

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

La mesure de la radioactivité dans le bassin versant de la Loire

Acteurs, réseaux, inventaire des données



ACTION PILOTE ENVIRONNEMENT LOIRE (APEL)



Document réalisé sous
système de management
de la qualité certifié

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'INTERVENTION

Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement

Demandeur	IRSN
Référence de la demande	Action pilote surveillance de l'environnement
Numéro de la fiche programme	Projet 3.1.1
Processus de rattachement	R5 - 3

La mesure de la radioactivité dans le bassin versant de la Loire

acteurs, réseaux, inventaire des données

APEL

Action pilote environnement Loire

Rapport DEI/SESURE n° 2008 - 25

	Réservé à l'unité			Visas pour diffusion	
	Auteur(s)	Vérificateur(s) *	Chef du LVRE	Chef du SESURE	Directeur DEI
Noms	F. Leprieur		N. Chaptal-Gradoz	JM. Peres	D. Champion
Dates	30/03/2008		01/04/2008	08/04/08	22/04/08
Signatures					

DIFFUSION : Libre Interne Limitée

* si nécessaire

LISTE DES PARTICIPANTS IRSN / LVRE

Nom	Organisme
N. CHAPTAL-GRADOZ	IRSN / DEI / SESURE
F. CHITRY	
D. D'AMICO	
C. DEBAYLE	
F. LEPRIEUR	

Sommaire

1 ORIGINE DE L’ACTION PILOTE SUR LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L’ENVIRONNEMENT DANS LE BASSIN DE LA LOIRE	1
1.1 ORIGINE DE L’ACTION PILOTE	1
1.2 INVENTAIRE DES DONNEES EXISTANTES	2
2 LE RESEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITE DE L’ENVIRONNEMENT	2
2.1 OBJECTIFS DU RESEAU NATIONAL.....	2
2.2 ORIGINE DES DONNÉES DU RÉSEAU NATIONAL DE MESURES	3
3 PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE.....	4
3.1 GENERALITES	4
3.2 HYDROLOGIE DE LA LOIRE.....	6
3.3 LA QUALITE DE L’EAU	7
3.3.1 Pollution agricole	7
3.3.2 Pollution urbaine et industrielle	7
3.4 ENVIRONNEMENT.....	7
3.5 LES PRINCIPAUX USAGES DE L’EAU	8
3.5.1 Les usages non-consommateurs d’eau	8
3.5.2 Les usages consommateurs d’eau.....	9
4 SYNTHESE ET HISTORIQUE DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE.....	10
4.1 LES CENTRES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D’ELECTRICITE.....	10
4.1.1 Le CNPE de Belleville-sur-Loire	11
4.1.2 Le CNPE de Dampierre-en-Burly	11
4.1.3 Le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux.....	11
4.1.4 Le CNPE de Chinon	12
4.1.5 Le CNPE de Civaux.....	13
4.2 LES AUTRES INSTALLATIONS	13
4.2.1 Les sites inscrits à l’inventaire national des déchets radioactifs de l’Andra	13
4.2.2 Le programme MIMAUSA	16
4.2.3 Les services de médecine nucléaire.....	17

5 ELEMENTS METHODOLOGIQUES POUR LA JUSTIFICATION DU CHOIX DES STATIONS DE SURVEILLANCE ET DES PRELEVEMENTS ASSOCIES	18
5.1 CHOIX DES STATIONS DE PRELEVEMENTS	18
5.1.1 Milieu terrestre	18
5.1.2 Milieu aquatique continental	20
5.1.3 Milieu marin	20
5.2 CHOIX DES MATRICES ENVIRONNEMENTALES	20
5.2.1 Milieu terrestre	21
5.2.2 Milieu aquatique continental	22
5.2.3 Milieu marin	23
6 LES ACTEURS DE LA MESURE DE RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT DU BASSIN DE LA LOIRE	24
6.1 L'IRSN	24
6.1.1 Présentation de l'IRSN	24
6.1.2 Les objectifs de la veille radiologique exercée par l'IRSN	24
6.1.3 Les moyens et les réseaux	25
6.2 EDF	27
6.2.1 La surveillance réglementaire	27
6.2.2 Les bilans radioécologiques	28
6.3 AREVA NC	28
6.4 LES ASSOCIATIONS AGREES POUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR	30
6.4.1 Présentation du dispositif ATMO	30
6.4.2 Les AASQA effectuant des mesures de radioactivité	30
6.4.3 Lig'Air	31
6.4.4 Air Pays de la Loire	32
6.4.5 LIMAIR	32
6.4.6 ATMO Auvergne	32
6.5 CONTROLE DES DENREES ALIMENTAIRES PAR LES SERVICES DE L'ETAT	33
6.5.1 La DGAL, l'AFSSA et les DDSV : contrôle des denrées alimentaires d'origine animale et végétale	33
6.5.2 La DGCCRF et ses laboratoires régionaux : contrôle des denrées alimentaires d'origine végétale	35
6.6 LES AUTRES ACTEURS POTENTIELS	36
6.6.1 Les laboratoires départementaux d'analyses	36
6.6.2 Les autres laboratoires agréés	36
6.7 SYNTHESE SUR LES ACTEURS DE LA MESURE	37

7 INVENTAIRE DES DONNEES DE RADIOACTIVITE DISPONIBLES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA LOIRE	38
7.1 LE MILIEU ATMOSPHERIQUE	38
7.1.1 L'air	38
7.1.2 Les aérosols atmosphériques	51
7.1.3 Les eaux de pluie	59
7.2 LE MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL	60
7.2.1 Les eaux de surface	60
7.2.2 Les sédiments et les matières en suspension	66
7.2.3 Les végétaux aquatiques	69
7.2.4 Les poissons	73
7.3 LE MILIEU AQUATIQUE MARIN	76
7.4 LE MILIEU TERRESTRE	77
7.4.1 Les eaux (boisson, irrigation, souterraines).....	77
7.4.2 Les sols	80
7.4.3 Les végétaux (herbes et bryophytes).....	83
7.5 LA CHAINE ALIMENTAIRE.....	87
7.5.1 Le lait.....	87
7.5.2 Les autres productions animales	92
7.5.3 Les productions végétales (légumes, cereales, champignons)	94
7.6 LA MEDECINE NUCLEAIRE	96
8 SYNTHESE	98
9 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	101
10 GLOSSAIRE.....	103
11 ANNEXES	106

1 ORIGINE DE L'ACTION PILOTE SUR LA SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DANS LE BASSIN DE LA LOIRE

1.1 ORIGINE DE L'ACTION PILOTE

L'enquête menée pour l'Association nationale des commissions locales d'information (ANCLI) et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) en 2004 auprès de Commissions locales d'information (CLI) et d'experts de l'IRSN, a mis en évidence l'intérêt d'engager des actions entre les CLI et l'IRSN sur la question de la surveillance radiologique de l'environnement [1]. Les discussions du séminaire ANCLI/IRSN du 24 mars 2004 sur les résultats de cette enquête ont confirmé le besoin pour les acteurs locaux de disposer, à partir des données existantes, d'une information intelligible, mieux en mesure de répondre aux questions qu'ils se posent sur la qualité de leur environnement [2]. Ce constat est à mettre en perspective avec la mission, confiée à l'IRSN, de développer une base de données rassemblant les mesures de la radioactivité dans l'environnement et de préparer chaque année un rapport sur la qualité radiologique de l'environnement [3].

Dans cette perspective, l'IRSN a souhaité engager une réflexion avec des acteurs locaux sur l'usage « local » des mesures disponibles sur la qualité radiologique de l'environnement. Cette initiative a été baptisée « Action pilote environnement Loire » (APEL). Cette réflexion vise, entre autres, à identifier les attentes des CLI en matière de restitution de données, notamment pour les informations contenues dans la base de données du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement, lorsque celui-ci sera opérationnel.

La première phase de cette action pilote a été engagée auprès de la CLI de Saint-Laurent-des-Eaux en juillet 2005. Elle a consisté à présenter les résultats de l'enquête sur les attentes des CLI en matière de surveillance de l'environnement. Dans cette présentation, l'IRSN a exposé la nécessité pour le Réseau national de connaître les attentes locales afin d'identifier de quelle manière une telle base de données rassemblant les mesures existantes, peut les restituer utilement au regard de ces attentes.

En décembre 2005 et janvier 2006, l'IRSN a rencontré les CLI de Dampierre-en-Burly et de Belleville-sur-Loire pour les informer de la démarche en cours, leur faire état des avancements, et proposer une poursuite dans le cadre d'une coopération entre les CLI concernées (Saint-Laurent-des-Eaux, Dampierre-en-Burly, Belleville-sur-Loire).

1.2 INVENTAIRE DES DONNEES EXISTANTES

La deuxième phase de cette action pilote a eu pour objet de réaliser un inventaire des données existantes. La démarche d'inventaire a été définie en concertation avec les CLI. Il s'agissait notamment d'identifier les organisations qui, au niveau territorial, étaient susceptibles de produire des données (laboratoires départementaux, associations, Agence de l'eau...).

Suite à la réunion avec la CLI de Saint-Laurent-des-Eaux, première rencontre dans le cadre de l'action pilote, quelques éléments d'information ont été souhaités, principalement en termes de chroniques disponibles, d'évolution de la radioactivité dans le bassin versant de la Loire, d'impact sanitaire et de bioindicateurs de référence. L'IRSN a proposé à la CLI d'apporter des réponses concrètes sur ces points en commençant par montrer ce que les différents réseaux de mesures pouvaient apporter localement.

L'IRSN a ainsi produit un premier document de synthèse réunissant l'ensemble des informations disponibles en matière de mesure de la radioactivité de l'environnement autour du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux ainsi qu'une cartographie des producteurs de mesures [4].

La réunion du groupe de travail de l'APEL du 12 juillet 2006 a été l'occasion, entre autres, de proposer la rédaction d'un rapport sur le bassin versant de la Loire dans l'objectif d'élargir à toutes les installations nucléaires du bassin la démarche entreprise pour le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux, en s'appuyant sur l'ensemble des acteurs effectuant des mesures de radioactivité dans l'environnement.

Ce document doit permettre d'engager les réflexions avec les membres des CLI sur les indicateurs de référence pertinents, ainsi que sur les explications à développer pour accompagner ces mesures, éléments d'information indispensables à leur compréhension.

2 LE RESEAU NATIONAL DE MESURES DE LA RADIOACTIVITE DE L'ENVIRONNEMENT

2.1 OBJECTIFS DU RESEAU NATIONAL

Créé par l'article R.1333-11 du code de la santé publique, l'arrêté du 27 juin 2005, abrogeant celui du 17 octobre 2003, constitue l'acte de naissance du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement [3], dénommé ci-après Réseau national.

Le Réseau national a pour mission de contribuer à l'estimation des doses dues aux rayonnements ionisants auxquels la population est exposée du fait de l'ensemble des activités, et à l'information du public [5].

Le Réseau national rassemble et met à la disposition du public :

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

Il répond à deux objectifs majeurs :

- assurer la transparence des informations sur la radioactivité de l'environnement en mettant à disposition du public les résultats et des informations sur l'impact sanitaire du nucléaire en France ;
- poursuivre le développement d'une politique qualité pour les mesures de radioactivité dans l'environnement, par l'instauration d'un agrément des laboratoires, délivré par arrêté conjoint des ministres chargés de la santé et de l'environnement.

Le Réseau national est développé sous l'égide de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en coordination avec l'IRSN et les acteurs du réseau comprenant des représentants des principaux ministères, des agences sanitaires, des industriels du nucléaire et des associations de protection de l'environnement et des consommateurs. La mise à disposition des données collectées par le Réseau national vers les administrations responsables des activités nucléaires et le public est assurée par l'IRSN. Les rapports de synthèse sur l'état radiologique de l'environnement et sur l'évaluation de l'impact des activités nucléaires sont rendus publics sur les sites Internet de l'ASN et de l'IRSN, ainsi que sur le propre site Internet du Réseau national [6]. En 2007, l'IRSN a finalisé les dossiers de spécification constituant le recueil des exigences validées par la maîtrise d'ouvrage qui seront utilisés en 2008 pour la phase de conception et de validation du système d'information du Réseau national. Le démarrage de la collecte des données est programmé pour le premier semestre 2009. La mise en ligne publique du système interviendra début 2010.

2.2 ORIGINE DES DONNÉES DU RÉSEAU NATIONAL DE MESURES

Les données qui sont intégrées dans le Réseau national proviennent :

- **des laboratoires agréés des exploitants nucléaires** et concernent leurs programmes réglementaires de surveillance de l'environnement (EDF, AREVA NC, CEA, ANDRA,...) ;
- **des laboratoires de l'IRSN** : réseaux d'alerte (Téléray), réseaux de surveillance de la radioactivité autour des sites nucléaires (contrôle des exploitants) et dans l'environnement ;
- **des laboratoires agréés rattachés à des administrations, des agences sanitaires, des collectivités territoriales ou effectuant des mesures de radioactivité pour leur compte**, en particulier celles relatives au contrôle des eaux de consommation par les laboratoires agréés du ministère chargé de la santé, contrôle sur les denrées alimentaires de la DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes), de la DGAL (Direction générale de l'alimentation), contrôle sur l'air des AASQA (Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air) ;

- de tout laboratoire agréé ou de l'organisme commanditaire de ses mesures de radioactivité dans l'environnement, qui demanderait à publier ses résultats de mesure sur le Réseau national : associations de protection de l'environnement, universitaires, industriels, ...

Ces données sont donc issues de contrôles réglementaires, d'expertises et de contre-expertises (indépendantes ou non des structures de l'Etat), ou de programmes de recherche qui peuvent être menés par les acteurs autour des installations nucléaires de base ou dans l'environnement en général.

3 PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE

3.1 GENERALITES

Longue de plus de 1000 km, la Loire est le fleuve le plus long et le plus irrégulier de France. Son bassin versant comprend 1/5 du territoire national (Figure 1). Il naît au Mont Gerbier-de-Jonc à 1400 m d'altitude et se jette dans l'Atlantique en formant un estuaire. Le fleuve traverse 5 régions (Auvergne, Bourgogne, Centre, Pays de Loire et Rhône-Alpes) et 12 départements (Ardèche, Haute Loire, Loire, Saône et Loire, Allier, Nièvre, Cher, Loiret, Loir-et-Cher, Indre et Loire, Maine-et-Loire et Loire-Atlantique) [7].

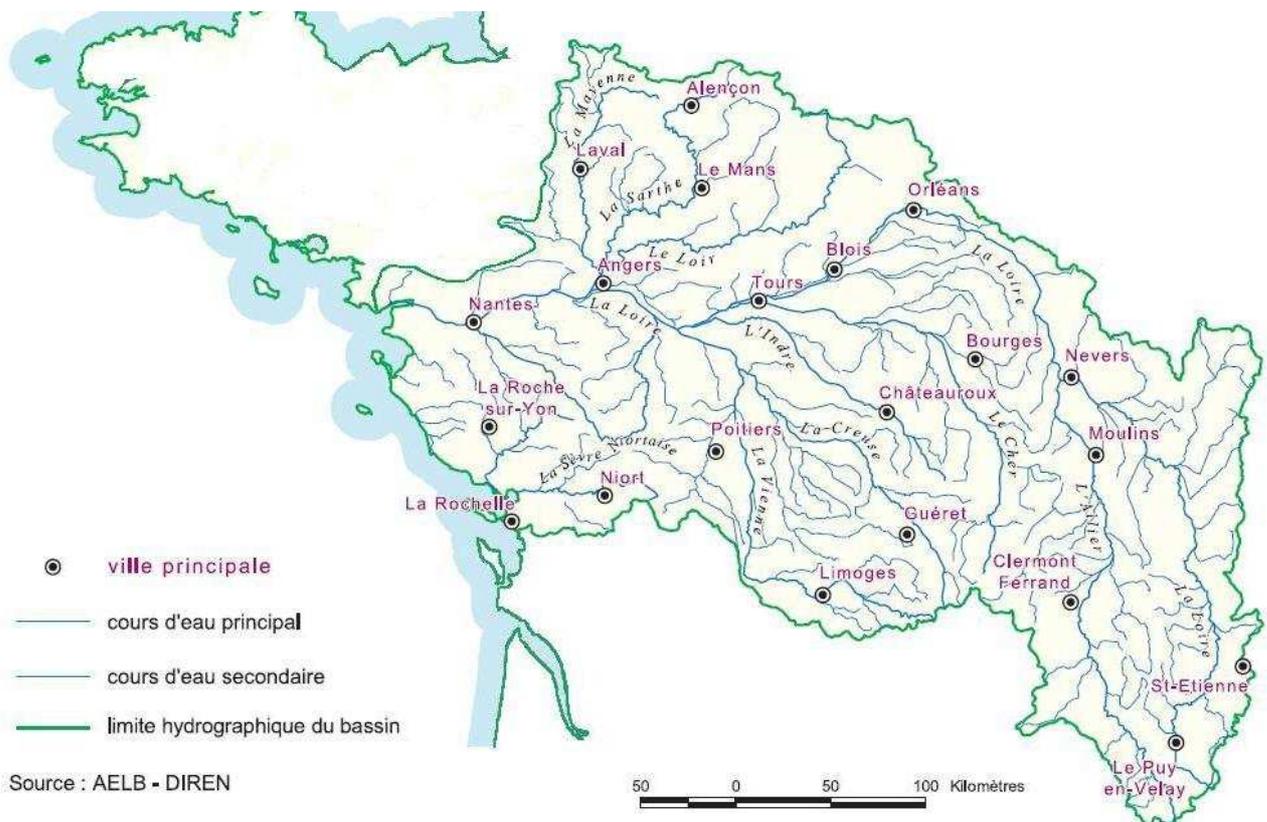


Figure 1 : emprise géographique du bassin versant de la Loire

Le bassin versant couvre 4 régions de plus (Languedoc-Roussillon, Limousin, Poitou-Charentes, et Basse-Normandie) et 26 départements au total (Figure 2). C'est un bassin peu urbanisé dont les principales agglomérations sont Nantes, Angers, Tours, Orléans et Saint-Étienne. Ces villes sont toutes situées au bord de la Loire qui constitue un axe d'attraction.

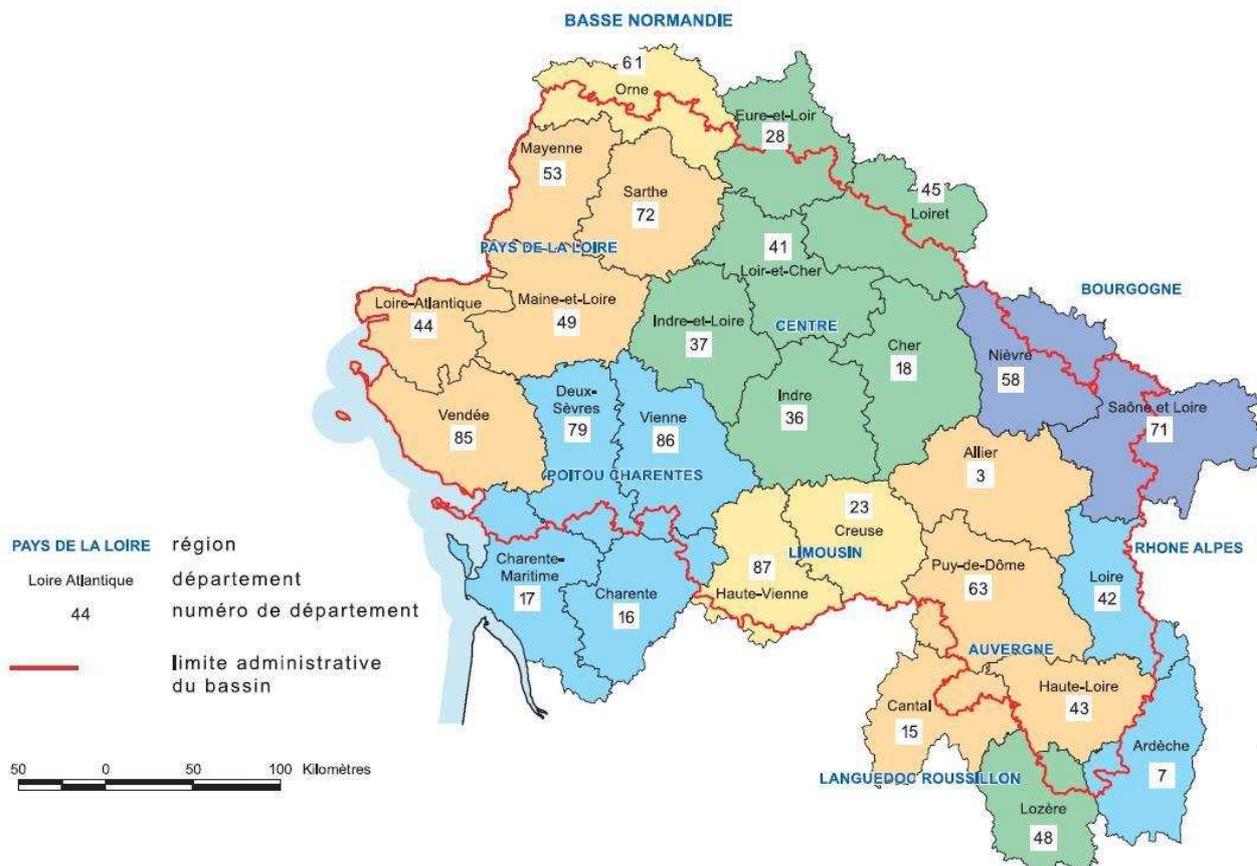


Figure 2 : emprise administrative du bassin versant de la Loire

Au cours de ces dernières années, la densité de population a augmenté dans les zones fortement urbanisées, notamment le long des axes hydrauliques, et a décliné dans les zones de densité faible, comme le massif central. Les tableaux I et II détaillent les caractéristiques du bassin et de la Loire.

Tableau I : Caractéristiques de la Loire

Longueur	1012 km
Pente	2,7 ‰ de la source au bec d'Allier, puis 0,43 ‰ de Nevers à Nantes
Largeur au point le plus aval	1,8 km
Population des communes riveraines	> 4 millions
Densité de population des communes riveraines	> 100 hab/km ²
Nombre de communes traversées	> 700
Nombre de départements traversés	12
Nombre de régions traversées	5

Tableau II : Caractéristiques du bassin versant de la Loire

Surface de bassin versant	117 000 km ²
Linéaire total des affluents	40 000 km
Nombre de départements concernés	26
Nombre de régions concernées	9

3.2 HYDROLOGIE DE LA LOIRE

La Loire a un régime irrégulier qui peut présenter de fortes crues dues aux influences climatiques qu'elle subit (atlantiques et méditerranéennes), et des étiages sévères. De sa naissance au Mont Gerbier-de-Jonc jusqu'à sa confluence avec l'Allier, la Loire a un régime hydraulique pluvio-nival, renforcé par de petits affluents qui lui confèrent un débit important. La Loire et l'Allier ont un régime équivalent puisque cette rivière lui apporte 45% de ses eaux. En Loire moyenne, les apports sont quasi inexistant sur 300 km, jusqu'à la confluence avec le Cher. Viennent ensuite l'Indre, la Vienne et la Maine [8] (Figure 3).

Ces affluents lui confèrent un débit moyen dans la partie la plus aval de 870 m³/s. Les principaux lacs du bassin sont artificiels, en majorité des retenues hydroélectriques ou de régulation des débits qui sont concentrées essentiellement sur les régions Auvergne et Limousin. Le soutien d'étiage est assuré sur la Loire par la retenue de Villerest et sur l'Allier par la retenue de Naussac, dont les consignes de gestion sont établies par le Centre de gestion des crues et des étiages d'Orléans.

Figure 3 : La Loire et ses principaux affluents (en rose : limite du bassin versant)



3.3 LA QUALITE DE L'EAU

La qualité des eaux de la Loire est globalement médiocre et peut devenir insuffisante dans les zones conchylicoles et les zones de baignade. Les pollutions, dues aux activités économiques du bassin, à dominante agricole, sont essentiellement des pollutions organiques qui entraînent des phénomènes d'eutrophisation. Le développement d'algues se produit tout le long de la Loire, ce phénomène étant particulièrement accentué dans les retenues [8] [11].

3.3.1 POLLUTION AGRICOLE

La concentration en nitrates est relativement faible en amont mais augmente très rapidement quand arrivent les premiers élevages et leurs rejets. L'agriculture étant présente sur tout le bassin, elle génère une importante pollution diffuse, notamment dans les secteurs du bassin de la Maine, de la région de la Beauce et de la Champagne berrichonne. Outre les nitrates, l'agriculture entraîne aussi de fortes concentrations en pesticides, posant problème, notamment pour les captages d'eau potable [11].

3.3.2 POLLUTION URBAINE ET INDUSTRIELLE

La pollution urbaine du bassin de la Loire est modérée compte tenu de la taille moyenne des agglomérations. Malgré 70% de taux de collecte, l'assainissement reste encore globalement insuffisant aujourd'hui, notamment dans l'agglomération stéphanoise. La population étant en croissance dans les zones urbanisées, la situation risque de ne s'améliorer que lentement. Les principaux rejets polluants industriels sont essentiellement organiques, d'origine agro-alimentaire, et sont majoritairement localisés sur l'Ouest et le Centre du bassin [11].

63 points de contrôle de la qualité existent sur le bassin versant de la Loire, qui sont gérés par l'Agence de l'eau Loire - Bretagne et les DIREN (Directions régionales de l'environnement).

3.4 ENVIRONNEMENT

La Loire et son bassin versant constituent un ensemble exceptionnel, abritant des habitats et des espèces à très grande valeur patrimoniale, dont la conservation constitue aujourd'hui une priorité internationale. Le bassin présente également des enjeux en termes de paysages, de préservation de la qualité de l'eau et de gestion des crues. A travers ses actions en faveur de la biodiversité, le programme Loire grandeur nature contribue fortement à ces thèmes [9].

En 1994, l'Etat a lancé ce programme pour une durée de 10 ans qui marquait une nouvelle approche en matière de gestion de fleuve (Figure 4). En 1999, en lien avec les collectivités territoriales, ses 4 priorités ont été réaffirmées :

- sécurité des populations face aux risques d'inondation ;
- amélioration de la gestion de la ressource en eau ;
- restauration des espaces naturels et ruraux ;
- mise en valeur du patrimoine naturel, paysager et culturel des vallées ligériennes.

Ce plan constitue l'un des plus gros programmes de restauration d'un fleuve jamais engagé. Son objectif est notamment d'assurer, sur des sites exemplaires et pilotes, la préservation et la gestion durable des écosystèmes ligériens (tourbières, gorges, forêts alluviales) afin de maintenir leurs différentes fonctions écologiques : biodiversité, ressource en eau, zones d'expansion des crues... [10] [11].

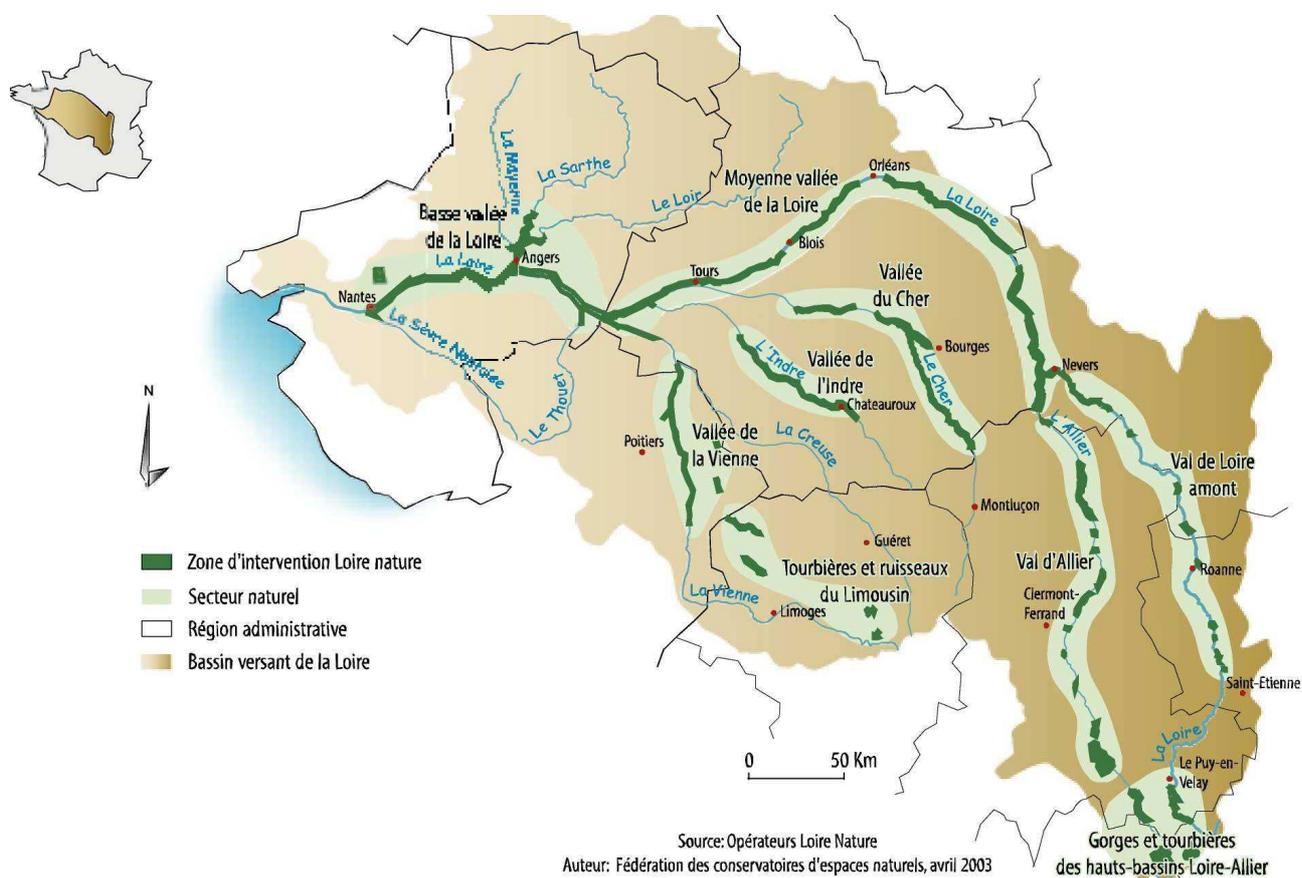


Figure 4 : Zones d'intervention du plan Loire Grandeur Nature par secteurs naturels

3.5 LES PRINCIPAUX USAGES DE L'EAU

3.5.1 LES USAGES NON-CONSOMMATEURS D'EAU

Hydroélectricité

On recense 4 barrages hydroélectriques sur la Loire, et 24 sur le bassin, qui sont gérés par EDF. Ils correspondent à une puissance utile de 611 MW. Ces barrages peuvent entraîner des difficultés de gestion de la ressource en eau lors des vidanges qui provoquent une dégradation de la qualité [7].

La navigation touristique

Elle est faiblement développée sur le bassin versant de la Loire, mais tend à se développer sur les canaux (réhabilitation par les Voies navigables de France et par certains départements) et sur des biefs du fleuve. Cette activité est gênée par les nombreux bancs de sable [7].

Les loisirs nautiques

Le canoë-kayak, le raft, la voile, le ski nautique sont pratiqués sur certains tronçons de la Loire et ses principaux affluents ou sur des plans d'eau. Les activités itinérantes sont limitées par les nombreux obstacles que constituent les seuils (barrages hydroélectriques notamment). La baignade est parfois pratiquée sur l'axe, les affluents et dans certaines retenues [7].

La pêche professionnelle et de loisirs

100 pêcheurs professionnels pratiquent principalement leur activité dans l'estuaire et en basse Loire. L'anguille constitue les 3/4 du chiffre d'affaire. Le reste provient de la lamproie et des autres poissons migrateurs. 303 000 pêcheurs de loisirs sont décomptés sur l'axe et ses principaux affluents. La salmoniculture est également présente sur la Loire [7].

3.5.2 LES USAGES CONSOMMATEURS D'EAU

L'irrigation

Les pompages s'effectuent en majorité dans les nappes souterraines, et sont concentrés dans les Régions de la Beauce et de la Champagne berrichonne, où les cultures céréalières sont les plus développées. Ces prélèvements sont essentiellement effectués durant la période d'étiage. Ces pompages rencontrent cependant des problèmes quantitatifs [7].

L'alimentation en eau potable (AEP)

Les pompages pour l'alimentation en eau potable s'effectuent en eau souterraine, et de plus en plus en eau de surface. On constate sur le bassin des problèmes de qualité de l'eau pompée, les eaux souterraines sont en effet souvent polluées par les nitrates, mais aussi par des pollutions bactériologiques et par des pesticides (atrazine) [7].

Les pompages industriels

Les prélèvements industriels sont moins importants et sont en majorité réservés à l'agroalimentaire et effectués en eaux souterraines [7].

Centrales nucléaires

On recense 4 centrales sur l'axe Loire, et une sur la Vienne. Elles représentent une dérivation de 2500 millions de m³/an d'eau de surface pour une puissance de production de 12 725 MW. 150 millions de m³/an sont consommés par évaporation. Cette utilisation d'eau provoque un réchauffement des eaux à l'aval des centrales. L'objectif de soutien d'étiage de 60 m³/s à Gien est réalisé par les barrages de Villerest et Naussac qui participent au bon fonctionnement des centrales en Loire moyenne (eau de refroidissement et débit de dilution) [7].

4 SYNTHÈSE ET HISTORIQUE DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES DU BASSIN VERSANT DE LA LOIRE

4.1 LES CENTRES NUCLEAIRES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Dès le début du 20^{ème} siècle, des installations hydroélectriques ont été implantées sur des affluents de la Loire, notamment sur la Sioule, le Cher, la Vienne et surtout la Creuse qui a joué, dès les années 1930, un rôle fondamental dans l'interconnexion de la région parisienne avec les usines du Massif Central.

Après la Seconde Guerre Mondiale, des aménagements hydroélectriques plus conséquents sont réalisés comme à Montpezat sur la haute Loire et Grangent près de Saint-Étienne. Des aménagements thermiques, utilisant du charbon ou du fioul, se succèdent dans l'estuaire : Chantenay puis Cheviré et enfin Cordemais.

Dans les années 60, l'utilisation de l'atome pour la production d'électricité débute à Chinon.



Figure 5 : Centres nucléaires de production d'électricité de la Loire et de la Vienne

On recense 4 centres nucléaires de production d'électricité (CNPE) sur l'axe Loire, et une sur la Vienne (Figure 5). De l'amont vers l'aval de la Loire, il s'agit des CNPE de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon.

Sur la Vienne se trouve la plus récente centrale nucléaire construite en France, le CNPE de Civaux [12].

4.1.1 LE CNPE DE BELLEVILLE-SUR-LOIRE

Le Centre nucléaire de production d'électricité de Belleville-sur-Loire (Figure 6) est situé en rive gauche de la Loire, entre Cosne-sur-Loire et Gien.

Il se compose de deux tranches de 1300 MWe (mégawatt électrique) de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP), couplées au réseau entre 1987 et 1988.



Figure 6 : CNPE de Belleville-sur-Loire (© EDF)

4.1.2 LE CNPE DE DAMPIERRE-EN-BURLY

Le Centre nucléaire de production d'électricité de Dampierre-en-Burly (Figure 7) est situé en rive droite de la Loire, sur la commune de Dampierre-en-Burly à 10 km en aval de Gien et à 50 km en amont d'Orléans, soit à 40 km en aval du CNPE de Belleville-sur-Loire.

Il se compose de quatre tranches de 900 MWe de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP), couplées au réseau entre 1980 et 1981.

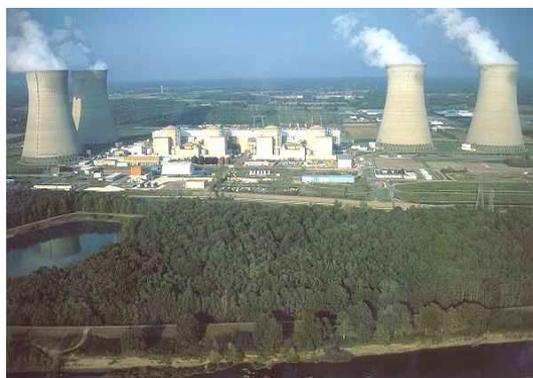


Figure 7 : CNPE de Dampierre-en-Burly (© EDF)

4.1.3 LE CNPE DE SAINT-LAURENT-DES-EAUX

Plusieurs types d'installations sont présents sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux (Figure 8), certains en exploitation, d'autres en cours de démantèlement.

Le site comporte deux tranches en exploitation du type REP, d'une puissance de 900 MWe dont le démarrage a eu lieu respectivement en 1980 et 1981.

D'autre part le site comprend des installations à l'arrêt et en cours de démantèlement de deux réacteurs de la filière UNGG (uranium naturel-graphite-gaz).



Figure 8 : CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux (© EDF)

Ces deux réacteurs dénommés A1 et A2 ont été autorisés par décret le 22 novembre 1968. Ils ont été respectivement mis en service en 1969 et 1970 puis exploités jusqu'en 1990 et 1992. Ils ont été mis définitivement à l'arrêt par décret du 11 avril 1994.

Depuis 2001, EDF a entrepris un important programme de démantèlement complet des réacteurs de première génération. La fin des opérations de démantèlement des deux réacteurs de Saint-Laurent « A » est prévue à l'horizon 2025 - 2028.

4.1.4 LE CNPE DE CHINON

Le Centre nucléaire de production d'électricité de Chinon-Avoine est situé en rive gauche de la Loire, sur la commune d'Avoine, à 8 km de Chinon et 30 km de Saumur. Il est situé à l'aval des CNPE de Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly et Saint-Laurent-des-eaux. Saint-Laurent-des-eaux, le plus proche est à 120 km en amont.

Le CNPE de Chinon se compose de quatre tranches (B1 à B4) de 900 MWe de la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée, respectivement couplées au réseau en 1982, 1983, 1986 et 1987. Le site comprend également trois tranches de la filière des réacteurs Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG) de 70, 180 et 360 MWe. Ceux-ci ont été arrêtés en 1973, 1985 et 1990 (tranches A1 à A3).

Le CNPE de Chinon (Figure 9) fut d'abord connu sous le nom de " la Boule " car le réacteur A1 et les échangeurs étaient installés dans un bâtiment sphérique en acier de 55 mètres de diamètre.

Cette " Boule ", les collectivités locales ont souhaité la conserver après le démantèlement de la centrale et elle abrite actuellement un musée du nucléaire.



Figure 9 : CNPE de Chinon (© EDF)

4.1.5 LE CNPE DE CIVAUX

Le Centre Nucléaire de Production d'Électricité de Civaux (Figure 10) est situé à 30 km au sud-est de Poitiers, en rive gauche de la Vienne, sur la commune de Civaux, à 5 km en aval de Lussac-les-Châteaux, et à 10 km en amont de Chauvigny.

Il se compose de deux tranches de 1450 MWe, appartenant à la filière des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP). La divergence de la première tranche a eu lieu en novembre 1997, celle de la seconde tranche deux ans après.



Figure 10 : CNPE de Civaux (© EDF)

4.2 LES AUTRES INSTALLATIONS

4.2.1 LES SITES INSCRITS A L'INVENTAIRE NATIONAL DES DECHETS RADIOACTIFS DE L'ANDRA

Le bassin versant de la Loire comprend 22 installations nucléaires de base réparties sur les cinq centres nucléaires de production d'électricité (voir chapitre 4.1).

Il intègre également de nombreuses installations, citées notamment à l'inventaire national des déchets radioactifs, mettant en œuvre de la radioactivité et ayant des impacts plus ou moins importants sur le milieu naturel en général, et sur les eaux souterraines et de surface en particulier. Il convient donc de les citer dans cet inventaire (Tableau III) [13].

Tableau III : liste des sites inscrits à l'inventaire national des déchets radioactifs de l'ANDRA - 2006

Dpt	Commune	Site	Description	Régime
44	La Montagne	La montagne	Conception et production d'appareils propulsifs pour les bâtiments de la Marine Nationale	Hors ICPE*
44	Getigné	L'Ecarpière	Exploitation minière, traitement de minerais, lixiviation en tas. Site réaménagé sous surveillance (eaux)	AP* - ICPE
85	Treize-Vents	La Commanderie	Division minière de Vendée - Exploitation minière. Site réaménagé sous surveillance (eaux)	AP
28	Châteaudun	Châteaudun	Site militaire - entreposage de déchets contenant du thorium	Hors ICPE
45	Sully-sur-Loire	Sully-sur-Loire	Etablissement Framatome-ANP - Entretien des outillages d'interventions de contrôle et maintenance des CNPE	AP - ICPE
18	Bourges	Bourges	Site militaire - Entreposage des déchets radioactifs (uranium appauvri en isotope 235)	ICPE
23	Domeyrot	La Ribière	Exploitation minière et lixiviation en stalles. Site réaménagé. Surveillance arrêtée en 1999	AP
87	Jouac	Jouac	Exploitation minière, traitement de minerais, lixiviation en tas. Site réaménagé sous surveillance de l'environnement (eaux)	AP - ICPE
87	Bessines-sur-Gartempe	Bessines-sur-Gartempe	Exploitation minière, traitement de minerais, lixiviation en tas. Entreposage d'uranium appauvri. Site réaménagé sous surveillance de l'environnement (eaux)	AP - ICPE
87	Bessines-sur-Gartempe	Montmassacrot	Exploitation minière de la Crouzille - Stockage de résidus de traitement. Site réaménagé sous surveillance de l'environnement (eaux)	AP - ICPE
87	Bessines-sur-Gartempe	Bellezane	Exploitation minière de la Crouzille - Stockage de résidus de traitement. Site réaménagé sous surveillance de l'environnement (eaux)	AP - ICPE
71	Issy-L'Evêque	Bauzot	Exploitation minière, dépôt de déchets industriels de faible activité. Site réaménagé et sous surveillance de l'environnement (eaux)	AP - ICPE
71	Gueugnon	Gueugnon	Usine de traitement de minerais et de pré-concentrés d'uranium, lixiviation en stalles. Site réaménagé sous surveillance de l'environnement (eaux)	AP - ICPE

* AP : Arrêté préfectoral - * ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement

Les cartes ci-dessous (Figure 11), extraites de l'inventaire national des déchets radioactifs réalisé par l'ANDRA en 2006, permettent de positionner les principaux sites énumérés dans le tableau III [14].

