq par kilogramme de produit frais.

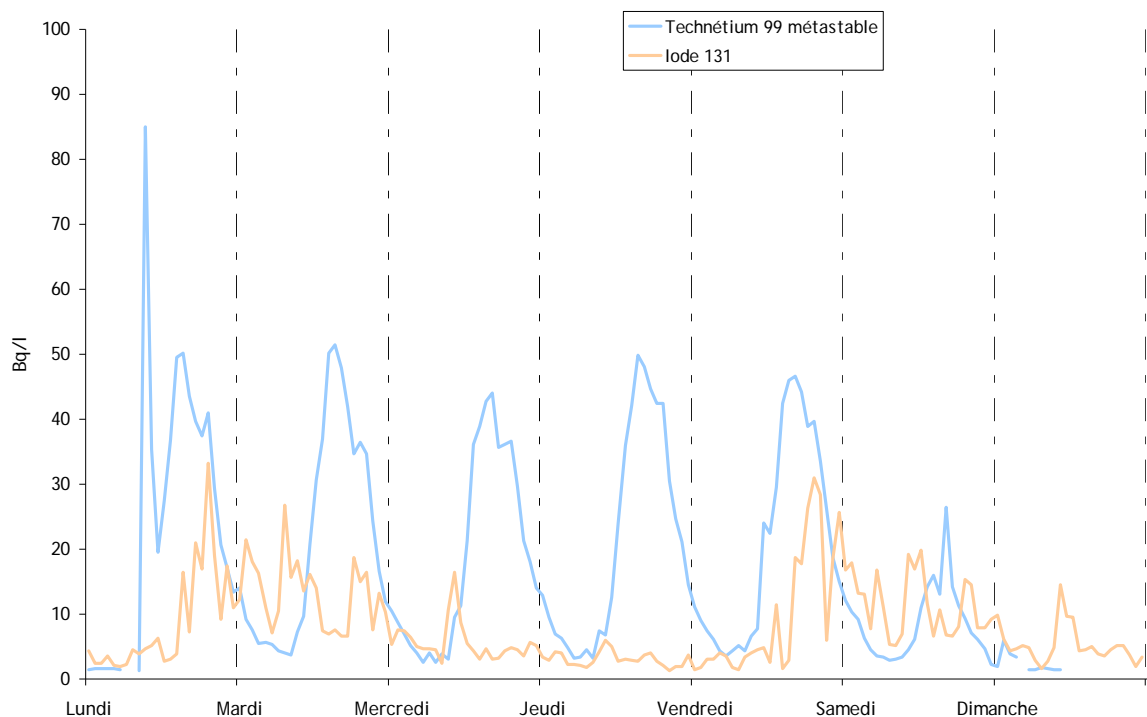


Figure 107 : Moyennes horaires mesurées sur une semaine des activités ^{131}I et de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ au sein de la station d'épuration de Rouen

XI. DIFFUSION DES DONNEES 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 dispositions de multiples informations sur son site Internet.

XI.1. SITE INTERNET THEMATIQUE « ENVIRONNEMENT » DE L'IRSN

En 2007, l'Institut a entrepris la rénovation de son site Internet « Radioactivité dans l'environnement », qui a abouti début mars 2009 à la mise en ligne d'un nouveau portail consacré à ce sujet, accessible à l'adresse suivante : <http://irsn.fr/environnement>.



Figure 108 : le nouveau portail de l'environnement (à droite) réunit les données éparpillées auparavant dans plusieurs sites

Par rapport aux sites précédents (eaux, Opéra, Téléray, Aérosols), deux innovations importantes ont été apportées :

- Une carte interactive offre un accès facilité aux résultats de mesures dans les différents milieux

La première innovation concerne l'unification de l'accès aux résultats de la surveillance réalisée par l'IRSN, grâce à une carte interactive permettant d'accéder plus facilement aux résultats obtenus pour les différents milieux surveillés en un lieu donné, aussi bien autour des sites nucléaires que sur le reste du territoire. Les résultats autrefois dispersés dans 4 sites indépendants « Téléray », « Eaux, boues et sédiments », « Aérosols atmosphériques » et « Observatoire permanent de la radioactivité OPERA » ont ainsi été réunis en un seul portail Internet. 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.

