

La radioprotection des travailleurs

Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants
en France : bilan 2010

DIRECTION DE LA RADIOPROTECTION DE L'HOMME

RESUME

En France, plus de 330 000 travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des sources artificielles de rayonnements ionisants dans différents secteurs d'activités professionnelles civiles soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration (nucléaire, industrie, recherche, médecine) ou des activités de défense. Des travailleurs sont par ailleurs susceptibles d'être exposés à des sources naturelles de rayonnements (industries « NORM », radon et aviation). Au titre de sa mission de participation à la veille permanente en matière de radioprotection, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire assure une surveillance de ces expositions professionnelles. Ce rapport dresse un bilan des expositions professionnelles pour l'année 2010.

ABSTRACT

In France, more than 330 000 workers are potentially exposed to ionizing radiation in various areas of civilian professional activities (nuclear energy, industry, research, medicine) and activities of defense. Further workers may be exposed to natural sources of radiation (« NORM » industries, radon, and aviation). As part of its participation in the permanent monitoring of radiological protection, the Institute of radiation protection and nuclear safety (IRSN) operates radiological monitoring of these occupational exposures. This document presents the work carried out in this field by IRSN and reports on the occupational exposures for the year 2010.

MOTS-CLES

Travailleurs, doses, bilan des expositions, secteurs d'activité, poste de travail, incidents

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	13
2.	LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.....	14
2.1.	Rappels réglementaires.....	14
2.2.	Modalités de la surveillance	15
2.2.1.	SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION.....	16
2.2.2.	SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION.....	18
2.2.3.	SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE.....	24
2.2.4.	CENTRALISATION DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI.....	25
2.3.	Moyens et actions de l'IRSN.....	30
2.3.1.	MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS.....	30
2.3.2.	ACTIONS DANS LE CADRE DE L'AGREMENT DES ORGANISMES.....	34
2.3.3.	INTERVENTIONS DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS	37
2.3.4.	SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION	39
2.3.5.	ACTIONS DANS LE CADRE D'HARMONISATION DES PRATIQUES EN EUROPE.....	39
3.	METHODOLOGIE SUIVIE POUR ETABLIR LE BILAN ANNUEL DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS.....	41
3.1.	Bilan des expositions externes	41
3.2.	Bilan des expositions internes.....	43
3.3.	Vers l'utilisation de SISERI pour l'établissement du bilan annuel des expositions des professionnelles.....	44
3.4.	Participation à la mission confiée au vice-président de la CNDP	45
4.	EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS DANS LES ACTIVITES CIVILES SOUMISES A UN REGIME D'AUTORISATION OU DE DECLARATION ET DANS LES ACTIVITES DE DEFENSE	46
4.1.	Résultats généraux	46
4.1.1.	BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	46
4.1.2.	BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	54
4.1.3.	DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	59
4.1.4.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	61
4.2.	Exposition des travailleurs du domaine médical et vétérinaire	63
4.2.1.	BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	63
4.2.2.	BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	67
4.2.3.	DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	68
4.2.4.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	69

4.2.5.	CONNAISSANCE DES POSTES DE TRAVAIL.....	70
4.2.6.	PARTICIPATION AU PROJET ORAMED : « OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION DU PERSONNEL MEDICAL »	72
4.3.	Exposition des travailleurs du domaine nucléaire.....	73
4.3.1.	BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	73
4.3.2.	BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	78
4.3.3.	DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	84
4.3.4.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	84
4.4.	Exposition des travailleurs du domaine industriel (non nucléaire)	87
4.4.1.	BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	87
4.4.2.	BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	89
4.4.3.	DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	91
4.4.4.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	91
4.4.5.	CONNAISSANCE DES POSTES DE TRAVAIL.....	92
4.5.	Exposition des travailleurs du domaine de la recherche.....	93
4.5.1.	BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES.....	93
4.5.2.	BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES	95
4.5.3.	DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE	97
4.5.4.	SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION	97
5.	EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE	98
5.1.	Industries « NORM »	98
5.1.1.	BILANS DES ETUDES REÇUES.....	98
5.1.2.	BILAN DES ANALYSES REALISEES PAR L'IRSN.....	100
5.2.	Radon.....	102
5.3.	Exposition aux rayonnements cosmiques	103
6.	CONCLUSIONS	104
7.	REFERENCES	107
	ANNEXE I : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE	109