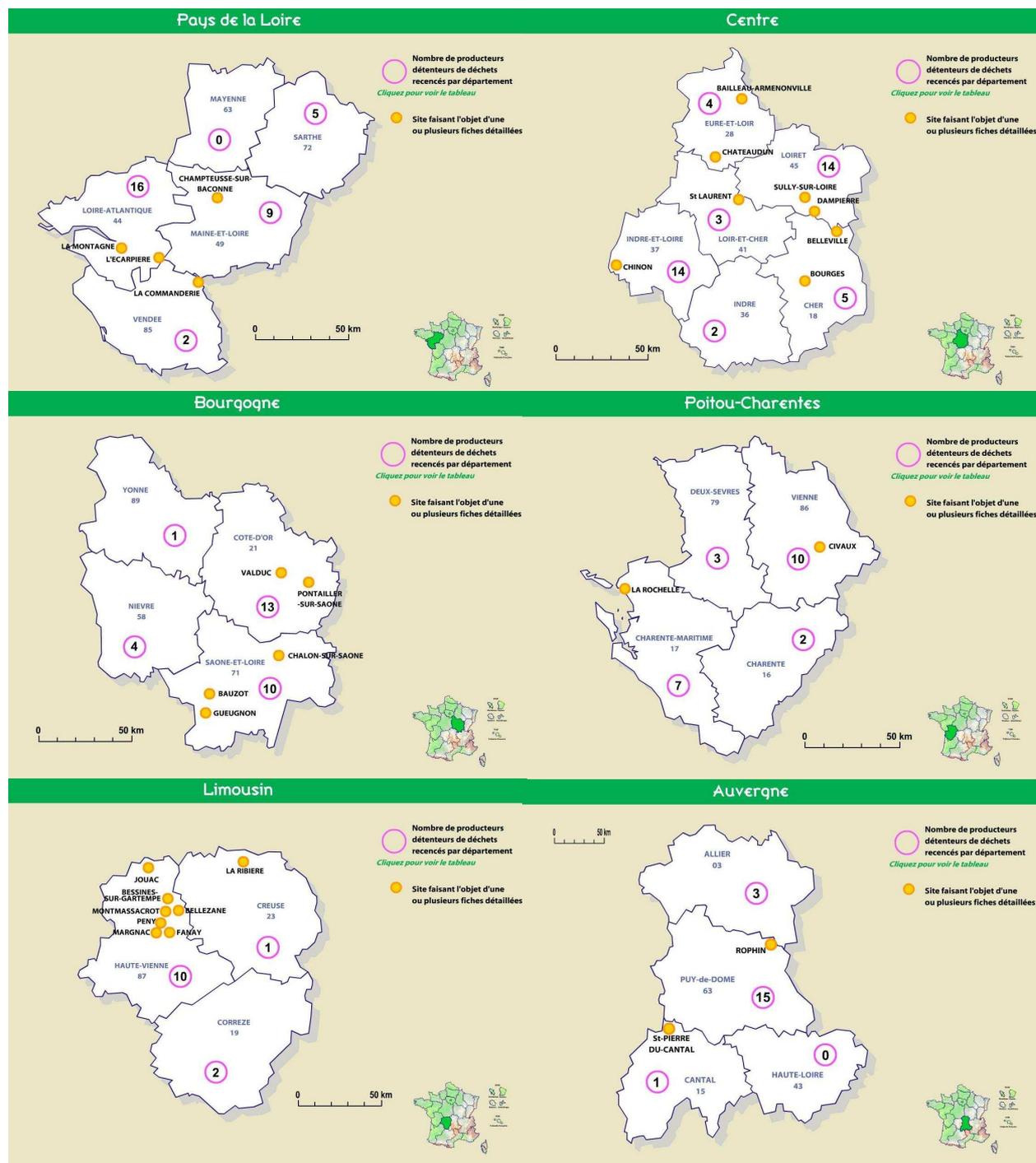


Figure 11 : les sites inscrits à l'inventaire national des déchets radioactifs de l'ANDRA (ANDRA - 2006)

Un centre CEA est également implanté dans la région Centre, à 15 km de Tours, sur la commune de Monts. Destiné à l'étude et à la fabrication des matériaux non nucléaires, le centre CEA du Ripault ne traite pas de matières nucléaires sur son site, il n'est donc pas, contrairement à d'autres centres du CEA, assujéti aux règles encadrant les activités des installations nucléaires de base (INB) ou des installations nucléaires de base classées secrètes (INBS).

Afin de surveiller l'éventuel impact de ses activités sur l'environnement, le CEA Le Ripault effectue une surveillance systématique du site et de son environnement en analysant l'eau de l'Indre et l'air. Il n'y a aucune mesure de radioactivité réalisée dans le cadre de cette surveillance.

4.2.2 LE PROGRAMME MIMAUSA

En France, l'industrie de l'uranium s'est développée au lendemain de la seconde guerre mondiale. Elle a vécu son apogée au cours des années 80 pour décliner ensuite. La dernière mine d'uranium française a fermé ses portes en mai 2001. Les activités d'exploration, de production, de traitement et de stockage du minerai d'uranium ont concerné près de 200 sites répartis sur 25 départements. Ces activités ont parfois été à l'origine d'une modification et d'un marquage radiologique de l'environnement naturel.

Compte tenu du nombre de sites, de leur dispersion géographique et de la diversité des situations rencontrées, il est difficile de dresser un panorama complet des activités minières d'uranium en France et d'en apprécier l'incidence environnementale globale. Dans le cadre de ses missions d'expertise et de surveillance de l'environnement, l'IRSN a acquis des informations sur plusieurs des sites concernés.

Désireux de disposer d'une source d'information complète et publique sur l'état radiologique de l'environnement des sites miniers d'uranium, le MEDAD (Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables) a demandé à l'IRSN de mettre en place un programme sur le sujet. Baptisé MIMAUSA (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) le programme est mené en collaboration étroite avec AREVA NC. Son comité de pilotage associe le MEDAD, l'IRSN et AREVA NC ainsi que la direction du Ministère de l'Industrie en charge de la gestion de l'« après-mines », les DRIRE Auvergne et Limousin et le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) [15].

Lancé en 2003, le programme MIMAUSA s'articule autour de deux volets :

- Un volet « bilan des connaissances », destiné à rassembler les données existantes pour chacun des sites.
- Un volet « études spécifiques » destiné à compléter la connaissance par des investigations de terrain sur certains sites le nécessitant.

La réalisation d'un « inventaire national des sites miniers d'uranium » constitue la première phase du volet « bilan des connaissances ». Le programme MIMAUSA se poursuit par une caractérisation plus poussée des zones minières identifiées par l'inventaire. L'inventaire consiste en un recensement le plus exhaustif possible des sites sur lesquels ont été pratiquées des activités d'exploration, d'extraction ou de traitement du minerai d'uranium en France métropolitaine. Celui-ci est disponible sur le site Internet de l'IRSN (www.irsn.org, rubrique Dossiers - Mines d'Uranium).

4.2.3 LES SERVICES DE MEDECINE NUCLEAIRE

Les services de médecine nucléaire ont pour vocation de déceler et/ou soigner les affections tumorales. Deux grandes pratiques faisant appel à l'utilisation de radioisotopes peuvent être distinguées dans ces établissements :

- **Le diagnostic fonctionnel** : l'objectif est l'exploration fonctionnelle de certains organes (dans ce cas, le radionucléide majoritairement mis en œuvre est le technétium 99 métastable) dans l'objectif de réaliser de l'imagerie ;
- **La radiothérapie métabolique** : l'objectif est la destruction, par irradiation, des tissus pathologiques (dans ce cas, l'iode 131 est le radionucléide le plus largement utilisé).

Ces actes diagnostics ou curatifs prodigués à des patients sont réalisés à l'aide de radionucléides à demi-vie courte, mis en œuvre sous la forme de sources non scellées (gélules ou liquides).

Après avoir été administrés par injection ou ingestion, ces radionucléides sont éliminés par les voies naturelles des patients (urines, selles, salive, sueur). Ainsi, une partie des effluents produits par un hôpital intégrant un service de médecine nucléaire, peut contenir des urines ou des selles marquées par de la radioactivité.

Bien qu'une réglementation impose le stockage systématique des urines en provenance des chambres réservées aux patients subissant une radiothérapie à l'iode 131, les selles, non stockées à l'hôpital en raison de leur potentiel d'induction de maladies nosocomiales, marquées elles aussi, peuvent rejoindre le réseau d'assainissement. Le tableau IV ci-après indique les principaux services de médecine nucléaire présents sur le bassin versant de la Loire en fonction des différentes régions [16].

Tableau IV : Services de médecine nucléaire installés dans les principales régions du bassin versant de la Loire.

Région	Nombre de centres de médecine nucléaire	Equipement	Principales implantations
Pays de la Loire	9	22 gamma-caméras	Nantes, Angers, Le Mans, La Roche/Yon
Centre	9	18 gamma-caméras	Tours, Châteauroux, Blois, Orléans
Poitou Charente	3	8 gamma-caméras	Poitiers, Niort
Limousin	2	4 gamma-caméras	Limoges
Auvergne	3	7 gamma-caméras	Clermont-Ferrand, Montluçon

5 ELEMENTS METHODOLOGIQUES POUR LA JUSTIFICATION DU CHOIX DES STATIONS DE SURVEILLANCE ET DES PRELEVEMENTS ASSOCIES

Les rejets d'éléments contaminants dans les milieux récepteurs continentaux et marins présentent des caractéristiques et des mécanismes de transfert similaires qu'ils soient radioactifs ou non. En conséquence, 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 bioindicateurs de contamination qui facilitent l'identification et la quantification de la pollution concernée est nécessaire.

Sur un plan méthodologique, l'un des éléments essentiels qui conditionnent la représentativité et la validité des mesures tient à la démarche suivie pour l'acquisition des données et dépend donc de la stratégie d'échantillonnage adoptée. Pour chaque milieu étudié, terrestre, aquatique continental ou marin, il convient de définir les critères de choix de l'implantation des stations [12].

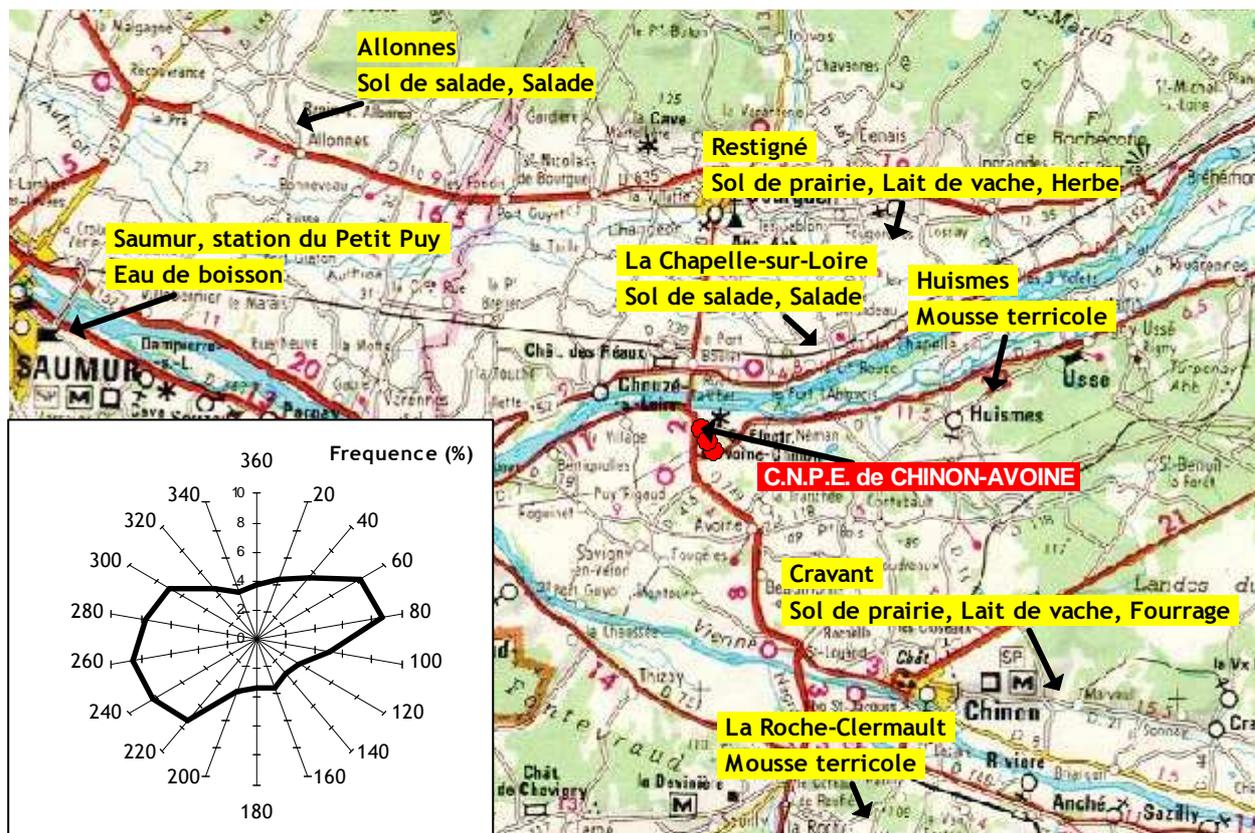
5.1 CHOIX DES STATIONS DE PRELEVEMENTS

5.1.1 MILIEU TERRESTRE

Dans le milieu terrestre, le choix des stations de prélèvement est effectué en tenant compte des conditions de dispersion des rejets atmosphériques de l'installation nucléaire surveillée. La dispersion des rejets est directement influencée par la rose des vents locale.

L'examen de la rose des vents permet donc de sélectionner les zones de prélèvements dans des secteurs sous influence ou non des vents principaux ou secondaires (Figure 12). A titre d'exemple, 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 principaux.

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.



Rose des vents (Station du C.N.P.E.)
1995-2003 (toutes conditions météo)

Figure 12 : Localisation générale des stations de prélèvement dans le milieu terrestre pour le suivi radioécologique EDF de la centrale de Chinon [17].

L'IRSN dispose de stations de référence implantées en milieu rural qui représentent les différentes régions climatiques françaises. Elles sont en outre éloignées de toute activité nucléaire significative. Ces stations permettent d'évaluer la composante radiologique "naturelle" en relation avec les caractéristiques climatiques régionales. Des prélèvements d'aérosols atmosphériques ainsi que l'échantillonnage d'eau de pluie, de sol, de lait, de végétaux et d'os de lapin, sont effectués au niveau de chaque station de référence.

En complément de cet axe de la surveillance des sites, l'IRSN surveille certains sites urbanisés situés à plus ou moins grande distance d'installations nucléaires importantes.

5.1.2 MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

Dans le milieu aquatique continental, l'implantation des stations de prélèvement tient compte de la présence d'installations nucléaires, ou de rejets provenant de diverses sources susceptibles d'interférer avec les rejets de ces installations. Il est donc nécessaire d'effectuer des prélèvements à la fois en amont et en aval du site surveillé, pour déterminer, par comparaison des résultats, la contribution effective de chaque installation.

A titre d'exemple, les stations automatiques du réseau Hydrotéléray de l'IRSN sont implantées en aval de toute installation nucléaire afin d'effectuer une surveillance radiologique en continu des eaux de surface continentales avant leur sortie du territoire français, aux frontières terrestres et maritimes [12].

L'échantillonnage d'eau de surface peut être manuel ou automatique (hydrocollecteurs), et être associé à un prélèvement de sédiments ou de boues de décantation.

5.1.3 MILIEU MARIN

La surveillance radiologique des eaux de mer est exercée par prélèvements ponctuels ou par hydrocollecteurs. La présence d'agglomérations, l'implantation des installations nucléaires, et la circulation des courants résiduels entraînant un déplacement des masses d'eau sont autant de facteurs pris en compte pour le positionnement des stations de surveillance du milieu marin.

5.2 CHOIX DES MATRICES ENVIRONNEMENTALES

Les tableaux ci-après détaillent les différents prélèvements effectués dans les milieux terrestre, aquatique continental et marin, ainsi que les critères associés à ces choix.

Les moyens développés par les différents acteurs de la mesure pour assurer le prélèvement ou la télésurveillance de ces milieux sont également indiqués.

5.2.1 MILIEU TERRESTRE

Tableau V : Moyens existants et critères de choix des différentes matrices prélevées dans le domaine terrestre

Milieus/Produits	Justification	Moyens
Air	Milieu récepteur des rejets atmosphériques lié au fonctionnement normal des installations. Les particules et les gaz radioactifs présents dans l'air délivrent une dose à l'homme par irradiation externe et interne (inhalation)	IRSN (réseaux Télecay et SARA, réseau Aérosols, réseau DTL) EDF (débit de dose gamma, β global dans les aérosols) AREVA (débit de dose gamma, radon dans l'air) AASQA (balises α/β et γ , radon)
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	IRSN et EDF (collecteurs d'eau de pluie)
Sols	Accumulation - concentration de radioactivité par dépôts sec ou humide. Les sols sont également responsables, par voie racinaire, de la contamination des légumes, des fruits ou des graminées	IRSN (sols près des CNPE, sols des stations de référence) EDF (sols près des CNPE)
Productions végétales	Contamination par dépôt sur les parties aériennes ou par absorption racinaire. Risque de contamination interne après consommation	IRSN (végétaux et céréales) EDF (végétaux : herbe) DGAL et DGCCRF (bioindicateurs végétaux - champignons, miel)
Productions animales	La présence de radioactivité dans l'affouragement entraîne son transfert dans les produits d'origine animale (viande, œuf ...) dont le lait, vecteur très sensible aux radionucléides (césium, strontium, iode,...)	IRSN (lait, os de lapin sur stations de référence) EDF (lait essentiellement) DGAL (lait, produits laitiers, gibiers, œufs, volailles, lapins, animaux de boucherie)
Ration alimentaire	Contamination interne par ingestion de produits de la chaîne alimentaire (aliments solides, boissons et lait) consommés par la population	IRSN (ration alimentaire - collecte pendant une semaine)

5.2.2 MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

Tableau VI : Moyens existants et critères de choix des différentes matrices prélevées dans le domaine aquatique continental

Milieux/Produits	Justification	Moyens
Eaux continentales	<p>Milieu récepteur des rejets liquides des installations mais également des apports éventuels de radionucléides par les eaux de ruissellement.</p> <p>L'eau est le vecteur direct de la contamination des composants du milieu aquatique.</p>	<p>IRSN (réseau Hydrotéléray, hydrocollecteurs, eaux de surface, eaux de nappe)</p> <p>EDF (eaux de surface, eaux de nappe)</p> <p>AREVA (eaux collectées et eaux rejetées des sites miniers, eaux de surface)</p>
Matières en suspension (MES)	<p>Les MES contribuent à la mobilité des radionucléides. Irradiation externe par contamination des berges, des plages ou des terres après des épisodes de crues.</p>	IRSN et EDF (MES de bacs à décantation)
Sédiments	<p>Les sédiments sont de bons intégrateurs de contamination, et constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption</p>	IRSN et EDF (prélèvements manuels)
Poissons	<p>Régulièrement consommés par l'homme, les poissons sont de bons intégrateurs de radionucléides</p>	IRSN et EDF (prélèvements d'espèces consommées)
Végétaux aquatiques	<p>Les végétaux aquatiques ont une grande capacité à fixer rapidement certains radionucléides. Leur large répartition géographique permet de comparer les concentrations en radionucléides</p>	IRSN et EDF (végétaux aquatiques ou semi aquatiques)

5.2.3 MILIEU MARIN

Les plans de surveillance des exploitants sont centrés autour ou à proximité de leurs installations. Si le littoral marin à proximité des INB comme Penly, Flamanville, AREVA La Hague, fait l'objet d'une surveillance de la part d'EDF et d'AREVA, seul l'IRSN développe une surveillance sur tout le littoral français, de la Manche vers l'Atlantique et la Méditerranée.

La surveillance radiologique des eaux de mer est ainsi exercée par prélèvements ponctuels ou par hydrocollecteurs à partir de 31 stations métropolitaines et de 3 stations situées en Outre-mer [12].

Tableau VII : Moyens existants et critères de choix des différentes matrices prélevées dans le domaine marin

Milieux/Produits	Justification	Moyens
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	IRSN (et exploitants si INB) (eaux de mer : prélèvements manuels ou hydrocollecteurs)
Matières en suspension (MES)	Les MES contribuent à la mobilité des radionucléides. Irradiation externe par contamination des berges, des plages ...	IRSN (et exploitants si INB) (MES de bacs à décantation)
Sédiments	Les sédiments sont de bons intégrateurs de radionucléides et constituent un réservoir de contamination du milieu aquatique par des phénomènes de désorption	IRSN (et exploitants si INB) (prélèvements manuels)
Poissons Crustacés	Leur position en fin de chaîne alimentaire en fait de bons intégrateurs des radionucléides, et ils sont largement consommés par les populations	IRSN (et exploitants si INB) (poissons, crustacés : espèces consommées)
Mollusques	De par leur mode de nutrition, les mollusques marins sont de bons bioindicateurs de surveillance à long terme, qu'ils soient filtreurs ou brouteurs	IRSN (et exploitants si INB) (mollusques : espèces consommées)
Algues	Les algues marines réagissent rapidement à des variations de concentration de la radioactivité de l'eau	IRSN (et exploitants si INB) (algues vertes ou brunes, répandues)

6 LES ACTEURS DE LA MESURE DE RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT DU BASSIN DE LA LOIRE

6.1 L'IRSN

6.1.1 PRESENTATION DE L'IRSN

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), créé par la loi sur l'AFSSE¹ puis le décret n°2002-254 du 22 février 2002, est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. Il rassemble plus de 1 500 experts et chercheurs issus de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) et de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI), compétents en sûreté nucléaire et radioprotection ainsi que dans le domaine du contrôle des matières nucléaires et sensibles [18].

L'IRSN réalise des recherches, des expertises et des travaux dans les domaines de la sûreté nucléaire, de la protection contre les rayonnements ionisants, du contrôle et de la protection des matières nucléaires, et de la protection contre les actes de malveillance. La création de l'IRSN est à rapprocher de celle des agences de sécurité sanitaire. Comme elles, l'IRSN joue un rôle actif dans l'information du public dans ses domaines de compétences : les risques nucléaires et radiologiques. L'IRSN n'exerce pas de fonction d'autorité de contrôle. Pour plus de transparence, le gouvernement a décidé de séparer l'expertise technique de la fonction d'autorité de contrôle (autorisations et décisions à caractère réglementaire), confiée à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

6.1.2 LES OBJECTIFS DE LA VEILLE RADIOLOGIQUE EXERCEE PAR L'IRSN

La surveillance radiologique de l'environnement du territoire français est une des missions fondamentales de l'IRSN². Celle-ci s'accompagne de prérogatives d'information du public et d'assistance aux pouvoirs publics, notamment en concourant à l'appui technique de l'ASN. Au sein de l'IRSN, les objectifs de la surveillance radiologique de l'environnement français ont été redéfinis en 2004 comme suit :

- établir l'état radiologique de l'environnement et l'associer à un dispositif d'alerte ;
- observer en vue d'améliorer la qualité radiologique des milieux ;
- contribuer à la connaissance des sources radioactives et participer au respect et à l'évolution de la réglementation sur les installations susceptibles de rejeter des radionucléides dans l'environnement ;
- mettre à disposition de la population des éléments d'information sur l'état radiologique de l'environnement et de la chaîne alimentaire.

¹ AFSSE : Agence française de sécurité sanitaire environnementale.

² Voir le décret de création de l'IRSN n°2002-254 du 22 février 2002

La surveillance doit donc répondre à plusieurs objectifs d'ordre scientifique, réglementaire et d'information du public. En pratique, cette surveillance se décline selon les thématiques suivantes :

- la surveillance de l'environnement à proximité des installations susceptibles de rejeter des radionucléides (INB, INBS, ICPE, services de médecine nucléaire,...) ;
- plus globalement sur l'ensemble du territoire, la surveillance radiologique nécessite l'étude de divers composants de l'environnement allant de la source jusqu'à l'homme. L'IRSN dispose ainsi, pour chaque compartiment étudié, de réseaux de prélèvements constitués de stations sous influence des installations et de stations éloignées de ces installations, pouvant servir de référence, dédiées à :
 - la surveillance de l'air (aérosols, eaux de pluie) ;
 - la surveillance des eaux de surface (fleuves) et des eaux souterraines (nappes) ;
 - la surveillance du littoral (sédiments, faune et flore aquatique, eau de mer) ;
 - la chaîne alimentaire (lait, céréales, ration alimentaire).

6.1.3 LES MOYENS ET LES RESEAUX

Afin de mener à bien sa mission, l'IRSN développe et gère deux types de moyens :

- La mesure en continu in situ par des systèmes autonomes permettant la transmission en temps réel des résultats (réseaux de télésurveillance) ;
- Le traitement et la mesure en laboratoire d'échantillons prélevés dans différents compartiments de l'environnement à proximité ou non d'installations susceptibles de rejeter des radionucléides (réseaux de prélèvements).

Localement, les missions de terrain (prélèvements et maintenance) sont réalisées par les équipes de l'IRSN, mais aussi par d'autres organismes avec lesquels l'Institut développe des collaborations : services techniques des exploitants du nucléaire et des centres de recherches, Météo France, Marine Nationale, Ifremer, des institutions locales ou services déconcentrés de l'état (mairies, préfectures, DDASS, DRASS), Office National Interprofessionnel des Céréales, des particuliers ou exploitants agricoles, d'autres organismes ou laboratoires locaux [12].

Les réseaux de télésurveillance

Les 210 sondes des réseaux de télésurveillance ont pour objectif de détecter précocement des situations anormales définies par rapport à des niveaux de base correspondant à une situation normale.

Ces sondes sont réparties en quatre réseaux de natures différentes, spécifiquement adaptées aux milieux atmosphérique ou aquatique continental :

- **TELERAY** : réseau dédié à la surveillance en continu de la radioactivité gamma ambiante ;
- **SARA** : réseau dédié à la surveillance en continu de la radioactivité des aérosols ;
- **HYDROTELERAY** : réseau dédié à la surveillance en continu des principaux fleuves, en aval de toutes les installations nucléaires et avant sortie du territoire ;
- **TELEHYDRO** : réseau dédié à la surveillance en continu des eaux usées de grandes agglomérations.

Les résultats du réseau Téléray sont mis à jour quotidiennement sur un site Internet dédié :

http://telaray.irsn.org/irsn/html_irsn/mesure/france.htm



Figure 13 : Réseaux de télémessure dans le centre ouest de la France

Dans le bassin versant de la Loire (Figure 13), on retrouve des stations des quatre types de réseaux de télémessure de l'IRSN dont 9 stations Téléray sur la Loire entre Nevers et Nantes.

Les réseaux de prélèvements

Les réseaux de surveillance par prélèvements de l'IRSN concernent :

- les effluents rejetés par les installations sous forme gazeuse, aérosols et liquide ;
- les prélèvements de différents compartiments de l'environnement susceptibles d'être contaminés et avec lesquels l'homme peut entrer en contact :
 - le milieu atmosphérique par le biais de stations de prélèvements d'aérosols atmosphériques, de collecte d'eaux de pluies et de prélèvements de sols ;
 - les prélèvements d'eaux de surface continentale ou marine associés à des prélèvements de matières en suspension ou de sédiments ;
 - la chaîne alimentaire : laits, blés, riz, ration alimentaire ;
 - la flore terrestre (végétaux) ;
 - la faune aquatique (poissons, crustacés, mollusques) ;
 - la flore aquatique (algues) ;
 - les dosimètres intégrateurs.

Au total, ce sont plus de 600 stations de prélèvements automatisés ou manuels qui alimentent régulièrement les réseaux de surveillance. En 2006, 31500 prélèvements, répartis en 29 natures différentes, ont été effectués sur l'ensemble du territoire français et ont donné lieu à près de 58 000 analyses [12].

6.2 EDF

6.2.1 LA SURVEILLANCE REGLEMENTAIRE

Les sites EDF, sur lesquels sont implantées des centrales nucléaires de production d'électricité, sont soumis, au titre de la réglementation applicable aux INB et à leurs rejets, à des autorisations de rejets d'effluents. A ce titre, une surveillance réglementaire de l'environnement des 19 sites est imposée à EDF [19].

La protection de l'environnement autour des centrales nucléaires est garantie par un contrôle des rejets qui permet de respecter les arrêtés d'autorisation. La surveillance réglementaire est réalisée par l'exploitant dès la mise en service de la première installation et pendant toute la durée de vie de la centrale selon un programme réglementé et contrôlé par l'ASN, comprenant des analyses effectuées sur les rejets liquides et gazeux d'une part, et des contrôles des milieux récepteurs d'autre part.

Chaque centrale est équipée d'un réseau automatique de surveillance de l'environnement dont les résultats sont centralisés par un système informatique au niveau de la salle de commande. Chaque site dispose également d'un laboratoire de mesure d'environnement qui effectue des contrôles réguliers sur le milieu naturel dans un rayon de quelques kilomètres. Les résultats sont transmis mensuellement à l'ASN (registres réglementaires). Environ 50000 mesures sont ainsi réalisées annuellement pour l'ensemble du parc électronucléaire français.

6.2.2 LES BILANS RADIOECOLOGIQUES

Avant même qu'une centrale ne soit mise en service, EDF procède à un constat radioécologique dit « point zéro ». Les mesures réalisées dans ce cadre servent de référence pour les études d'impact effectuées par la suite au cours de la vie de la centrale (exploitation, démantèlement) [19].

Depuis 1991, une campagne de mesures radioécologiques est effectuée chaque année sur chaque site. Ce suivi consiste en des mesures de spectrométrie gamma sur les indicateurs environnementaux les plus représentatifs des écosystèmes terrestres et aquatiques de l'environnement.

Tous les dix ans, un bilan radioécologique plus complet est effectué à titre comparatif avec le " point zéro " de référence. Il permet d'étudier l'évolution des activités des radionucléides émetteurs gamma, alpha et bêta présents dans les différents compartiments de l'environnement. Lors d'un bilan décennal, le choix et la localisation des échantillons sont faits en fonction du point zéro et des spécificités régionales (eau de boisson, d'irrigation, mousse terricole, légumes, fruits, sol, végétaux terrestres et aquatiques, lait, boue de décantation, vins, sédiments, poissons, coquillages).

Depuis 1991, EDF a confié à l'IRSN la réalisation du suivi radioécologique annuel de ses CNPE ainsi que des bilans décennaux décrits ci-dessus (annexes 1 à 5).

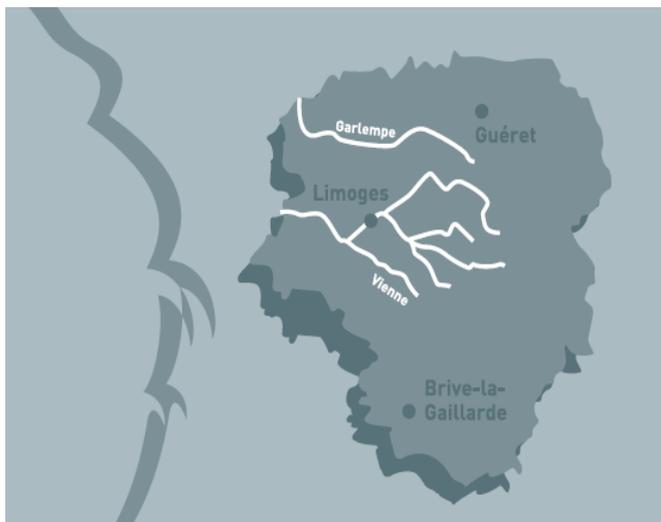
6.3 AREVA NC

AREVA NC, filiale d'AREVA, est le leader mondial du cycle du combustible nucléaire. Ses métiers vont de l'extraction, la conversion et l'enrichissement de l'uranium au traitement de combustibles usés en passant par le transport, l'ingénierie ou l'assainissement et le démantèlement. AREVA NC, via son établissement de Bessines, assure la gestion et la surveillance des anciens sites français d'extraction d'uranium qui sont aujourd'hui fermés et font l'objet de strictes mesures de surveillance de l'environnement (voir tableau III). On dénombre ainsi 15 sites miniers et 12 stockages de résidus de traitement couverts par la réglementation ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) [20].

Le programme de surveillance de l'environnement est défini par arrêté préfectoral. Chaque année sont effectuées au total pour les 15 sites environ 250 mesures de débits de dose, 750 mesures liées à la détection du radon dans l'air (énergie alpha potentielle due aux descendants à vie courte du radon 222) et 790 analyses de radium 226 et uranium dans l'eau. Ces mesures et analyses représentent environ 62 points de prélèvement dans l'air et 73 dans l'eau. Les analyses de ces prélèvements sont réalisées par deux laboratoires agréés. Les résultats de ces analyses sont transmis trimestriellement à la DRIRE. Les évaluations des impacts dosimétriques sur les populations riveraines sont transmises annuellement à la DRIRE.

Le Groupe d'Expertise Pluraliste sur les sites miniers d'uranium du Limousin

La fin de l'industrie minière de l'uranium a entraîné un intense travail technique et administratif visant à assurer une remise en état des sites conforme aux objectifs de protection des populations et de l'environnement. Cependant, des analyses divergentes sur les conditions de cette remise en état, alimentées en particulier par des mesures et études menées à l'initiative d'associations locales ou nationales, ont conduit à des développements judiciaires et médiatiques importants au cours des dernières années [21].



Les parties prenantes ont décidé la création d'un groupe d'expertise pluraliste, le GEP Mines, pour débattre collectivement de ces sujets. La mission du GEP consiste à émettre des avis et recommandations à l'attention des pouvoirs publics résultant d'une appréciation pluraliste des documents techniques fournis par AREVA NC et relatifs à la surveillance des sites miniers réaménagés de Haute Vienne. Il participe ainsi au pilotage de l'expertise globale du "bilan décennal environnemental" des sites miniers, dont la réalisation a été confiée à l'IRSN. Le GEP s'attachera à formuler des recommandations visant à réduire les impacts des sites miniers sur les populations et l'environnement et à proposer des perspectives de gestion des sites à plus ou moins long terme, notamment par comparaison avec des industries de même nature ou des expériences étrangères. Enfin le GEP participe à l'information des acteurs locaux et du public.

Les premiers avis et recommandations du GEP concernent le site de stockage de Bellezane renfermant des résidus de traitement du minerai d'uranium ainsi que le bassin versant du Ritord. Le GEP recommande une meilleure appréhension du fonctionnement hydraulique du site de Bellezane, la recherche d'éventuelles sources diffuses de pollution et une appréciation quantitative de l'efficacité de la couverture mise en place sur les résidus, ainsi que l'amélioration du dispositif de suivi des rejets liquides dans le ruisseau du Ritord et une bonne adéquation du traitement des eaux.

En outre le GEP, qui a porté une attention particulière à l'évaluation de l'impact environnemental et sanitaire, propose que soient approfondies les réflexions sur l'utilisation de méthodes novatrices d'études des effets sur la faune et la flore. Il a également fait le point sur les outils de surveillance sanitaire existant tant au niveau local qu'au niveau national. Enfin, le GEP a lancé une réflexion sur le cadre réglementaire actuel au regard des exigences particulières associées à la longue durée de vie des substances radioactives concernées.

Après un 1^{er} rapport d'étape remis début 2007, le GEP a remis en février 2008 un 2^{ème} rapport qui marque un nouveau point d'avancement de ses travaux. Au cours de cette nouvelle étape, l'IRSN a poursuivi sa forte implication dans cette action d'expertise pluraliste en rapportant régulièrement le résultat de son analyse critique des documents AREVA NC aux différents groupes de travail dont il assure la co-animation mais également en intervenant directement en tant qu'expert, en particulier dans les travaux relatifs à l'évaluation de l'impact sur les écosystèmes pour le bassin versant du Ritord.

Le GEP va poursuivre ses travaux, en s'attachant à passer progressivement de l'analyse de la situation actuelle à l'évaluation prospective des différentes options de gestion envisageables. Il visera également, ainsi que le demande sa nouvelle lettre de mission, à proposer une méthode permettant d'appliquer ses recommandations à d'autres sites miniers.

6.4 LES ASSOCIATIONS AGREEES POUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

6.4.1 PRESENTATION DU DISPOSITIF ATMO

À partir du 30 décembre 1996, la surveillance de l'air s'est nettement accrue avec la mise en place de la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) Cette dernière a permis le développement de la surveillance sur l'ensemble du territoire. Ainsi, des moyens importants ont été déployés dans les réseaux de mesure afin de développer les actions et répondre aux nouvelles réglementations en vigueur [22].

Le dispositif de surveillance de la qualité de l'air comporte 40 associations agréées (AASQA) pour le suivi de la qualité physico-chimique de l'air par le ministère chargé de l'environnement. Parmi ces AASQA (Figure 14), 36 surveillent la qualité de l'air en métropole, et 4 dans les DOM TOM. Elles constituent le dispositif ATMO. L'ADEME (département air) assure une mission de coordination technique de ce dispositif, en liaison avec le ministère chargé de l'environnement. Chaque AASQA gère un ou plusieurs réseaux de mesures, composés de stations. Ces stations sont équipées d'un ou de plusieurs analyseurs mesurant chacun, en continu et de manière automatique, un ou plusieurs polluants spécifiques ainsi que parfois d'autres paramètres (météorologie, comptage de véhicules...).

6.4.2 LES AASQA EFFECTUANT DES MESURES DE RADIOACTIVITE

Quelques AASQA disposent de capteurs dédiés au suivi de la radioactivité, cela dépend essentiellement de la présence ou non d'installations nucléaires dans la région. Sur la quarantaine d'AASQA, une dizaine d'entre elles sont équipées d'une ou plusieurs balises automatiques de mesure en continu de la radioactivité de l'air.



Figure 14 : Carte des AASQA (fédération ATMO)

La plupart de ces stations de surveillance de la radioactivité sont dotées d'un dispositif d'enregistrement en continu du rayonnement gamma ambiant et d'une balise de mesure de l'activité alpha et bêta des aérosols avec différenciation de l'activité naturelle due au radon [22]. Certaines des stations sont équipées en outre d'un capteur de mesure de l'activité de l'iode 131 dans l'air et, pour un petit nombre d'entre elles, d'un spectromètre gamma permettant l'identification des radionucléides piégés sur le filtre des aérosols. Les mesures en continu des aérosols peuvent être complétées par des analyses mensuelles des filtres en laboratoire permettant d'identifier et quantifier les radionucléides émetteurs bêta/gamma.

6.4.3 LIG'AIR

Créée fin novembre 1996, Lig'Air est une AASQA qui assure la surveillance de la qualité de l'air en région Centre. Jusqu'en décembre 2005, l'agglomération orléanaise a bénéficié d'un capteur dédié au suivi de la radioactivité naturelle (radon 222) et artificielle (iode 131, alpha et bêta globale). La présence de cette balise de radioactivité dans le réseau de mesure Lig'Air était justifiée par la localisation de quatre centrales nucléaires dans la région Centre, dont deux sont proches d'Orléans [23].

Cependant, contrairement aux autres indicateurs surveillés par Lig’Air, la mesure de la radioactivité ne relève pas d’une mission réglementaire. Aucune procédure d’alerte n’a donc été mise en place à Lig’Air en cas de données de radioactivité supérieures à la normale. Lig’Air a décidé de se recentrer sur ses missions prioritaires et, par conséquent, d’arrêter la mesure de la radioactivité à compter du 1^{er} janvier 2006.

6.4.4 AIR PAYS DE LA LOIRE

Air Pays de la Loire est l’organisme agréé par le Ministère de l’écologie, du développement et de l’aménagement durables pour la surveillance de la qualité de l’air dans la région des pays de la Loire. Air Pays de la Loire assure une mission de surveillance et d’information du public et des autorités compétentes [24].

Air Pays de la Loire dispose d’une balise de mesure de la radioactivité dans l’agglomération nantaise depuis 1997. Cette balise est actuellement localisée à l’ouest de l’agglomération (Bellevue). Le système permet d’obtenir 24 heures sur 24 les moyennes horaires des concentrations en radioéléments émetteurs alpha, bêta et gamma et en radon.

6.4.5 LIMAIR

Afin de répondre à une priorité d’intérêt général, de protection de l’environnement et de la santé publique, LIMAIR a pour vocation la surveillance de la qualité de l’air en Limousin. Au travers des différents outils scientifiques et techniques, LIMAIR appréhende les variations de la qualité de l’air tout au long de l’année et répond à ses missions de mesure et d’information [25].

En Limousin, pour des raisons géologiques, la radioactivité naturelle (liée au gaz radon qui se libère naturellement des roches uranifères) est supérieure à la moyenne des régions françaises. Celle-ci est donc mesurée à l’aide d’une balise semi-mobile. La surveillance de la radioactivité est assurée au niveau de la station de Guéret (Saint Nicolas).

6.4.6 ATMO AUVERGNE

L’association Atmo Auvergne a pour objet la mesure et le suivi de certains polluants atmosphériques sur la région Auvergne, notamment dans les agglomérations. Régie par la loi de 1901, elle constitue le réseau de surveillance agréé par le Ministère de l’écologie, du développement et de l’aménagement durables en Auvergne [26].

Une balise de surveillance de la radioactivité a été mise en fonctionnement dans l’agglomération clermontoise. Cette balise fonctionne à l’aide de pompes qui aspirent l’air extérieur puis le dirigent sur un filtre déroulant qui retient les particules en suspension.

Un détecteur disposé en regard du filtre mesure en continu les rayonnements alpha, bêta, le radon ainsi que le gamma ambiant. Le système de détection permet de différencier radioactivité naturelle et artificielle. Indépendamment de ce filtre, un dispositif assure la mesure de l'iode radioactif à l'état gazeux dans l'atmosphère. La mise en place de cette balise vise trois objectifs :

- suivre en temps réel la radioactivité moyenne en Auvergne ;
- s'assurer qu'aucun dépassement anormal n'est enregistré et déclencher des procédures d'alerte le cas échéant ;
- diffuser les informations auprès d'un public aussi large que possible.