Par ailleurs, la palette des données accessibles s'est enrichie pour donner accès à une plus grande variété de résultats de surveillance (lait, télémesure de la radioactivité des eaux, dosimètres environnementaux...) qui ne figuraient pas dans les sites anciens. A ce jour, plus d'un million de données sont disponibles.



Enfin, alors que les anciens sites n'offraient qu'un recul de 12 mois de mesures, 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.

La carte permet de choisir le point et donne des informations sur le nombre de mesures

Restitution sous forme « graphique »

AEROSOLS

Restitution sous forme « tableau de mesures »

Date	Unité	Activité	Niveau d'exposition	Type de mesure	Station de mesure
17000000	0,258148	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
16000000	0,252811	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
15000000	0,25021	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
14000000	0,246028	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
13000000	0,240701	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
12000000	0,232151	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
11000000	0,228195	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
10000000	0,217518	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
09000000	0,212644	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
08000000	0,212015	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
07000000	0,208809	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
06000000	0,203811	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
05000000	0,198471	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
04000000	0,191828	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
03000000	0,188887	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil
02000000	0,189129	microBecquerel	< 30% (faible)	Sonde de mesure	Agathe-du-Mil

- La rubrique documentaire s'est enrichie

La seconde innovation a porté sur le développement d'une rubrique 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 donc 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, qui existait déjà dans le site précédent, de nouvelles 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 ; par exemple les résultats des expertises menées par l'IRSN sur les conséquences environnementales et dosimétriques des rejets de carbone 14 par l'usine SOCATRI de juillet 2008.

Cette rubrique documentaire s'étoffera 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. Enfin, à partir de 2010, les mesures de l'IRSN seront également accessibles sur le portail Internet du réseau national de mesure de la radioactivité dans l'environnement (RNM).

XI.2. DIFFUSION D'INFORMATION DANS LE CADRE DE TRAITES OU CONVENTIONS INTERNATIONAUX

L'action de l'IRSN en matière d'information sur la surveillance de la radioactivité de l'environnement peut s'opérer aussi dans le cadre international.

XI.2.1 LA DIFFUSION DES DONNEES DANS LE CADRE DU TRAITE EURATOM

Chaque année l'IRSN transmet à la Commission européenne, au nom de l'Etat français, environ 50 000 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 TELERAY. 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.cec.eu.int> permet de se connecter aux différentes bases de données de la Commission européenne pour en visualiser les résultats.

XI.2.1.1 LES DONNEES TRANSMISES A LA COMMISSION OSPAR

Depuis une quinzaine d'années, l'IRSN est impliqué dans les travaux de la Commission pour la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est, dite Commission OSPAR. L'Institut a fourni notamment 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 sont amenées à se poursuivre.

XII. GLOSSAIRE

Actinide : élément chimique du tableau périodique se situant entre l'actinium et le lawrencium, c'est-à-dire possédant un numéro atomique compris entre 89 et 103 inclus. L'uranium et le thorium sont des actinides d'origine naturelle. Le plutonium est un actinide d'origine artificiel.

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.

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.

ASN : Autorité de sûreté nucléaire.

ANDRA : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.

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.

Bruit de fond (bdf) : en métrologie 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 terme environnemental, 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.

CNPE : Centre nucléaire de production d'électricité.

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.

CSP : Code de la santé publique français.

DDASS : Direction départementale des affaires sanitaires et sociales.

DDSV : Direction départementale des services vétérinaires

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).

DGAL : Direction générale de l'alimentation.

DGCCRF : Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes.

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. 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.

DRASS : Direction régionale des affaires sanitaires et sociales.

EDF : Electricité de France.

Effluent : tout gaz ou liquide, qu'il soit radioactif ou non, issu des installations.

Emissaire : exutoire des effluents rejetés par une installation.

EURODIF : Usine européenne d'enrichissement de l'uranium par diffusion gazeuse.

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.

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.

HYDROTÉLÉRAY : réseau IRSN de mesure en continu in situ de l'activité gamma dans les principaux fleuves en aval des installations.

ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement.

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.

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 1200 isotopes créés artificiellement.