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition	14
Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2010.....	18
Tableau 3 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2010.....	23
Tableau 4 - Contrôles de radioprotection réalisés par l'IRSN en 2010.....	38
Tableau 5 - Bilan synthétique des doses externes passives - 2010	47
Tableau 6 - Répartition entre port mensuel et port trimestriel suivant les domaines d'activité	49
Tableau 7 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2010	55
Tableau 8 - Exposition interne : surveillance spéciale ou de contrôle dans les différents domaines d'activité en 2010	57
Tableau 9 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2010.....	59
Tableau 10 - Evolution des événements « travailleurs » sur la période 2004 - 2010.....	62
Tableau 11 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans le domaine médical et vétérinaire	64
Tableau 12 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine médical et vétérinaire	67
Tableau 13 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine médical et vétérinaire	68
Tableau 14 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine médical et vétérinaire.....	68
Tableau 15 - Répartition des événements « travailleurs » du domaine médical selon les secteurs d'activité.....	69
Tableau 16 - Doses équivalentes et dose corps entier (en mSv) reçues par six neuroradiologues du service pendant une année.....	71
Tableau 17 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans le domaine nucléaire.....	74
Tableau 18 - Dosimétrie opérationnelle des agents EDF employés dans les centrales nucléaires (données 2010 extraites de SISERI).....	76
Tableau 19 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine du nucléaire (exposition interne)	78
Tableau 20 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine du nucléaire.....	80
Tableau 21 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques des selles dans le domaine du nucléaire	80
Tableau 22 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine du nucléaire.....	80
Tableau 23 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine du nucléaire	81
Tableau 24 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs des centrales nucléaires suivis en 2010	82
Tableau 25 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine du nucléaire	83
Tableau 26 - Répartition des événements ayant impliqué des travailleurs dans les différents secteurs d'activité du nucléaire.....	84
Tableau 27 - Événements du domaine nucléaire en fonction des critères de l'annexe 7 du guide de déclaration ASN concernant les INB et le transport de matières radioactives.....	86
Tableau 28 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans l'industrie non nucléaire	88
Tableau 29 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire	90
Tableau 30 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans l'industrie non nucléaire	90
Tableau 31 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans l'industrie non nucléaire.....	90
Tableau 32 - Répartition des événements du domaine industriel non nucléaire suivant les secteurs d'activité.....	91

Tableau 33 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans le domaine de la recherche	94
Tableau 34 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche	96
Tableau 35 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine de la recherche.....	96
Tableau 36 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine de la recherche.....	96
Tableau 37 - Doses efficaces ajoutées compilées par l'IRSN (période 2005-2010)	101
Tableau 38 - Bilan 2010 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Air Calédonie International et Unijet).....	103
Tableau 39 - Bilan 2010 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire	103
Figure 1 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs	22
Figure 2 - Le système SISERI	26
Figure 3 - Répartition par domaine d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2010, avec le détail de la répartition par secteur d'activité dans le domaine médical et vétérinaire.....	27
Figure 4 - Répartition par secteur d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2010	28
Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service	29
Figure 6 - Répartition par secteur d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2010.....	29
Figure 7 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie LMA	31
Figure 8 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiométrie VLA	31
Figure 9 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie	36
Figure 10 - Fantôme anthropomorphe de LIVERMORE	36
Figure 11 - Bilan synthétique des doses externes passives par domaines d'activité en 2010 (effectifs surveillés et doses collectives)	48
Figure 12 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2010 (hors personnels EDF)	49
Figure 13 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2010	50
Figure 14 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2010 (hors personnels d'EDF)	51
Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2010, suivant les domaines d'activité	52
Figure 16 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2010	53
Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie au poignet en 2010.....	54
Figure 18 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands domaines d'activité en 2010 (surveillance de routine)	56
Figure 19 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2010 (tous secteurs d'activité confondus).....	56
Figure 20 - Evolution, de 2006 à 2010, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv	58
Figure 21 - Evolution, de 1996 à 2010, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv	60
Figure 22 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2010)	60
Figure 23 - Répartition des événements « travailleurs » selon les domaines d'activités.....	61
Figure 24 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2010	65
Figure 25 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2010)	66
Figure 26 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie bague en 2010 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.....	67

Figure 27 - Zonage tridimensionnel de la salle monoplan lors d'une vertébroplastie	70
Figure 28 - Dosimètre passif EYE-DTM (RADCARD) dédié à la mesure de la dose au cristallin, développé dans le cadre du projet européen ORAMED	72
Figure 29 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le nucléaire civil et militaire en 2010	75
Figure 30 - Répartition des doses enregistrées en 2010 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire (hors réacteurs de production d'énergie)	76
Figure 31 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2010).....	77
Figure 32 - Répartition des analyses réalisées dans le domaine du nucléaire (surveillance de routine).....	79
Figure 33 - Répartition des écarts relatifs aux conditions d'accès en zone.....	86
Figure 34 - Evolution de l'effectif surveillé et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2010).....	89
Figure 35 - Fantôme anthropomorphe équivalent tissu de type ALDERSON-RANDO lors d'un contrôle avec le Body Scanner BS 16HR DV®.....	92
Figure 36 - Evolution de l'effectif surveillé et des doses collectives dans le domaine de la recherche (période 1996-2010)	94
Figure 37 - Répartition des examens réalisés dans le domaine de la recherche (surveillance de routine).....	95
Figure 38 : Répartition des études reçues selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005 (période 2005-2010).....	99
Figure 39 : Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2010)	100