6.5 CONTROLE DES DENREES ALIMENTAIRES PAR LES SERVICES DE L'ETAT

6.5.1 LA DGAL, L'AFSSA ET LES DDSV : CONTROLE DES DENREES ALIMENTAIRES D'ORIGINE ANIMALE ET VEGETALE

La Direction générale de l'alimentation (DGAL) réalise tous les ans un plan de surveillance de la contamination éventuelle des denrées alimentaires par les radionucléides [27].

L'objectif de ce plan est de surveiller la contamination des denrées suite à l'accident de Tchernobyl et de s'assurer de l'absence de contamination de tout produit alimentaire en provenance de zones voisines d'installations nucléaires. Les analyses de la radioactivité se résument essentiellement à la mesure par spectrométrie gamma des isotopes 134 et 137 du césium, radionucléides caractéristiques des combustibles nucléaires.

Les prélèvements sont réalisés par département, par les agents des Directions départementales des services vétérinaires (DDSV). Leur répartition est fonction de la superficie des départements. Les prélèvements sont réalisés sur des produits nationaux et répartis en trois classes :

- Classe 1 : le lait, les produits laitiers et les denrées alimentaires destinées aux nourrissons en bas âge ;
- Classe 2 : les produits définis comme " bioindicateurs " (champignons, gibier...) qui renseignent sur les niveaux de contamination environnementale ;
- Classe 3 : tous les autres produits de consommation courante (viandes, produits de la mer, ...) pour lesquels la probabilité de contamination radioactive est actuellement faible.

Les prélèvements (Tableau VIII) portent sur des denrées dont le lieu de production est connu, et qui sont produites dans le département où est effectué le prélèvement. Les aliments issus de l'agriculture biologique sont eux aussi concernés par ce plan. La réalisation des prélèvements est répartie sur toute l'année à l'exception des produits commercialisés de façon saisonnière (poissons de pêche, gibier ...).

Les prélèvements sont réalisés en priorité dans les élevages en plein air (volailles, œufs, etc.), dans les étangs ou les rivières (poissons d'eau douce), dans le milieu naturel pour le gibier [27].

Tableau VIII : répartition 2006 du nombre de prélèvement au niveau national (matrices et quantité à prélever)

	CLASSE 1	CLASSE 2			CLASSE 3		
	Lait et produits laitiers	Poissons	Gibier	Miel	Oeufs	Volailles/lapins	Animaux de boucherie
Matrice	Lait ou produits laitiers	Chair	Muscle de préférence ou foie	Miel	Œufs	Muscle de préférence ou foie	Muscle de préférence ou foie ou thyroïde
Lieu de prélèvement	Ferme, centre de collecte	Créée	Lieu de chasse ou établissement de traitement		Centre de conditionnement ou ferme	Abattoir	Abattoir
Quantité à prélever	1 l de lait 500 g de produit laitier	700 g de muscle	500 g de muscle ou abats	700 g de miel	12 œufs	500 g de muscle ou abats	500 g de muscle ou abats ou thyroïde entière
Nb de prélèvements	480	480			240		
TOTAL	1200						

En 2006, 1200 échantillons ont fait l'objet d'une recherche des isotopes 134 et 137 du césium (Tableau VIII), et 30 échantillons de lait liquide ont fait l'objet d'une recherche des isotopes 89 et 90 du strontium [27].

Les analyses de ^{134}Cs et ^{137}Cs sur toutes les matrices sont réalisées par les laboratoires départementaux. Jusqu'en 2007, les analyses de strontium 89 et 90 sur le lait liquide étaient effectuées par le LERQAP (Laboratoire d'étude et de recherche sur la qualité des aliments et sur les procédés agroalimentaires) de l'AFSSA (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) à Maisons-Alfort.

Les départements disposant d'installations nucléaires sont, à ce titre, soumis à un plan de contrôle plus important (Tableau IX).

Tableau IX : Répartition des prélèvements par classe pour les principaux départements inclus dans le bassin versant de la Loire en 2006.

Dpt	Échantillonnage ciblé	classe 1	classe 2	classe 3	Total
43	Haute-Loire	4	4	2	10
42	Loire	4	4	2	10
63	Puy-de-Dôme	6	6	3	15
3	Allier	5	5	3	13
71	Saône-et-Loire	7	7	3	17
58	Nièvre	5	5	3	13
18	Cher *	8	7	4	19
23	Creuse	4	4	2	10
36	Indre	5	5	3	13
87	Haute-Vienne	4	4	2	10
45	Loiret *	7	7	4	18
41	Loir-et-Cher *	8	8	4	20
28	Eure-et-Loir	5	5	2	12
37	Indre-et-Loire *	8	7	3	18
86	Vienne *	8	8	4	20
79	Deux-Sèvres	5	5	2	12
49	Maine-et-Loire	6	6	3	15
72	Sarthe	5	5	3	13
53	Mayenne	4	4	2	10
61	Orne	5	5	2	12
44	Loire-Atlantique	5	6	3	14
85	Vendée	5	5	3	13

* département avec présence d'installations nucléaires de production d'électricité

6.5.2 LA DGCCRF ET SES LABORATOIRES REGIONAUX : CONTROLE DES DENREES ALIMENTAIRES D'ORIGINE VEGETALE

La Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) exerce, au sein du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, une mission essentielle de régulation à l'égard de l'ensemble des acteurs économiques, consommateurs, entreprises et collectivités locales. A ce titre, elle veille au fonctionnement loyal et sécurisé des marchés, ce qui implique l'élaboration de règles, des contrôles et, le cas échéant, des sanctions. Cette mission s'inscrit dans le programme "*Régulation et sécurisation des échanges de biens et services*" de la loi organique relative aux lois de finances (LOLF). La priorité de la DGCCRF est d'avoir une activité de terrain pour surveiller et contrôler les pratiques du marché.

La DGCCRF effectue depuis 1986, date de l'accident de Tchernobyl, des contrôles réguliers du niveau de contamination radioactive des produits de consommation. Ces contrôles portent principalement sur les denrées alimentaires d'origine végétale [6].

Chaque année, plus de 1000 échantillons sont ainsi prélevés sur le marché intérieur au stade de la commercialisation des produits. Le tiers des prélèvements concerne les produits les plus sensibles comme les champignons qui sont de bons indicateurs des niveaux de contamination.

Le renforcement du contrôle des champignons importés des pays de l'Est décidé par la Commission Européenne en 1999, a conduit à la mise en place d'actions coordonnées entre la DGCCRF et la DGDDI (Direction générale des douanes et des droits indirects), les laboratoires de la DGCCRF étant chargés, en cas de nécessité, des mesures de radioactivité.

6.6 LES AUTRES ACTEURS POTENTIELS

6.6.1 LES LABORATOIRES DEPARTEMENTAUX D'ANALYSES

Les laboratoires départementaux d'analyses sont des interlocuteurs au service de la préservation de l'environnement et du développement économique. Agissant dans le cadre d'un périmètre d'activités très large, ils exercent des missions d'intérêt général qui en font des acteurs de premier plan du développement local. Les laboratoires départementaux d'analyses concourent à la mise en œuvre d'actions de l'Etat notamment dans les domaines de la surveillance et du contrôle de maladies animales et de la sécurité sanitaire des aliments. Pour les aider dans leurs missions, les DRASS et les DDASS font appel à ces laboratoires [6].

De nombreux laboratoires départementaux disposent d'un agrément pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine. L'arrêté du 11 octobre 2007 (JO n°246 du 23 octobre 2007) fixe la liste des laboratoires agréés par le ministère chargé de la santé pour la réalisation des prélèvements et analyses du contrôle sanitaire des eaux.

6.6.2 LES AUTRES LABORATOIRES AGREES

A côté des principaux acteurs effectuant des mesures de radioactivité, on dénombre quelques laboratoires du secteur public, privé ou associatif, qui peuvent être amenés à effectuer des mesures de radioactivité dans l'environnement. Certains de ces laboratoires disposent d'un agrément ministériel délivré conformément aux dispositions de l'arrêté du 27 juin 2005.

En leur qualité de laboratoire agréé, ils ont donc la possibilité de communiquer leurs résultats de mesures de radioactivité de l'environnement à l'IRSN pour leur diffusion dans le cadre du Réseau national [6].

6.7 SYNTHÈSE SUR LES ACTEURS DE LA MESURE

Les acteurs de la mesure de la radioactivité dans le bassin versant de la Loire sont donc nombreux. Ces mesures ont pour objectifs de contribuer à la connaissance de l'état radiologique de l'environnement, à proximité ou non des installations nucléaires, de détecter des élévations anormales de radioactivité, d'évaluer les doses auxquelles la population est exposée, et enfin de contrôler la conformité des pratiques (activités nucléaires) et des produits (biens de consommation et denrées alimentaires).

Il est difficile à ce stade d'analyser la complétude de ces mesures ainsi que leur cohérence éventuelle. Un inventaire des données, par type de milieu, est donc nécessaire pour permettre une visualisation optimale de l'état de l'art dans le bassin versant de la Loire en termes de diversité, de chroniques et de formats de diffusion auprès du public.

7 INVENTAIRE DES DONNEES DE RADIOACTIVITE DISPONIBLES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA LOIRE

La démarche d'inventaire à l'échelle du bassin versant, présentée par compartiment environnemental et par matrice, a été définie en concertation avec les CLI. Ces éléments doivent permettre, entre autres, d'engager les réflexions avec les membres de l'action pilote afin d'identifier les indicateurs de référence les plus pertinents, et de développer les éléments d'information indispensables à la bonne compréhension de ces mesures.

7.1 LE MILIEU ATMOSPHERIQUE

Les voies d'exposition du vecteur air concernent :

- le rayonnement gamma (exposition externe) produit par des radioéléments présents naturellement dans le sol ou amplifié du fait des activités industrielles nucléaires ou minières ;
- l'exposition interne par inhalation des radons 220 et 222, gaz radioactif naturel produit par désintégration du radium 226 (présent naturellement dans le granite et en plus grande quantité dans le minerai ou les résidus de traitement) ;
- L'exposition interne par inhalation de poussières radioactives en suspension dans l'air.

Les réseaux de surveillance de la radioactivité du compartiment atmosphérique développés par les différents acteurs de la mesure suivent donc cette logique. On distingue des réseaux de télémessure ou de prélèvements dédiés à la mesure du débit de dose gamma ambiant, des réseaux dédiés à la mesure du radon dans l'air et dans les aérosols, et des réseaux de télémessure ou de prélèvements d'aérosols dédiés à la mesure du rayonnement alpha et bêta dans les poussières atmosphériques.

7.1.1 L'AIR

7.1.1.1 Les réseaux de télémessure du débit de dose gamma ambiant

7.1.1.1.1 IRSN - Le réseau Téléray

Depuis 1991, le réseau Téléray assure de façon permanente la veille et l'alerte radiologique du territoire français. Les 180 sondes, implantées majoritairement aux abords des sites nucléaires et des grandes agglomérations, sont composées de compteurs Geiger-Müller permettant de mesurer le débit de dose gamma ambiant. Une carte électronique et un modem associé permettent le calcul du taux de comptage et le rapatriement des données vers le PC centralisateur situé sur le site IRSN du Vésinet.

En situation normale, les données sont régulièrement acquises auprès de chacune des sondes au cours de la journée. Si le débit de dose augmente de façon significative, les sondes envoient une alarme au PC centralisateur qui alerte aussitôt un agent de l'IRSN par un dispositif d'astreinte [12].

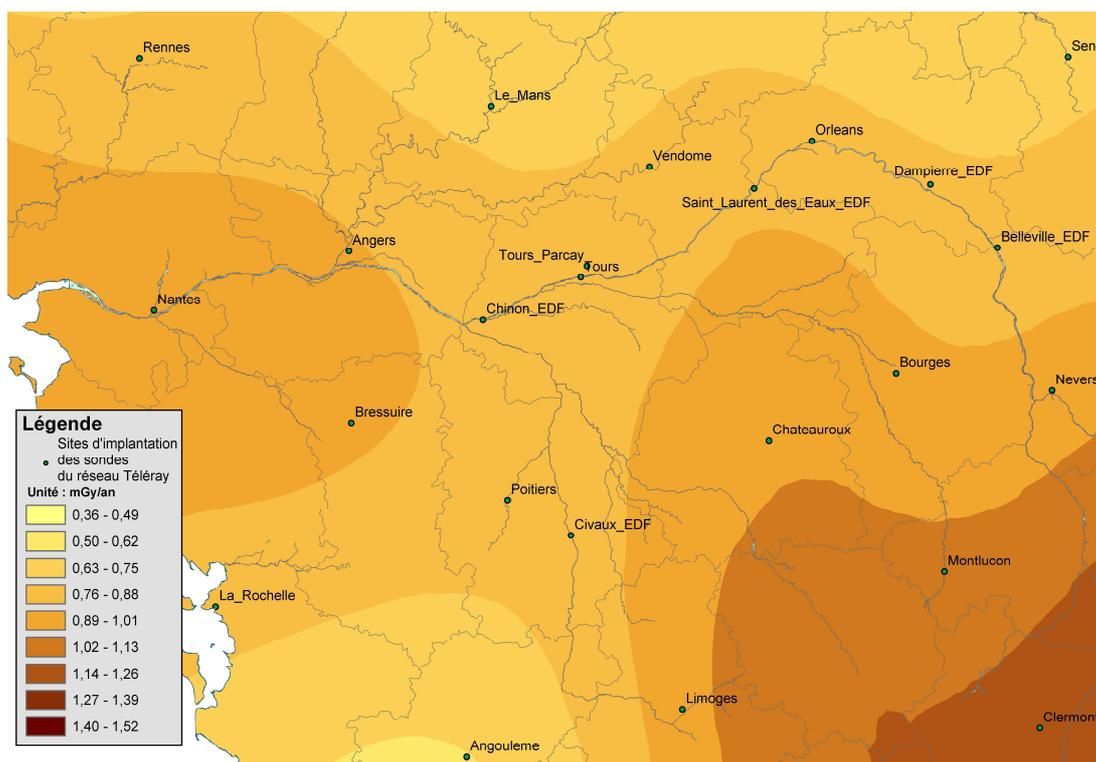
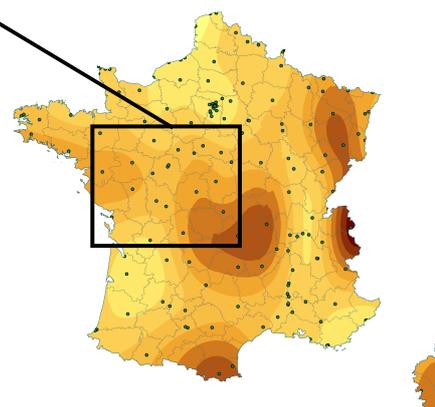


Figure 15 : Interpolation Téléray

Une synthèse des mesures du réseau Téléray est réalisée annuellement dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement publié par l'IRSN.

La figure 15 présente une carte nationale des moyennes des mesures réalisée par interprétation cartographique à l'aide d'un système d'information géographique.



La figure 15 permet d'observer les limites associées à ce type de représentation cartographique. La faible densité de points de mesure ne permet pas de disposer d'interpolations fiables à l'échelle régionale. Néanmoins, ces cartes permettent une visualisation géographique simple et rapide des résultats. Il est cependant important d'y associer un commentaire explicitant son origine et ses limites en terme géostatistique. L'IRSN dispose de 14 sondes Téléray dans le bassin de la Loire : Saint-Laurent-des-Eaux (CNPE), Belleville (CNPE), Nevers, Dampierre (CNPE), Orléans, Vendôme, Tours et Tours Parçay, Chinon (CNPE), Angers, Nantes, Civaux, Poitiers, Clermont-Ferrand. Les moyennes journalières de chaque sonde sont disponibles sur Internet (mise à jour quotidienne) tandis que l'ensemble de tous les résultats bruts des sondes est intégré dans une base de données. La base de données Téléray permet d'effectuer des extractions (sous forme tableaux ou graphiques) avec des chroniques de près de 7 années.

Les figures 16 et 17 montrent différents types de représentations possibles à partir des données du réseau Téléray. Toutes ces illustrations mettent en évidence la relation étroite existant entre le débit de dose et la nature des roches constitutives du *substratum*.

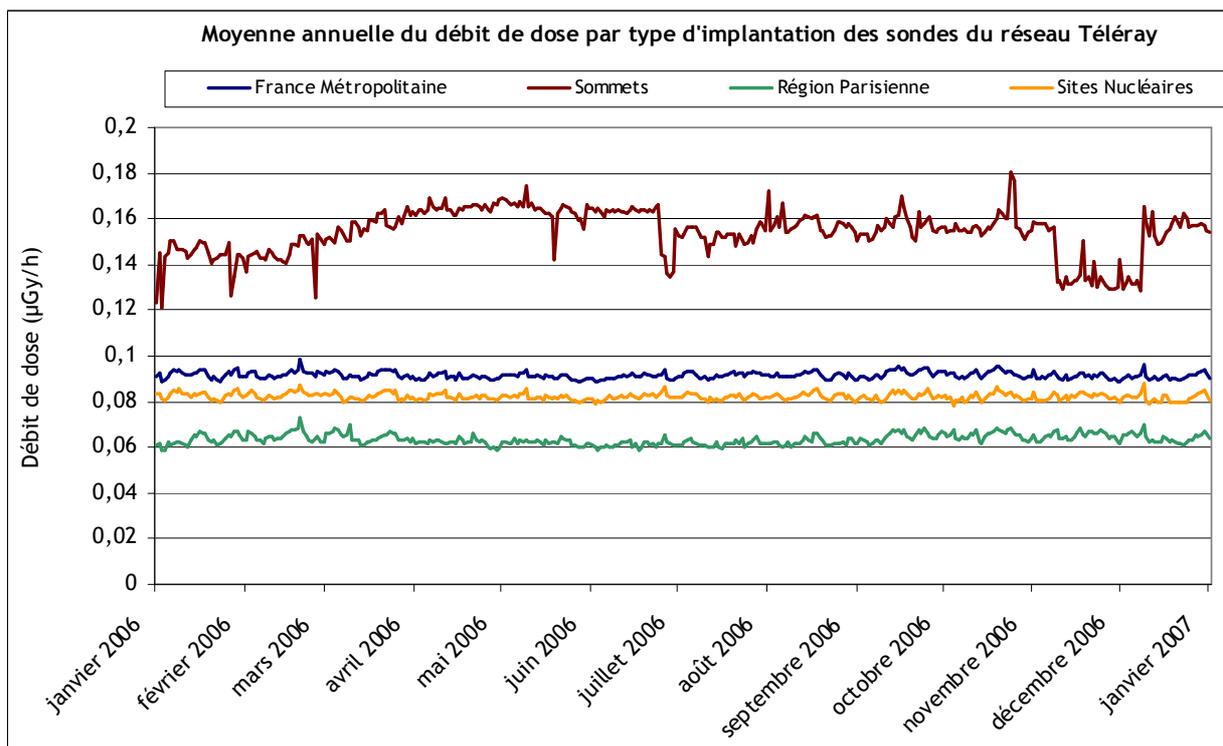


Figure 16 : Evolution du débit de dose par type d'implantation en 2006

Le bruit de fond ambiant est faible dans les bassins sédimentaires (bassin parisien, aquitain ou encore 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 cela se superpose l'influence du rayonnement cosmique, plus important en altitude qu'au niveau de la mer.

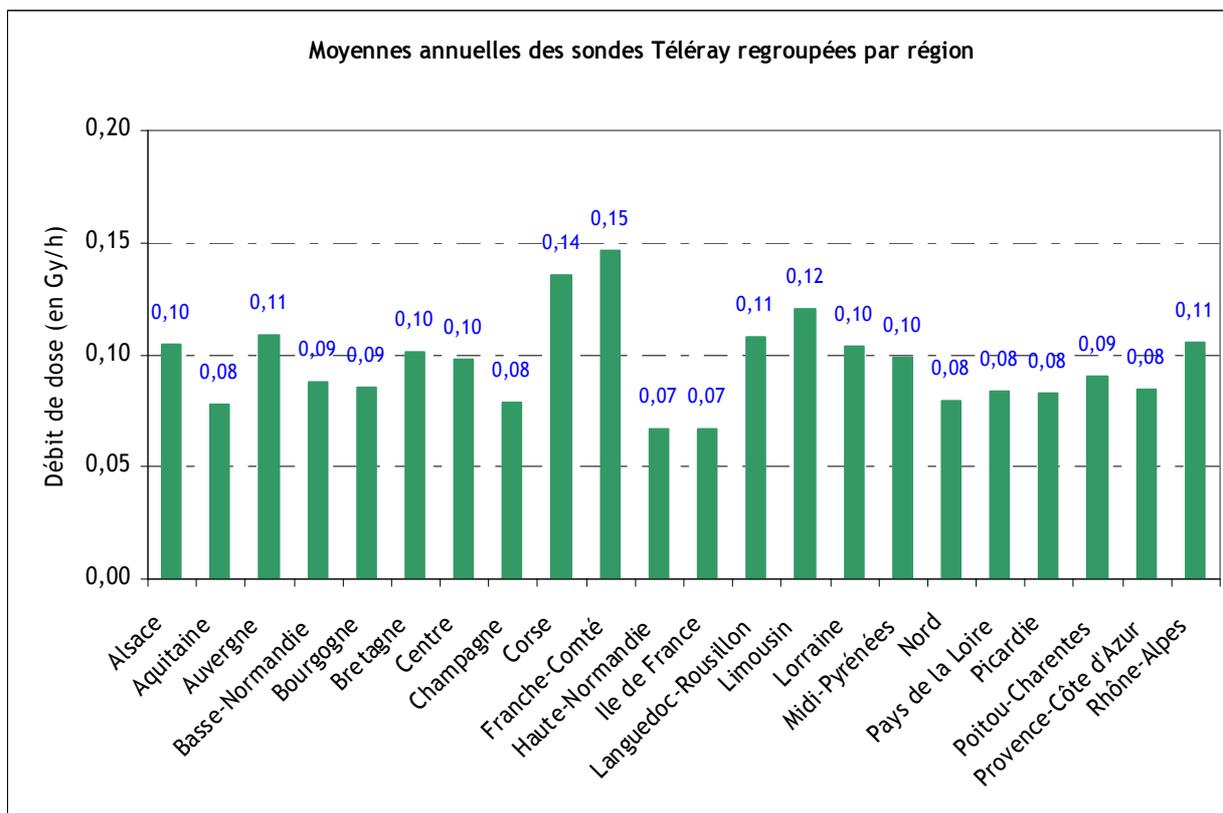


Figure 17 : Moyennes annuelles régionales du débit de dose en 2006

La figure 18 montre l'évolution annuelle, de 1999 à 2006, du débit de dose gamma ambiant des sondes implantées dans l'environnement proche des CNPE du bassin versant de la Loire. Ces chroniques permettent d'observer une relative stabilité du débit de dose pour chacun des sites. Les débits de dose ont en réalité tendance à augmenter sensiblement pour des raisons techniques liées à l'électronique associée aux sondes de mesures. Les barres rouges symbolisent la période de rénovation du réseau après laquelle cet artéfact disparaît.

Ce type de représentation avec des valeurs moyennées, permet donc une visualisation de l'évolution globale du débit de dose, mais ne permet pas d'observer la dispersion réelle des résultats de mesures à l'échelle quotidienne (ainsi que d'éventuelles alarmes radiologiques réelles). Il est également nécessaire d'accompagner ce type de chronique par des commentaires adéquats permettant d'explicitier a minima d'éventuelles tendances d'évolution des résultats.

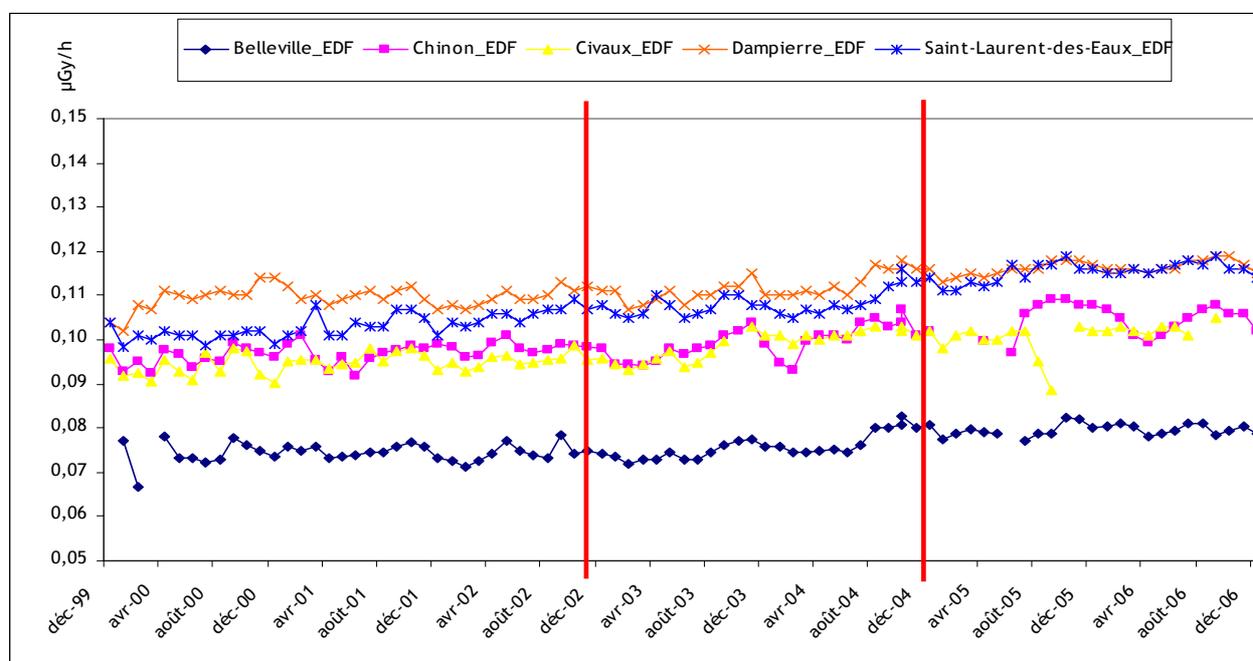


Figure 18 : Evolution du débit de dose entre 1999 et 2006 pour les CNPE du bassin de la Loire

La figure 19 permet d'observer que le débit de dose dans les agglomérations du bassin versant de la Loire est supérieur à celui mesuré dans les CNPE, lui-même supérieur à celui mesuré dans les stations Météo France (stations généralement situées à proximité d'agglomérations). Ces différences sont toutefois très relatives, et un changement d'échelle en ordonnée (graphe de droite) permet de lisser ces courbes et de montrer la stabilité des mesures de débits de dose pour tous les types d'implantation.

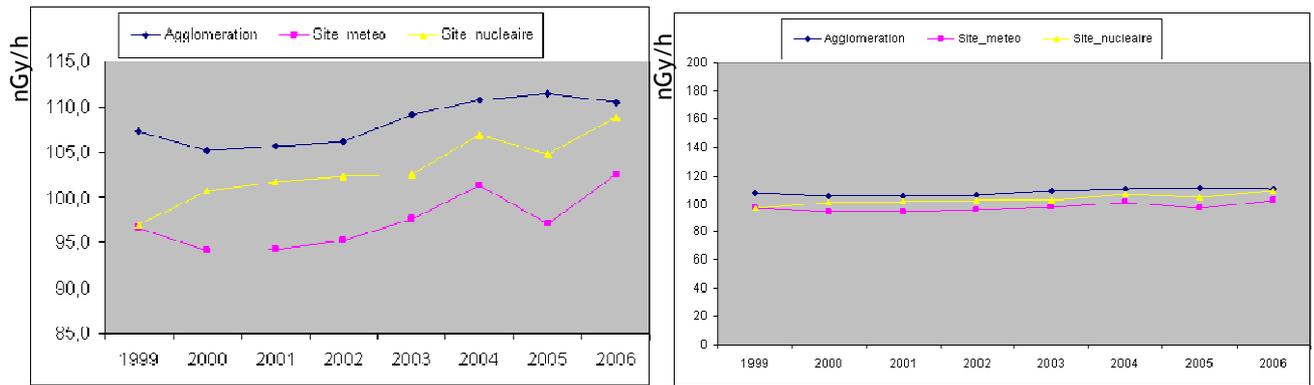


Figure 19 : Evolution du débit de dose (en nGy/h) entre 1999 et 2006 pour les sondes Téléray du bassin versant de la Loire implantées dans les agglomérations, sur les sites météo, et près des centres nucléaires de production d'électricité

La figure 20 est une chronique rassemblant les données de l'ensemble des stations implantées dans les principales agglomérations du bassin versant de la Loire. Ces résultats mettent une fois de plus en évidence la relation étroite existant entre le débit de dose et la nature des roches constitutives du *substratum*. Le débit de dose varie entre 0,05 et 0,17 $\mu\text{Gy/h}$ en fonction des stations. Sur ce graphe on observe également des variations brutales du débit de dose dont l'origine, à cette échelle, est le plus souvent d'ordre technique (panne, détérioration de l'installation, ...).

Ces résultats devraient donc être mis à disposition du public avec des explications, ou après tri préalable des informations (publication uniquement des données obtenues dans des conditions optimales de fonctionnement du réseau).

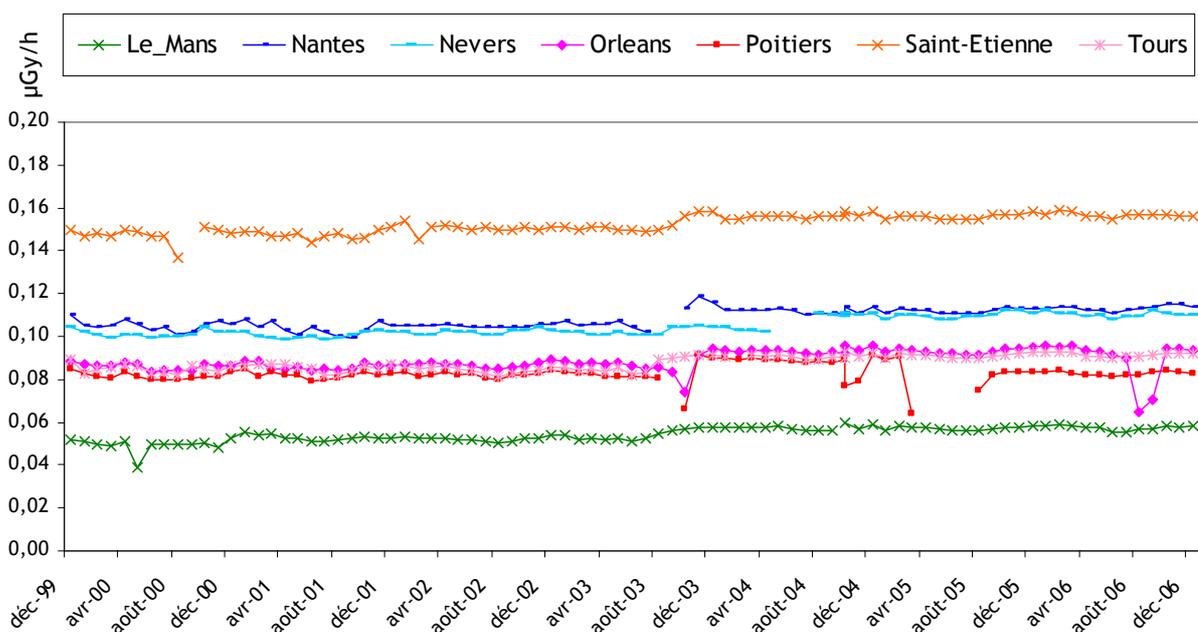


Figure 20: Evolution du débit de dose entre 1999 et 2006 pour les sondes Téléray implantées dans les principales agglomérations du bassin versant de la Loire

7.1.1.1.2 EDF - Les réseaux de surveillance radiamétrique des CNPE

La surveillance réglementaire est réalisée par l'exploitant dès la mise en service de la première installation et pendant toute la durée de vie de la centrale selon un programme réglementé et contrôlé par l'ASN, comprenant des analyses effectuées sur les rejets liquides et gazeux d'une part, et des contrôles du milieu récepteur de ces rejets d'autre part, en particulier la surveillance du rayonnement gamma ambiant autour des CNPE.

Chaque CNPE dispose ainsi de plusieurs réseaux de contrôle du rayonnement gamma ambiant dans l'environnement avec un double objectif de contrôle du débit de dose et d'alerte. A titre d'exemple, le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux dispose [28] :

- de 10 balises en limite de site (balises installées près de la clôture du site) ;
- de 4 balises installées à 1 km du site ;
- de 4 balises installées à 5 km du site ;
- de 8 balises installées sur un rayon de 10 à 15 km autour du CNPE.

Les résultats sont centralisés par un système informatique au niveau de la salle de commande. Une illustration des résultats (moyennes mensuelles) est présentée ci-après (Figure 21 : plaquette EDF - Saint-Laurent-des-Eaux - Octobre 2007) [29].

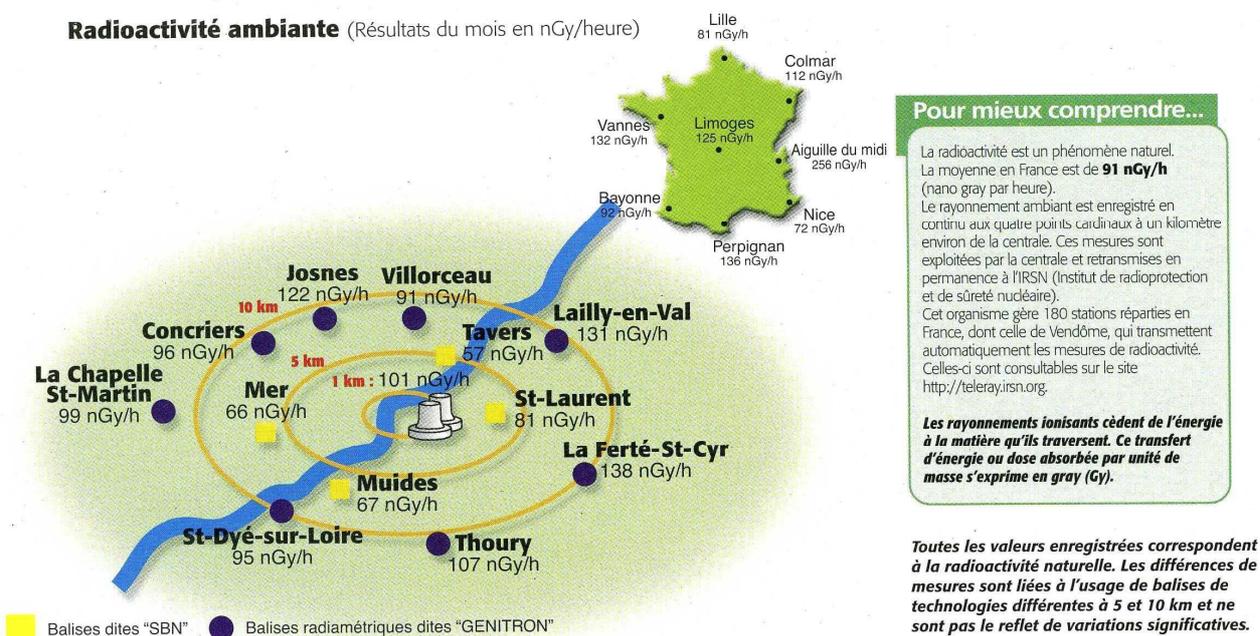
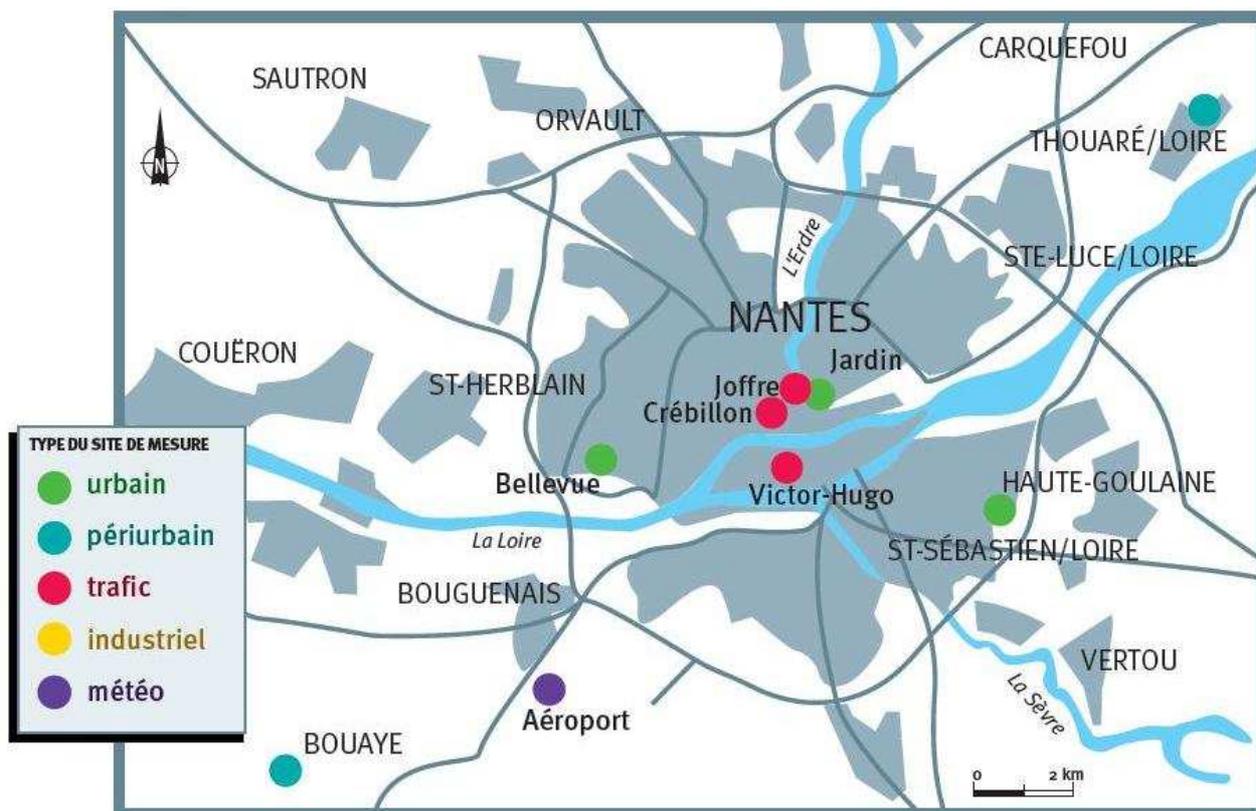


Figure 21 : Résultats de surveillance de la radioactivité gamma ambiante autour du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux (EDF - Octobre 2007)

Les résultats des mesures gamma ambiant représentent un nombre très important de données pour l'ensemble des CNPE. Pour des raisons techniques (balises différentes, vieillissement des composants électroniques) essentiellement liées aux appareils de mesures mis en œuvre, les valeurs enregistrées peuvent varier sensiblement et rendre la communication plus complexe pour le public.

7.1.1.1.3 ASQA - Les balises de radiodétection des réseaux urbains

Les associations Air Pays de la Loire et Atmo Auvergne disposent chacune d'une balise permettant, entre autre, une mesure du rayonnement gamma ambiant. Les systèmes permettent d'obtenir 24h sur 24 des moyennes horaires. Pour la balise de Nantes, implantée sur le site de Bellevue (Figure 22), le rayonnement gamma est mesuré par un détecteur à compteur proportionnel (évolution du compteur Geiger Müller) [30].



*Figure 22 : Réseau de surveillance de l'agglomération nantaise
(Air Pays de la Loire - Rapport annuel d'activité 2006)*

La diffusion de ces données est très restreinte. A la différence des autres polluants atmosphériques consultables en ligne sur Internet notamment, les résultats de radioactivité ne sont publiés que dans les plaquettes mensuelles ou bien dans les rapports annuels d'activité.

7.1.1.2 Les réseaux de mesure du débit de dose gamma ambiant par prélèvement sur DTL et mesure différée en laboratoire

7.1.1.2.1 IRSN - Le réseau national de DTL

Le réseau de dosimètres thermoluminescents (réseau DTL) s'intègre dans les moyens mis en œuvre par l'IRSN pour répondre à sa mission de surveillance de l'environnement définie par le décret n°2002-254. Développé à partir de 1985, ce réseau a pour objet d'effectuer la surveillance du débit de dose externe, intégré sur plusieurs mois, dû au rayonnement gamma ambiant dans l'environnement du territoire national. La logique d'implantation des DTL correspond à la volonté d'avoir au minimum un dosimètre par département, et une surveillance renforcée aux abords des sites industriels menant des activités en lien avec la radioactivité [12].



Figure 23 : Dosimètre thermoluminescent et son boîtier de protection

Les DTL employés (Figure 23) permettent d'enregistrer des doses de 10 μGy à 1000 Gy. Ils permettent de couvrir la gamme des débits de dose possibles dans un contexte environnemental, tout en étant d'une sensibilité suffisante pour mesurer de faibles variations d'amplitude (exposition au rayonnement cosmique : 0,3 à 2 mGy/an ; exposition au rayonnement tellurique : 0,05 à 1,5 mGy/an) ou au suivi de sites où la radioactivité naturelle se trouve renforcée du fait des activités exercées (anciens sites miniers, anciens laboratoires...).

La surveillance du territoire national est effectuée à partir de 1000 stations DTL couvrant la métropole et les DOM-TOM, chaque dosimètre restant en place 6 mois. Un zoom a été opéré sur le bassin de la Loire (Figure 24).