K : symbole de l'élément potassium. Il est exprimé généralement en mg/l (milligramme par litre). Un 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.

MES : matières en suspension.

Matrice : sous partie d'un compartiment (atmosphérique, terrestre, aquatique continental ou marin). Exemple : eau de pluie, sol, productions végétales, sédiments, mollusques...

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ONICG : Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures devenu France Agrimer en mars 2009.

OPERA-AIR : observatoire permanent de la radioactivité de l'environnement dans l'air regroupant des stations « AS » et « TGD ».

Période : (également appelé demi-vie) temps au bout duquel l'activité du radionucléide a diminué de moitié. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

Produits de fission : fragments de noyaux lourds produits par la fission nucléaire ou la désintégration radioactive ultérieure de nucléides formés selon ce processus.

Radioactivité : propriété de certains éléments dont les noyaux se désintègrent spontanément pour former d'autres éléments en émettant des rayonnements ionisants.

Radioélément : élément radioactif naturel ou artificiel.

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.

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.

SARA : Réseau IRSN de Surveillance automatisée de la radioactivité dans les aérosols.

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.

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.

Sr + TR : indice de radioactivité bêta global sur un précipité susceptible de contenir du strontium 90 et son descendant l'yttrium 90, du baryum et des terres rares.

Stérile minier : zone minérale dont l'exploitation est jugée non rentable en raison de sa faible concentration.

Station AS : Station de prélèvement d'aérosols au niveau du sol (Air au Sol).

Station TGD : Station de prélèvement d'aérosols à « Très Grand Débit ».

TÉLÉRAY : réseau IRSN de mesure en continu du débit de dose gamma ambiant.

TÉLÉHYDRO : réseau IRSN de mesure en continu de l'activité gamma dans les eaux usées de certaines agglomérations.

Transuraniens : élément chimique dont le numéro atomique est supérieur à celui de l'uranium (92). Ceux dont le numéro atomique est compris entre 93 et 118 sont tous des radioéléments.

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 »).

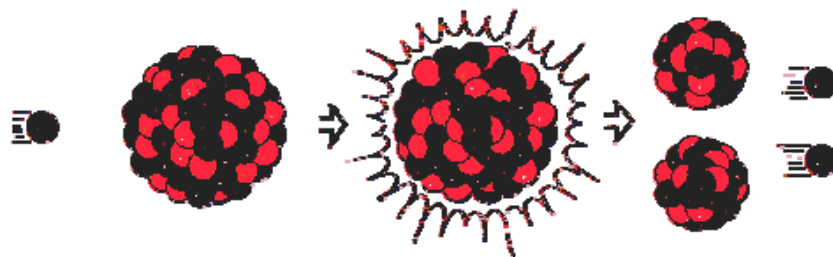
Yellow cake : concentré d'uranium (U_3O_8) produit en amont du procédé d'obtention de combustible nucléaire, après extraction du minerai.

XIII. ELEMENTS D'INFORMATION SUR LA RADIOACTIVITE ET LES RAYONNEMENTS IONISANTS

XIII.1. QU'EST-CE QUE LA RADIOACTIVITE ?

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis que les atomes se sont formés, il y a des milliards d'années, au commencement de l'univers. Tous les atomes sont bâtis sur le même modèle : un noyau formé de protons et de neutrons autour duquel gravitent des électrons. Tous n'ont pas les mêmes propriétés : certains types d'atomes sont stables et restent indéfiniment identiques à eux-mêmes, d'autres sont instables. Pour acquérir une meilleure stabilité, ces derniers expulsent à un moment donné une partie de la matière et de l'énergie qu'ils contiennent. On dit qu'ils émettent des rayonnements : c'est la radioactivité.

De cette manière le polonium 210 se transforme spontanément en plomb 206 stable. Certains éléments possèdent à la fois des isotopes stables et des isotopes instables. C'est par exemple le cas du carbone : le carbone 12, le plus courant, est stable, alors que le carbone 14 est radioactif. Les isotopes d'un élément ont des propriétés chimiques identiques mais diffèrent par leur masse atomique. D'autres éléments (28 sur les 109 connus actuellement) n'existent que sous forme d'isotopes radioactifs. Il s'agit par exemple de l'uranium, du plutonium et du radium.