PRINCIPALES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation
ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives
CEI : Commission Electrotechnique Internationale
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CNRS : Centre national de la recherche scientifique
COFRAC : Comité Français d'Accréditation
DAM : Direction des Applications Militaires du CEA
DGT : Direction Générale du Travail
DSND : Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense
INES : International Nuclear Event Scale
INBS : Installation nucléaire de base secrète
INRA : Institut national de la recherche agronomique
INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale
IPHC : Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE
IPN : Institut de Physique Nucléaire d'Orsay
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
ISO : International Standard Organization
LABM : Laboratoire d'Analyses de Biologie Médicale
LAMR : Laboratoire d'Analyses Médicales Radiotoxicologiques de l'IRSN
LDI: Laboratoire de Dosimétrie de l'IRSN
MDT : Médecin du Travail
NORM : Naturally Occuring Radioactive Materials
OSL : Optically Stimulated Luminescence
PCR : Personne Compétente en Radioprotection
RNIPP : Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques
RPL : RadioPhotoLuminescent dosemeter
SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
SPRA : Service de Protection Radiologique des Armées
SST : Service de Santé au Travail
TLD : ThermoLuminescent Dosemeter

1. INTRODUCTION

L'**Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)** a été créé par la loi n° 2001-398 du 9 mai 2001 ; ses missions ont été précisées par le décret n° 2002-254 du 22 février 2002, modifié le 7 avril 2007 pour tenir compte de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006, relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire. Comme les agences de sécurité sanitaire, l'Institut joue un rôle actif dans le domaine de l'évaluation des risques pour la santé humaine. Il a, entre autres missions, celle d'information du public dans ses domaines de compétences : les risques nucléaires et radiologiques.

L'Institut, qui rassemble près de 1 800 salariés parmi lesquels de nombreux experts, ingénieurs et chercheurs de compétences variées (physiciens, chimistes, géologues, médecins, biologistes, épidémiologistes...), réalise des recherches, des expertises et des travaux afin de maîtriser les risques associés aux sources de rayonnements ionisants utilisées dans l'industrie, la recherche ou la médecine, ou encore aux rayonnements naturels. Plus précisément, l'IRSN exerce ses missions d'expertise et de recherche dans les domaines suivants :

- la sûreté des installations nucléaires, y compris celles intéressant la défense,
- la sûreté des transports de matières nucléaires et fissiles,
- **la protection des travailleurs** et de la population contre les rayonnements ionisants,
- la protection de l'environnement contre les rayonnements ionisants,
- la protection et le contrôle des matières nucléaires et des produits susceptibles de concourir à la fabrication d'armes,
- la protection des installations et des transports contre les actions de malveillance.

Des activités de recherche, souvent réalisées dans le cadre de programmes internationaux, permettent à l'IRSN de maintenir et de développer son expertise et d'asseoir sa position internationale de spécialiste des risques dans ses domaines de compétence, en particulier celui de la radioprotection des travailleurs.

Dans ce domaine, l'IRSN apporte un appui technique au ministère chargé du travail [Direction Générale du Travail (DGT)], à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) ainsi qu'au Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense (DSND). L'Institut mène également des études pour ses propres besoins d'expertise ou pour répondre à des demandes extérieures.

Au titre de sa mission de veille permanente en matière de radioprotection, l'IRSN assure une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. L'objet de ce document est de présenter le bilan des expositions professionnelles établi par l'IRSN pour l'année 2010, compte tenu notamment de la nature des activités professionnelles, conformément aux dispositions de l'article R. 4451-128 du code du travail.

2. LA SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

2.1. RAPPELS REGLEMENTAIRES

Conformément aux dispositions du code du travail (articles R.4451-1 et 2), une surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants est mise en œuvre dès lors que ceux-ci sont susceptibles d'être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants résultant :

- d'activités nucléaires soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration ;
- de la présence sur le lieu de travail de radionucléides naturels non utilisés pour leurs propriétés radioactives ;
- de la présence de rayonnements cosmiques.

Cette surveillance s'applique à tous les travailleurs, salariés ou non salariés (article R.4451-9 du code du travail).

A des fins de mise en place de la surveillance du travailleur, l'employeur procède à une analyse du poste de travail qui est renouvelée périodiquement et qui doit comprendre une étude dosimétrique de ce poste (article R.4451-11 du code du travail). Sur la base de ces analyses, l'employeur procède à la classification du travailleur. Le travailleur susceptible de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an ou une dose équivalente supérieure aux $3/10^{\text{èmes}}$ des limites annuelles d'exposition est classé en catégorie A, sinon il est classé en catégorie B (articles R.4451-44 et 46 du code du travail).