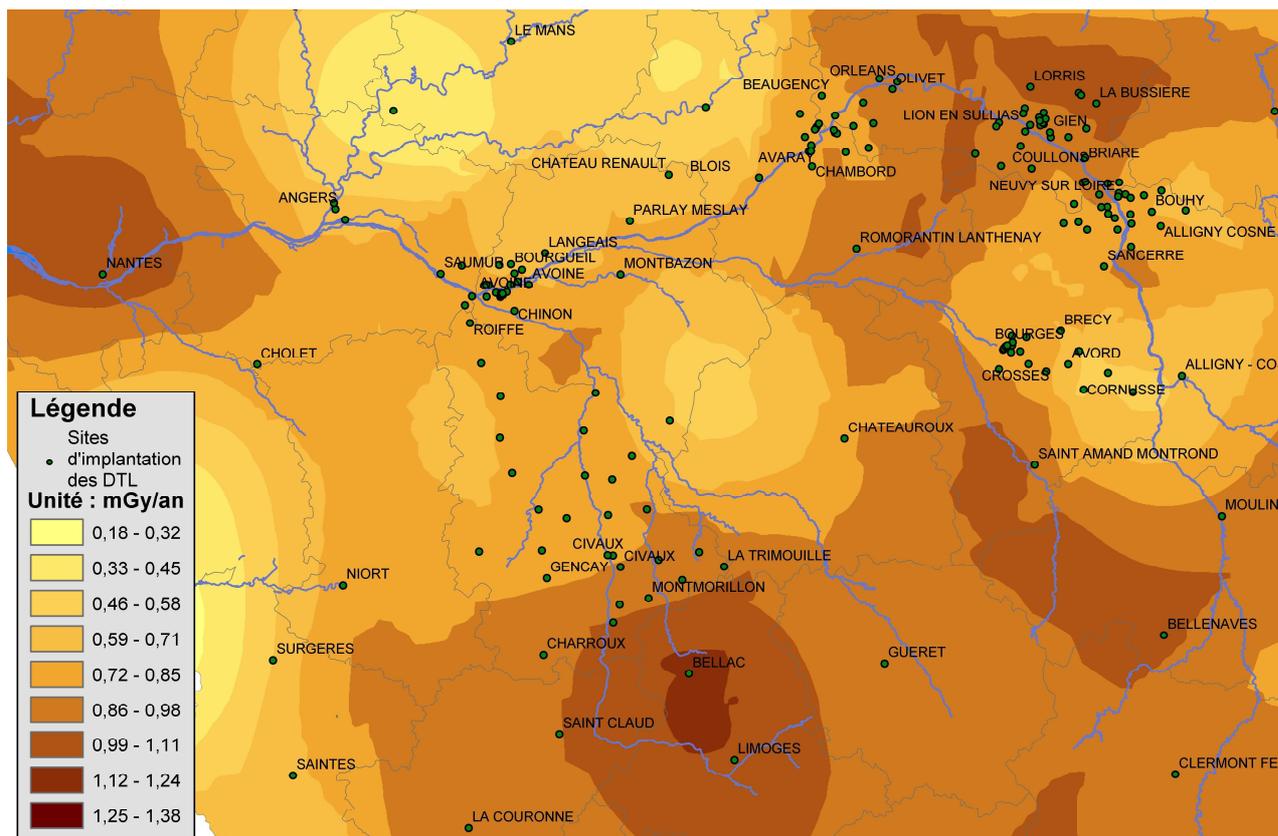


Figure 24 : Interpolation DTL 2004

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). Le tableau X présente les données comparées des deux réseaux de surveillance du débit de dose gamma ambiant, ciblés sur les départements traversés par la Loire [12].

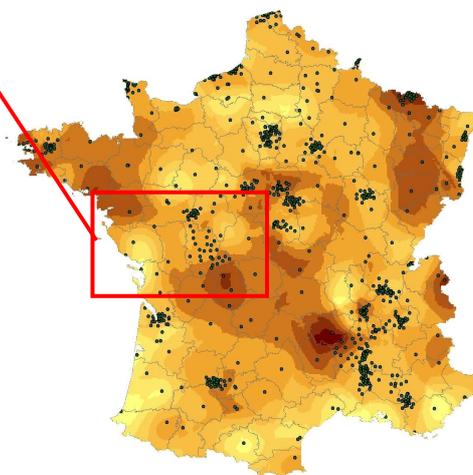


Tableau X : comparaison DTL-Téleray pour 2004

N°	Département	Région administrative	Moyenne annuelle du débit de dose (en mGy/an)	
			Téleray	DTL
18	Cher	Centre	0,77	0,79
37	Indre-et-Loire	Centre	0,86	0,76
41	Loir-et-Cher	Centre	0,86	0,82
44	Loire-Atlantique	Pays de la Loire	0,98	1,34
45	Loiret	Centre	0,91	0,96
49	Maine-et-Loire	Pays de la Loire	1,00	0,78

L'interprétation cartographique simplifiée ci-après (Figure 25) représente la moyenne annuelle des mesures enregistrées par les dosimètres, avec cependant un biais lié à l'hétérogénéité des implantations.

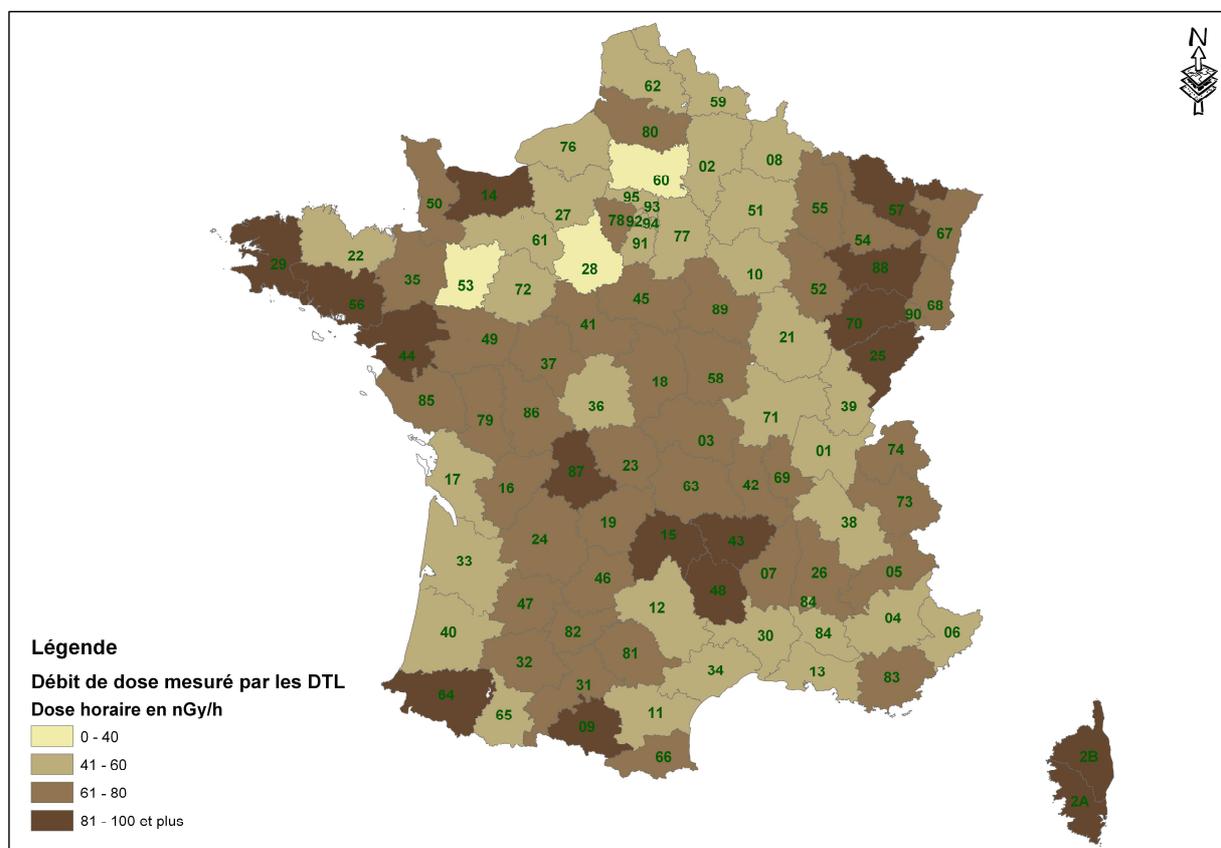


Figure 25 : Interprétation cartographique des données 2005 du réseau de DTL en France

Les résultats obtenus en 2005 sont du même ordre de grandeur que ceux des années précédentes. 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 toutes représentatives, en absence d'écart, de la radioactivité naturelle du territoire français.

7.1.1.2.2 AREVA - La surveillance des anciens sites miniers par DTL

AREVA NC a mis en place différents types d'appareillages pour la surveillance de la qualité de l'air sur les anciens sites miniers, et notamment ceux de la division minière de la Cruzille.

Des dosimètres thermoluminescents (DTL) sont ainsi implantés autour des sites miniers ainsi que dans le milieu naturel afin d'établir des points de référence géologiquement comparables aux sites mais en dehors de toute influence minière [20].

Les analyses sont effectuées de façon trimestrielle (temps d'intégration sur 3 mois).

Les DTL sont placés de manière à fournir des résultats représentatifs des niveaux de contamination moyens observés ; ils sont donc positionnés :

- dans la zone d'habitation la plus proche du site (afin de prendre en compte la population la plus exposée) ;
- à distance des murs pour s'affranchir de leur rayonnement propre ;
- de telle sorte que la radioactivité à l'intérieur de la zone d'influence de l'appareil soit représentative de la radioactivité moyenne autour des habitations du groupe de référence ;
- à 1,5 m au-dessus du sol (hauteur moyenne de la bouche et du nez d'un individu adulte qui sont les voies d'entrée des substances radioactives dans l'appareil respiratoire) : exigence des normes NF M60-763 et M60-764.

La figure 26 présente les résultats pour les valeurs de débits de dose de rayonnement gamma sur les sites réaménagés. Les valeurs sont comprises entre 350 et 450 nGy/h avec une moyenne établie à 378 nGy/h sur la période 1994-2003. La diminution importante du débit de dose sur site entre 1994 et 1996 correspond à la période de réhabilitation de l'établissement de Bessines [20]. Les valeurs de débit de dose de rayonnement gamma sur les anciens sites miniers sont légèrement plus élevées que dans leur environnement. En revanche, les valeurs obtenues pour les villages sous influence présumées des sites sont très proches en moyenne des valeurs mesurées dans le milieu naturel (Figure 26).

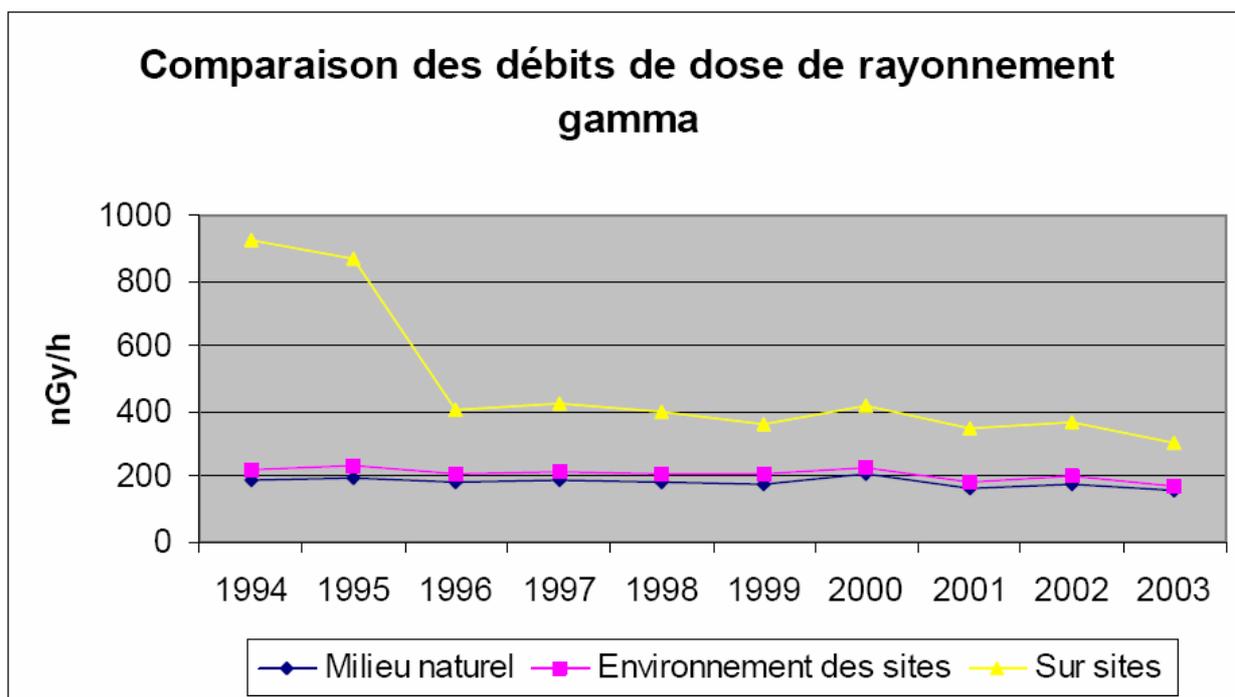


Figure 26 : comparaison des débits de dose de rayonnement gamma en fonction des différents types d'implantation des DTL (moyennes sur l'établissement de Bessines - données extraites du bilan décennal environnemental 1994-2003 - AREVA)

Remarque : AREVA NC a également mis en place d'autres type d'appareillages pour la surveillance de la qualité de l'air autour des anciens sites miniers, et notamment :

- des dosimètres mesurant les Energies Alpha-Potentielles (EAP) dues aux descendants à vie courte du Radon 222 et du Radon 220 et exprimées en nJ/m³ (nanoJoule/m³). Le principe d'un tel dosimètre est le même que celui de la photographie. Les particules alpha émises par le radon heurtent le film du dosimètre. Un procédé chimique permet de révéler sur ce film les impacts. Un micro-ordinateur associé à un microscope équipé d'une caméra permet de reconnaître et de compter les traces des particules alpha du radon.
- des dosimètres qui prélèvent de l'air en continu et mesurent l'activité volumique des émetteurs alpha à vie longue contenus dans les poussières (mesure alpha totale à partir d'un filtre), avec un résultat exprimé en mBq/m³.

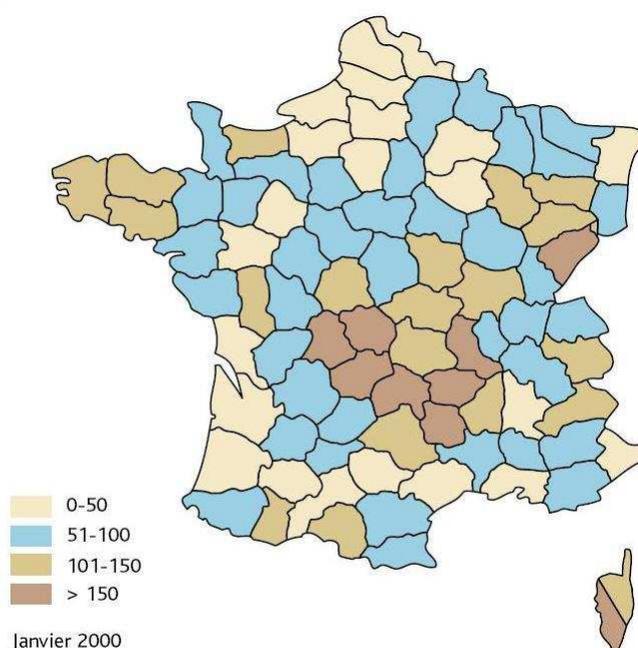
7.1.1.3 Le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle. Il provient de la désintégration de l'uranium et du radium contenus dans la croûte terrestre. Il est présent partout à la surface de la terre mais surtout dans les sous-sols granitiques et volcaniques. Il diffuse dans l'air à partir du sol ou de l'eau où il peut être dissous. Par la présence de granit ou de schistes, contexte géologique favorable à l'émanation de radon, de nombreux départements du bassin versant de la Loire sont en partie concernés.

Les effets du radon sur la santé ont porté les pouvoirs publics à engager des campagnes de mesure couvrant tout le territoire métropolitain, menées conjointement par les DDASS et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire qui réalise depuis plusieurs années des campagnes de mesures du radon.

En règle générale, les sous-sols granitiques libèrent plus de radon que les terrains sédimentaires en raison de leurs plus grandes concentrations en uranium naturel (Figure 28). La moyenne des mesures dans l'air des habitations en France est de 90 Bq/m³ [32].

Figure 28 : Moyenne par département des concentrations en radon dans l'air des habitations (en Bq/m³)



Ces campagnes de mesure ont mis en évidence les fortes disparités départementales et régionales. C'est ainsi que l'arrêté du 22 juillet 2004 précise en annexe les 31 départements où la mesure systématique du radon dans certains établissements ouverts au public est obligatoire.

Pour gérer ce risque naturel, les préfets ont été chargés d'organiser les contrôles dans les bâtiments accueillant du public et l'information de la population des zones concernées, en l'incitant à faire des contrôles dans les bâtiments privés. La concentration en radon peut être réduite par deux types d'actions : celles qui visent à empêcher le radon de pénétrer à l'intérieur en assurant l'étanchéité entre le sol et le bâtiment (colmatage des fissures à l'aide de colles silicone ...), en mettant en surpression l'espace intérieur ou en dépression le sol sous-jacent ; et celles qui visent à éliminer, par dilution, le radon présent dans le bâtiment, par aération naturelle ou ventilation mécanique, améliorant ainsi le renouvellement de l'air intérieur.

A titre d'exemple, les 5 DDASS et les 5 Directions départementales de l'équipement (DDE) de la région ont mené des investigations entre 2001 et 2005, ciblées dans certaines zones repérées comme étant potentiellement émettrices de radon [31]. La figure 27 synthétise les résultats des campagnes de mesures radon effectuées entre 2001 et 2005 dans les 5 départements du pays de la Loire.

le radon en Pays de la Loire campagnes de mesures 2001-2005

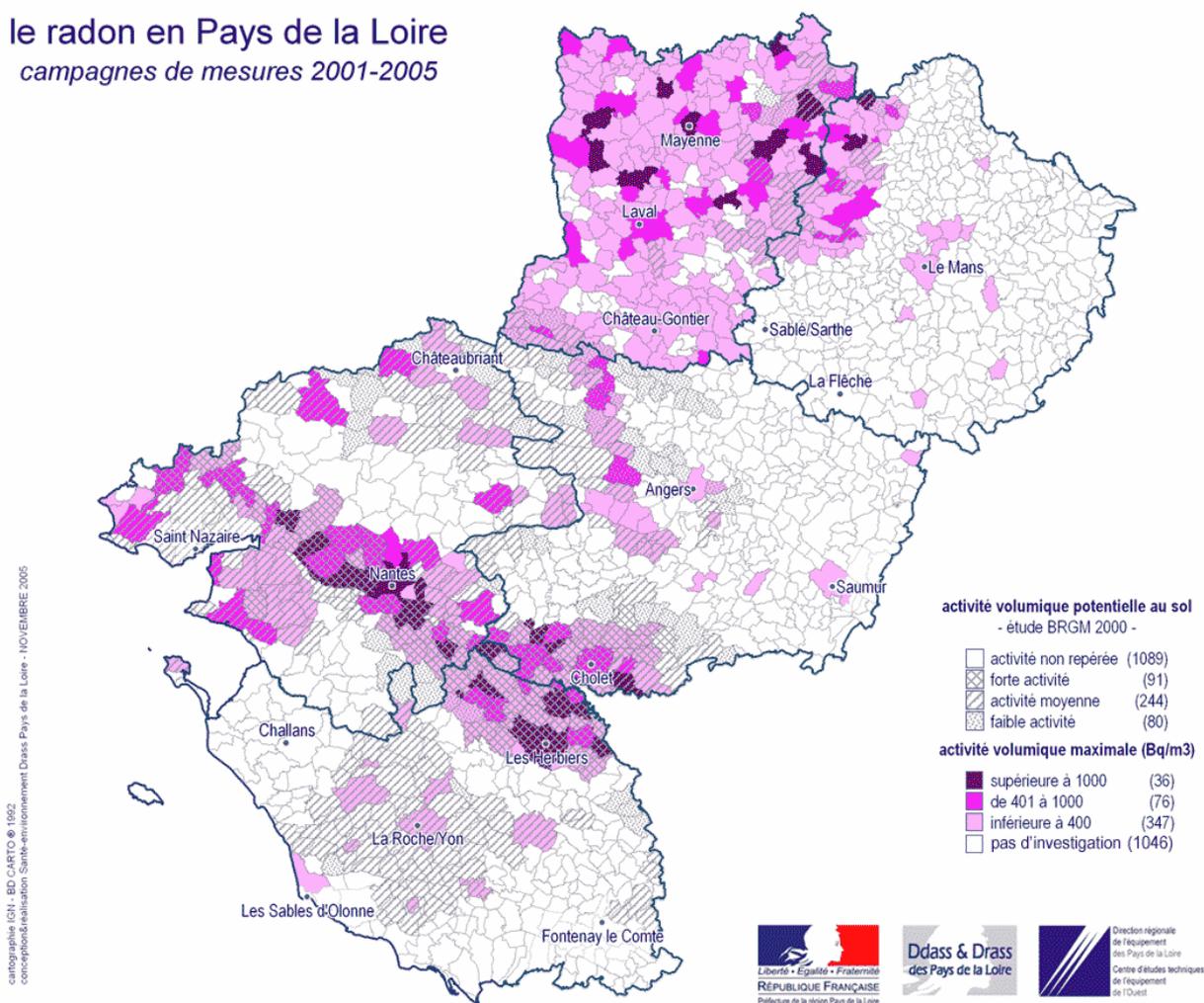


Figure 27 : Le radon en Pays de la Loire (bilan des campagnes de mesures 2001 - 2005)

7.1.2 LES AEROSOLS ATMOSPHERIQUES

En cas d'événement radiologique important, la contamination atmosphérique serait la première voie d'exposition des populations impliquées. C'est également au travers de la connaissance de la contamination de l'air qu'il est possible de pronostiquer l'ampleur des retombées au sol, donc de la contamination de la chaîne alimentaire, permettant de décider rapidement des actions de restriction sans attendre une confirmation par des mesures sur des prélèvements de produits agricoles qui ne peuvent être obtenues que progressivement.

Parmi toutes les voies de recherche sur l'estimation des dépôts d'aérosols radioactifs en mai 1986 à la suite de l'accident de Tchernobyl, celle s'appuyant sur la mesure de l'activité résiduelle des aérosols atmosphériques collectés sur filtre au moment du passage du nuage sur le territoire français est une des plus intéressantes puisqu'elle permet d'accéder presque directement à la contamination atmosphérique. Il est donc particulièrement intéressant de mettre en œuvre cette technique.

7.1.2.1 Les réseaux par prélèvement sur filtre fixe et mesure en laboratoire

7.1.2.1.1 IRSN - Le réseau AS

Le réseau AS est constitué de stations fixes de prélèvement des aérosols sur des filtres en cellulose. Ces stations sont composées d'une turbine d'aspiration, d'un compteur volumétrique et d'un porte-filtre (Figure 29). Ces éléments sont assemblés au sein d'un abri en bois visible sur la photo de gauche ci-après. Les filtres sont rapatriés par voie postale vers le site du Vésinet pour y être conditionnés, puis mesurés en laboratoire [33].



Figure 29 : Stations de prélèvement du réseau AS

Le rôle de ce réseau, contrairement aux réseaux d'alerte, n'est pas de détecter de la radioactivité artificielle de façon précoce mais de suivre l'évolution, à moyen terme, d'une contamination radiologique du territoire.

Le réseau AS est constitué de soixante-dix stations de prélèvements implantées en France et dans les DOM-TOM. Dans le bassin de la Loire on dénombre dix stations, dont cinq sont à proximité immédiate des CNPE (Figure 30).



Figure 30 : Stations aérosols du bassin de la Loire

Tous les résultats des mesures effectuées depuis plus de 40 ans sur les filtres (alpha global, bêta global, spectrométrie gamma) sont intégrés dans des bases de données. Il est donc possible de disposer de chroniques importantes avec ce réseau. De plus, le traitement et les mesures réalisés n'étant pas destructeurs, tous les filtres sont conservés et archivés depuis l'origine du réseau [33].

A la différence des autres types de prélèvements, de nouvelles mesures (à plus bas niveau par exemple) sont donc possibles sur ces échantillons, plusieurs années voire plusieurs décennies après le prélèvement.

La figure 31 présente des exemples de chroniques permettant d'observer l'évolution de l'activité bêta globale dans les aérosols. Les chroniques les plus anciennes permettent d'observer les retombées des tirs atmosphériques et notamment celles de la grande période d'explosions de 1961-1962. Après 1964, les activités, de 10 à 100 fois plus faibles, correspondent aux principales explosions chinoises qui se sont achevées en 1980. Le pic du 1^{er} mai 1986 correspondant aux retombées de Tchernobyl est également visible. L'impact éventuel des CNPE est masqué par les retombées des essais nucléaires atmosphériques jusqu'au début des années 80.

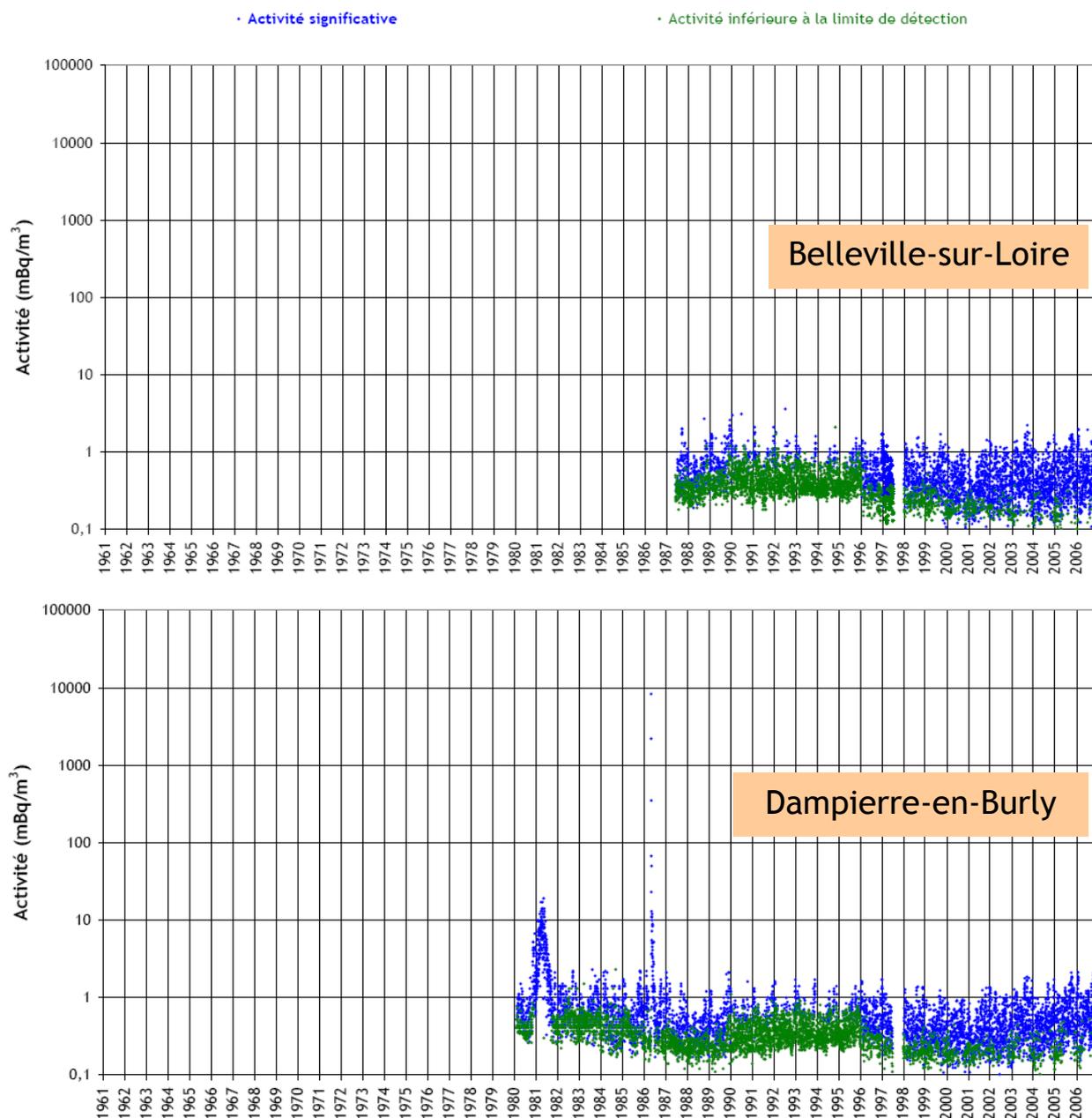


Figure 31 : Variation quotidienne de l'activité bêta globale pour les stations AS des CNPE de la Loire (Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon)

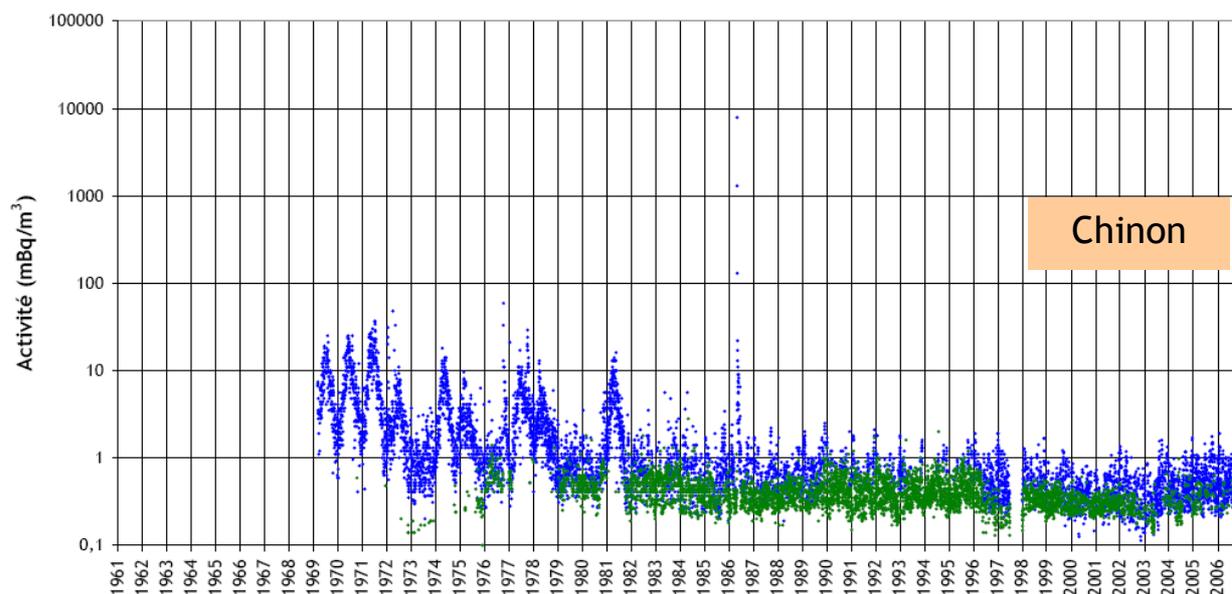
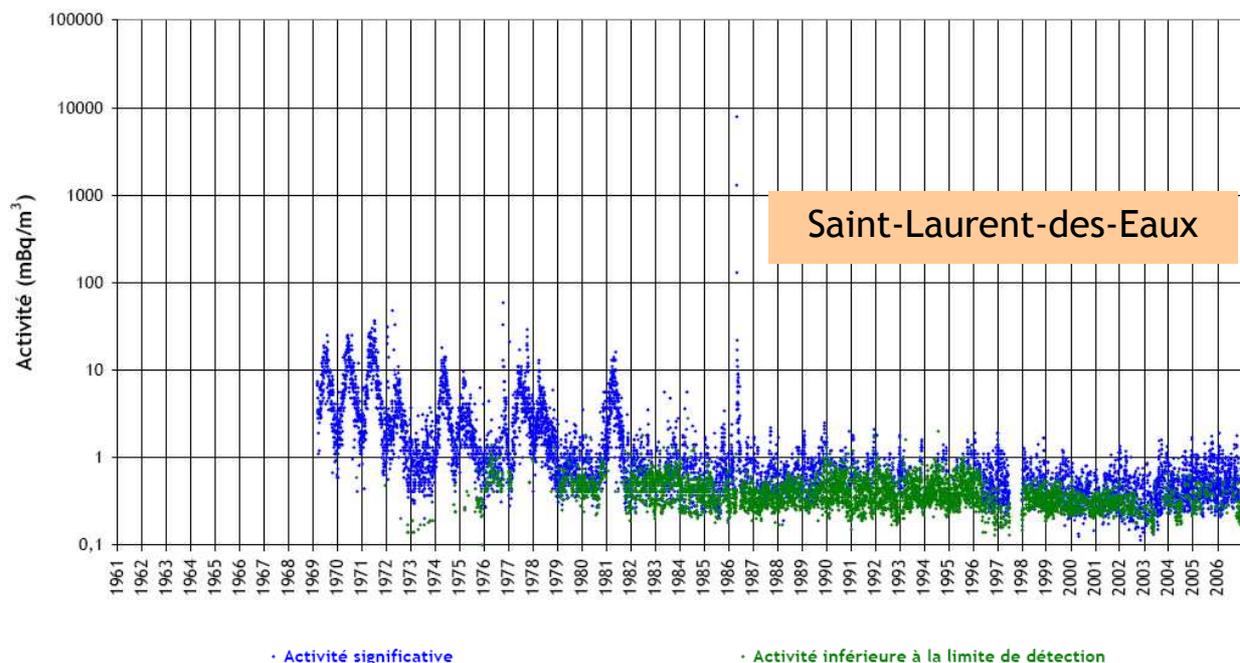


Figure 31 (suite) : Variation quotidienne de l'activité bêta globale pour les stations AS des CNPE de la Loire (Belleville-sur-Loire, Dampierre-en-Burly, Saint-Laurent-des-Eaux, Chinon)

La figure 32 montre un autre type de représentation permettant d'observer l'évolution de l'activité volumique sur une année. Ce type de graphique permet de visualiser les variations naturelles annuelles de l'activité bêta globale, et de distinguer également les résultats significatifs des résultats en 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.

Depuis 20 ans, les fluctuations mesurées sont d'ordre naturel, essentiellement dues à des phénomènes météorologiques (pression atmosphérique, humidité relative) relatifs au transport sur de longues distances des particules atmosphériques, ainsi qu'à des paramètres géologiques et pédologiques (remise en suspension de particules terrigènes à l'échelle locale)...

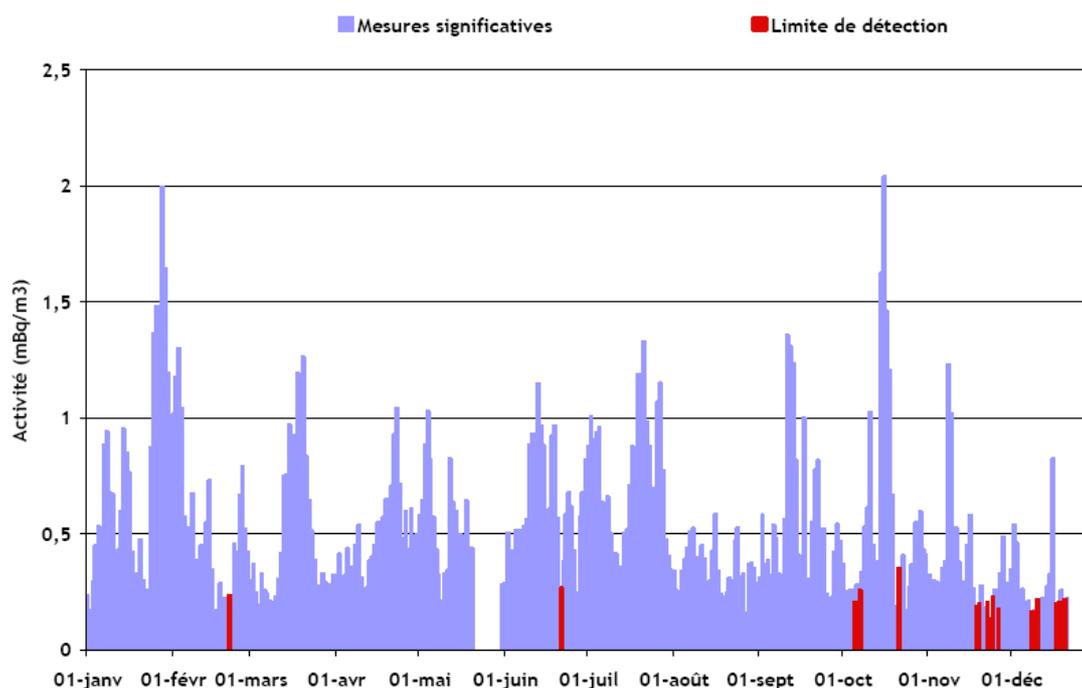


Figure 32 : Variation quotidienne de l'activité bêta globale (en mBq/m³) pour la station AS de Chinon, entre le 1^{er} janvier 2006 et le 31 décembre 2006.

A titre d'exemple, le tableau XI ci-dessous synthétise les résultats d'activité bêta globale obtenus en 2006 sur les stations AS implantées sur le bassin de la Loire. Chaque station représente environ 365 prélèvements, soit autant de résultats de mesures. A chaque résultat de mesure significatif est associée une incertitude de mesure. L'incertitude de mesure est un paramètre propre à une méthode décrivant l'étendue des valeurs possibles dans laquelle se trouve la valeur vraie avec une probabilité prédéfinie. Elle est la résultante de la combinaison des effets d'un certain nombre de composantes, sources d'incertitude.

Tableau XI : résultats d'activité bêta globale sur les stations implantées sur le bassin de la Loire en 2006

NOM DU SITE	MINIMUM (mBq/m ³)	MAXIMUM (mBq/m ³)	Valeur moyenne en 2006 (mBq/m ³)
BOURGES	< 0,13	2,11 ± 0,47	0,51
BAUGY	< 0,08	1,14 ± 0,09	0,34
BELLENAVES	< 0,12	2,86 ± 0,26	0,72
BELLEVILLE-SUR-LOIRE	< 0,10	1,95 ± 0,17	0,51
CHINON	< 0,13	2,04 ± 0,19	0,53
CIVAUX	< 0,11	2,27 ± 0,21	0,55
DAMPIERRE-EN-BURLY	< 0,12	2,10 ± 0,45	0,60
ST-LAURENT-DE-CERIS	0,10 ± 0,03	1,85 ± 0,44	0,52
ST-LAURENT-DES-EAUX	< 0,17	1,90 ± 0,20	0,56
TOURS	< 0,08	2,13 ± 0,20	0,52

7.1.2.1.2 EDF - Les stations de prélèvement d'aérosols des CNPE

La surveillance réglementaire est réalisée par l'exploitant selon un programme comprenant notamment des analyses effectuées sur le milieu récepteur des rejets dont la surveillance des aérosols atmosphériques par l'intermédiaire de 4 stations (AS1, AS2, AS3 et AS4) implantées en champ proche du site.

Les stations de prélèvement aérosols d'EDF sont semblables à celles de l'IRSN. Ce type de matériel était imposé par le SCPRI (Service central de protection contre les rayonnements ionisants) sur toutes les installations nucléaires. La station AS1, située sous les vents dominants, est doublée par la station de l'IRSN. Les opérateurs EDF effectuent les opérations de changement de filtre et de relevé du volume filtré à la fois pour EDF et pour l'IRSN. Un dispositif avec une cartouche à charbon actif (pour la mesure de l'iode gazeux) est également installé sur les stations EDF.

Les résultats des mesures effectuées (bêta global à J+1, bêta global à J+5) sont transmis tous les mois à l'Autorité de sûreté nucléaire. Ils sont également publiés dans les rapports annuels environnement, et parfois dans les plaquettes d'information propres à chaque site.

7.1.2.2 Les réseaux de télémessure

7.1.2.2.1 IRSN - Le réseau SARA (Surveillance Automatisée de la Radioactivité des Aérosols)

Le réseau SARA est un réseau d'alerte radiologique qui mesure de façon automatisée et en continu la radioactivité des aérosols. A terme, il devra permettre de rendre compte rapidement de toute contamination radioactive des aérosols dans l'environnement, susceptible d'induire un risque sanitaire pour les populations. Ce type de réseau jouerait un rôle prépondérant sur la détection d'événements du type de l'accident de Tchernobyl [12].

Les stations SARA (Figure 33) sont composées d'une turbine d'aspiration et d'un boîtier électronique de mesure, permettant de détecter d'éventuels radionucléides émetteurs alpha et bêta artificiels mais également de quantifier les descendants naturels des radons 220 et 222.

Un autre avantage du système SARA, en comparaison des réseaux de prélèvements, est sa capacité à détecter des radionucléides à vie courte *in situ* (plomb 212 (T=10,64 heures), bismuth 212 (T=60,55 minutes), thallium 208 (T=3,053 minutes)).



Figure 33 : Station SARA associée à une sonde Téléray

Actuellement le réseau SARA est constitué de treize stations implantées sur des sites météorologiques du territoire métropolitain dont l'une se situe à Tours, entre les CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon. La station de Tours a été installée en 2001.

7.1.2.2.2 AASQA - Les balises de surveillance urbaine

En plus de la surveillance de la qualité chimique de l'air, trois AASQA du bassin versant de la Loire peuvent suivre en permanence le taux de radioactivité à l'aide de balises aérosols : Air Pays de la Loire, LIMAIR et ATMO Auvergne. Lig'Air a décidé de se recentrer sur ses missions prioritaires et, par conséquent, d'arrêter la mesure de la radioactivité à compter du 1^{er} janvier 2006. Les balises de télémessure des AASQA permettent la détection en continu des rayonnements alpha, bêta et le radon. L'iode radioactif est également parfois mesuré à l'état gazeux dans l'atmosphère. Sur ces balises, les niveaux de la radioactivité artificielle sont généralement inférieurs à la limite de détection de la balise (1 Bq/m³). De ce fait, les résultats des mesures alpha et bêta sont rarement publiés.