Un atome peut fissionner soit de manière spontanée si son noyau est trop lourd, soit parce qu'il a été heurté par un neutron. Dans un réacteur nucléaire, les noyaux fissiles d'uranium subissent une réaction de fission (illustration ci-dessus) provoquée par bombardement de neutrons. Un des neutrons divise un noyau en deux autres noyaux, ce qui entraîne l'émission d'un ou plusieurs neutrons et la libération d'une très grande énergie sous forme de chaleur. Ces nouveaux neutrons vont provoquer d'autres réactions de fission, il s'agit donc d'une réaction en chaîne.

La fusion de deux atomes apparaît lorsque les noyaux de ces deux atomes sont suffisamment proches l'un de l'autre pour fusionner, c'est-à-dire pour former un unique noyau. Comme les noyaux ont une charge électrique positive, ils se repoussent mutuellement, ce qui les empêche de fusionner. Si ces atomes sont dans un milieu très chaud, ils auront des vitesses suffisamment élevées pour pouvoir fusionner avant d'être séparés par la répulsion électromagnétique. C'est pourquoi on parle de fusion thermonucléaire. Au cœur du soleil, la température est suffisamment élevée pour que des réactions de fusion nucléaire aient lieu : c'est ce qui fait briller le soleil, car ces réactions s'accompagnent de libération d'énergie. La fusion n'est pas encore utilisée pour produire de l'énergie car il est très difficile de faire un réacteur fonctionnant à la température nécessaire de plusieurs millions de degrés. Par contre, elle est utilisée dans les bombes H.

XIII.2. LA PERIODE RADIOACTIVE D'UN ELEMENT

L'activité radioactive d'un échantillon est déterminée par le nombre de noyaux qui s'y transforment en une seconde. Elle diminue avec le temps, suivant une courbe de décroissance radioactive. Cette courbe permet de définir la période radioactive de l'élément, qui correspond au temps au bout duquel l'activité de l'échantillon a diminué de moitié.

Exemples de périodes radioactives :

Uranium 238	: 4,47 milliards d'années
Hélium 6	: 0,82 seconde

XIII.3. D'OU VIENT LA RADIOACTIVITE ?

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. Depuis la production, en 1934, du premier noyau radioactif artificiel, une part de la radioactivité globale est d'origine artificielle. Les rayonnements émis par les rayonnements artificiels sont du même type que ceux émis par les radionucléides naturels.

XIII.3.1 LES SOURCES D'EXPOSITION NATURELLE

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. Certains se transforment toujours : c'est la radioactivité naturelle. Elle est également présente dans les organismes vivants : les tissus organiques et les os contiennent des éléments indispensables à la vie qui possèdent des isotopes radioactifs, comme le potassium 40 ou le carbone 14.

La radioactivité naturelle provient essentiellement de quatre sources :

⇒ LE RAYONNEMENT COSMIQUE

Le rayonnement cosmique provient de l'espace et augmente rapidement avec l'altitude (la couche atmosphérique protectrice devient moins épaisse). L'exposition passe de 0,5 mSv par an et par personne au niveau de la mer à 1,7 mSv par an et par personne à 4000 mètres d'altitude. A l'altitude de croisière d'un avion à réaction, le rayonnement cosmique est 150 fois plus élevé qu'au niveau de la mer (un vol Paris-Tokyo : 0,1 mSv ; un an à Paris : 0,7 mSv ; un an à la Paz : 2,7 mSv ; un jour à bord de Mir : 1 mSv).

⇒ LE RAYONNEMENT TELLURIQUE

Le rayonnement tellurique est émis par de nombreux éléments radioactifs présents dans l'écorce terrestre, comme l'uranium et le thorium. Il varie selon la nature du sol et change ainsi d'une région à l'autre : l'exposition passe de 0,5 mSv par personne et par an en moyenne dans le Bassin parisien à 1 mSv en Bretagne ou dans le Massif central contre 8 à 17,5 mSv dans certaines régions du Brésil.

⇒ L'AIR AMBIANT

Le radon (Rn) est omniprésent à la surface de la Terre. C'est un gaz rare radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium présent dans l'écorce terrestre. Sa concentration est variable selon la nature du sol, les matériaux de construction et la ventilation.