Dès lors qu'il est classé en catégorie A ou B, le travailleur bénéficie d'un suivi dosimétrique individuel et d'une surveillance médicale renforcée. Le suivi dosimétrique individuel a notamment pour objectif de vérifier que le travailleur ne dépasse pas l'une des limites annuelles réglementaires de dose.

Les limites annuelles applicables en France (articles R.4451-12 et 13 du code du travail) sont rappelées dans le tableau 1.

Tableau 1 - Valeurs limites d'exposition

	Corps entier (Dose efficace)	Main, poignet, pied, cheville (Dose équivalente)	Peau (Dose équivalente sur tout cm ²)	Cristallin (Dose équivalente)
Travailleur	20 mSv	500 mSv	500 mSv	150 mSv
Jeune travailleur (de 16 à 18 ans)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	45 mSv

Le suivi dosimétrique individuel est obligatoirement mensuel pour les travailleurs classés en catégorie A ; il est soit trimestriel soit mensuel pour ceux classés en catégorie B (arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants). Il doit être adapté au type de risque d'exposition du travailleur (article R. 4451-62 du code du travail). Lorsque le travailleur est exposé à un risque d'exposition externe, le travailleur est suivi en dosimétrie externe passive (corps entier et/ou

extrémités). Il ne doit être doté que d'un seul type de dosimètre passif par type de rayonnement mesuré et par période de port. La mesure de rayonnements de nature différente peut rendre nécessaire le port simultané de plusieurs dosimètres qui, lorsque cela est techniquement possible, sont rassemblés dans un même conditionnement. Selon les circonstances de l'exposition, et notamment lorsque celle-ci n'est pas homogène, le port de dosimètres supplémentaires doit permettre d'évaluer les doses équivalentes à certains organes ou parties du corps (tête, poignet, main, pied, doigt, abdomen, etc.) et de contrôler ainsi le respect des valeurs limites de doses équivalentes fixées aux articles R. 4451-12 et 13 du code du travail. Lorsque le travailleur est exposé à un risque d'exposition interne, le suivi est effectué par des mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques qui permettent *in fine*, le cas échéant, de calculer la dose efficace engagée.

Le travailleur exposé à un risque d'exposition externe dû aux rayonnements cosmiques, dont l'évaluation sur un an montre que cette exposition est susceptible de dépasser 1 mSv, est suivi au moyen d'une dosimétrie calculée (arrêté du 8 décembre 2003 fixant les modalités de mise en œuvre de la protection contre les rayonnements ionisants des travailleurs affectés à l'exécution de tâches à bord d'aéronefs en vol). Enfin, le travailleur susceptible d'être exposé au radon doit avoir un suivi individuel de son exposition, dès lors que les mesures d'activité volumique du radon dans l'ambiance de travail dépassent 1 000 Bq/m³ (Arrêté du 8 décembre 2008 portant homologation de la décision 2008-DC-0110 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 septembre 2008 relative à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail). S'agissant de la surveillance des travailleurs exposés à la radioactivité naturelle renforcée (industries NORM), celle-ci doit être mise en place dès lors qu'ils sont susceptibles d'être exposés à une dose annuelle supérieure à 1 mSv.

2.2. MODALITES DE LA SURVEILLANCE

La dosimétrie individuelle doit être adaptée au poste de travail en permettant l'évaluation « aussi correcte que raisonnablement possible » des doses reçues par la personne affectée à ce poste de travail, compte tenu des situations d'exposition et des contraintes existantes :

- La dosimétrie externe consiste à estimer les doses reçues par une personne exposée dans un champ de rayonnements (rayons X, gamma, bêta, neutrons) générés par une source extérieure à la personne. Cette estimation est réalisée :
 - au moyen de dosimètres portés par les travailleurs, adaptés aux différents types de rayonnements, qui permettent de connaître la dose reçue par le corps entier (dosimètres portés à la poitrine) ou par une partie du corps (peau, doigts), soit en temps réel (on parle dans ce cas de dosimétrie active ou opérationnelle), soit en différé après lecture par un organisme de dosimétrie agréé (on parle alors de dosimétrie passive) ;
 - par le calcul, pour ce qui concerne les doses de rayonnements cosmiques reçues en vol par les personnels navigants, au moyen du système SIEVERT (§ 2.2.3).
- La dosimétrie interne vise à évaluer la dose reçue à la suite d'une incorporation de substances radioactives. En milieu professionnel, la surveillance individuelle de l'exposition

interne est assurée par des examens anthroporadiométriques (mesures directes de la contamination interne corporelle) et des analyses radiotoxicologiques (dosages réalisés sur des excréta).