En revanche, la radioactivité naturelle attribuée au radon 222 est mesurable et présente des variations horaires même si les moyennes annuelles sont relativement stables d'une année à l'autre (Tableau XII) [34]. L'ensemble de ces indicateurs montre que les niveaux de radioactivité naturelle dans l'air à l'extérieur, liée au radon 222, sont très faibles par comparaison au seuil de précaution de 200 Bq/m³ (en moyenne annuelle) recommandé par l'Union Européenne (seuil établi pour les habitations neuves).

Tableau XII : Evolution de l'activité volumique du radon 222 entre 1999 et 2005 - Balise Lig'Air d'Orléans (valeurs en Bq/m³) - Rapport d'activité Lig'Air 2005.

	moyenne	maximum horaire
1999	4,34	63,7
2000	4,50	61
2001	3,78	46,4
2002	3,83	43
2003	5,26	66,9
2004	3,4	55
2005	4,14	42

Les concentrations sont exprimées en Bq/m³.

L'évolution mensuelle de la radioactivité naturelle à Guéret (Creuse) présente deux périodes de valeurs bien distinctes en fonction des saisons : des niveaux de 30 à 45 Bq/m³ pendant la période estivale, et des valeurs trois fois plus faibles le reste de l'année (Figure 34). La variation ainsi observée reflète l'influence des paramètres météorologiques sur les niveaux de la radioactivité naturelle par l'intermédiaire des phénomènes de lessivage atmosphérique dus aux précipitations, les phénomènes de dispersion dus essentiellement à la variation de la vitesse du vent [35].

Ces données ne sont donc pas facilement accessibles pour le public. Elles ne sont pas mises en ligne sur Internet comme le sont les autres polluants atmosphériques mesurés par les AASQA. Les mesures radon ne sont généralement publiées que dans les rapports annuels d'activité (disponibles sur les sites Internet des associations).

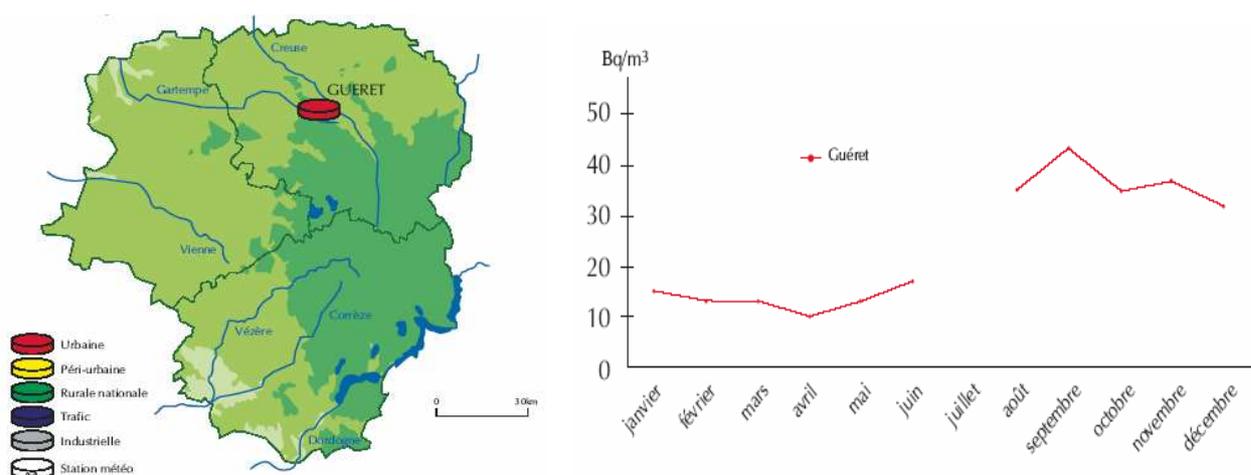


Figure 34 : Localisation de la station de surveillance urbaine de Guéret et évolution de la moyenne mensuelle en radon (Rapport annuel d'activité LIMAIR 2005)

7.1.3 LES EAUX DE PLUIE

7.1.3.1 IRSN - Le réseau de collecte des eaux de pluie

L'IRSN dispose d'un collecteur d'eau de pluie, situé sous les vents dominants de chaque CNPE, à proximité des stations de prélèvement de poussières atmosphériques. Ces collecteurs ont été installés dès la construction des CNPE. Le prélèvement est généralement effectué avec une fréquence hebdomadaire. En revanche, les analyses sont réalisées sur le mélange bimestriel (des aliquotes de chaque semaine sont conservés jusqu'à réception des résultats d'analyses) [12].

Tous les résultats sont archivés dans une base de données. Le tableau XIII présente une extraction effectuée sur les prélèvements d'eau de pluie du collecteur de Saint-Laurent-des-Eaux pour les analyses bêta globales et tritium. Depuis 2001, quasiment aucune activité en radionucléides artificiels n'a été mesurée au-dessus des limites de détection des appareils de mesure.

Tableau XIII : Résultats des analyses bêta globales et tritium sur les prélèvements d'eau de pluie du collecteur de Saint-Laurent-des-Eaux entre 2001 et 2005

^3H (Bq/l)			Bêta global (Bq/l)		
Val. min.	Val. max	NS / NT	Val. min.	Val. max	NS / NT
< 8,6	< 13	0 / 28	< 0,081	< 0,14	1 / 28

NS/NT = nombre de valeurs significatives / nombre total de mesures



- Stations à prélèvement mensuel exclusif (analyses mensuelles)
- Stations à prélèvement hebdomadaire (analyses sur le mélange mensuel ou bimestriel)

Figure 35 : Stations de prélèvement d'eau de pluie dans le bassin de la Loire

La figure 35 présente les autres stations de prélèvement d'eau de pluie installées soit à proximité des CNPE (Belleville-sur-Loire, Chinon), soit dans des sites urbanisés (Angers, Tours) ou encore dans des sites éloignés de toute activité industrielle (stations de référence de Bellenaves).

7.1.3.2 EDF - contrôle CNPE

EDF dispose également d'un collecteur d'eau de pluie (Figure 36), situé sous les vents dominants de chaque CNPE, (point AS1), à proximité des stations de prélèvement de poussières atmosphériques. Le prélèvement est généralement effectué avec une fréquence hebdomadaire.

Des analyses bêta globales et tritium sont réalisées sur le prélèvement non filtré. A l'image des résultats présentés dans le tableau XIII par l'IRSN, les résultats des analyses effectuées sont généralement tous en dessous des limites de détection. En ce qui concerne la mesure de la radioactivité dans l'eau de pluie, la problématique consiste donc ici à expliciter au public ce qu'est une limite de détection, et à savoir s'il est opportun ou non de représenter ce type de résultats.

Une 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. Aussi, en prenant comme exemple la mesure du tritium, les limites de détection de l'IRSN oscillent entre 8 et 12 Bq/l (tableau XIII), là où les limites de détection EDF sont généralement de l'ordre de 30 Bq/l. Ces limites sont suffisamment basses au regard des niveaux sanitaires requis. La diffusion de ce type de résultats passe donc par une compréhension de la technique de métrologie mise en œuvre et de ses limites.



Figure 36 : Collecteur d'eau de pluie

7.2 LE MILIEU AQUATIQUE CONTINENTAL

7.2.1 LES EAUX DE SURFACE

L'implantation des stations de prélèvement tient compte de la présence d'installations nucléaires, ou de rejets provenant de diverses sources susceptibles d'interférer avec les rejets de ces installations. Des prélèvements sont donc effectués à la fois en amont et en aval de chaque site surveillé, pour déterminer, par comparaison des résultats, la contribution effective de chaque installation. Une station automatique du réseau Hydrotéléray de l'IRSN est implantée en aval de toute installation nucléaire, à Angers, afin d'effectuer une surveillance radiologique en continu des eaux de la Loire avant leur sortie du territoire français. Dans le cadre de la surveillance des rivières et des fleuves, l'IRSN effectue des prélèvements complémentaires à ceux réalisés en amont et en aval de chaque installation nucléaire [12].

L'échantillonnage d'eau de surface peut être manuel ou automatique (hydrocollecteurs), et être associé à un prélèvement de sédiments ou de boues de décantation.

7.2.1.1 IRSN et EDF : réseaux de prélèvements manuels ou par hydrocollecteurs

Pour les eaux de surface, l'échantillonnage est effectué par l'IRSN et EDF soit manuellement de façon instantanée, soit de façon semi-automatisée (hydrocollecteurs) afin d'intégrer le prélèvement sur une durée déterminée. Au niveau des hydrocollecteurs EDF et IRSN, des prélèvements de sédiments, de boues de décantation, voire de poissons sont aussi généralement réalisés.

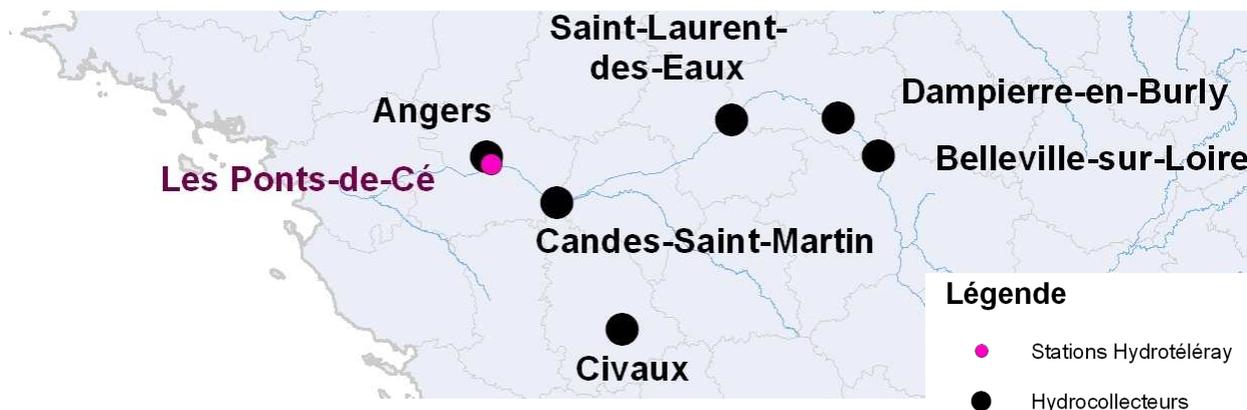


Figure 37 : Implantation des hydrocollecteurs IRSN et de station du réseau hydrotéléray dans le bassin versant de la Loire

Les figures 37 et 38 illustrent le déploiement des réseaux de l'IRSN dédiés à la surveillance radiologique des eaux de surface de la Loire et de la Vienne.

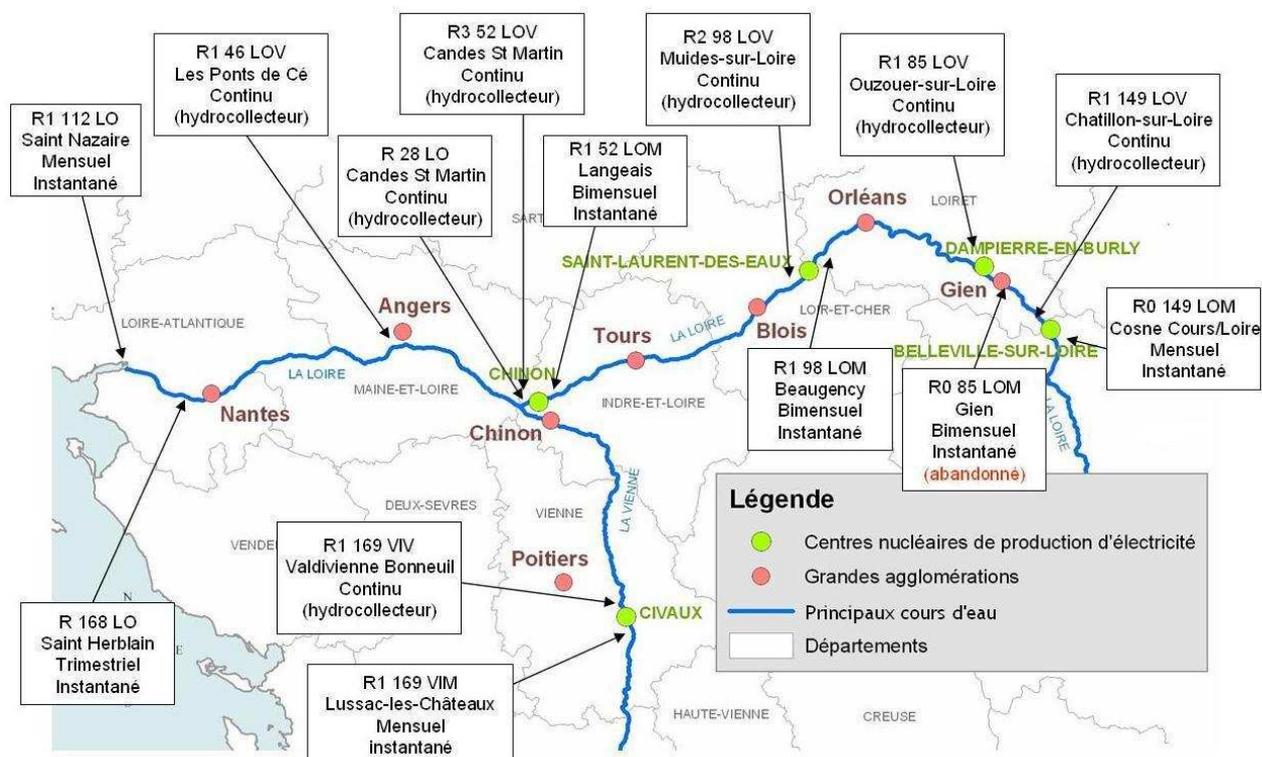


Figure 38 : Réseau IRSN - points de surveillance radiologique des eaux de la Loire et de la Vienne dans le bassin versant de la Loire

L'IRSN et EDF disposent de chroniques assez importantes sur de nombreux points de prélèvements mis en œuvre dès l'implantation des CNPE. La figure 39 présente une chronique sur l'évolution du tritium dans les eaux de la Loire prélevées en aval du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux. Ce type de représentation permet de retracer les grandes étapes de l'histoire industrielle de ce site. La variation des valeurs en tritium observées s'expliquent notamment par l'exploitation particulière de la tranche 1 de Saint-Laurent B jusqu'en 1995 (nécessité de purger plus fréquemment le circuit primaire afin de ne pas dépasser les 400 Bq/l dans le circuit secondaire), puis par la mise en place d'un système de rejet permettant une meilleure dilution dans les eaux du fleuve (1996) et d'une coordination des rejets des quatre CNPE de la Loire afin d'éviter l'effet de cumul (1999).

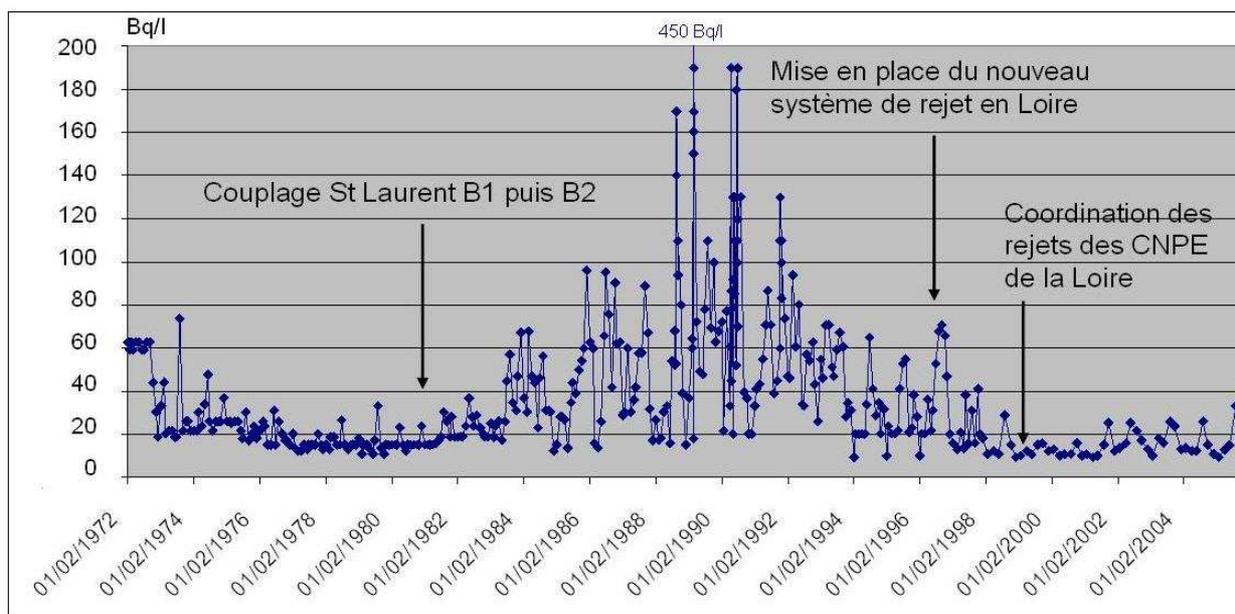


Figure 39 : Activité en tritium (en Bq/l) dans les eaux de la Loire au point R2 98 LOV en aval du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux, de 1972 à 2005 (données IRSN)

Il est également possible de corrélérer l'activité en tritium rejetée par les CNPE avec les activités mesurées dans la Loire en aval de ces installations. La figure 40 illustre ces propos en prenant comme exemple le CNPE de Dampierre.

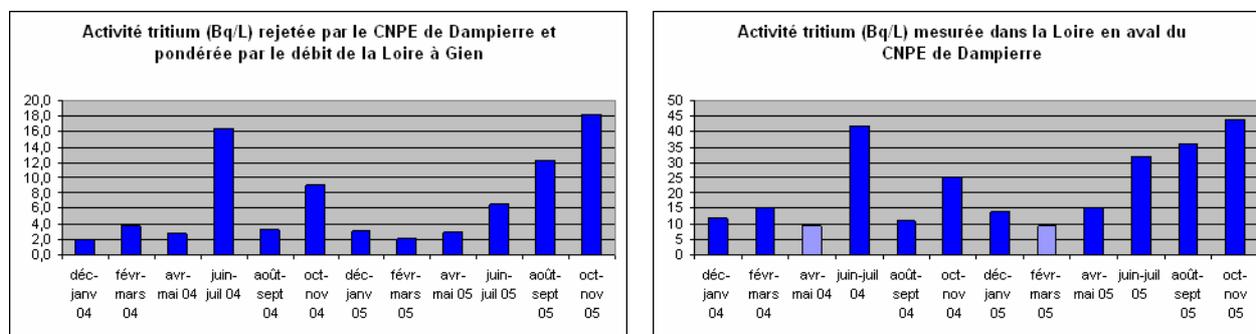


Figure 40 : Activité en tritium (en Bq/l) dans les eaux de la Loire - corrélation entre l'activité rejetée et l'activité mesurée en aval, exemple du CNPE de Dampierre

Si ce type de corrélation est possible à l'échelle d'une installation, il est plus difficile de mettre en évidence l'impact d'une installation sur une autre, du moins avec ce type de prélèvement.

La figure 41 présente les moyennes 1997 - 2006 des résultats significatifs en tritium obtenus en aval des CNPE de la Loire. Ces résultats sont détaillés dans le graphique de la figure 42.

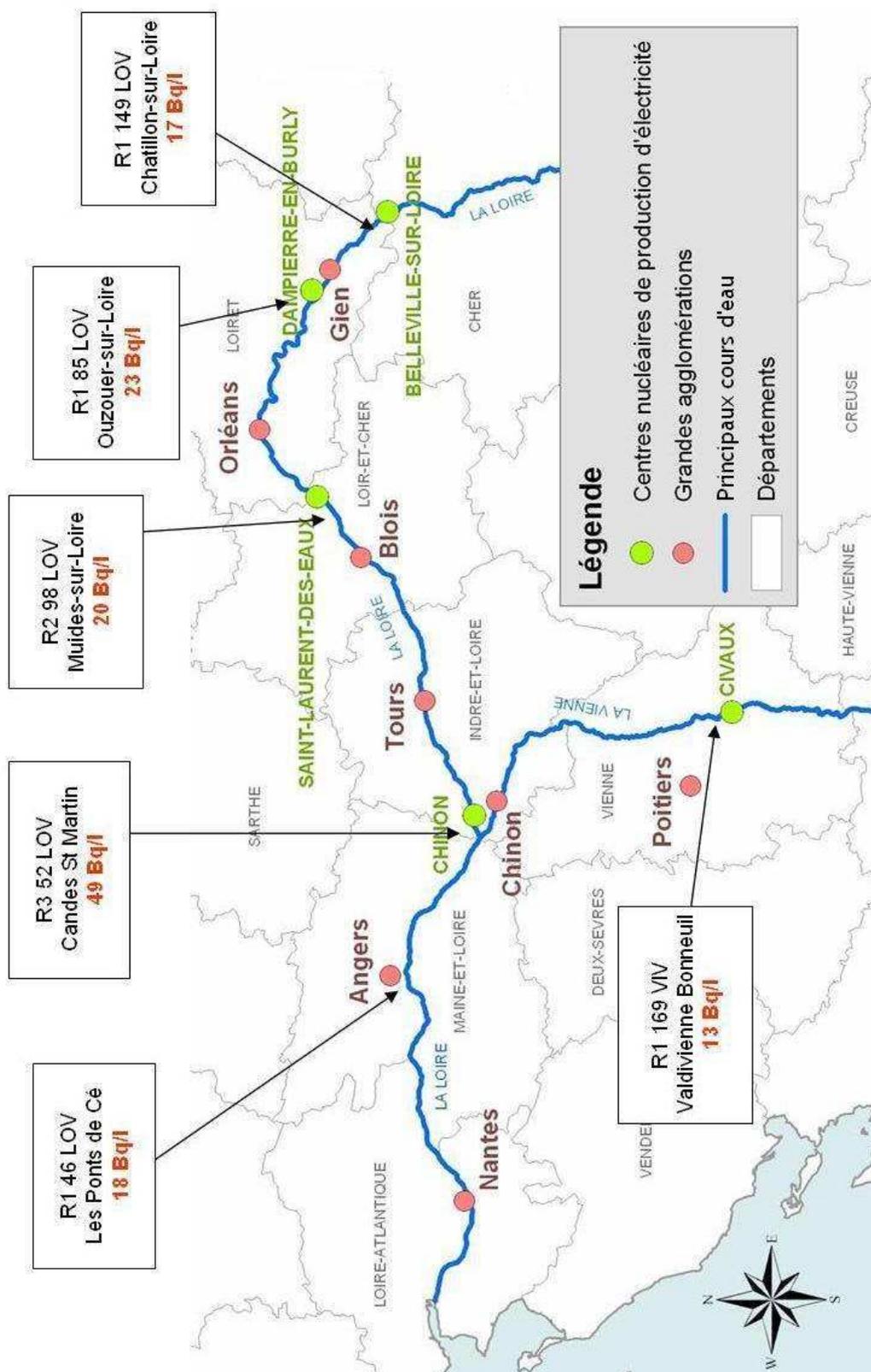


Figure 41 : Activité en tritium (en Bq/l) dans les eaux de la Loire - Moyennes 1997-2006

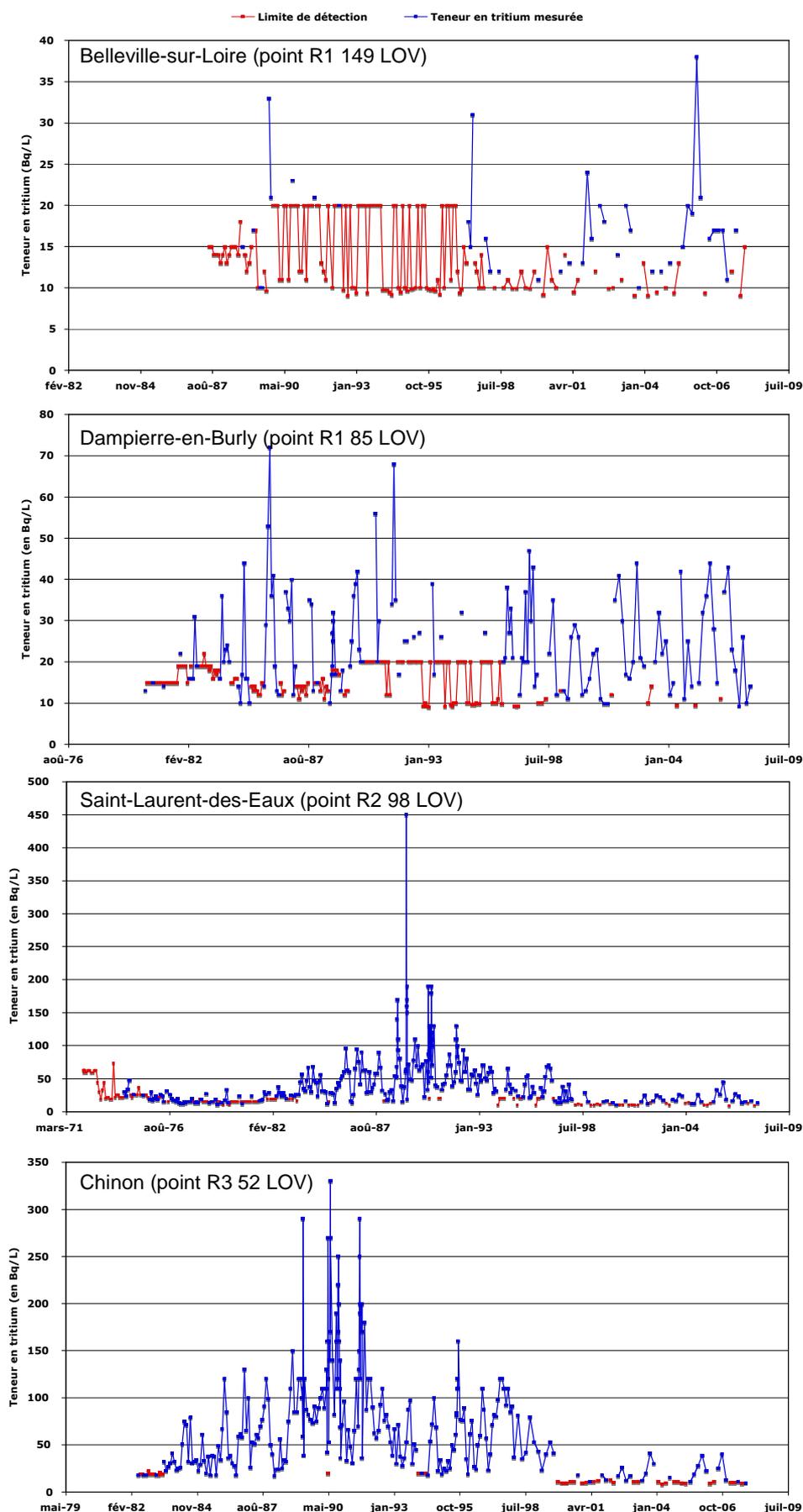


Figure 42 : Chronique de l'évolution du tritium (en Bq/l) dans les eaux de la Loire prélevées en aval des CNPE (points rouges = LD, points bleus = valeurs significatives) - NB : Les échelles en ordonnées diffèrent d'une figure à l'autre.

Si un marquage en tritium est observé en aval de chaque CNPE, il est difficile d'évaluer à l'échelle du bassin versant la contribution de chaque terme source amont sur les mesures effectuées en aval. Les bioindicateurs prélevés dans le milieu aquatique permettent en revanche d'apporter des réponses à ces questions.

7.2.1.2 IRSN - Le réseau Hydrotéléray

Depuis 1993, le réseau Hydrotéléray de l'IRSN assure la surveillance radiologique des eaux de surface continentales avant leur sortie du territoire français. L'eau des fleuves est pompée pour alimenter une cuve de 25 litres blindée avec du plomb (Figure 43) afin de limiter l'influence des rayonnements gamma d'origine tellurique et cosmique. Un détecteur NaI (iodure de sodium) se situe au sein de cette cuve et permet de réaliser une spectrométrie gamma. Les données sont ensuite traitées et stockées sur une carte électronique puis rapatriées sur le PC centralisateur *via* un modem. Un spectre est acquis toutes les deux heures et analysé pour calculer les activités volumiques de l'iode 131, du césium 137 et du cobalt 60. Certains des radionucléides issus de la filiation du radon sont également détectés (plomb 214 et bismuth 214). En cas d'anomalie, une alarme peut être déclenchée en une dizaine de minutes si un excédent de comptage est détecté dans l'une des régions d'intérêt du spectre gamma (régions dont les énergies correspondent aux radionucléides présents). Des prélèvements d'eau sont alors effectués pour la réalisation d'analyses complémentaires et plus fines en laboratoire [12].



Figure 43 : Cuve blindée d'une station Hydrotéléray

Six fleuves font à l'heure actuelle l'objet d'une surveillance en continu en aval de toute installation nucléaire dont la Loire à Angers, station située en aval de tous les centres nucléaires de production d'électricité implantés sur la Loire. La station d'Angers (Ponts de Cé) a été installée à la fin de l'année 1993. Depuis 2003, les données du réseau Hydrotéléray sont intégrées dans une base permettant des extractions rapides.

7.2.2 LES SEDIMENTS ET LES MATIERES EN SUSPENSION

On retrouve les deux acteurs principaux, EDF et l'IRSN, qui disposent de réseaux de contrôle de la radioactivité dans les sédiments et les matières en suspension. Ces prélèvements sont associés aux prélèvements d'eau de surface et se font généralement par le biais d'hydrocollecteurs. Les prélèvements de sédiments réalisés par EDF répondent à deux objectifs complémentaires : le contrôle réglementaire du site, et le suivi radioécologique effectué annuellement [17].

7.2.2.1 EDF - Contrôles réglementaires

Dans le cadre des contrôles réglementaires imposés à l'exploitant, EDF réalise, en marge du suivi radioécologique, une campagne annuelle de prélèvement de sédiments en amont et en aval des CNPE (généralement 1 point amont, et 2 points aval) sur lesquels sont réalisées une mesure bêta globale et une spectrométrie gamma.

7.2.2.2 EDF - Le suivi radioécologique des CNPE

Depuis la fin des années 1970, EDF confie à l'IRSN des études radioécologiques autour de ses installations nucléaires. Ces études ont pour objectif de caractériser, qualifier et expliquer les niveaux de radioactivité mesurés dans l'environnement. De telles études sont menées à différentes périodes du fonctionnement des installations :

- pour chaque site, l'état de référence radioécologique (ou « point zéro ») a été établi avant le démarrage du premier réacteur (radionucléides naturels et artificiels émetteurs alpha, bêta, gamma) ;
- à partir de ce bilan initial, tous les 10 ans, un bilan radioécologique décennal permet d'étudier l'évolution des activités des radionucléides émetteurs gamma, alpha et bêta présents dans les différents compartiments de l'environnement ;
- des études particulières ont pu être conduites afin de comprendre et de quantifier l'influence de divers paramètres du milieu sur les niveaux de radioactivité mesurés dans un compartiment donné ou bien en cas d'événements particuliers (par exemple l'accident de Tchernobyl) sur l'environnement des installations ;
- depuis 15 ans, la mise en place d'un suivi radioécologique annuel permet la caractérisation des niveaux de radioactivité gamma dans l'environnement terrestre et aquatique proche des centrales nucléaires.

L'étude a été initiée en 1991 pour cinq installations (dont Belleville-sur-Loire) et généralisée en 1992 à l'ensemble des 19 sites électronucléaires français alors en fonctionnement (annexes 1 à 5). Toutes les informations concernant l'identification, la localisation, puis les traitements et les mesures effectués sur les échantillons prélevés sont enregistrées dans une base de données exploitée par l'IRSN.

Concernant les sédiments, quelques résultats de ces études radioécologiques sont présentés sur la figure 44. Ils confirment que les sédiments sont de bons intégrateurs de la radioactivité puisqu'ils présentent les plus fortes valeurs en ^{137}Cs mesurées dans le milieu naturel. Le ^{137}Cs est le seul radionucléide artificiel généralement mesurable dans tous les échantillons de sédiments prélevés.

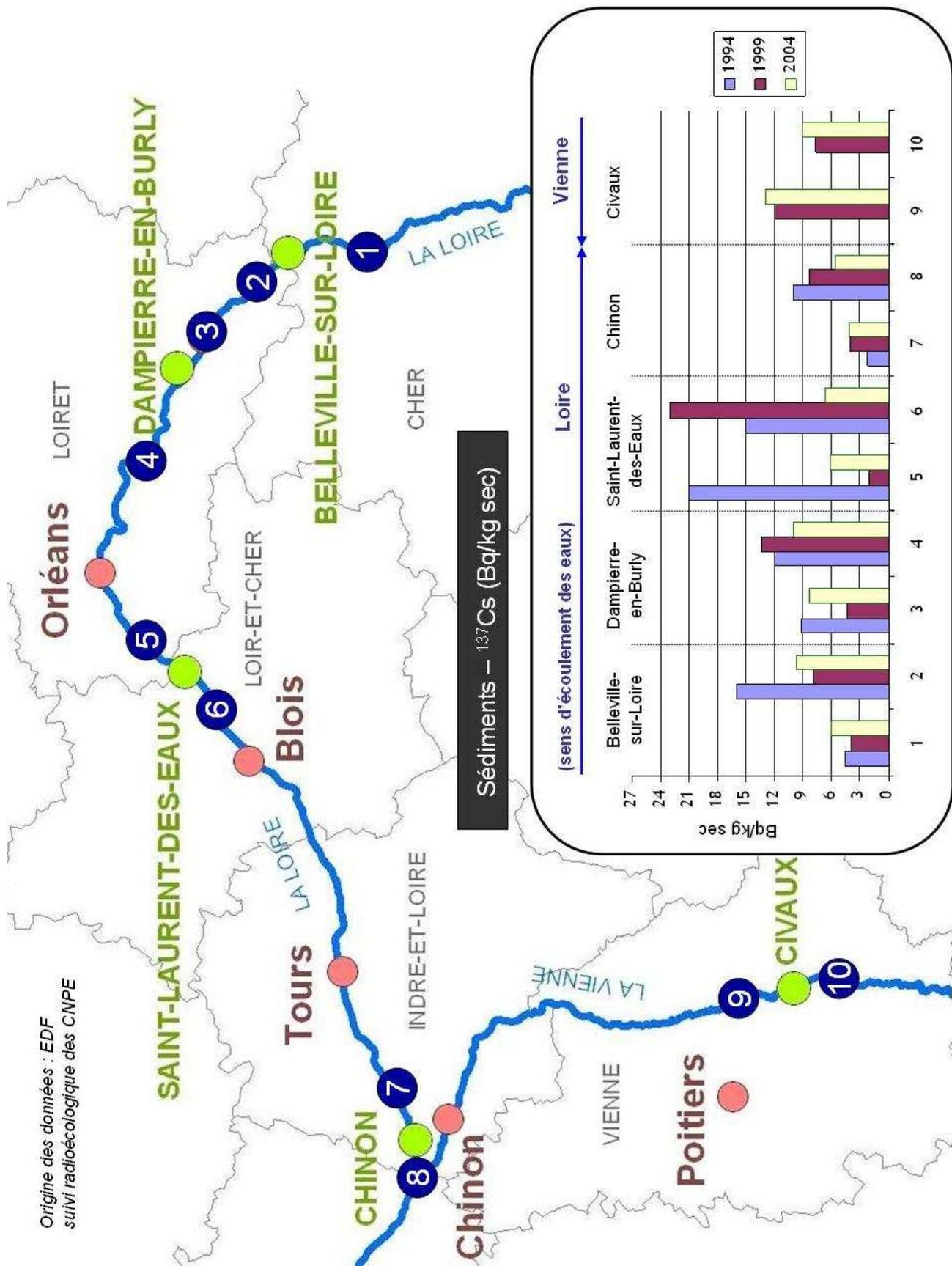


Figure 44 : Concentrations en ¹³⁷Cs détectées par spectrométrie gamma lors des suivis radioécologiques annuels de 1994, 1999 et 2004 (valeurs maximales) dans les sédiments en amont et en aval des CNPE du bassin versant de la Loire

Le ^{137}Cs est souvent accompagné de ^{60}Co à l'aval immédiat des installations. Cependant, ces valeurs restent proches de celles, souvent en limite de détection, mesurées à l'amont. L' $^{110\text{m}}\text{Ag}$ est également détecté à l'aval proche.

7.2.2.3 IRSN - Le réseau de surveillance des sédiments

Au niveau des hydrocollecteurs, des prélèvements de sédiments et de matières en suspension sont réalisés, en aval de chaque centre nucléaire de production d'électricité. La figure 45 schématise ce réseau.

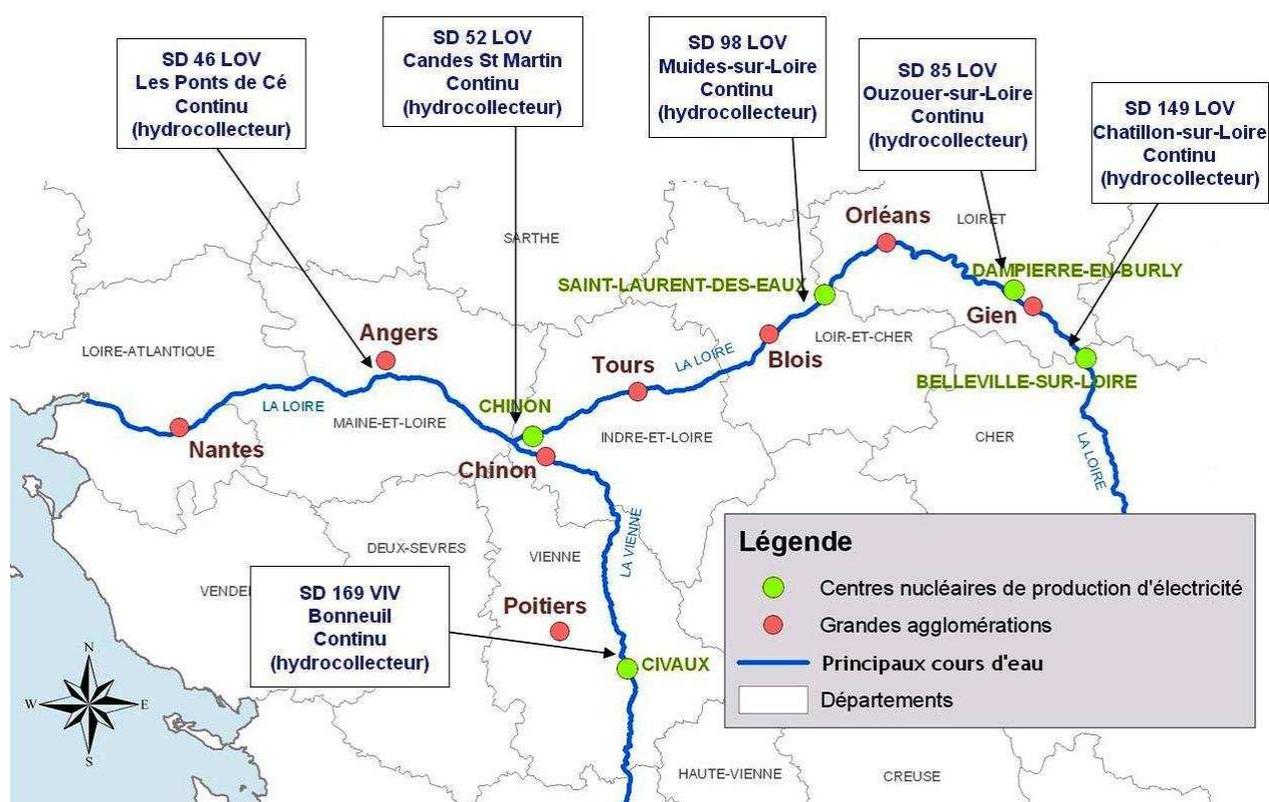


Figure 45 : Réseau IRSN - surveillance de la radioactivité des sédiments et matières en suspension de la Loire et de la Vienne, en aval des CNPE

A titre d'exemple, des traces de césium 137, radionucléide artificiel, ont été décelées pour tous les mélanges bimestriels de boues de décantation de la Loire en aval du CNPE de Belleville-sur-Loire (Figure 46). Ces activités, du même ordre de grandeur que celles des années précédentes, s'expliquent par les retombées atmosphériques de l'accident de Tchernobyl, les retombées des essais nucléaires passés ainsi que par les rejets liquides chroniques des CNPE [12].

De faibles activités de cobalt 58 et de cobalt 60, produits d'activation présents dans les rejets liquides des CNPE, sont également observées dans les matières en suspension prélevées dans la Vienne et dans la Loire en aval des CNPE.

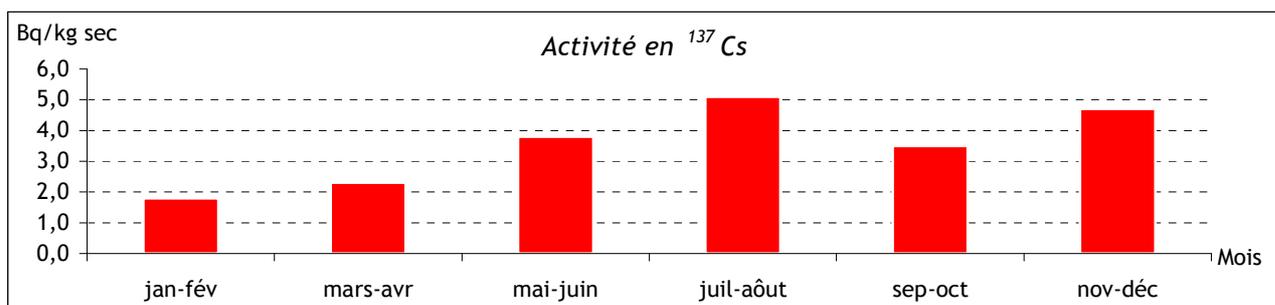


Figure 46 : Activité en ¹³⁷Cs mesurée en 2005 dans les boues de décantation de la Loire en aval du CNPE de Belleville (SD 149 LOV)

En conclusion, les sédiments sont de très bons accumulateurs de radioactivité et constituent à ce titre des indicateurs permettant de mesurer l'impact des rejets liquides des CNPE, sans toutefois pouvoir le quantifier en raison de la rémanence des radioéléments issus des essais atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl notamment.