Il possède trois isotopes naturels (^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn) descendants des radionucléides présents dans les sols (^{235}U , ^{232}Th et ^{238}U). Le radon 222, descendant du radium 226 (^{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 (3,8235 jours) suffisamment longue pour lui permettre de migrer dans les sols, depuis la roche qui lui a donné naissance, jusqu'à l'atmosphère, où il peut s'accumuler dans les endroits confinés (caves, pièces mal ventilées, mines...).

En se désintégrant, le radon émet des particules alpha et engendre des descendants solides eux-mêmes radioactifs (polonium, bismuth, plomb,...). L'inhalation du radon et de ses descendants constitue, pour la population française, la première cause d'irradiation parmi les sources naturelles de rayonnements ionisants. C'est le risque de cancer du poumon qui motive la vigilance à l'égard du radon dans les habitations et les mines souterraines. L'équivalent de dose moyen dans les maisons françaises est de 1,4 mSv par personne et par an.

⇒ LES EAUX ET LES ALIMENTS

Les eaux et les aliments absorbés contiennent des éléments radioactifs. Après ingestion, ces éléments viennent se fixer dans les tissus et les os. Ainsi, l'organisme humain compte en moyenne 4500 Bq en potassium 40 et 3700 Bq en carbone 14. L'irradiation interne représente en moyenne 0,2 mSv par personne et par an.

XIII.3.2 LES SOURCES D'EXPOSITION PROVENANT DES APPLICATIONS DES RAYONNEMENTS IONISANTS

L'irradiation médicale constitue la source d'exposition la plus importante du fait du développement de la médecine nucléaire depuis les années 60 (radiothérapie et / ou radiodiagnostic) et des cures thermales (certaines eaux minérales sont riches en radium et en thorium). En France, une personne reçoit chaque année un équivalent de dose de 0,8 mSv. La moyenne mondiale est de 0,6 mSv par an et par personne.

Les applications techniques et industrielles constituent également une source de radioactivité. Les industries minières extractives, les retombées atmosphériques des essais militaires ou, plus quotidiennement, l'exposition aux rayonnements émis par les téléviseurs ou les écrans informatiques, entraînent un équivalent de dose de 0,1 mSv par personne et par an. L'ensemble des filières de production d'électricité d'origine nucléaire compte pour moins de 0,1 mSv par personne et par an en France.

XIII.4. LES RAYONNEMENTS IONISANTS

Les rayonnements 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.

XIII.4.1 LES DIFFERENTS RAYONNEMENTS IONISANTS

- Les rayonnements cosmiques ;
- Les ondes électromagnétiques les plus énergétiques, soit les rayonnements X et gamma. 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 2 protons et de 2 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 et/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. Les rayonnements neutroniques ont une énergie variable, il faut parfois recourir à des matériaux légers contenant notamment des atomes d'hydrogène pour les arrêter.

XIII.4.2 LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

L'homme est donc exposé en permanence à des rayonnements d'origine naturelle ou artificielle. Parmi les 340 atomes différents présents dans la nature, 70 sont radioactifs (on les appelle radionucléides) et sont présents dans tous les milieux de l'environnement. Les rayonnements ionisants sont émis lors de la désintégration de ces radionucléides qui donne naissance à de nouveaux éléments, radioactifs ou non. Ils se présentent sous la forme de particules (alpha, de neutrons ou de rayons bêta) ou de rayonnements électromagnétiques comme les rayons X et les rayonnements gamma, utilisés en médecine. Ils sont appelés ionisants car l'énergie qu'ils génèrent est suffisamment importante pour ioniser les molécules.

Cette énergie peut de même 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 molécules ou cellules d'organismes vivants.

- **Les effets immédiats** : Une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes.
- **Les effets à long terme** : 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. Ces effets se manifestent de façon aléatoire (que l'on ne peut pas prédire pour une personne donnée).