Il existe une différence importante entre le suivi de l'exposition externe et le suivi de l'exposition interne. Le suivi de l'exposition externe repose soit sur des mesures directes et bien standardisées, à partir du moment où le type de rayonnements ionisants auxquels les travailleurs sont exposés est connu, soit sur des calculs réalisés à partir des plans de vol des personnels navigants. Dans tous les cas, la détermination de la dose externe est possible. Le suivi de l'exposition interne a davantage pour but de vérifier l'absence de contamination que d'estimer systématiquement la dose interne, le calcul de la dose engagée impliquant une démarche plus complexe qui fait intervenir de nombreux paramètres souvent déterminés avec une incertitude importante. Ce calcul n'est par conséquent réalisé que dans les cas où la contamination mesurée est jugée significative (Cf. § 2.2.2.3).

En application de l'article R. 4451-64 du code du travail, les mesures ou les calculs nécessaires à la surveillance de référence des travailleurs exposés sont réalisés par l'un des organismes suivants :

- l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ;
- un service de santé au travail titulaire d'un certificat d'accréditation ;
- un organisme ou un laboratoire d'analyses de biologie médicale (LABM) titulaire d'un certificat d'accréditation et agréé par l'Autorité de sûreté nucléaire.

2.2.1. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION EXTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION

2.2.1.1. Les organismes de dosimétrie individuelle

A la fin de l'année 2010, les organismes ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition externe des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont au nombre de 8 : ALGADE, AREVA NC La Hague, AREVA NC Marcoule, DOSILAB, IPHC de Strasbourg, IPN d'Orsay, LANDAUER Europe, et le SPRA (Cf. page 36). A ces organismes s'ajoute le laboratoire de l'IRSN non soumis à agrément.

2.2.1.2. Les différentes techniques

Ces dernières années ont vu la disparition progressive et désormais achevée du dosimètre photographique. Les techniques utilisées en 2010 sont les suivantes :

Le dosimètre thermoluminescent (TLD)

De manière simplifiée, la thermoluminescence est la propriété que possèdent certains matériaux (le fluorure de lithium par exemple) de libérer, lorsqu'ils sont chauffés, une quantité de lumière qui est proportionnelle à la dose de rayonnements ionisants à laquelle ils ont été exposés. La mesure de cette quantité de lumière permet, moyennant un étalonnage préalable, de déterminer la dose de

rayonnements ionisants absorbée par le matériau thermoluminescent. Le dosimètre TLD permet de détecter les rayonnements X, γ , β , et les neutrons moyennant l'utilisation de matériaux appropriés.

Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (OSL)

La technologie OSL, tout comme pour le TLD, repose sur le principe de lecture d'une émission de lumière par le matériau irradié, mais après une stimulation par diodes électroluminescentes au lieu du chauffage. Contrairement au TLD, l'OSL autorise la relecture du dosimètre. En effet, comme seule une petite fraction du dosimètre est stimulée, les dosimètres OSL peuvent être ré-analysés plusieurs fois. Les dosimètres OSL sont sensibles aux rayonnements X, γ et β .

Le dosimètre utilisant la radio photo luminescence (RPL)

Dans le cas de la technologie RPL, les rayonnements ionisants incidents arrachent des électrons à la structure d'un détecteur en verre. Ces électrons sont ensuite piégés par des impuretés contenues dans le verre. Il suffit alors de placer le dosimètre sous un faisceau ultra-violet pour obtenir une « désexcitation » et donc une émission de lumière proportionnelle à la dose. Ce dosimètre offre également des possibilités de relecture. Il permet la détection des rayonnements X, γ et β .

Le détecteur solide de traces

Ce dosimètre est l'une des deux techniques de dosimétrie des neutrons les plus utilisées, l'autre étant la technique TLD. Le détecteur solide de traces (plastique dur, en général du CR-39¹) est inséré dans un étui muni d'un « radiateur » qui, suivant sa composition, permet la détection des neutrons sur une large gamme d'énergie.

2.2.1.3. Le seuil d'enregistrement des doses externes passives

La réglementation² fixe les règles de mise en œuvre de la dosimétrie externe passive. Elle impose notamment l'utilisation de grandeurs opérationnelles³, à savoir les équivalents de dose individuels $H_p(10)$ et $H_p(0,07)$, qui correspondent respectivement à la mesure de dose en profondeur dans les tissus (risque d'exposition du corps entier) et à la mesure de dose à la peau (risque d'exposition de la peau et des extrémités).

Selon la réglementation, le seuil d'enregistrement (plus petite dose non nulle enregistrée) ne peut être supérieur à 0,1 mSv et le pas d'enregistrement ne peut être supérieur à 0,05 mSv (valeurs applicables depuis le 1^{er} janvier 2008). Le seuil d'enregistrement est à distinguer de la notion de seuil de détection du dosimètre qui caractérise la valeur à partir de laquelle, compte-tenu des performances techniques du dosimètre, la valeur mesurée est considérée comme valide.