En amont de Belleville-sur-Loire et de Civaux, le ¹³⁷Cs est systématiquement visible. Il provient des retombées de l'accident de Tchernobyl et de celles des essais aériens d'armes nucléaires. En aval des CNPE, le ¹³⁷Cs est mesuré dans la totalité des prélèvements. Les rapports ¹³⁷Cs/¹³⁴Cs à l'aval de Dampierre-en-Burly montrent qu'en plus du marquage par les retombées de Tchernobyl et des essais aériens d'armes nucléaires, les CNPE contribuent à l'apport de radiocésiums. Le marquage par les 5 CNPE sur la Loire et la Vienne est mis en évidence par les détections de ⁶⁰Co, de ⁵⁸Co et d'^{110m}Ag dans les sédiments et les végétaux.

7.2.3 LES VEGETAUX AQUATIQUES

7.2.3.1 EDF - Le suivi radioécologique des CNPE

Dans le cadre du suivi radioécologique, des prélèvements de végétaux aquatiques sont effectués en amont et en aval de chaque CNPE. Les stations et la nature des prélèvements permettent, dans la mesure du possible, une comparaison des résultats avec les études antérieures. Parfois, en raison de la pauvreté de la flore aquatique de la Loire, la collecte de végétaux s'oriente vers des végétaux semi-aquatiques. Lorsqu'il est possible de récolter des plantes immergées ou des mousses aquatiques en assez grande quantité, un échantillon est constitué.

En aval des CNPE, les prélèvements de végétaux sont préférentiellement effectués après la zone de bon mélange (zone située à une certaine distance du rejet à partir de laquelle le mélange entre les effluents liquides et les eaux du milieu récepteur s'est réalisé dans les directions verticale et transversale). L'ensemble des prélèvements est analysé par spectrométrie gamma. Le mesurage de l'iode 131 est également effectué sur certains échantillons de végétaux aquatiques. Les mousses aquatiques font l'objet d'une analyse par scintillation liquide destinée à quantifier leur teneur en tritium libre [17].

La figure 47 présente les gammes de variation des concentrations des principaux radionucléides d'origine artificielle détectés dans des phanérogames immergées et des mousses aquatiques par spectrométrie γ lors de l'état de référence et des suivis radioécologiques annuels (valeur minimale à valeur maximale) dans les compartiments de l'écosystème aquatique de la région de Civaux.

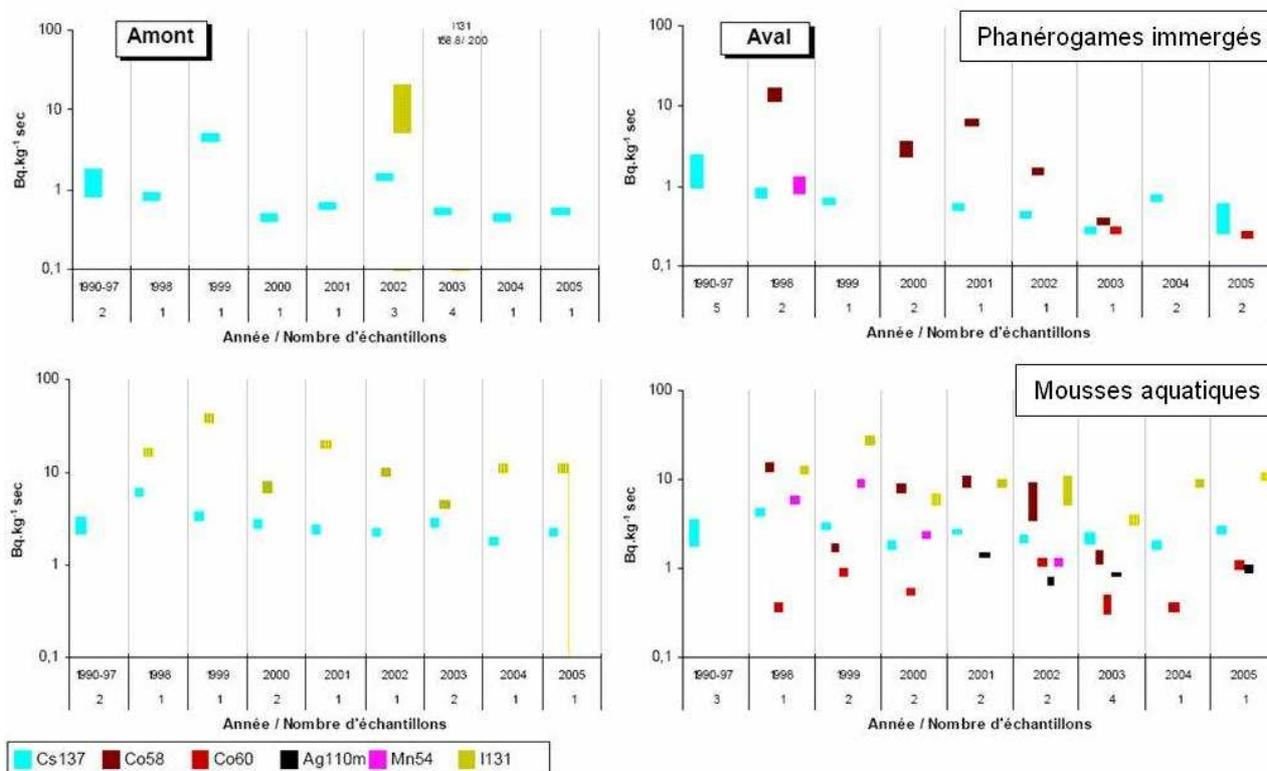


Figure 47 : Concentrations des principaux radionucléides d'origine artificielle détectées par spectrométrie γ lors de l'état de référence et des suivis radioécologiques annuels (valeur minimale à valeur maximale) dans les végétaux aquatiques prélevés en amont et en aval du CNPE de Civaux

Dans le bassin de la Vienne, l'iode 131 est décelé à l'amont de Civaux. Ce marquage est majoritairement issu des installations hospitalières de Limoges.

Globalement, en amont des CNPE du bassin Loire-Vienne, aucun apport local de ^3H libre industriel n'est mis en évidence. En revanche, les recherches de ^3H libre en aval de Belleville-sur-Loire et de Civaux mettent aussi en évidence la contribution des rejets des CNPE, en effet, la moitié des observations montre un apport industriel local.

La figure 48 présente les gammes de variation des concentrations en ^{137}Cs détecté par spectrométrie gamma lors des suivis radioécologiques annuels de 1994, 1999 et 2004 (valeurs maximales) dans les végétaux aquatiques en amont et en aval des CNPE du bassin versant de la Loire [17].

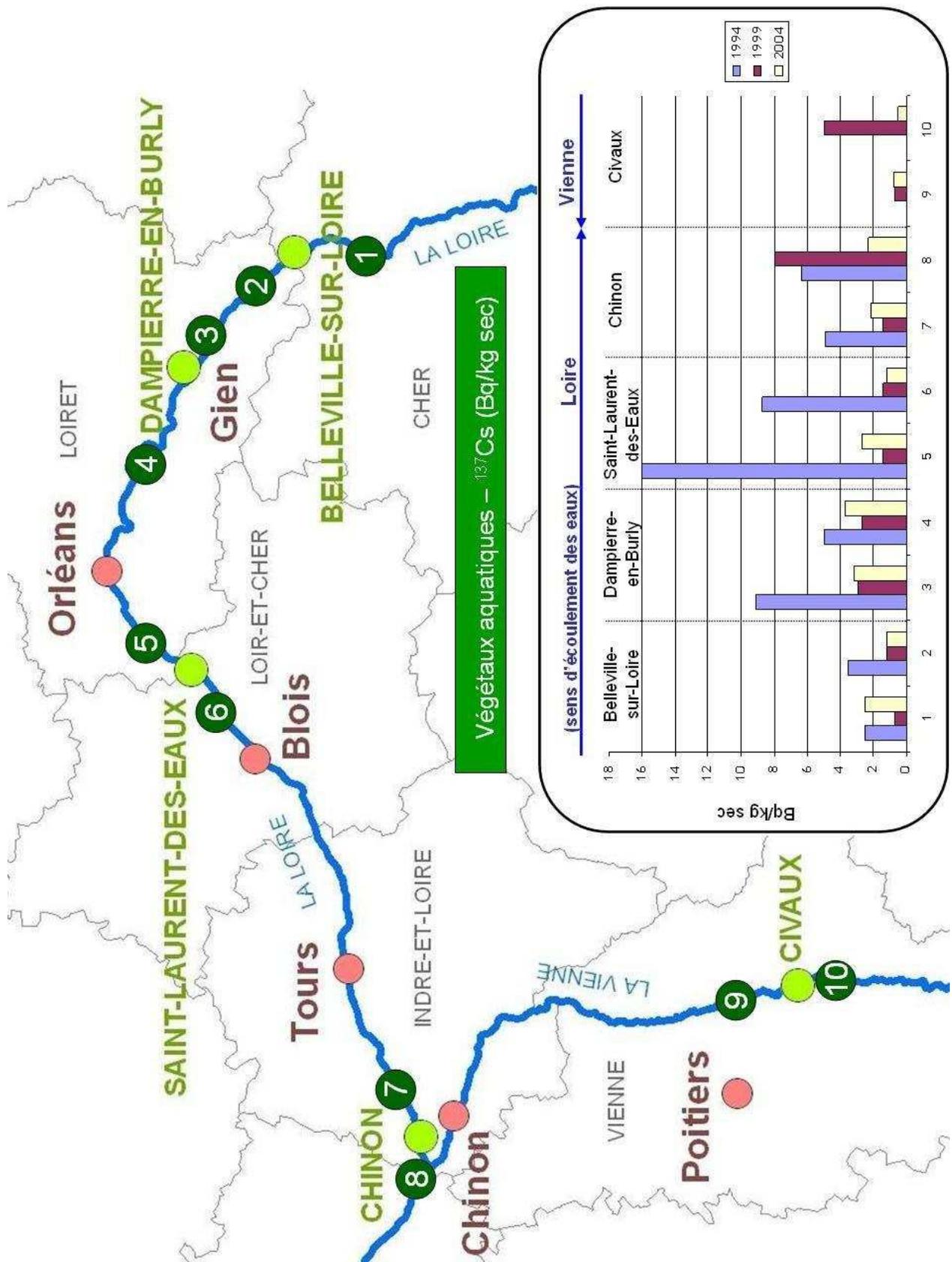


Figure 48 : Concentrations en ¹³⁷Cs détectées par spectrométrie gamma lors des suivis radioécologiques annuels de 1994, 1999 et 2004 (valeurs maximales) dans les végétaux aquatiques en amont et en aval des CNPE du bassin versant de la Loire

Le marquage par les CNPE de la Loire et de la Vienne est mis en évidence par les détections de ^{60}Co dans les sédiments et les végétaux (Figure 49).

Les résultats concernant les végétaux aquatiques, obtenus dans le cadre du suivi radioécologique des CNPE, sont donc très précieux puisqu'ils constituent une illustration concrète de l'influence de l'activité d'une centrale sur une espèce de l'environnement. Ceci est un des rares exemples permettant de mettre en évidence le marquage, aujourd'hui très faible, des CNPE sur l'environnement. Ces résultats sont diffusés par EDF dans les rapports annuels environnement. Leur diffusion publique reste très limitée en regard de la pertinence et de l'intérêt de telles études.

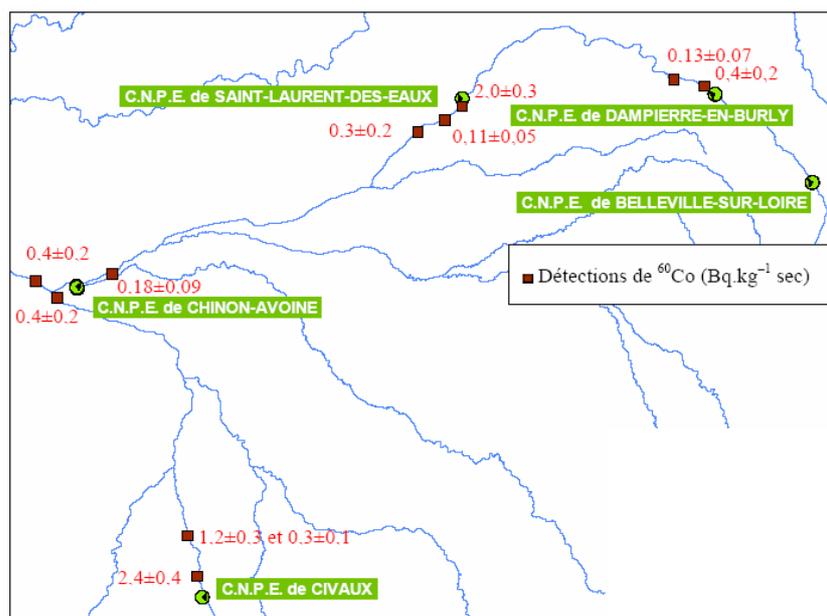


Figure 49 : Détection de ^{60}Co sur la Loire et la Vienne en 2005 (sédiments et végétaux)

Dans le cadre des contrôles réglementaires imposés à l'exploitant, EDF réalise également, en marge de ce suivi radioécologique, une campagne annuelle de prélèvements de flore aquatique en amont et en aval des CNPE (généralement un point en amont et deux points en aval) sur lesquels sont réalisées une mesure d'activité bêta globale et une spectrométrie gamma.

7.2.3.2 IRSN - Surveillance de la radioactivité des végétaux aquatiques

Dans le bassin versant de la Loire, seuls deux prélèvements annuels de végétaux aquatiques (myriophylles et jussies) sont réalisés, dans la Vienne, à proximité de Cubord, en aval du CNPE de Civaux. Les activités des radionucléides artificiels recherchés en spectrométrie gamma sont toutes restées inférieures aux limites de détection pour les 2 échantillons analysés.

Ces réseaux sont peu développés en raison notamment des difficultés techniques associées à ce type de prélèvement qui nécessite du matériel et des personnes qualifiées disposant des autorisations nécessaires pour effectuer ces prélèvements en aval proche des CNPE.

7.2.4 LES POISSONS

7.2.4.1 EDF - le suivi radioécologique des CNPE

La collecte des poissons est généralement réalisée par des méthodes de pêche électrique, avec la collaboration du Conseil Supérieur de la Pêche. Les mesures réalisées sur les poissons portent sur les muscles afin d'étudier la fraction susceptible d'être consommée par l'homme. La technique est basée sur la paralysie des poissons par un champ électrique. L'efficacité de cette technique dépend des espèces pêchées (essentiellement des poissons dont l'habitat se situe au niveau des berges comme les carpes, les chevesnes, les tanches, les gardons, les perches ...), de la taille des individus, de la température de l'eau, de sa transparence et de la morphologie de la rivière [17].

Cette pêche s'effectue sur une embarcation équipée d'un générateur de courant, d'une anode à l'avant et d'une cathode à l'arrière. La longueur de berge prospectée atteint plus d'une centaine de mètres. Une quantité d'environ 6 kg de poisson frais par espèce est nécessaire. Après éviscération, ces échantillons sont conditionnés en sacs plastiques et référencés.

De retour au laboratoire, une dissection permet de séparer les filets du reste du squelette. Le choix des lieux de pêche et la nature des espèces pêchées permettent la comparaison des résultats obtenus avec ceux des études antérieures. Les prélèvements de poissons en aval des sites sont effectués si possible au niveau de la zone de bon mélange.

La figure 50 présente les gammes de variation des concentrations en ^{137}Cs détectées par spectrométrie gamma lors des suivis radioécologiques annuels de 1994, 1999 et 2004 (valeurs maximales) dans les poissons pêchés en amont et en aval des CNPE du bassin versant de la Loire [17].

La radioactivité d'origine naturelle des poissons est généralement due au ^{40}K (activité moyenne d'environ 100 Bq.kg^{-1} frais). Le ^{137}Cs est le seul radionucléide d'origine artificielle mis en évidence. Depuis une dizaine d'années, aucun autre radionucléide artificiel n'a été mesuré au-delà des limites de détection. Les valeurs de ^{137}Cs mesurées sont souvent similaires en amont et en aval. Depuis 1997, un appauvrissement du spectre des radionucléides artificiels mesurables en amont et en aval des CNPE est ainsi globalement constaté.

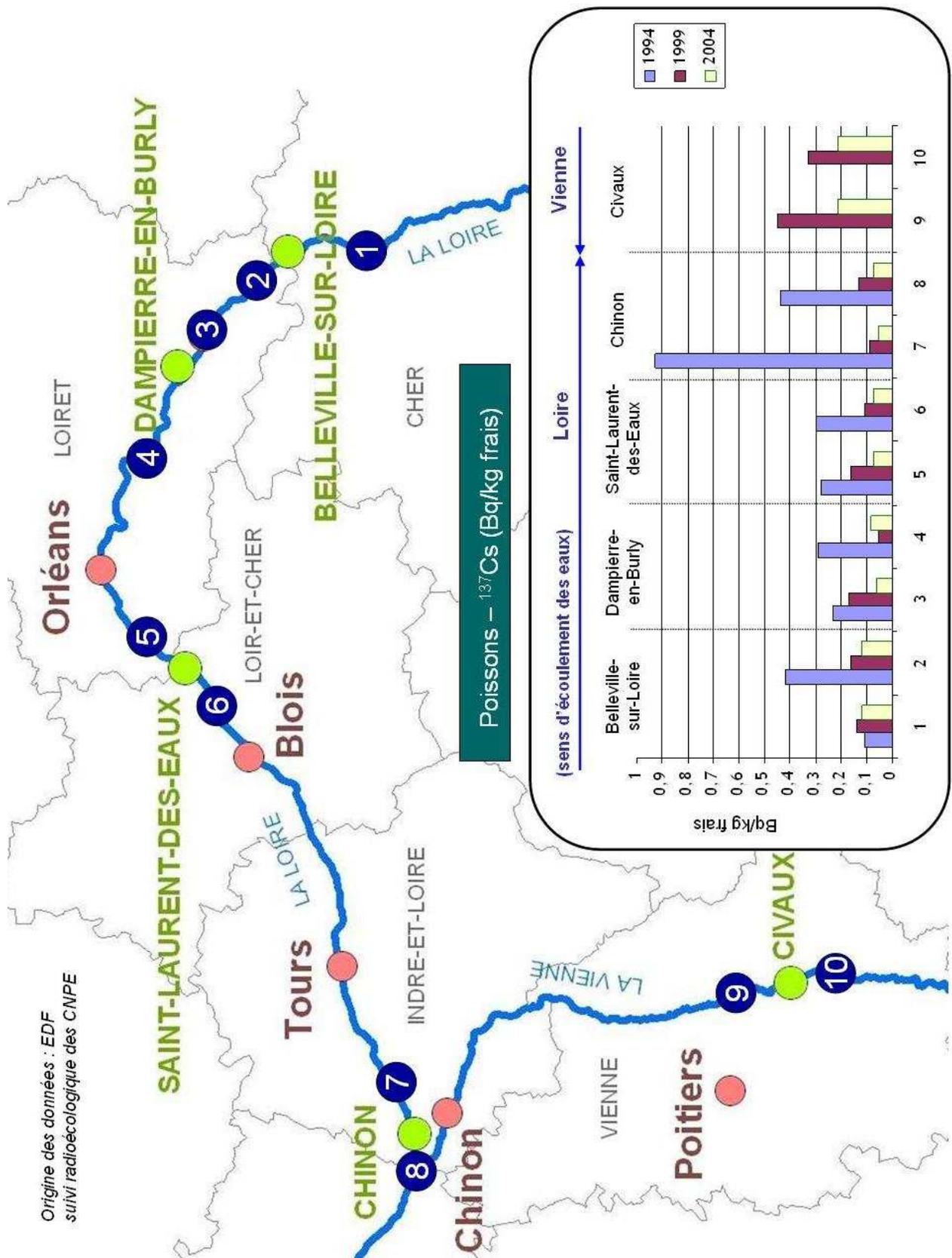


Figure 50 : Concentrations en ^{137}Cs détectées par spectrométrie gamma lors des suivis radioécologiques annuels de 1994, 1999 et 2004 (valeurs maximales) dans les poissons pêchés en amont et en aval des CNPE du bassin versant de la Loire

Dans le cadre des contrôles réglementaires imposés à l'exploitant, EDF réalisé également, en marge de ce suivi radioécologique, une campagne annuelle de prélèvement de poissons en amont et en aval des CNPE (généralement un point amont, et deux points aval) sur lesquels sont réalisées une mesure bêta globale et une spectrométrie gamma.

7.2.4.2 IRSN - Surveillance de la radioactivité des poissons

Dans le bassin versant de la Loire, seuls deux prélèvements annuels de poissons sont réalisés dans la Vienne à proximité de Cubord en aval du CNPE de Civaux. Pour les prélèvements de barbeaux et chevesnes effectués en juin 2005, des traces de césium 137 ($0,26 \pm 0,11$ Bq/kg frais) ainsi que de carbone 14 (tableau XIV) ont été observées.

Les teneurs en ^{14}C sont relativement homogènes dans les différents compartiments du milieu terrestre et se situent en moyenne à environ 250 Bq de ^{14}C par kg de carbone. En revanche, dans le milieu aquatique, les teneurs sont beaucoup plus variables et l'influence des installations nucléaires rejetant du ^{14}C est mesurable.

Les teneurs mesurées dans ces poissons montrent ainsi le marquage des rejets de ^{14}C du CNPE de Civaux.

Tableau XIV : Activité en ^{14}C mesurée en 2005 dans les poissons prélevés dans l'environnement du CNPE de Civaux

	Espèces	Résultats (Bq/kg de C élémentaire)
^{14}C	Barbeaux, chevesnes	530 ± 110
	Gardons, perches japonaises	540 ± 110

Les activités des autres radionucléides mesurés sont toutes restées inférieures aux limites de détection pour les deux prélèvements analysés. Ces réseaux sont peu développés en France en raison notamment des difficultés techniques associées à ce type de prélèvement qui nécessite du matériel et des personnes qualifiées disposant des autorisations nécessaires pour effectuer les pêches en aval proche des CNPE.

7.2.4.3 DGAL - Contrôle des denrées alimentaires - classe 2 - les poissons

La Direction générale de l'alimentation (DGAL) réalise tous les ans un plan de surveillance de la contamination éventuelle des denrées alimentaires d'origine animale par les radionucléides. Les analyses de la radioactivité se résument essentiellement à la mesure par spectrométrie gamma des isotopes 134 et 137 du césium, radionucléides caractéristiques des combustibles nucléaires. Les prélèvements sont réalisés par département, par les agents des Directions départementales des services vétérinaires (DDSV). Ces prélèvements de poissons d'eau douce sont effectués sur la criée (ou autre lieu de commercialisation), en priorité sur des échantillons pêchés dans le milieu naturel (étangs, rivières) [27].

Une cinquantaine de prélèvements de poissons est ainsi effectuée chaque année sur le bassin versant de la Loire. Les analyses de césium sont réalisées dans une quinzaine de laboratoires vétérinaires départementaux qui disposent de limites de détection comprises entre 1 et 10 Bq/kg. Le tableau XV ci-dessous indique les limites maximales établies par le règlement CEE N° 737/90 du Conseil du 22 mars 1990 (JOCE du 29-03-90) relatif aux conditions d'importation de produits originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl et qui sont utilisées comme base de comparaison pour l'interprétation des résultats. En 2004, aucun des prélèvements analysés ne dépassait la limite maximale retenue de 600 Bq/kg. [27].

Tableau XV : Limites maximales relatives aux conditions d'importation de produits alimentaires

Catégories de produits	Valeurs limites en Bq/kg
Lait et produits laitiers	370
Produits destinés à l'alimentation particulière des nourrissons	370
Autres produits	600

L'objectif de ce plan de surveillance est donc complètement différent de ceux mis en œuvre par EDF et l'IRSN dans le cadre du contrôle réglementaire et de l'expertise des sites nucléaires du bassin versant de la Loire, dont les limites de détection sont inférieures d'un facteur 10 à 100 sur la mesure par spectrométrie gamma.

7.3 LE MILIEU AQUATIQUE MARIN

A l'échelle globale du territoire français, l'IRSN dispose d'un réseau de surveillance du littoral ciblé sur des prélèvements d'eau de mer. Cette surveillance est exercée à partir de 31 stations de prélèvements ponctuels ou par hydrocollecteurs.

La surveillance des eaux du littoral atlantique s'effectue par des prélèvements mensuels aux stations de Saint-Jean-de-Monts, La Rochelle et Biarritz (Figure 51). Il n'y a donc pas de prélèvements marins à proximité immédiate de l'embouchure de la Loire. Les analyses portent sur des regroupements semestriels. En ces différents points, aucune activité significative en radionucléide artificiel n'a été mesurée au-dessus des limites de détection (tableau XVI).



Figure 51 : Stations de prélèvement d'eau de mer du littoral atlantique de l'IRSN

Tableau XVI : Résultats d'analyse des eaux de mer prélevées en 2005 sur le littoral atlantique

		Résultats (Bq/l sauf indication contraire)			
		Min.	Max.	Moyenne	
Eau brute	Emetteurs gamma artificiels (^{134}Cs , ^{137}Cs)	-	< 0,033	-	0/12
	^3H	-	< 9,2	-	0/6
	K (mg/l)	370 ± 19	400 ± 20	387	6/6

*Nombre de valeurs significatives sur le nombre total de mesures

Cette surveillance est complétée, autour des installations nucléaires marines (CNPE, AREVA La Hague), par des prélèvements d'eau, de sédiments, de poissons, de crustacés, de mollusques et d'algues effectués par les exploitants et l'IRSN dans le cadre du contrôle réglementaire de l'environnement de ces installations.

7.4 LE MILIEU TERRESTRE

Le milieu terrestre est le récepteur des rejets atmosphériques. Si les essais aériens d'armes nucléaires ont introduit de nombreux radionucléides artificiels dans l'environnement, auxquels se sont ajoutés les isotopes radioactifs du césium de l'accident de Tchernobyl, l'impact sur le milieu terrestre des CNPE demeure difficilement perceptible et identifiable par rapport à ces retombées atmosphériques.

7.4.1 LES EAUX (BOISSON, IRRIGATION, SOUTERRAINES)

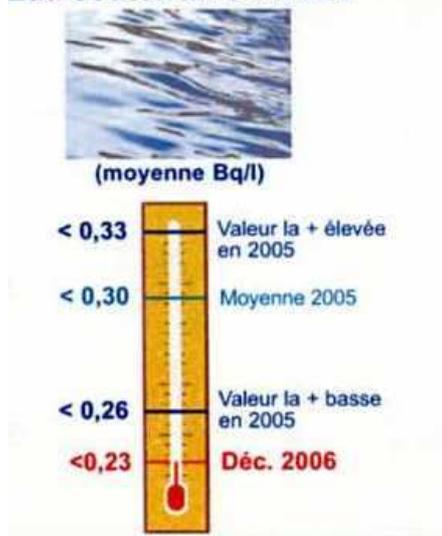
7.4.1.1 EDF - Contrôle réglementaire des eaux souterraines

Dans le cadre des contrôles réglementaires imposés à l'exploitant, EDF effectue des mesures mensuelles sur des prélèvements d'eau de nappe pour chacun de ses CNPE. Le tableau XVII détaille les différents plans de surveillance mis en œuvre sur les différents sites du bassin versant de la Loire, ainsi que les mesures effectuées sur ces échantillons. Des mesures physico-chimiques sont également réalisées sur ces prélèvements.

Tableau XVII : Contrôle de la radioactivité des eaux de nappe par EDF sur les CNPE

CNPE	Nombre de prélèvements mensuels	Mesures effectuées	Commentaires
Belleville-sur-Loire	5 (puits N1 à N5)	Bêta global, ^{40}K , ^3H	
Dampierre-en-Burly	7 (dont 2 hors site)		
Saint-Laurent-des-Eaux	9 (puits N1 à N9)		
Chinon	5 (puits N1 à N5)		+ 6 pts pour physico-chimie
Civaux	5 (puits N1 à N5)		+ 2 pts trimestriels

Eau souterraine du site



Radioactivité des eaux souterraines

	Activité Béta totale	Activité Tritium
Moyenne du mois écoulé	0,21 Bq/l	< 38 Bq/l
Moyenne de l'année précédente	0,26 Bq/l	< 35 Bq/l

Figure 52 : Résultats de mesures bêta globales et tritium effectuées sur les eaux souterraines (à gauche : plaquette EDF de Belleville-sur-Loire - décembre 2006 ; ci-dessus : plaquette EDF de Dampierre-en-Burly - Janvier 2007)

La figure 52 présente quelques exemples de résultats publiés par EDF dans des plaquettes d'information mensuelles [36] [37]. Les résultats sont généralement accompagnés de valeurs de comparaison (valeur maximale et minimale de l'année précédente, valeur moyenne de l'année précédente, valeur moyenne du mois écoulé).

Il est souhaitable de conserver une certaine cohérence au niveau de la publication des résultats afin que celle-ci reste intelligible pour le public et que des comparaisons puissent être réalisées à l'échelle nationale. D'autre part, la présence d'explications synthétiques associées aux résultats de mesures (sur la définition d'une limite de détection par exemple) semble nécessaire pour permettre une meilleure compréhension des valeurs présentées dans les tableaux ou les graphiques.

7.4.1.2 EDF - Suivi radioécologique des CNPE

Dans le cadre du suivi radioécologique des CNPE, des prélèvements d'eau de boisson sont réalisés annuellement à proximité des installations. Les eaux de nappe, destinées à l'irrigation ou à la consommation, sont également intégrées aux plans d'échantillonnage. Les prélèvements d'eau de boisson sont effectués après avoir fait couler de l'eau durant plusieurs minutes afin de nettoyer la canalisation. Les prélèvements d'eau de nappe sont effectués à l'aide de pompes pour piézomètres [17].

Le tableau XVIII synthétise les différents points de prélèvements d'eau de boisson et d'eau de nappe effectués dans le cadre du suivi radioécologiques des sites EDF de Loire en 2005.

Tableau XVIII : Localisation et description des points de prélèvements d'eau - suivi radioécologique 2005 - CNPE du bassin versant de la Loire

CNPE (station)	Description	Mesure
Belleville-sur-Loire (Beaulieu)	L'eau prélevée provient d'un réseau d'eau potable. La nappe phréatique qui l'alimente est située dans une zone potentiellement soumise à l'influence du CNPE. Ce forage est situé à 6,5 km en aval de la centrale à Beaulieu, à 800 mètres du fleuve et à 30 mètres du ruisseau de l'Avenelle. En régime de hautes eaux, la nappe alluviale est alimentée par la Loire avec un écoulement orienté Est-Ouest. En régime de basses et moyennes eaux, la nappe est drainée par la Loire avec un écoulement orienté Ouest-Est et par le ruisseau de la Balance avec un écoulement Est-Ouest. Le seul traitement avant la distribution aux abonnés est une chloration.	³ H
Dampierre (Ouzouer-sur-Loire)	L'eau prélevée à Ouzouer-sur-Loire provient du réseau d'eau potable. Le captage est réalisé à 34 mètres de profondeur dans la nappe craie du Séno-Turonien qui communique avec la nappe alluviale de la Loire.	
Saint-Laurent-des-Eaux (Muides-sur-Loire) (Blois)	Les eaux prélevées proviennent de réseaux d'eau potable potentiellement marquée par les rejets du CNPE. Une eau de boisson provient des captages de Muides-sur-Loire. Les forages sont réalisés dans la nappe des calcaires de Beauce à 45 et 67 mètres de profondeur. Leurs débits sont respectivement de 50 et 70 m ³ .h ⁻¹ . Les eaux y sont déferrisées et javellisées avant d'être distribuées. Le second prélèvement d'eau de boisson provient du captage de la ville de Blois. Le forage profond de 101 mètres est situé à Pimpeneau, près de Vineuil. Il traverse les sables de Sologne pour aller puiser son eau dans la nappe des calcaires de Beauce. Ses débits sont de 5000 à 10000 m ³ .j ⁻¹ .	
Chinon (Saumur)	L'eau prélevée provient de réseaux d'eau potable potentiellement marquée par les rejets du CNPE. Le captage d'eau de boisson de Saumur, en aval de la centrale, est situé à 10 mètres du fleuve en rive gauche. La profondeur du forage est de 16 mètres. Cette nappe alluviale avait démontré sa vulnérabilité lors de l'état de référence.	
Civaux (Valdivienne)	L'eau prélevée provient d'un réseau d'eau potable. La nappe phréatique qui l'alimente est située dans une zone potentiellement soumise à l'influence du CNPE.	

Du ³H est parfois détecté dans ces échantillons d'eau de boisson ou d'irrigation. Sa concentration est comprise entre 0,7 et 16 Bq.l⁻¹. Les plus fortes valeurs (> 5 Bq.l⁻¹) sont observées dans les eaux de boisson de Blois et de Saumur. Comme la majorité des autres prélèvements d'eau de boisson, ceux de Blois et de Saumur proviennent de captages partiellement alimentés par le fleuve ou la rivière. C'est le seul signe significatif d'un apport industriel local de ³H.

Les niveaux de ³H dans l'eau de boisson sont globalement proches de la limite de détection (< 2 Bq.l⁻¹). Seuls de très faibles enrichissements en tritium dans les eaux de boisson, issues de captage dans la nappe alluviale de la Loire, témoignent parfois de l'influence des rejets des CNPE.

7.4.1.3 Eau potable et réglementation

Le Code de la santé publique impose de manière générale aux gestionnaires d'un réseau public de distribution d'eau le respect de normes de qualité qui garantissent la potabilité de l'eau fournie au robinet de l'utilisateur. Pour atteindre cet objectif, le distributeur est d'abord astreint à une surveillance continue de la qualité des eaux brutes prélevées dans les milieux naturels à des fins d'alimentation humaine, issue de la directive 75/440/CEE. Les eaux brutes trop polluées doivent subir un traitement de potabilisation, adapté à leurs caractéristiques pour satisfaire aux critères de qualité définis dans la réglementation.

Des valeurs limites sont fixées pour une trentaine de paramètres, microbiologiques, chimiques. Des valeurs de référence sont également déterminées pour des paramètres témoins du fonctionnement des installations de traitement des eaux et pour la radioactivité. Les nouvelles obligations d'analyses radiologiques de la directive européenne (98/83 CE), s'inspirant du rapport de l'OMS, définissent la dose totale indicative (DTI) maximale à 0,1 mSv par an (exceptés le tritium, le potassium 40, le radon et ses descendants). De même qu'une activité en tritium inférieure à 100 Bq.l⁻¹ est considérée comme acceptable. Cette DTI est déterminée pour une consommation quotidienne de 2 litres d'eau pour un adulte. Complexe à réaliser, la mesure de la DTI n'est demandée que lorsque la mesure des activités alpha totale et bêta totale dépasse les seuils suivants :

- 0,1 Bq.l⁻¹ pour l'activité alpha totale
- 1 Bq.l⁻¹ pour l'activité bêta totale résiduelle

Le respect de ces seuils assure une DTI inférieure à 0,1 mSv par an. Le dépassement de l'un de ces seuils nécessite la détermination de la contribution de chacun des radionucléides dans la DTI.

Dans le bassin versant de la Loire, les laboratoires départementaux d'analyses, en appui des DRASS et des DDASS concourent à la mise en œuvre du contrôle sanitaire des eaux potables, de maladies animales et de la sécurité sanitaire des aliments. Ces laboratoires disposent d'un agrément pour la réalisation des prélèvements et des analyses du contrôle sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine.

7.4.2 LES SOLS

7.4.2.1 EDF - Contrôles réglementaires

Dans le cadre des contrôles réglementaires réalisés par l'exploitant, des prélèvements de sols sont effectués annuellement autour des CNPE. A Belleville-sur-Loire, par exemple, deux prélèvements annuels de sols sont réalisés, un à Neuvy-sur-Loire (zone sous les vents dominants principaux) et un à Léré (zone hors vents dominants).

Des mesures bêta globales et par spectrométrie gamma sont effectuées sur ces échantillons dont les résultats sont rarement publiés dans les plaquettes d'information mensuelles des CNPE.

7.4.2.2 EDF - Suivi radioécologique des CNPE

Les sols prélevés dans le cadre du suivi radioécologique sont les substrats des cultures qui sont elles-mêmes analysées (végétaux cultivés, lait associé au pâturage brouté par l'animal). Les prélèvements sont effectués dans des zones sous les vents dominants, susceptibles d'être influencées par les rejets atmosphériques, et au niveau de stations de référence non influencées [17].

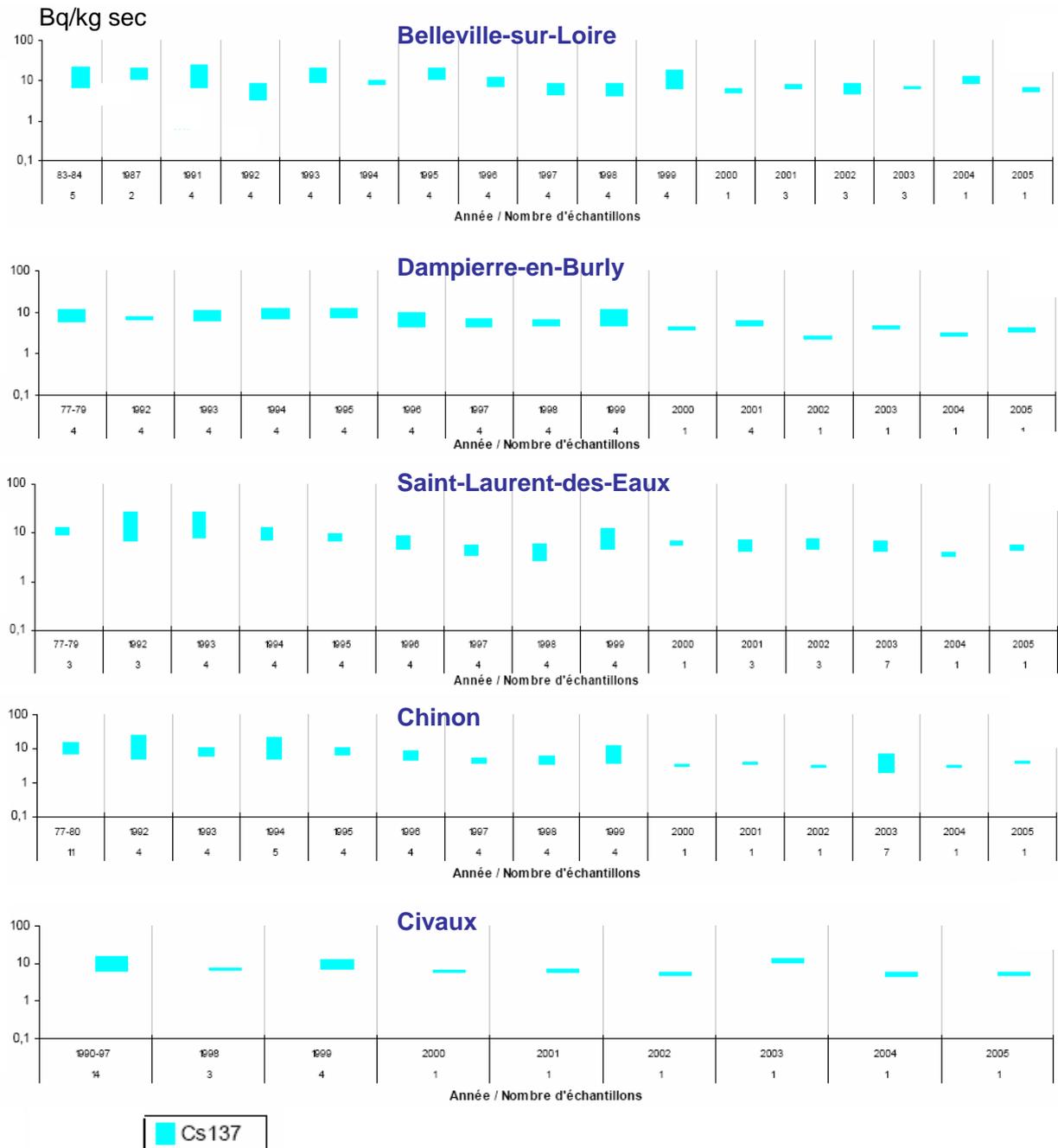


Figure 53 : Concentrations des principaux radionucléides artificiels détectés par spectrométrie gamma lors de l'état de référence et des suivis radioécologiques dans les sols des CNPE du bassin versant de la Loire (valeur minimale à valeur maximale)

Les sols sont prélevés avec une tarière racinaire. Pour les sols cultivés, le prélèvement est effectué sur une profondeur de 20 cm. Dans le cas des sols non cultivés, le prélèvement est réalisé à une profondeur de 0-5 cm. Dans le cas des bilans radioécologiques décennaux, trois prélèvements sont effectués : 0-5 cm, 5-15 cm et 15-30 cm. La radioactivité d'origine naturelle du sol est principalement due au ^{40}K (entre 35 et 990 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$) et en moindre mesure aux éléments des familles du ^{232}Th et de l' ^{238}U . Le ^{137}Cs est le seul radionucléide d'origine artificielle détecté dans les échantillons de sols (Figure 53) avec des valeurs comprises entre 4,3 à 6,6 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$ pour le bassin versant de la Loire en 2005 (Figure 54).