XIII.4.3 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** de l'homme aux rayonnements provoque une irradiation externe. Elle a lieu lorsque celui-ci 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. Elle cesse dès que l'on n'est plus sur la trajectoire des rayonnements,
- **L'exposition interne** (contamination interne) est possible lorsque des substances radioactives se trouvent à l'intérieur de l'organisme. Celles-ci provoquent une irradiation interne. Elles ont pu pénétrer par inhalation, par ingestion, par blessure de la peau, et se distribuent dans l'organisme. On parle de contamination interne. Celle-ci ne cesse que lorsque les substances radioactives ont disparu de l'organisme après un temps plus ou moins long par élimination naturelle et décroissance radioactive, ou par traitement.

XIV. NOTIONS DE RADIOPROTECTION

Trois unités principales sont utilisées en radioprotection, chacune servant respectivement à quantifier trois grandeurs qui dépendent de l'activité d'une source, de son énergie et des effets biologiques susceptibles d'être engendrés si une exposition à cette dernière se produit :

- **L'activité (A) :**

L'activité représente le nombre de désintégrations nucléaires qui ont lieu dans une quantité de matière donnée par unité de temps. Elle s'exprime en Becquerel (Bq) dans le système international : 1 Bq = une désintégration par seconde.

Le becquerel a remplacé le curie qu'il est encore possible de trouver dans la littérature. La valeur de 1 curie était définie comme l'activité de 1 g de radium, soit 37 milliards de désintégrations à la seconde, ce qui équivaut à 37 milliards de becquerels ($1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$).

- **La dose absorbée (H):**

Elle correspond à la quantité d'énergie (exprimée en joules) cédée par les particules ionisantes à une unité de masse (exprimée en kilogrammes) de la matière rencontrée. Le gray (Gy) est l'unité de mesure internationale de la dose absorbée. Il a été défini de la manière suivante : $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$. Le gray peut être utilisé pour exprimer la dose reçue de tous les types de rayonnements, dans n'importe quel milieu. Lorsqu'on exprime une dose en gray, on doit donc préciser le milieu dans lequel l'énergie est cédée.

Le gray par heure (Gy/h) permet de mesurer le **débit de dose absorbée**, c'est-à-dire l'énergie communiquée à un milieu par unité de temps. Le gray est une unité du Système international.

Le gray a remplacé le rad qu'il est encore possible de trouver dans la littérature. Les facteurs de proportionnalité sont les suivants :

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$
$$1 \text{ rad} = 10 \text{ mGy}$$

- **La dose équivalente (H) et la dose efficace (E) :**

La dose équivalente est égale à la dose absorbée multipliée par un facteur de pondération (W_R) qui tient compte du type de rayonnement (ex : 20 pour le rayonnement alpha et 1 pour les rayonnements bêta et gamma). Pour tenir compte des effets biologiques relatifs à chaque type de rayonnement, on exprime une dose équivalente, dont l'unité internationale est le sievert (Sv).

Le sievert a remplacé le rem qu'il est encore possible de trouver dans la littérature. Les facteurs de proportionnalité sont les suivants :

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$
$$1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$$

La **dose efficace** est une dose biologique très utilisée en radioprotection, qui sert à évaluer l'exposition d'une personne individuelle aux rayonnements. Elle tient compte de la sensibilité des tissus affectés. L'unité de dose efficace est le sievert comme pour la dose équivalente.

XV. EXPRESSION DES RESULTATS SOUS FORME DE VALEURS MOYENNES

Pour restituer dans ce bilan ses mesures de la radioactivité dans l'environnement de manière plus synthétique et représentative, l'IRSN a choisi d'exprimer dorénavant les résultats acquis annuellement sous la forme d'un estimateur unique qui tient compte de toutes les valeurs acquises en un point au cours de l'année écoulée, y compris des valeurs inférieures aux limites de détection. 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 (u_m).

La méthode consiste à prendre les valeurs significatives avec leur incertitude associée et à substituer aux valeurs dites inférieures à la limite de détection ($< Y$), une valeur Y associée à une incertitude de $Y/2$.