¹ Columbia Resin 39

² Arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

³ Selon les recommandations de l'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements).

Tableau 2 - Panorama des dosimètres externes passifs utilisés en France en 2010

Secteur d'activité ou établissement	Dosimètres corps entier	Seuil* (en mSv)	Dosimètres poignets	Seuil* (en mSv)	Dosimètres Bagues	Seuil* (en mSv)
ALGADE	X et γ : TLD	0,1	-	-	-	-
AREVA NC La Hague	X, β , γ et neutrons : TLD (Cogebadge ⁴)	0,1	X, β , γ et neutrons : TLD (extREM)	0,1	-	-
AREVA NC Marcoule	X, β , γ et neutrons : TLD (Cogebadge ⁴)	0,1	X, β , γ et neutrons : TLD (extREM)	0,1	-	-
DOSILAB	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
IPHC	X, β , γ : RPL	0,1	X, β , γ : RPL	0,1	-	-
IPN	X, β , γ : RPL	0,05	X, β , γ : RPL	0,05	X, β , γ : TLD	0,1
	Neutrons : Détecteur solide de traces (CR-39 – Neutrak standard ⁷)	0,1	-	-	-	-
IRSN	X, β , γ : TLD ou RPL	0,1 (0,05 pour RPL)	X, β , γ : TLD	0,1	X, β , γ : TLD	0,1
	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3 ⁵) ou TLD	0,1 (0,2 pour PN3)	Neutrons : détecteur solide de traces (PN3)	0,2	-	-
LANDAUER EUROPE	X, β , γ : OSL (InLight)	0,05	X, β , γ : OSL (InLight)	0,05	X, β , γ : TLD	0,3
	Neutrons : détecteur solide de trace (CR-39 - Neutrak) standard ⁶ ou équipé d'un radiateur en téflon ⁷	0,2	Neutrons : détecteur solide de trace CR-39 (Neutrak)	0,2	-	-
SPRA	X, β , γ : OSL	0,1	X, β , γ : OSL	0,1	-	-
	Neutrons : détecteur solide de traces (type PN3)	0,2	-	-	-	-

* Ce seuil correspond à la valeur minimale de dose enregistrée (seuil d'enregistrement).

2.2.2. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION INTERNE DANS LES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION OU A DECLARATION

La surveillance de l'exposition interne concerne les personnels travaillant dans un environnement susceptible de contenir des substances radioactives (manipulation de sources non scellées, opérations de décontamination,...). Les voies possibles d'incorporation de ces composés radioactifs sont l'inhalation, l'ingestion, la pénétration transcutanée et la blessure. L'irradiation des tissus et des organes se poursuit tant que le radionucléide est présent dans l'organisme. De ce fait, l'exposition interne est appréciée en évaluant la dose engagée reçue en 50 ans (pour un adulte) au niveau d'un organe, d'un tissu ou de l'organisme entier par suite de l'incorporation d'un ou plusieurs radionucléides.

En pratique, sont concernés les travailleurs des installations nucléaires des domaines civil et militaire, des services de médecine nucléaire et des laboratoires de recherche utilisant des traceurs radioactifs (recherche médicale, radiopharmaceutique et biologique essentiellement). La surveillance des personnels travaillant dans des installations nucléaires est assurée par les services de santé au

⁴ Dosimètre développé par COGEMA (AREVA) pour la mesure des rayonnements X, β , γ et neutrons. Le support des dosimètres thermoluminescents (cartouche de fluorure de lithium) et des détecteurs fonctionnant par activation (dosimétrie accidentelle de criticité).

⁵ PN3 : détecteur de traces créées par les protons de recul sur les noyaux d'hydrogène.

⁶ Mesure des neutrons intermédiaires et rapide.

⁷ Permettant la mesure supplémentaire des neutrons thermiques.

travail (SST). Dans le domaine nucléaire, les analyses prescrites sont effectuées par les laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) - ou par les SST dans certains cas - des entreprises exploitantes : défense, CEA, AREVA, EDF. S'agissant des professionnels du domaine médical et de la recherche, les examens prescrits par les médecins du travail sont pour la plupart réalisés par l'IRSN.