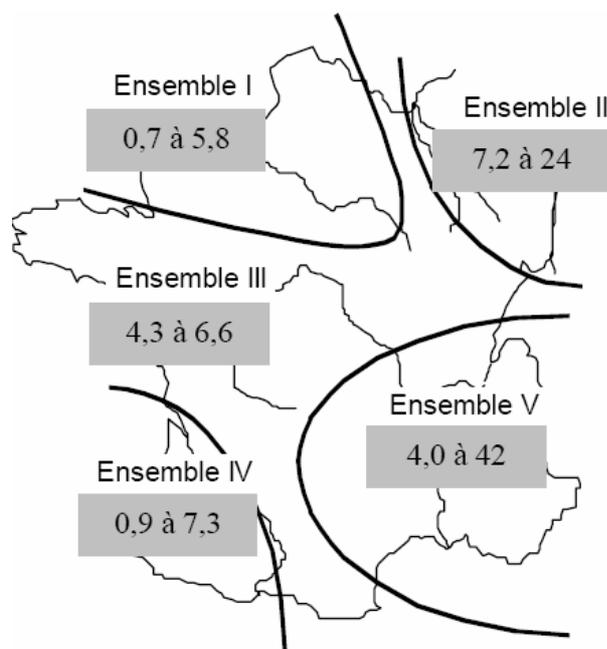


Figure 54 : ^{137}Cs dans les sols en 2005 ($\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$)

A l'échelle du territoire français métropolitain, les activités massiques en ^{137}Cs varient de 0,7 à 42 $\text{Bq.kg}^{-1}\text{sec}$ dans les sols. Les valeurs médianes les plus fortes sont observées dans les ensembles II et V, à l'est de la France (Figure 54). Cette hétérogénéité dans les sols, également observée dans les mousses, traduit une répartition inégale des dépôts liés à l'accident de Tchernobyl. En effet, les résultats de mesure de ^{134}Cs et ^{137}Cs obtenus jusqu'en 2000 ont permis de montrer que les radiocésiums présents dans l'environnement avaient majoritairement cette origine dans l'est de la France. L'ouest de la France ayant été moins touché par les retombées de l'accident de Tchernobyl, l'apport par les retombées des essais aériens d'armes nucléaires y est plus net.

7.4.2.3 IRSN - Réseau de surveillance des CNPE

Dans le cadre de la surveillance exercée par l'IRSN autour des CNPE, des campagnes ponctuelles sont effectuées sur certains sites. Sur le bassin versant de la Loire, seul le site de Civaux conserve un point de prélèvement annuel de sol. Des prélèvements de sols sont également effectués au niveau des 6 stations de référence de l'IRSN en France, dont Saint-Laurent-de-Céris et Bellenaves.

Des traces de strontium 90 et de césium 137, radionucléides artificiels, sont systématiquement décelées dans ces prélèvements, dont les origines sont les essais atmosphériques d'armes nucléaires (^{90}Sr et ^{137}Cs) et l'accident de Tchernobyl (^{137}Cs).

7.4.3 LES VEGETAUX (HERBES ET BRYOPHYTES)

7.4.3.1 EDF - Contrôles réglementaires

Dans le cadre des contrôles réglementaires imposés à l'exploitant, EDF effectue chaque mois deux prélèvements d'herbe de prairie autour de ses sites. Ces prélèvements sont généralement associés à un prélèvement de lait de vache (Figure 55).

Le choix des stations de prélèvement est effectué en tenant compte des conditions de dispersion des rejets atmosphériques de l'installation nucléaire surveillée. La dispersion des rejets est directement influencée par la rose des vents locale. L'examen de la rose des vents permet donc de sélectionner les zones de prélèvements dans des secteurs sous influence ou non des vents principaux ou secondaires. Dans la mesure du possible, les prélèvements de végétaux (et de lait) sont effectués dans des exploitations agricoles implantées à proximité de l'installation, sous les vents dominants.

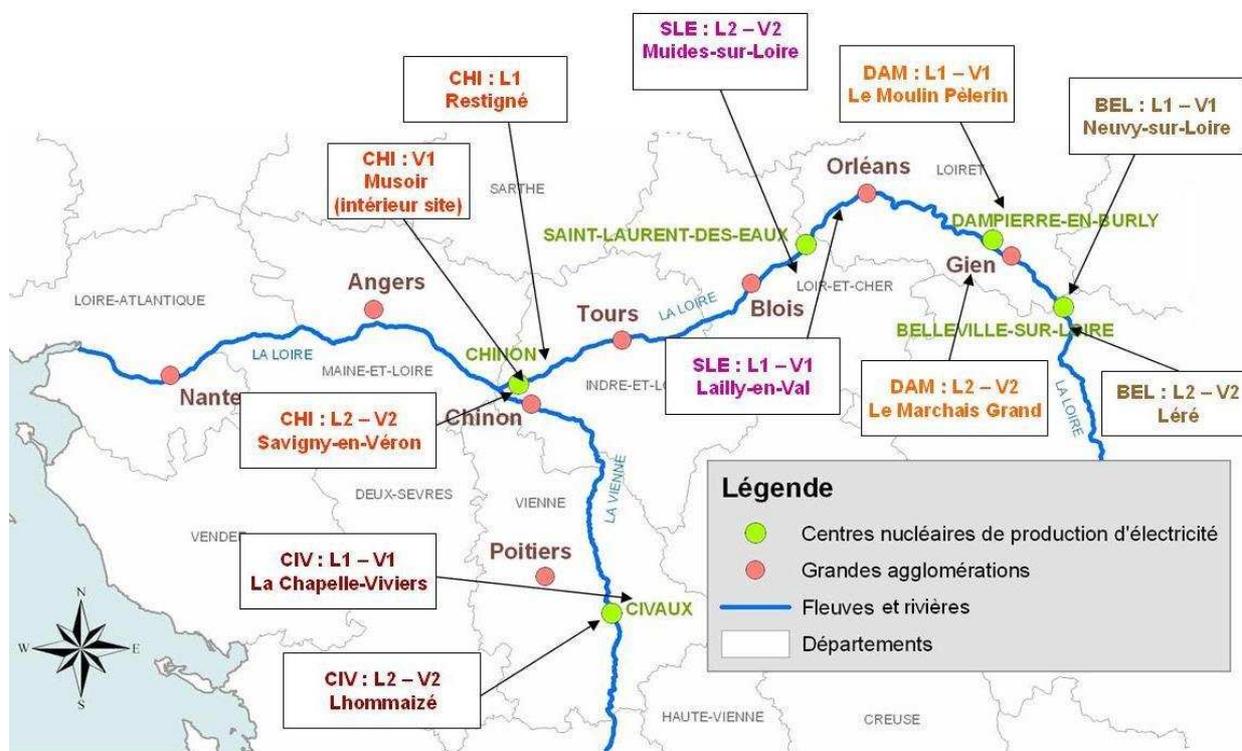


Figure 55 : Localisation des stations EDF de prélèvements de végétaux (code V) et de lait (code L) de vache autour des CNPE en 2005

Des mesures d'activité bêta globale, de ^{40}K et de spectrométrie gamma sont effectuées sur ces échantillons mensuels. La figure 55 illustre la localisation des stations de prélèvements EDF dans le bassin versant de la Loire.

La figure 56 présente quelques exemples de résultats publiés par EDF dans ses plaquettes d'information mensuelles. Les résultats sont généralement accompagnés de valeurs de comparaison (valeur maximale et minimale de l'année précédente, valeur moyenne de l'année précédente, valeur moyenne du mois écoulé) [29] [36] [37].



Radioactivité des végétaux

	Echantillon 1	Echantillon 2
Moyenne du mois écoulé	620 Bq/kg*	250 Bq/kg*
Moyenne de l'année précédente	360 Bq/kg	

* Cette variation n'est pas significative.
En effet, les valeurs varient entre 10 et 800 Bq/kg.

Figure 56 : Résultats de mesures bêta globales effectuées sur les végétaux (herbe) (à gauche : plaquette EDF de Belleville-sur-Loire - décembre 2006 ; ci-dessus : plaquette EDF de Dampierre-en-Burly - Janvier 2007)

La diversité des sols et des espèces prélevés sous l'appellation « végétaux terrestres » ou « herbes » explique les variations importantes mesurées (entre 250 et 1450 Bq.kg⁻¹ sec pour les exemples de la figure 56). La présence d'explications synthétiques associées aux résultats de mesures paraît nécessaire pour permettre une meilleure compréhension des valeurs présentées.

7.4.3.2 EDF - Suivi radioécologique des CNPE

Des prélèvements annuels de végétaux (herbe) et de mousses terrestres sont effectués dans le cadre du suivi radioécologique des CNPE (Figure 57). Afin de s'affranchir de la variabilité entre les différentes espèces de mousses, des échantillons de même espèce sont généralement récoltés autour d'un CNPE [17].

L'étude des zones sous les vents dominants, susceptibles d'être influencées par les rejets atmosphériques, permet de mieux positionner le prélèvement influencé de mousses terrestres. L'autre prélèvement est réalisé au niveau d'une station de référence située dans une zone non influencée.

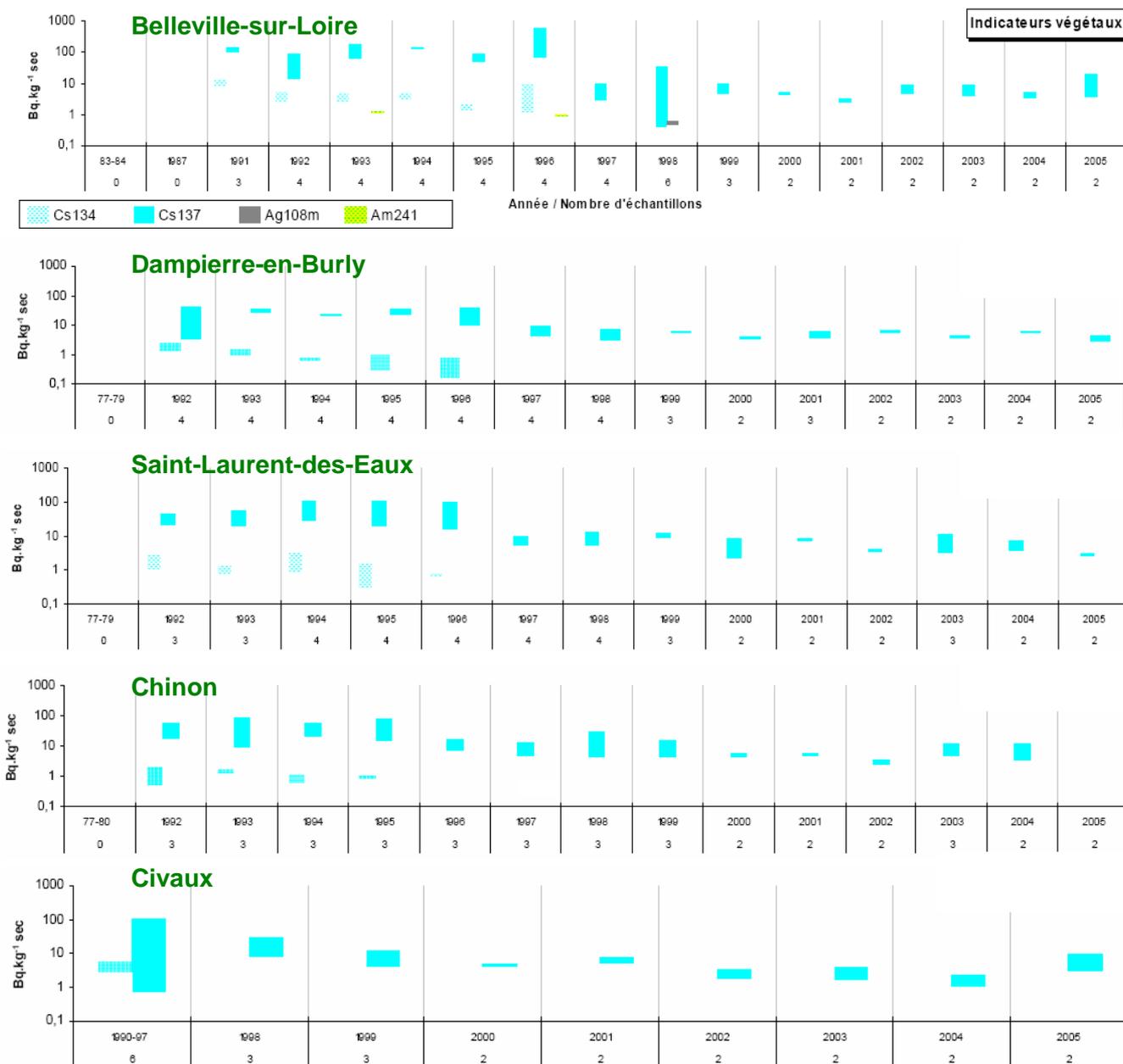


Figure 57 : Concentrations des principaux radionucléides artificiels détectées par spectrométrie gamma lors de l'état de référence et des suivis radioécologiques dans les indicateurs végétaux des CNPE du bassin versant de la Loire (valeur min. à valeur max.)

Les mousses sont utilisées comme bioindicateurs vis à vis des dépôts de radionucléides.

Dans l'herbe (production annuelle), le ^{40}K est prépondérant, alors que les mousses terrestres sont caractérisées par la prépondérance du ^7Be . La radioactivité artificielle n'est représentée que par le ^{137}Cs mesurable dans l'herbe, mais surtout dans les mousses terricoles (entre 3 et 20 $\text{Bq.kg}^{-1} \text{sec}$).

Des mesures d'iode 131 sont également réalisées sur les mousses terrestres. En 2005, les résultats de ces mesures ont tous été inférieurs à la limite de détection ($< 3 \text{Bq.kg}^{-1} \text{sec}$).

Le ^{40}K est, en termes d'activité et d'occurrence, le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans la quasi-totalité des échantillons. D'origine tellurique, cet isotope radioactif du potassium est facilement transféré aux plantes par voie racinaire. Son activité massique qui est variable en fonction des espèces, est aussi influencée par la composition chimique des roches sous-jacentes.

Le ^7Be , qui est naturellement produit dans l'atmosphère, est principalement détecté dans les végétaux terrestres et aquatiques. Des activités massiques en ^7Be équivalentes ou supérieures à celles en ^{40}K sont donc très souvent observées dans les mousses terrestres. Les concentrations dans les bioindicateurs en ^7Be , sont très variables, fonction des conditions du milieu, notamment des précipitations, en raison de sa présence dans les aérosols. Celle-ci est elle-même dépendante du cycle solaire (11 ans) et du cycle saisonnier annuel.

7.4.3.3 IRSN - Réseau de surveillance des CNPE

Dans le cadre de la surveillance exercée par l'IRSN autour des CNPE, des campagnes ponctuelles sont effectuées sur certains sites. Sur le bassin versant de la Loire, seul le site de Civaux conserve des prélèvements mensuels d'herbe et de feuilles d'arbre, ainsi que des prélèvements annuels de mousses et de sol réalisés dans une ferme à la Chapelle Viviers. Pour les stations de référence de Méaudre, Montfaucon, Nainville-les-Roches, Bellenaves, Saint-Laurent-de-Céris et du site IRSN du Vésinet, des prélèvements de végétaux terrestres (herbe) sont également effectués chaque mois.

Pour le prélèvement de mousses effectué à Civaux en 2005, des traces de césium 137, radionucléide artificiel, ont été relevées ($5,8 \pm 1,6$ Bq/kg sec). Pour les feuilles d'arbre, du carbone 14 est détecté dans 4 des 12 prélèvements analysés avec une valeur maximale de 380 Bq de ^{14}C par kg de carbone stable. Dans l'environnement, les teneurs en ^{14}C sont relativement homogènes dans les différents compartiments du milieu terrestre. La teneur moyenne actuelle se situe à environ 250 Bq de ^{14}C par kg de carbone stable. Les teneurs mesurées en 2005 dans les feuilles montrent ainsi le marquage des rejets de ^{14}C du CNPE de Civaux.

Dans les végétaux prélevés en 2005 au niveau des stations de référence, les mesures mettent en évidence la présence de ^{137}Cs et de ^{90}Sr . Les activités mesurées, qui sont du même ordre de grandeur que celles des années précédentes, s'expliquent essentiellement par les retombées des essais nucléaires atmosphériques passés ainsi que de l'accident de Tchernobyl.

7.5 LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

7.5.1 LE LAIT

7.5.1.1 EDF - Contrôles réglementaires

Une surveillance réglementaire est réalisée par l'exploitant dès la mise en service de la première installation et pendant toute la durée de vie de la centrale selon un programme réglementé et contrôlé par l'ASN, comprenant notamment des mesures sur le lait de vache. Cela représente 2 points de prélèvements par site pour les contrôles mensuels (Figure 55).

Le choix des stations de prélèvement est effectué en tenant compte des conditions de dispersion des rejets atmosphériques de l'installation nucléaire surveillée. Dans la mesure du possible, les prélèvements de lait (et de végétaux) sont également effectués dans des exploitations agricoles implantées à proximité de l'installation, sous les vents dominants.

La figure 55 présente la localisation des stations de prélèvement de lait de vache à proximité des CNPE du bassin versant de la Loire. Des mesures d'activité bêta (excluant la radioactivité due au potassium 40) sont effectuées sur ces échantillons. La figure 58 présente quelques résultats extraits de plaquettes d'information EDF diffusées mensuellement auprès du public.

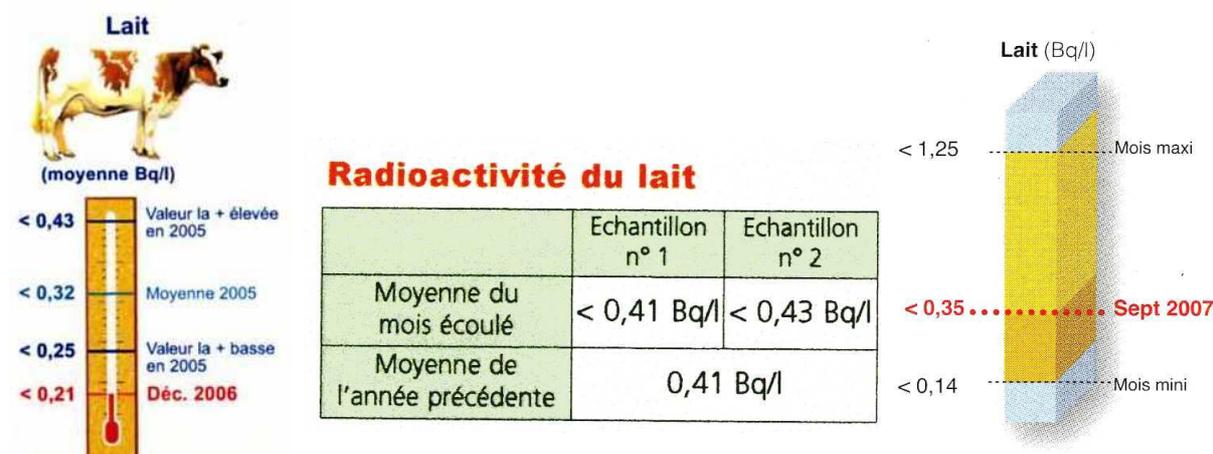


Figure 58 : Résultats de mesures de l'activité volumique bêta (en Bq/l) effectuées sur des prélèvements de lait de vache à Belleville-sur-Loire (à gauche, décembre 2006), à Dampierre-en-Burly (au centre, novembre 2006) et à Saint-Laurent-des-Eaux (à droite, septembre 2007) (bulletins mensuels d'information EDF).

Les résultats sont tous inférieurs aux limites de détection. Si la publication et l'interprétation de résultats en limite de détection sont difficiles, ils n'en demeurent pas moins importants pour le public qui est particulièrement sensible aux mesures réalisées dans la chaîne alimentaire. La signification de cette mesure (indice bêta, ⁴⁰K exclu) doit cependant être explicitée a minima afin que le public puisse comprendre ce qui lui est présenté, et pourquoi il s'agit essentiellement de limites de détection.

7.5.1.2 EDF - Suivi radioécologique des CNPE

Dans le cadre des suivis radioécologiques, des prélèvements de lait de vache sont réalisés à proximité des CNPE. Le lait échantillonné est associé à un prélèvement de pâturage brouté par l'animal ainsi qu'à un prélèvement de sol. Les stations de prélèvements sont situées dans la mesure du possible sous les vents dominants du CNPE (zone influencée par les rejets atmosphériques). Le lait est directement prélevé à la ferme, chez le producteur. Des mesures par spectrométrie gamma sont effectuées ainsi que des mesures du tritium libre (mesure sur l'eau libre du lait extraite par lyophilisation).

La spectrométrie gamma permet quantifier les activités en ^{40}K (40 à 60 Bq.l⁻¹ en 2005), d'origine naturelle, et en ^{137}Cs (0,006 à 0,014 Bq.l⁻¹ en 2005), d'origine artificielle. Le ^3H libre est également parfois détecté dans le lait (tableau XIX).

Tableau XIX : Résultats de mesures du tritium libre (en Bq/l) dans le lait de vache en 2005 (CNPE du bassin versant de la Loire)

CNPE	Station	Date de prélèvement	Type	Résultat (Bq/l)
Belleville-sur-Loire	Neuvy-sur-Loire	19/04/2005	Lait de vache	1,1 ± 0,8
Dampierre-en-Burly	Langesse	19/04/2005	Lait de vache	1,4 ± 0,9
Saint-Laurent-des-Eaux	Muides-sur-Loire	30/08/2005	Lait de vache	< 2
Chinon - Avoine	Les Mailloches	31/08/2005	Lait de vache	0,9 ± 0,7
Chinon - Avoine	Cravant	31/08/2005	Lait de vache	< 2
Civaux	Cubord	21/06/2005	Lait de vache	< 2

Les valeurs de ^{40}K dans le lait de vache sont toujours conformes aux mesures habituelles quels que soient l'année ou le lieu de prélèvement. La teneur en ^3H mesurée dans les échantillons de lait depuis 2003 reste proche des limites de détection et se situe au même niveau sous et hors influence industrielle locale.

Le lait, prélevé régulièrement depuis 1999, présente encore des traces de ^{137}Cs malgré une nette diminution par rapport aux années 90. La figure 59 présente l'évolution de l'activité du ^{137}Cs dans le lait de vache prélevé dans l'environnement des CNPE du bassin versant de la Loire entre 1995 et 2006 [17].

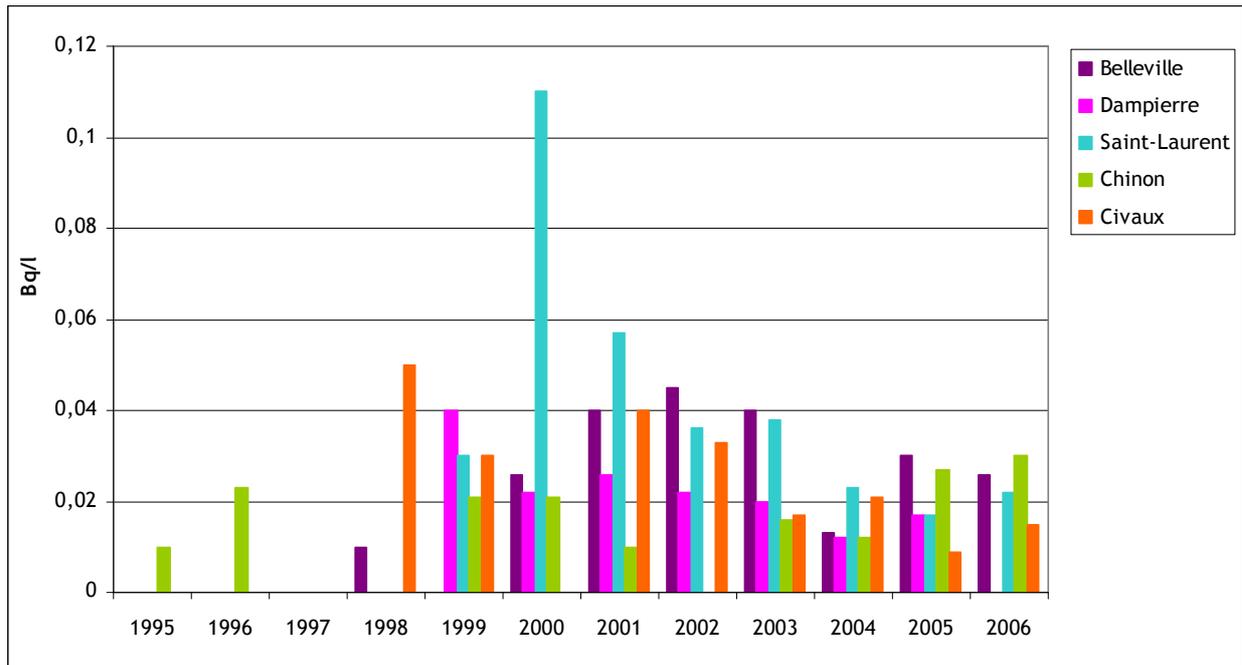


Figure 59 : ^{137}Cs dans le lait de vache prélevé à proximité des CNPE du bassin versant de la Loire entre 1995 et 2006 (valeurs maximales, en Bq/l)

7.5.1.3 IRSN - Réseau de surveillance de la radioactivité du lait

La surveillance radiologique du lait se décline selon trois thématiques :

- la surveillance du lait à proximité des installations nucléaires ;
- la surveillance du lait de coopératives représentatives de la plupart des départements ;
- la surveillance du lait des stations de référence.

Pour 69 départements de la métropole, un contrôle régulier (mensuel ou bimestriel) de la radioactivité du lait de vache est effectué au niveau d'un centre laitier (représentatif de la production) du département. Pour les stations de référence (Montfaucon, Nainville-les-Roches, Bellenaves, Saint-Laurent-de-Céris, Le Vésinet), des mélanges bimensuels de lait de vache sont réalisés chaque mois. Pour les sites nucléaires, un contrôle mensuel est effectué au niveau d'une exploitation agricole, dans la mesure du possible, dans une exploitation implantée sous les vents dominants [12].

Dans le bassin versant de la Loire, l'IRSN effectue un contrôle mensuel sur des laits de vache prélevés à proximité des CNPE de Belleville-sur-Loire (Neuvy), Chinon (Rivarennas) et Civaux (Leignes-sur-Fontaine). Les prélèvements effectués à proximité des autres CNPE, traditionnellement réalisés par les DDASS pour l'IRSN, sont provisoirement arrêtés depuis 2005 en raison de la réorientation de leur mission.

Sur ces échantillons sont mesurées les teneurs en calcium, potassium, ainsi que l'activité volumique en potassium 40, strontium 89 et 90, iode 131, césium 134 et 137. Des laits départementaux sont également prélevés dans tous les autres départements du bassin de la Loire (Figure 60).

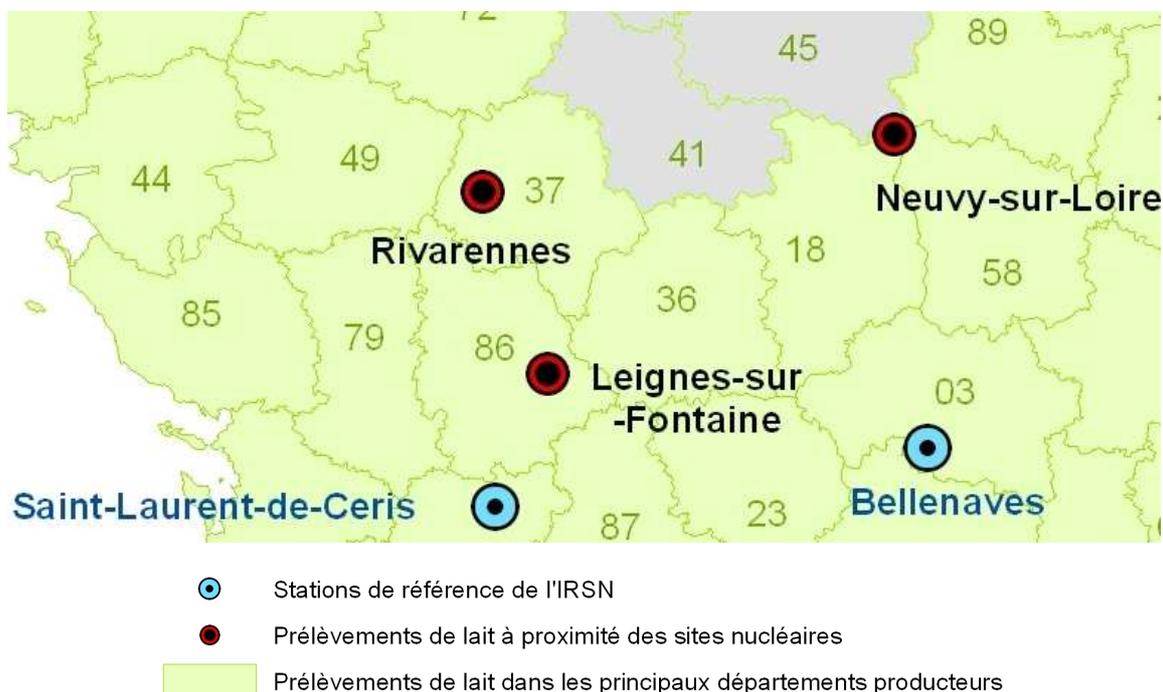


Figure 60 : Prélèvements de lait dans le bassin versant de la Loire - Réseau IRSN

Pour tous prélèvements mensuels analysés en 2005, les activités relevées pour l'iode 131, le césium 134 et le césium 137 sont restées inférieures aux limites de détection. En revanche, de faibles activités en strontium sont fréquemment décelées dans les prélèvements analysés (tableau XX).

Tableau XX : Résultats d'analyse du lait de vache prélevé en 2005 dans l'environnement du CNPE de Civaux

	Résultats (Bq/l)		
	Min.	Max.	Moyenne
Strontium	0,091 ± 0,022	0,23 ± 0,04	0,15

Ce produit de fission est encore aujourd'hui présent dans les sols, plusieurs décennies après la fin de la principale phase des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Le transfert racinaire représente la voie de contamination principale de l'herbe pâturée par les vaches.

La figure 61 ci-dessous présente une chronique de la concentration du ⁹⁰Sr dans le lait de vache prélevé à Saint-Laurent-des-Eaux et Chinon, centrée sur la fin de la période des tirs nucléaires (1982). En 1986, devant l'afflux d'échantillons suite à l'accident de Tchernobyl, la mesure du ⁹⁰Sr a été remplacée par une autre méthode (Strontium + terres rares) plus rapide à mettre en œuvre (2 jours au lieu des 15 jours anciennement nécessaires pour la mise à l'équilibre du Strontium et de l'Yttrium).

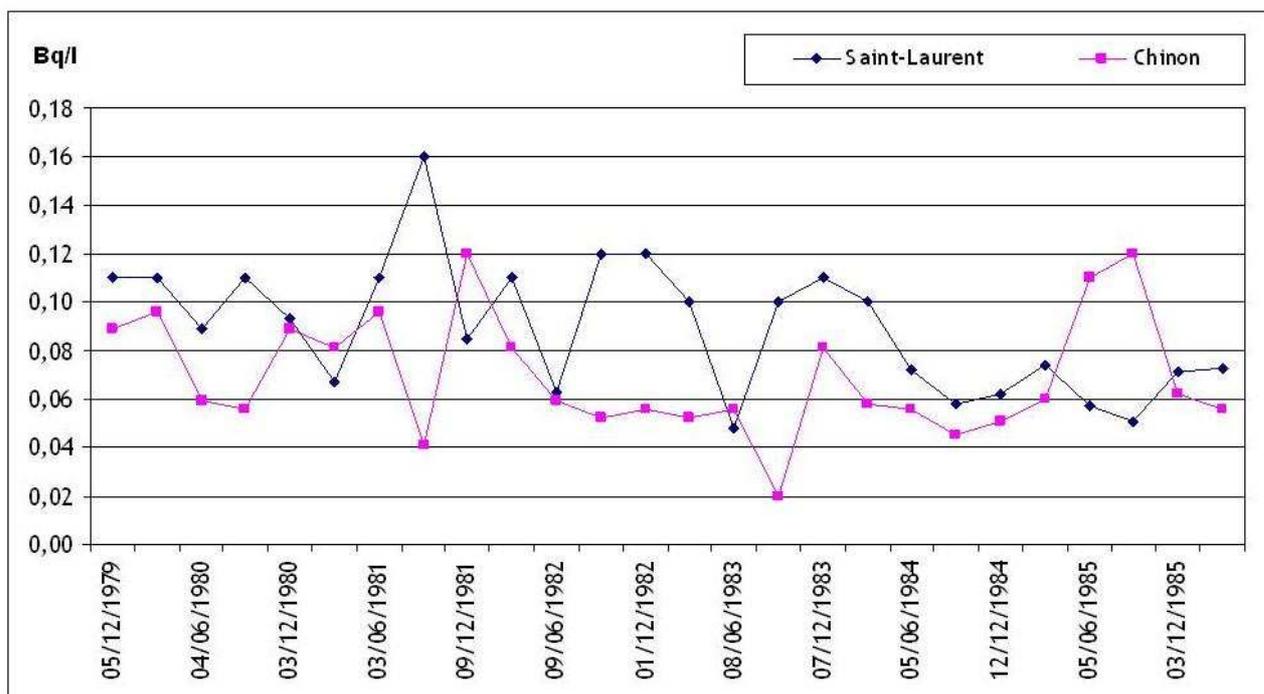


Figure 61 : ^{90}Sr dans le lait de vache prélevé dans l'environnement des CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux et de Chinon entre 1979 et 1986 - Réseaux IRSN

7.5.1.4 DGAL - Contrôle des denrées alimentaires - Lait et produits laitiers

L'objectif du contrôle de la DGAL est notamment de surveiller la contamination des denrées suite à l'accident de Tchernobyl et de s'assurer de l'absence de contamination de tout produit alimentaire en provenance de zones voisines d'installations nucléaires. Les prélèvements de lait et de produits laitiers sont réalisés par département, par les agents des Directions départementales des services vétérinaires (DDSV). Les prélèvements sont réalisés dans des fermes ou des coopératives laitières.

Les analyses de la radioactivité se résument essentiellement à la mesure par spectrométrie gamma des isotopes 134 et 137 du césium. Les analyses de césium sont réalisées dans une quinzaine de laboratoires vétérinaires départementaux qui disposent de limites de détection comprises entre 1 et 10 Bq/kg. La mesure des strontiums 89 et 90 a été réalisée par le laboratoire d'études et de recherches sur l'hygiène et la qualité des aliments (LERQAP) jusqu'en 2007.

L'objectif de ce plan de surveillance est donc différent de ceux mis en œuvre par EDF et l'IRSN dans le cadre du contrôle réglementaire et de l'expertise des sites nucléaires du bassin versant de la Loire, dont les limites de détection sont inférieures d'un facteur 10 à 100 sur la mesure par spectrométrie gamma. Ce plan contribue néanmoins à renforcer les contrôles réalisés par ailleurs tout en diversifiant les produits laitiers échantillonnés.

Pour mémoire, le tableau IX présente la répartition des prélèvements pour les principaux départements du bassin versant de la Loire. Dans les départements disposant d'installations nucléaires, 8 prélèvements de lait sont généralement effectués.

Pour le lait et les produits laitiers, la limite maximale établie par le règlement CEE N°737/90 du Conseil du 22 mars 1990 (JOCE du 29-03-90) relatif aux conditions d'importation de produits originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl, est fixée à 370 Bq/kg.

Tableau XXI : Bilan 1998 - 2005 des mesures effectuées sur le lait et les produits laitiers par la DGAL (bilan national)

Année	Nombre de prélèvements analysés	Taux de réalisation du programme (%)	Nombre d'échantillons ayant un niveau d'activité supérieur à la limite de détection
1998	1328	NR*	0
1999	1537	NR	0
2000	1112	NR	0
2001	656	82	0
2002	623	74	1 (fromage blanc : 14 Bq/kg)
2003	328	68	0
2004	271	56	0
2005	314	NR	0

*NR : non renseigné

Depuis 1998 (Tableau XXI), aucune denrée analysée pour la recherche de Césium 134 et 137 ne présente un niveau de contamination supérieur au seuil réglementaire retenu. Aucune contamination radioactive en césium 134 et 137 significative n'est mise en évidence [38] [39] [40] [41]. Ces résultats ne font pas l'objet de diffusion publique particulière.

7.5.2 LES AUTRES PRODUCTIONS ANIMALES

7.5.2.1 DGAL - Contrôle des denrées alimentaires - Classe 2 et classe 3

En matière de contrôle de la radioactivité dans les productions animales, la Direction générale de l'alimentation dispose d'un plan annuel réparti en plusieurs classes. La classe 1, relative au lait et aux produits laitiers, a été détaillée au chapitre précédent. La classe 2 est relative aux prélèvements de poissons et de gibier dans le milieu naturel, ainsi que de miel. Ces produits sont définis comme bioindicateurs. La classe 3 concerne les prélèvements de produits de consommation courante (œufs, volailles, lapins, animaux de boucherie).

Les analyses de la radioactivité se résument essentiellement à la mesure par spectrométrie gamma des isotopes 134 et 137 du césium. C'est généralement pour la classe 2 que l'on observe des activités supérieures à la limite de détection (Tableau XXII) mais inférieures au seuil réglementaire (600 Bq/kg) [41].

Tableau XXII : Plan de contrôle annuel de la DGAL - résultats ¹³⁷Cs significatifs en 2004

Nature du prélèvement	Année	Classe	Origine (dpt)	Activité en ¹³⁷ Cs (Bq/kg)
Miel	2004	2	40	6+/-1
Miel	2004	2	61	2,2 +/-0,7
Foie de gibier	2004	2	33	14
Muscle de gibier	2004	2	16	10
Muscle de mouflon	2004	2	15	13+/-2
Muscle de sanglier	2004	2	40	22+/-4
Muscle de cerf	2004	2	40	8+/-2
Muscle de chevreuil	2004	2	41	12,8+/-2
Muscle de gibier	2004	2	65	15
Foie de gibier	2004	2	88	23+/-4

Ces résultats sont exploités par la Direction générale de l'alimentation qui en dresse le bilan annuel. Il est diffusé aux différents acteurs ayant contribué à la mise en œuvre du plan (DDSV, laboratoires, AFSSA) ainsi qu'aux directions départementales de l'agriculture et de la forêt, aux directeurs des écoles nationales vétérinaires. Il est aussi repris dans le bilan annuel de la DGAL.

7.5.2.2 IRSN - Stations de référence

Pour les stations de référence de l'IRSN, des mélanges annuels sont constitués à partir de prélèvements trimestriels d'os de lapin d'élevage en vue de la détermination du strontium 90 qui n'est désormais détecté qu'à l'état de traces (tableau XXIII).

Tableau XXIII : Résultats d'analyse de ⁹⁰Sr des os de lapin en 2005 (stations de suivi continental de Bellenaves et de Saint-Laurent-de-Céris)

Station	⁹⁰ Sr (Bq/g de cendres)	⁹⁰ Sr (Bq/g de calcium)
Bellenaves	0,011 ± 0,002	0,027
Saint-Laurent-de-Céris	0,039 ± 0,004	0,10

Ces stations, qui existent depuis plus de 40 ans, disposent d'un plan de surveillance relativement complet qui permet de disposer de chroniques importantes. Les résultats d'analyse de ⁹⁰Sr dans les os de lapin permettent ainsi de retracer la chronologie des essais atmosphériques d'armes nucléaires (Figure 62).

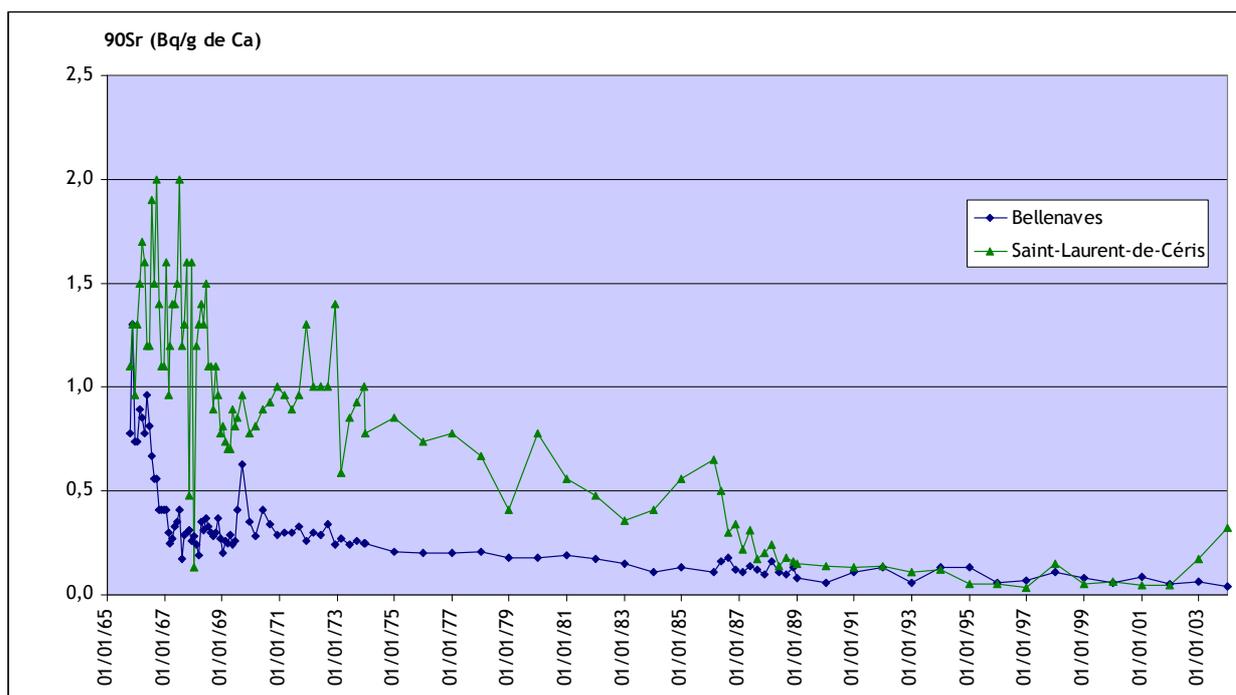


Figure 62 : Evolution de l'activité ^{90}Sr dans les os de lapin prélevés à la station de Bellenaves et de Saint-Laurent-de-Céris, entre 1965 et 2005 (valeurs en Bq/g de Ca)

7.5.3 LES PRODUCTIONS VEGETALES (LEGUMES, CEREALES, CHAMPIGNONS)

7.5.3.1 EDF - Suivi radioécologique des CNPE

Dans le cadre du suivi radioécologique des CNPE, deux prélèvements annuels de salade, généralement associés à un prélèvement de sol, sont effectués autour de chaque installation nucléaire [17].