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 :

$$\text{Moyenne pondérée : } m = \sum_i \frac{1}{u_i^2} Y_i / \left(\sum_i \frac{1}{u_i^2} \right)$$

$$\text{avec comme incertitude : } u_m = \sqrt{1 / \left(\sum_i \frac{1}{u_i^2} \right)}$$

A titre d'exemple, si l'on dispose des résultats de mesures ci-dessous :

échantillon	résultat	incertitude	unité
A1	130	20	Bq/l
A2	140	10	
A3	<160		

Le tableau des résultats pour le calcul de la moyenne pondérée est le suivant :

échantillon	résultat	incertitude	unité
A1	130	20	Bq/l
A2	140	10	
A3	160	80	

Le calcul de cette moyenne s'exprime de la façon suivante :
$$m = \frac{\left(\frac{130}{20^2} + \frac{140}{10^2} + \frac{160}{80^2} \right)}{\left(\frac{1}{20^2} + \frac{1}{10^2} + \frac{1}{80^2} \right)} = 138$$

L'incertitude associée est :
$$u_m = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{20^2} + \frac{1}{10^2} + \frac{1}{80^2} \right)}} = 9$$

La moyenne pondérée correspondant aux 3 mesures A1, A2 et A3 est donc égale à 138 ± 9 Bq/l

XVI. REFERENCES

- [1]: Bilan radiologique de l'environnement français - synthèse des résultats de surveillance des réseaux de surveillance de l'IRSN, Rapports IRSN/DEI/SESURE 2005-33 (2004), 2007-30 (2005), 2007-72 (2006) et 2008-48 (2007).
- [2]: Bouisset P., 2008, Surveillance de la radioactivité en Polynésie française - Année 2007, Rapport IRSN/DEI/SESURE 2008-54.
- [3]: Duffa C., Masson O., Gontier G., Claval D., Renaud P., 2004. Synthèse des études radioécologiques annuelles. Radioprotection Vol 39 - n°2.
- [4]: Renaud P., 2009, La radioactivité de l'environnement : le bruit de fond et ses origines ; l'influence du fonctionnement normal actuel des installations nucléaires, congrès SFRP Angers juin 2009.
- [5]: Radioactivité d'origine naturelle dans l'environnement en France, niveaux non perturbés par l'homme, rapport DPRE/SERNAT 2001-11, 45p.
- [6]: IRSN fiches « radionucléide et environnement » - IRSN/DEI/SECURE - disponibles sur le site IRSN (http://www.irsn.fr/FR/larecherche/Information_scientifique/Publications_Documentation/Pages/Documentation-scientifique-2514.aspx)
- [7]: Renaud P., Champion D., Brenot J., 2007, Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français, éditions LAVOISIER.
- [8]: Rannou A., Aubert B., Schnaff P., 2006, Exposition de la population française aux rayonnements ionisants, Rapport IRSN/DRPH/SER 2006-02.
- [9]: Renaud P., Chaptal-Gradoz N., 2009, Etat de la radioactivité en France de nos jours et son évolution sur les cinquante dernières années dans les différents compartiments de l'environnement : synthèse pour la branche informative du portail environnement [irsn.org/environnement](http://www.irsn.org/environnement), Rapport IRSN/DEI/SESURE 2009-25 (publication à venir).
- [10]: Roussel-Debet S. P., 2009, Résultats des mesures acquises en 2008 sur la région Bretagne, Rapport IRSN DEI/SESURE/2009-10.
- [11]: Inventaire national des sites miniers - septembre 2007 - version 2 réalisé dans le cadre du programme MIMAUSA (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) - Rapport IRSN/MEEDDAT
- [12]: Pourcelot L., 2008, Etude radioécologique de l'environnement du site de Malvési (société COMURHEX), Rapport IRSN/DEI/SESURE 2008-20.
- [13]: Pourcelot L., 2009, Bilan radioécologique de l'environnement du site de Malvési, Étude complémentaire menée en 2008, Rapport IRSN/DEI/SESURE 2009-19.
- [14]: Pierrard O., Les rejets en tritium par les installations nucléaires françaises, 2008, Note technique IRSN/DEI/SESURE 2008-49.



IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

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
B.P. 17
92262 Fontenay-aux-Roses Cedex

Site Internet
www.irsn.fr

Direction de l'environnement
et de l'intervention
31, rue de l'écluse
B.P. 40035
78116 Le Vésinet Cedex

Téléphone
+33 (1)30 15 52 00