Mise en œuvre de la surveillance

La surveillance individuelle de l'exposition interne est mise en œuvre par le chef d'établissement dès lors qu'un travailleur opère dans une zone surveillée ou contrôlée où il existe un risque de contamination. Le choix et la périodicité des examens sont déterminés par le médecin du travail, en fonction de la nature de l'exposition, de son intensité et des périodes radioactive et biologique des radionucléides en cause. Cette surveillance consiste soit en des examens anthroporadiométriques qui permettent une mesure *in vivo* directe de l'activité des radionucléides présents dans l'organisme, soit en des analyses radiotoxicologiques, c'est-à-dire des dosages de l'activité des radionucléides présents dans des échantillons d'excrétas (urines, fèces, prélèvements nasaux par mouchages). Ces techniques ne sont pas nécessairement exclusives et peuvent être mises en œuvre conjointement pour un meilleur suivi de l'exposition. Des considérations pratiques doivent également être prises en compte : par exemple, le fait que l'examen anthroporadiométrique nécessite de faire déplacer le travailleur vers l'installation fixe de mesure. Les mesures peuvent être réalisées à intervalle régulier, à l'occasion d'une manipulation inhabituelle ou encore en cas d'incident. La norme ISO 20553 [1] définit les programmes optimaux de surveillance individuelle : de routine (ou systématique), spéciale, de contrôle et de chantier.

Dans la grande majorité des cas, la mesure vise davantage à s'assurer de l'absence de contamination chez le travailleur qu'à calculer une dose interne. Le cas échéant, le calcul de la dose engagée est réalisé sous la responsabilité du médecin du travail, à partir des résultats des mesures anthroporadiométriques et des analyses radiotoxicologiques, en tenant compte de la répartition du radionucléide dans l'organisme et de son devenir en fonction du temps (Cf. § 2.2.2.3).

2.2.2.1. Les organismes impliqués dans la surveillance de l'exposition interne

A la fin de l'année 2010, les LABM ayant un agrément pour la surveillance individuelle de l'exposition interne des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radiotoxicologie et anthroporadiométrie) sont au nombre de 9 : AREVA NC La Hague, CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA DAM Valduc, CEA Grenoble, CEA Marcoule, CEA Saclay, EDF Saint-Denis et le SPRA. Les agréments sont délivrés sur décision de l'ASN pour une durée de 5 ans maximum.

A ces organismes s'ajoutent les laboratoires de l'IRSN et les services de santé au travail (SST), non soumis à agrément.

2.2.2.2. Les méthodes de mesure de contamination

Les examens anthroporadiométriques

L'anthroporadiométrie consiste à quantifier l'activité retenue à un instant donné dans l'organisme entier ou dans un organe spécifique (poumons, thyroïde, etc.) en détectant les rayonnements X ou γ associés à la désintégration du(es) radionucléide(s) incorporé(s). Les mesures du corps entier sont particulièrement bien adaptées aux émetteurs de rayonnements d'énergie supérieure à 200 keV (produits de fission et d'activation). Les mesures pulmonaires des émetteurs de rayonnements X et γ de basse énergie permettent de déterminer la rétention d'activité en cas d'exposition aux actinides (le plutonium 239 par exemple) ; cette technique reste cependant limitée par sa faible sensibilité. Enfin, la mesure thyroïdienne à l'aide de détecteurs spécifiques est mise en œuvre pour les isotopes de l'iode.

Les mesures anthroporadiométriques sont réalisées dans des cellules blindées, afin de réduire le bruit de fond radiatif ambiant, et équipées de système de mesure possédant un ou plusieurs détecteurs. Il s'agit soit de détecteurs semi-conducteurs de type Germanium Hyper Pur (Ge HP), soit de détecteurs à scintillation de type iodure de sodium dopé au thallium (NaI(Tl)).

L'identification des radionucléides présents est obtenue en comparant, à des énergies caractéristiques, les pics d'absorption totale à ceux des spectres des radionucléides enregistrés dans les bibliothèques de données nucléaires. L'activité est déterminée par comparaison entre l'aire des pics obtenus lors des mesures de personnes et les valeurs de référence obtenues lors de mesures de fantômes anthropomorphes utilisés pour l'étalonnage du système de détection. Cette technique est donc sensible à l'étalonnage : celui en énergie, réalisé à l'aide de sources étalons, et celui en efficacité, réalisé à l'aide de fantômes anthropomorphes dans lesquels on place des sources d'activité connue.

Les analyses radiotoxicologiques

Les analyses radiotoxicologiques ont pour objet la mesure de la concentration d'activité présente dans un échantillon d'excréta. Les échantillons sont le plus souvent constitués de prélèvements d'urines, de selles ou de mucus nasal. Il faut préciser que l'analyse des prélèvements nasaux n'a pas vocation à être utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit essentiellement d'une méthode de dépistage. Des analyses radiotoxicologiques à partir d'échantillons sanguins, salivaires ou de phanères peuvent également être réalisées.