Le choix des stations de prélèvement est effectué en tenant compte des conditions de dispersion des rejets atmosphériques de l'installation nucléaire surveillée. Un prélèvement est effectué sous zone influencée et un prélèvement dans une zone non influencée par les rejets atmosphériques du CNPE (c'est-à-dire hors vents dominants).

La composante d'origine atmosphérique (^7Be) est fortement représentée dans les salades. Mais le ^{40}K est prépondérant (alors que les mousses terricoles sont caractérisées par la prépondérance du ^7Be). La radioactivité artificielle n'est représentée que par le ^{137}Cs mesurable dans les salades (0,04 à 2,6 Bq/kg sec). Le ^{40}K est, en termes d'activité et d'occurrence, le radionucléide d'origine naturelle prépondérant dans la quasi-totalité des échantillons. D'origine tellurique, cet isotope radioactif du potassium est facilement transféré aux plantes par voie racinaire.

Cette mesure présente le double intérêt d'être reliée à un prélèvement de sol associé, et d'être réalisée tous les ans sur le même type de matrice (des salades) à proximité de tous les CNPE selon la même stratégie. Ces études permettent ainsi un suivi dans le temps de la radioactivité présente dans ce légume feuille particulièrement sensible à la contamination atmosphérique.

7.5.3.2 IRSN - Surveillance de la radioactivité dans les céréales

Des mélanges correspondant à 11 régions administratives sont réalisés à partir d'échantillons de blés envoyés par les services régionaux de l'ONIC (Office national interprofessionnel des céréales) et provenant de 210 silos répartis sur tout le territoire français (Figure 63).

En 2005, l'analyse des grains entiers a montré la présence habituelle de strontium 90, radionucléide artificiel issu des retombées des tirs atmosphériques d'armes nucléaires, sans variation notable par rapport aux années précédentes (Tableau XXIV).

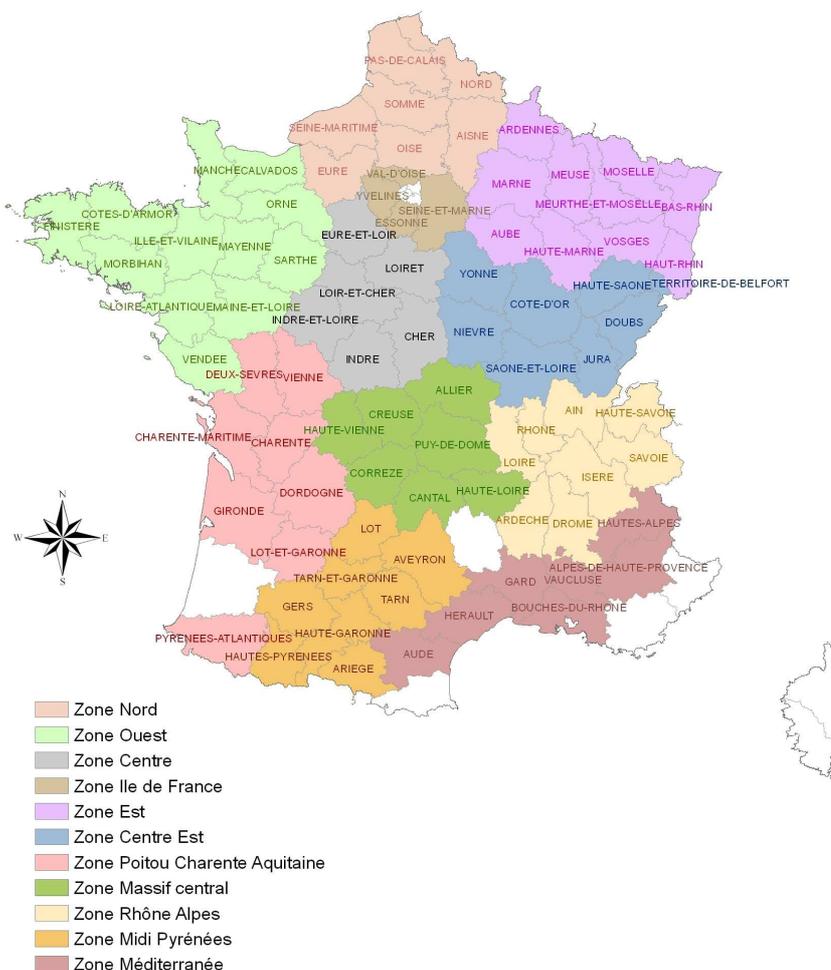


Figure 63 : Répartition des régions de prélèvement de blés

Tableau XXIV : Résultats d'analyse en ⁹⁰Sr dans les blés des régions administratives (en gris, principales régions du bassin versant de la Loire)

Région administrative	Nombre de départements	⁹⁰ Sr (Bq/kg frais)
Nord	7	0,18 ± 0,03
Est	10	0,22 ± 0,03
Ile de France	4	0,11 ± 0,02
Centre	6	0,15 ± 0,02
Ouest	12	0,22 ± 0,03
Centre Est	7	0,22 ± 0,03
Massif Central	7	0,28 ± 0,04
Rhône Alpes	7	0,24 ± 0,03
Méditerranée	7	0,17 ± 0,02
Poitou Charente Aquitaine	8	0,20 ± 0,03
Midi Pyrénées	8	0,13 ± 0,02

7.5.3.3 DGCCRF - Contrôle des denrées alimentaires d'origine végétale

La Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes effectue depuis 1986, date de l'accident de Tchernobyl, des contrôles réguliers du niveau de contamination radioactive des produits de consommation. Ces contrôles portent principalement sur les denrées alimentaires d'origine végétale. Chaque année, plus de 1000 échantillons sont ainsi prélevés sur le marché intérieur au stade de la commercialisation des produits. Le tiers des prélèvements concerne les produits les plus sensibles comme les champignons qui sont de bons indicateurs des niveaux de contamination. Un renforcement du contrôle des champignons importés des pays de l'Est a été décidé par la Commission Européenne en 1999.

Les données issues des mesures de la DGCCRF sont assez difficilement exploitables. En effet, la DGCCRF ne fournit pas d'information quant à la localisation exacte des lieux de distribution (marché, grandes surfaces, ...). Seules des informations sur le département où les échantillons ont été prélevés sont accessibles. Ces résultats ne sont pas diffusés au public.

Quelques cas de non-conformité (activité en ^{137}Cs supérieure à 600 Bq/kg) ont été observés jusqu'en 1999, essentiellement sur des échantillons en provenance de l'Est de la France. Ces résultats permettaient d'avoir une indication précieuse sur la contamination des champignons du territoire nationale, européen et international.

7.6 LA MEDECINE NUCLEAIRE

Depuis quelques années, les déclenchements des portiques de détection de la radioactivité installés à l'entrée des centres d'incinération ou d'enfouissement technique, sont réguliers. Cette radioactivité a aujourd'hui une origine bien connue : la médecine nucléaire.

Certaines agglomérations bénéficient en effet de la présence d'hôpitaux ou cliniques équipés de services de médecine nucléaire permettant le diagnostic ou la radiothérapie métabolique. Il est désormais connu que ces activités provoquent des rejets radioactifs liquides lors de l'élimination des radionucléides administrés par les voies urinaires et fécales principalement. Lorsque ces rejets sont dirigés vers le réseau d'assainissement, il est ainsi logique de retrouver de la radioactivité dans les eaux usées entrant dans les stations d'épuration.

C'est la raison pour laquelle l'IRSN, en partenariat avec les DDASS et certaines communautés d'agglomération, a procédé à l'installation de sondes Téléhydro (Figure 64) au point d'entrée des eaux usées dans les stations d'épuration de certaines villes françaises [42].

Depuis 2000, le réseau Téléhydro de l'IRSN réalise des mesures radiologiques en continu dans les eaux usées de grandes villes françaises. Sur les 9 sondes du réseau actuel, l'une se situe à Nantes et l'autre à Poitiers.

Ces sondes sont composées d'un détecteur NaI (iodure de sodium) et d'un système d'acquisition permettant la détection du rayonnement gamma et l'identification des radionucléides en fonction de l'énergie du rayonnement qu'ils émettent (spectrométrie gamma). Les résultats acquis en 2005 ne diffèrent pas des années précédentes et démontrent le caractère régulier des apparitions d'iode 131 et de technétium 99 métastable dans les eaux usées des agglomérations françaises surveillées. Ce sont les deux radionucléides majeurs mis en œuvre dans la médecine nucléaire. Toutefois, le réseau, conçu initialement dans un objectif d'investigation démontre un certain nombre de limites fonctionnelles eu égard aux nouvelles attentes des gestionnaires des stations d'épuration, des DDASS et des collectivités locales.



Figure 64 : Photos d'une station Téléhydro (vue générale et détaillée de la sonde)

Exemple d'une expertise dans la station d'épuration de Tours

La Communauté d'agglomération de la ville de Tours, exploitant du réseau d'assainissement, a sollicité l'IRSN en 2005 pour déterminer l'état radiologique des eaux usées entrant dans la station d'épuration. Une sonde Téléhydro portable a été installée et a permis de collecter des résultats pendant un mois. Une évaluation de l'exposition gamma ambiante à l'aide de dosimètres thermoluminescents a également été mise en place [42].

D'après les résultats obtenus au cours de cette étude, les rejets d'iode 131 sont maîtrisés, conformément aux dispositions de la réglementation, puisque le marquage des eaux usées est très faible. Il est à noter que la station d'épuration de la Grange David n'a jamais fait l'objet d'un refus d'entrée des boues issues du traitement des eaux usées de l'agglomération tourangelle sur un site d'enfouissement technique ou d'incinération. C'est pourquoi le réseau d'assainissement de la ville de Tours n'a pas fait l'objet d'investigations complémentaires, l'impact radiologique sur les eaux usées étant très faible compte tenu de la courte demi-vie du technétium 99 métastable et des faibles valeurs d'activité en iode 131.

8 SYNTHESE

L'objectif de ce rapport sur le bassin versant de la Loire était d'élargir à toutes les installations nucléaires du bassin la démarche de synthèse entreprise pour le CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux, en s'appuyant notamment sur l'ensemble des acteurs effectuant des mesures de radioactivité dans l'environnement.

Ce rapport montre que ces acteurs sont nombreux. Les plans de mesures mis en œuvre ont pour objectifs principaux d'établir l'état radiologique de l'environnement, à proximité ou non des installations nucléaires, de détecter des élévations anormales de radioactivité, d'évaluer l'exposition des populations à la radioactivité ambiante, ou encore de contrôler la conformité des pratiques (activités nucléaires) et des produits (biens de consommation et denrées alimentaires) (Tableau XXV).

Tableau XXV : Contexte et stratégie associés aux mesures de radioactivité

Acteurs	Contexte de la mesure	Stratégie géographique
IRSN	Surveillance radiologique de l'environnement (indépendante de l'exploitant)	Installation, centres urbains, département, France
EDF	Contrôles réglementaires Etudes radioécologiques	Installation
AREVA NC	Contrôles réglementaires	Installation
AASQA	Surveillance radiologique des centres urbains	Centres urbains
DGAL	Contrôles réglementaires	Département
DGCCRF	Contrôles réglementaires	France, pays tiers
Autres laboratoires	Contrôles réglementaires, expertise, recherche	-

Cet état des lieux met en évidence l'absence d'une réelle stratégie globale dans l'organisation de la mesure de la radioactivité à l'échelle d'un bassin versant. De nombreuses entités publiques participent à des obligations réglementaires (DGAL, DGCCRF) dont certaines sont héritées de la période post-Tchernobyl. L'IRSN se retrouve parfois avec une position de monopole dans la surveillance de certains compartiments environnementaux, la surveillance réglementaire exercée par les exploitants restant le plus souvent confinée au champ proche des installations.

L'inventaire des données disponibles pour le bassin versant de la Loire a permis de visualiser la diversité des mesures réalisées et des formats de diffusion de ces informations auprès du public. Les chroniques de données IRSN permettent ainsi de suivre dans les différents compartiments environnementaux l'impact des retombées d'événements majeurs tels que les essais atmosphériques (jusqu'en 1982) et l'accident de Tchernobyl (1986).

Ces chroniques apportent des informations historiques importantes qui, en raison de la forte atténuation du marquage des événements passés, peuvent dorénavant être confrontées aux données récentes.

Dans certains compartiments (atmosphérique par exemple) et hors des zones d'influence, les résultats sont représentatifs de la radioactivité naturelle (influence du rayonnement tellurique, influence du rayonnement cosmique). En ce sens, la problématique du risque naturel notamment lié aux émanations de radon fait l'objet d'un suivi continu ou ponctuel (campagnes de mesures) dans certains départements du bassin versant de la Loire.

Dans le compartiment aquatique, les résultats obtenus sur les eaux, les sédiments et les végétaux aquatiques sont précieux puisqu'ils permettent de mettre en évidence le marquage des CNPE, ce qui est rarement le cas dans d'autres milieux. Certaines mesures permettent également la mise en évidence d'un marquage (iode 131 dans les végétaux aquatiques) issu des services de médecine nucléaire des installations hospitalières.



Figure 65 : Les méandres de la Loire sauvage

Le chapitre sur les végétaux terrestres met en évidence l'importance d'une surveillance portant à la fois sur des végétaux annuels et sur des bioindicateurs tels que les mousses terricoles. Les mesures effectuées permettent d'identifier l'origine de la radioactivité de ces échantillons, qui est majoritairement naturelle. Le marquage des essais atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl, mis en évidence dans les bioindicateurs, permet de suivre l'évolution du bruit de fond en ^{137}Cs et en ^{90}Sr dans les végétaux. Des mesures complémentaires, telles que le carbone 14, ont aussi un intérêt majeur car elles permettent de focaliser les recherches sur le marquage des rejets des CNPE.

Les contrôles réalisés dans la chaîne alimentaire sont plus sporadiques hormis pour le lait et les produits laitiers qui font l'objet d'un suivi plus large par les exploitants, l'IRSN et la DGAL avec toutefois des stratégies et des niveaux de mesures très éloignés.

Ce rapport montre la relative complexité du paysage des acteurs et des mesures de radioactivité au sein d'un même bassin versant. En fonction de ses missions ou de ses obligations réglementaires, chaque acteur se positionne dans un contexte particulier et y répond par une stratégie de mesure propre. Cette configuration conditionne également la communication des résultats qui est effectuée (ou non) par les différents acteurs.

Certaines mesures alimentent des rapports qui ont pour objectif premier de répondre à une obligation réglementaire. D'autres font l'objet de publications (bulletins d'information, sites Internet, rapports d'activités) sous des formes parfois très épurées pour le public. La communication ne doit pas se traduire par une simplification à outrance, le risque étant de perdre toute l'intelligibilité des informations qui sont censées permettre au public d'appréhender au mieux les résultats de mesures. Les données sont représentées sous de multiples formes (tableaux, graphes, cartes, ...) mais qui peuvent parfois ne pas répondre aux attentes des utilisateurs potentiels en raison de la complexité et de la grande diversité des informations présentées (nombreuses unités de mesures par exemple).

L'IRSN est confronté à ce schéma complexe de restitution des données dans le cadre de la mise en place du système d'information du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement. Les informations rassemblées dans ce rapport devraient permettre aux membres de l'Action pilote environnement Loire, et notamment aux CLI participantes, d'engager la réflexion sur les indicateurs qu'il serait souhaitable de retenir, ainsi que sur les explications à développer pour accompagner les résultats. Ces travaux feront l'objet d'un second rapport, qui sera rédigé par les CLI partenaires avec le soutien d'experts de l'IRSN, du CEPN et de Mutadis.

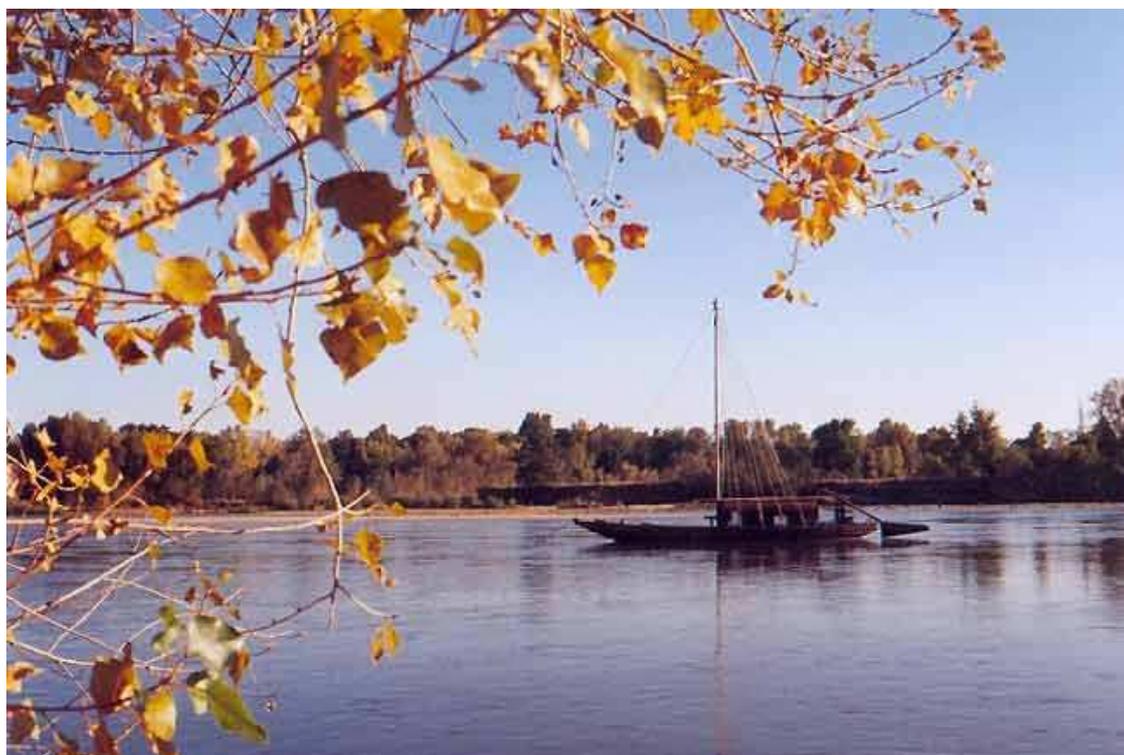


Figure 66 : Gabare (ou chaland) sur la Loire

9 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] IRSN - Mission parties prenantes (2004) Enquête - Qualité du suivi de l'environnement - Quelle démarche construire avec les acteurs ? Rapport IRSN.
- [2] ANCLI - IRSN Mission partie prenantes (2004) Qualité du suivi de l'environnement - Quelle démarche construire avec les acteurs ? Rencontre ANCLI/IRSN du 24 mars 2004.
- [3] JO (2005) Arrêté du 27 juin 2005 portant organisation d'un réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement et fixant les modalités d'agrément des laboratoires
- [4] LEPRIEUR F. (2006) Synthèse des mesures de radioactivité effectuées dans l'environnement du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux - Acteurs, réseaux, inventaires des données, chroniques, communication, Rapport IRSN/DEI/SESURE/2006-14.
- [5] Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (2006) - Rapport de gestion 2004-2005 du Réseau national.
- [6] Site Internet du Réseau national : www.mesure-radioactivite.fr
- [7] Site Internet de l'Etablissement Public territorial du Bassin de la Loire : www.eptb-loire.fr
- [8] EPTB Loire (2007) Compte rendu annuel d'activité 2006.
- [9] Site Internet du Plan Loire grandeur Nature : www.plan-loire.fr
- [10] Agence de l'eau Loire - Bretagne (2005) Evaluation du plan Loire grandeur nature - Synthèse générale - Avril 2005.
- [11] Site Internet de l'Agence de l'eau Loire - Bretagne : www.eau-loire-bretagne.fr
- [12] IRSN (2007) Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2006 - Synthèse des résultats des réseaux de surveillance de l'IRSN - Rapport IRSN/DEI/SESURE/2007-72
- [13] Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (2006) Inventaire national des déchets radioactifs (ANDRA)
- [14] Site Internet de l'ANDRA : www.andra.fr
- [15] IRSN (2004) Inventaire national des sites miniers d'uranium - Programme MIMAUSA (Mémoire et Impact des Mines d'urAniUm : Synthèse et Archives) - Rapport IRSN - MEDAD/DPPR
- [16] Site Internet de la société française de médecine nucléaire et d'imagerie moléculaire : www.sfmn.org
- [17] CLAVAL D. et al. (2007) Suivi radioécologique de l'environnement terrestre, aquatique continental et marin des centres nucléaires de production d'électricité français - Année 2006 - Rapport IRSN/DEI/SESURE/2007-26, 6 tomes.
- [18] Site Internet institutionnel de l'IRSN : www.irsn.org
- [19] EDF (1995) Nucléaire et environnement - Guide pratique pour le contrôle des effluents et de l'environnement.
- [20] AREVA NC (2004) Bilan décennal environnemental 1994-2003.
- [21] Groupe d'expertise pluraliste sur les sites miniers d'uranium du Limousin (2006) Rapport d'étape du groupe d'expertise pluraliste - Juin-Décembre 2006.
- [22] Site Internet de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie : www.ademe.fr
- [23] Site Internet de l'association Lig'Air : www.ligair.fr
- [24] Site Internet de l'association Air Pays de la Loire : www.airpl.org

- [25] Site Internet de l'association Limair (surveillance de l'air en Limousin) : www.limair.asso.fr
- [26] Site Internet de l'association Atmo Auvergne : www.atmoauvergne.asso.fr
- [27] Direction générale de l'alimentation (2005) Plan de contrôle de la contamination des radionucléides - année 2006, Note DGAL/SDRRCC/N2005-8297 du 20 décembre 2005.
- [28] EDF (2007) - Rapport annuel de surveillance de l'environnement du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux - année 2006 - annexe 1.
- [29] EDF (2007) - Actualités et environnement - Octobre 2007 - Bulletin d'information du CNPE de Saint-Laurent-des-Eaux.
- [30] Air Pays de la Loire (2007) Rapport annuel 2006.
- [31] Site Internet de la DRASS - DDASS des pays de la Loire : <http://pays-de-la-loire.sante.gouv.fr>
- [32] IRSN (2007) - Le radon - Collection thématique IRSN
- [33] Site Internet IRSN - Surveillance des aérosols atmosphériques : <http://aerosol.irsn.org/index.htm>
- [34] Lig'Air (2006) - Rapport d'activité 2005.
- [35] Limair - La surveillance de l'air en Limousin (2006) Rapport d'activités 2005.
- [36] EDF (2006) - Résultats environnementaux du CNPE de Belleville-sur-Loire - Décembre 2006.
- [37] EDF (2007) - Le bulletin environnement du CNPE de Dampierre-en-Burly - Janvier 2007.
- [38] Direction générale de l'alimentation (2000) Résultats du plan de surveillance de la contamination éventuelle des denrées alimentaires par les radionucléides pour la période 1998-1999, Note DGAL/SDRRCC/N2000-8121 du 21 septembre 2000.
- [39] Direction générale de l'alimentation (2002) Bilan du plan de contrôle de la contamination des denrées alimentaires par les radionucléides pour l'année 2000, Note DGAL/SDRRCC/N2002-8117 du 19 août 2002.
- [40] Direction générale de l'alimentation (2005) Bilan du plan de contrôle des radionucléides - années 2001, 2002 et 2003, Note DGAL/SDRRCC du 28 février 2005.
- [41] Direction générale de l'alimentation (2005) Bilan des résultats du plan de contrôle des radionucléides - année 2004, Note DGAL/SDRRCC du 10 mai 2005.
- [42] DEBAYLE C. (2005) Etude de l'état radiologique des eaux usées de la ville de Tours, Rapport IRSN/DEI/SESURE/2005-06.

10 GLOSSAIRE

AASQA : Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air

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.

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

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.

ANCLI : Association nationale des commissions locales d'information

α global (alpha global) : indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs alpha.

AS : réseau de surveillance de l'air par cabine de prélèvements d'aérosols sur filtre au niveau du sol (Air au Sol).

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 les arrêter.

β global (bêta global) : indice de radioactivité représentatif de l'activité des radionucléides émetteurs bêta.

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières

CEA : Commissariat à l'énergie atomique.

CLI : Commission locale d'information

CNPE : Centre nucléaire de production d'électricité.

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 consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes

DIREN : Direction régionale de l'environnement

Dose efficace : somme des doses équivalentes délivrées aux différents organes et tissus d'un individu, pondérées par un facteur propre à chaque organe ou tissu. Elle s'exprime en Sievert (Sv).

Dose équivalente : produit de la dose absorbée dans un tissu ou un organe par un facteur de pondération tenant compte de l'effet biologique lié à la nature et à l'énergie du rayonnement. L'unité de dose équivalente est le 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

DRIRE : Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement

DTL : Dosimètre thermoluminescent

EDF : Electricité de France

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

γ (gamma) : 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 de dose absorbée.

HYDROTÉLÉRAY : réseau 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 : paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées à la grandeur mesurée.

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. Sa concentration dans un liquide est généralement exprimée en mg/l (milligramme par litre). Un gramme de potassium naturel a une activité de 31 Bq due à la décroissance de l'isotope radioactif de masse 40 (⁴⁰K).

Limite de détection : la limite de détection représentant 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.

MEDAD : Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables

ONIC : Office national interprofessionnel des céréales.

Piézomètre : dispositif permettant de mesurer le niveau supérieur des eaux de nappes aquifères.

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.

Radionucléide : isotope radioactif d'un élément.

Exemples : ^3H : tritium, isotope radioactif de l'hydrogène.

^{14}C : carbone 14, isotope radioactif du carbone.

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 modérateur et 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 : Surveillance Automatisée de la Radioactivité dans les Aérosols.

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 globale sur un précipité susceptible de contenir du strontium 90 et son descendant l'yttrium 90, du baryum et des terres rares.

TÉLÉRAY : réseau de mesure en continu in situ du débit de dose gamma ambiant.

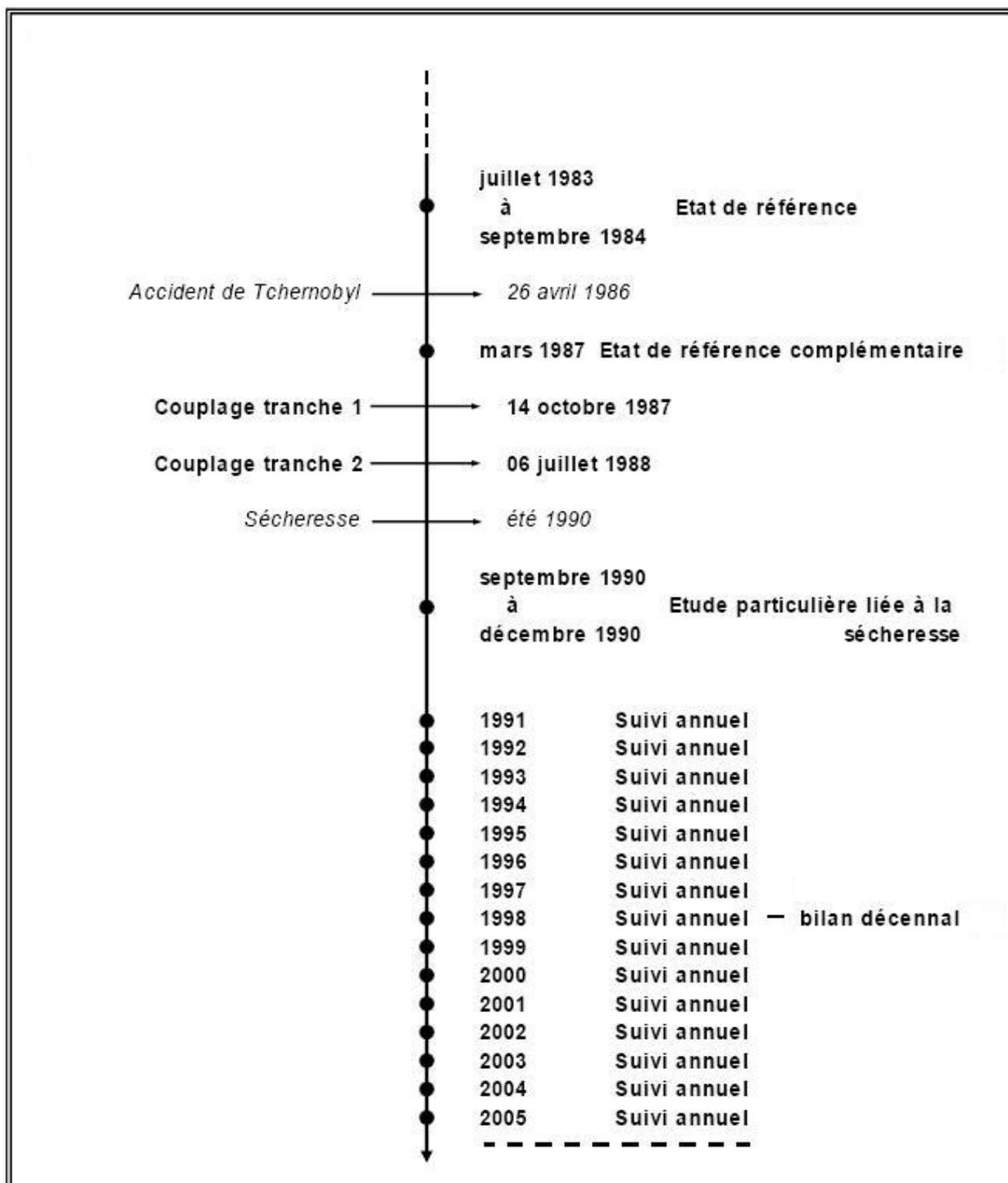
TÉLÉHYDRO : réseau de mesure en continu in situ de l'activité gamma dans les eaux usées de certaines agglomérations.

UNGG : Réacteur à uranium naturel gaz graphite. Des réacteurs de ce type ont fonctionné par le passé sur les sites des CNPE de Bugey, Chinon et Saint-Laurent des Eaux. Ils sont aujourd'hui tous arrêtés.

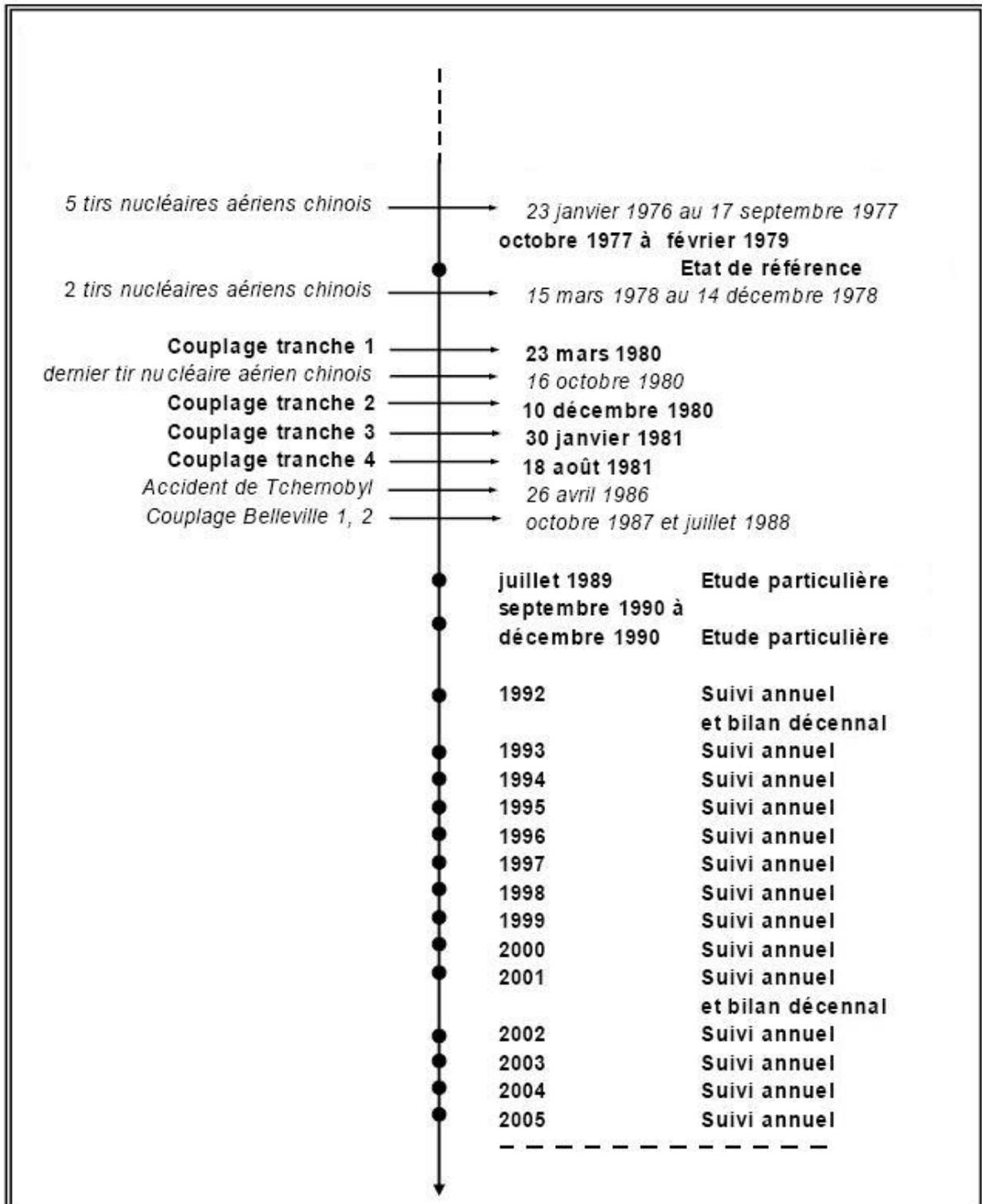
Zone de bon mélange : zone située à une certaine distance du rejet à partir de laquelle le mélange entre les effluents liquides et les eaux du milieu récepteur s'est réalisé dans les directions verticale et transversale.

11 ANNEXES

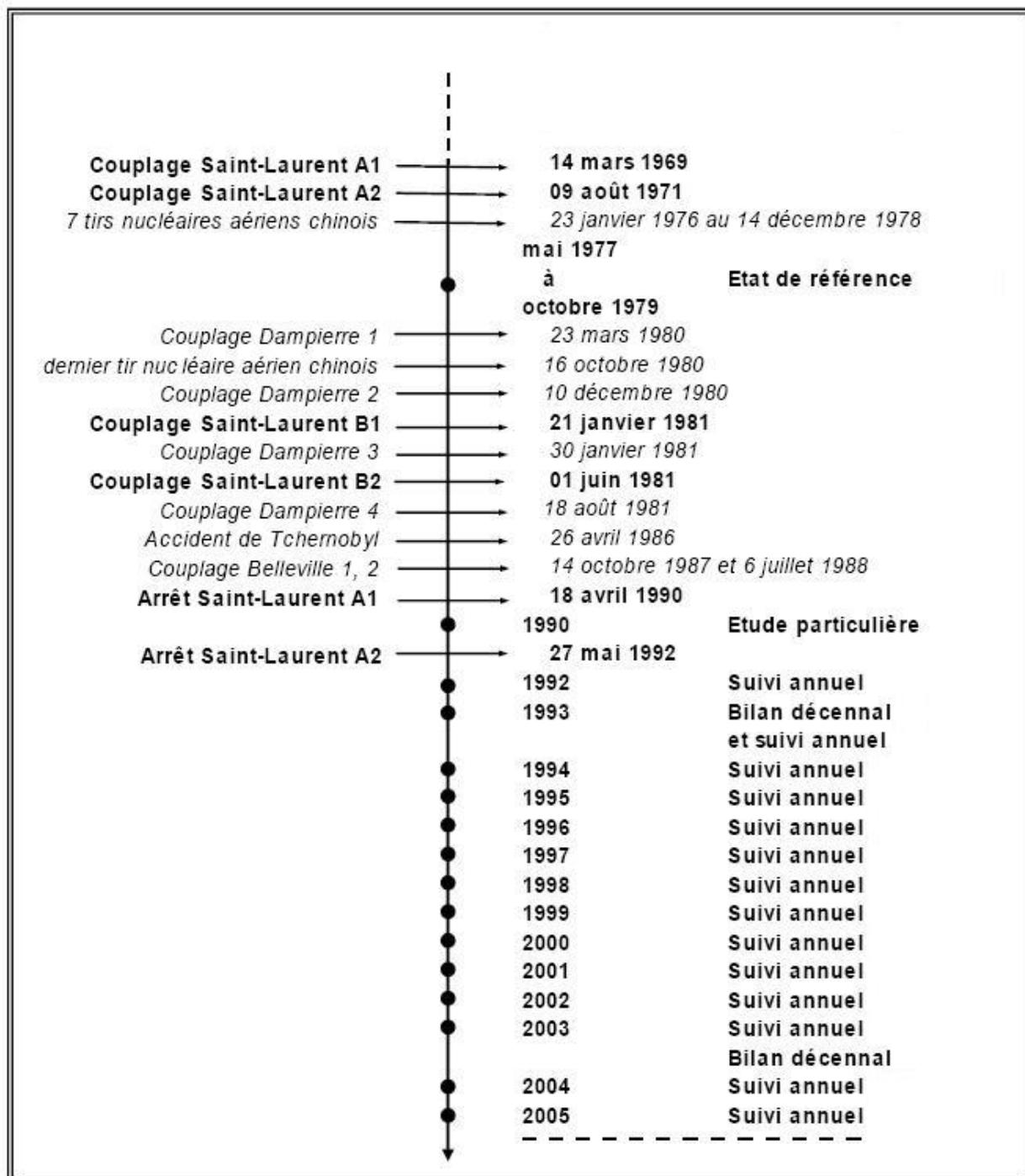
Annexe 1 : Etudes radioécologiques conduites sur le site de Belleville-sur-Loire et chronologie des événements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement de ce CNPE.



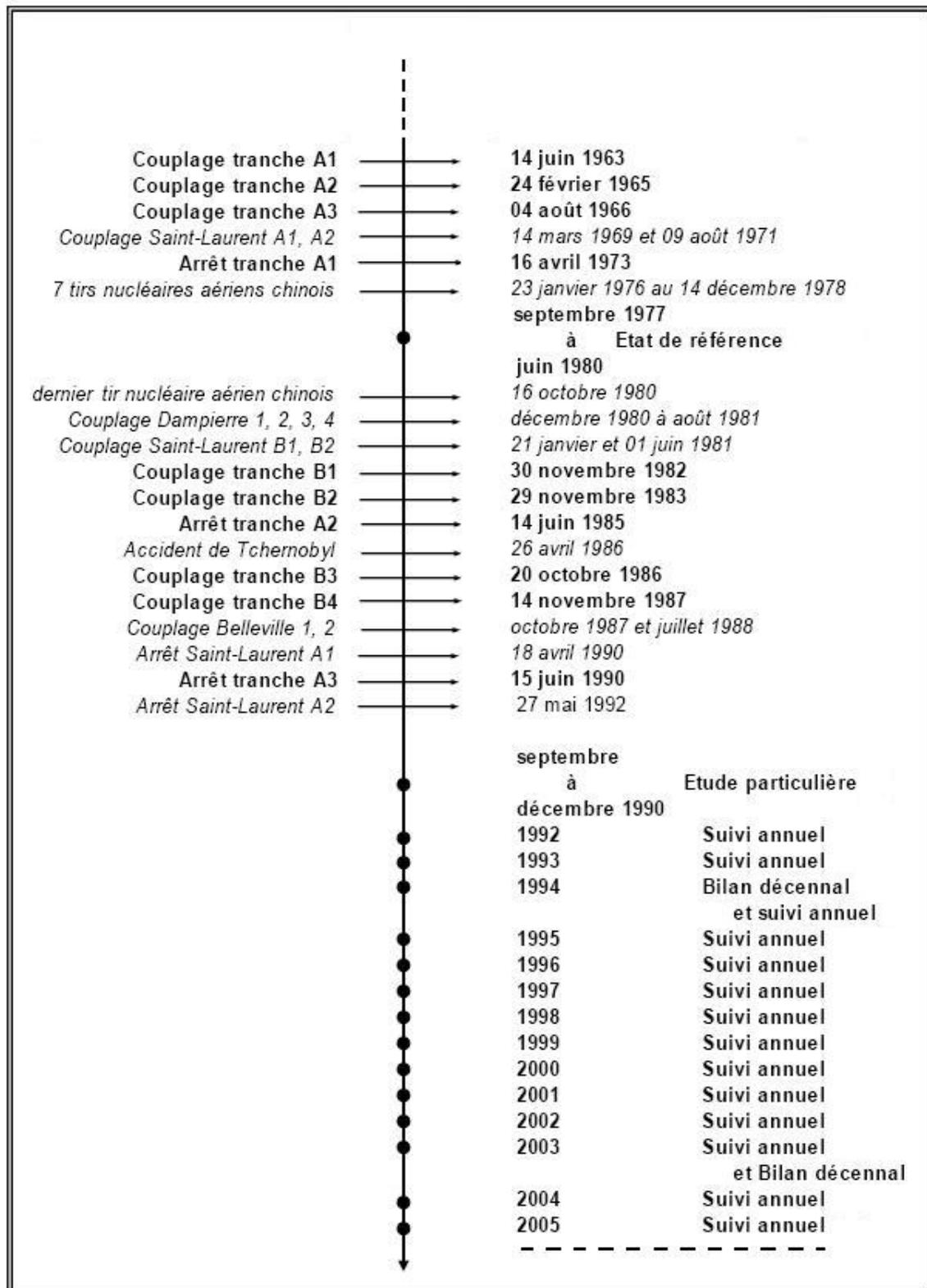
Annexe 2 : Etudes radioécologiques conduites sur le site de Dampierre-en-Burly et chronologie des événements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement de ce CNPE.



Annexe 3 : Etudes radioécologiques conduites sur le site de Saint-Laurent-des-Eaux et chronologie des événements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement de ce CNPE.



Annexe 4 : Etudes radioécologiques conduites sur le site de Chinon et chronologie des événements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement de ce CNPE.



Annexe 5 : Etudes radioécologiques conduites sur le site de Civaux et chronologie des événements pouvant influencer le niveau de radioactivité dans l'environnement de ce CNPE.