Les émetteurs α peuvent être détectés par comptage α global ou par spectrométrie α . Le comptage α réalisé à l'aide de compteurs proportionnels à gaz ou de détecteurs à scintillation (ZnS) permet de déterminer rapidement le niveau d'activité, dans le contexte d'un incident par exemple. Seule la spectrométrie α permet de réaliser une analyse isotopique de l'échantillon, à l'aide d'un détecteur composé d'une diode en silicium ou d'un compteur à gaz. Pour cela, l'échantillon d'excréta subit préalablement un traitement radiochimique comprenant la minéralisation de l'échantillon, une purification chimique (chromatographie de partage ou résine anionique) et une fabrication des sources en couche mince, indispensable pour minimiser l'atténuation énergétique des particules α que l'on cherche à détecter. Certains laboratoires utilisent également des méthodes non

radiométriques (techniques de mesures pondérales ou spectrométrie de masse pour la mesure de l'uranium notamment) qui sont des méthodes rapides permettant un tri en cas d'incident ou de suspicion de contamination.

Les émetteurs β sont principalement mesurés par scintillation liquide. Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon à analyser avec un liquide scintillant. L'émission des particules β provoque l'excitation de certains atomes du milieu scintillant. Lors de leur retour à l'état fondamental, ces atomes émettent des photons qui peuvent être détectés. Suivant le radioélément considéré, cette méthode est mise en œuvre directement ou à la suite d'une précipitation sélective. Les émetteurs β peuvent également être mesurés à l'aide d'un compteur proportionnel après une étape préalable de séparation chimique du radioélément.

Les émetteurs X et γ sont détectés par spectrométrie directe à l'aide d'un détecteur au germanium ou à l'iodure de sodium, suivant le même principe d'analyse des pics d'absorption mis en œuvre en anthroporadiométrie.

Les méthodes d'analyses radiotoxicologiques sont sensibles à la fois aux performances des détecteurs utilisés, directement dépendantes de leur étalonnage, et aux procédés chimiques employés dans les étapes de séparation et de purification des radioéléments.

2.2.2.3. L'estimation de la dose interne

Afin de vérifier la conformité des résultats de la surveillance de l'exposition interne des travailleurs avec la réglementation, les mesures anthroporadiométriques et/ou radiotoxicologiques doivent être interprétées en termes de dose engagée, à l'aide de modèles systémiques, spécifiques à chaque élément, publiés par la CIPR⁸ (publications 30, 56, 67, 69, etc.) et de modèles décrivant la biocinétique des radioéléments et la propagation des rayonnements dans les tissus. Des modèles biocinétiques correspondant aux deux voies d'incorporation les plus fréquentes ont été publiés par la CIPR : le modèle des voies respiratoires pour l'incorporation par inhalation (publication 66) et le modèle gastro-intestinal pour l'incorporation par ingestion (publication 100).

En pratique, une estimation dosimétrique comporte deux étapes :

1. l'estimation de l'activité incorporée I (Bq) : $I = M/m(t)$

où M est la valeur d'activité (Bq) mesurée t jours après la contamination et $m(t)$ la valeur de la fonction m de rétention ou d'excrétion à la date de la mesure

2. le calcul de la dose engagée E (Sv) : $E = I \cdot \varepsilon$

où I est l'activité incorporée (Bq) et ε le coefficient de dose par unité d'incorporation (Sv/Bq), tel que précisé dans le Code de la santé publique (arrêté du 1^{er} septembre 2003).

L'estimation dosimétrique est un exercice rendu complexe par le fait que tous les paramètres nécessaires à sa réalisation ne sont pas connus de façon précise. C'est en particulier le cas des caractéristiques temporelles de l'incorporation. Dans le cadre de la surveillance spéciale, le moment

⁸ Commission Internationale de Protection Radiologique

de l'incorporation n'est pas toujours déterminé. Dans le cadre de la surveillance de routine, la CIPR recommande de supposer que l'incorporation a lieu au milieu de l'intervalle de surveillance, qui peut être de plusieurs mois. D'autres paramètres peuvent être connus avec des incertitudes, en particulier les caractéristiques physico-chimiques du contaminant, qui sont représentées par défaut par des valeurs de référence : type d'absorption F/M/S/V, facteur de transfert gastro-intestinal f1 et diamètre aérodynamique médian en activité (DAMA) de 1 ou de 5 µm. *In fine*, l'établissement d'un scénario de contamination le plus réaliste possible, tenant compte des différentes mesures de contamination mises en œuvre dans le programme de surveillance du travailleur exposé et des conditions dans lesquelles a eu lieu la contamination, peut permettre d'adapter le modèle dosimétrique à la situation d'exposition spécifique. La présence en trace d'un radionucléide conduit le plus souvent à une dose très faible (une fraction de mSv). Parmi les examens présentés dans ce bilan, l'analyse radiotoxicologique de prélèvements nasaux n'a pas vocation à être utilisée dans le cadre d'une estimation dosimétrique ; il s'agit essentiellement d'une méthode de dépistage.

2.2.2.4. Les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne

La figure 1 décrit les seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs.

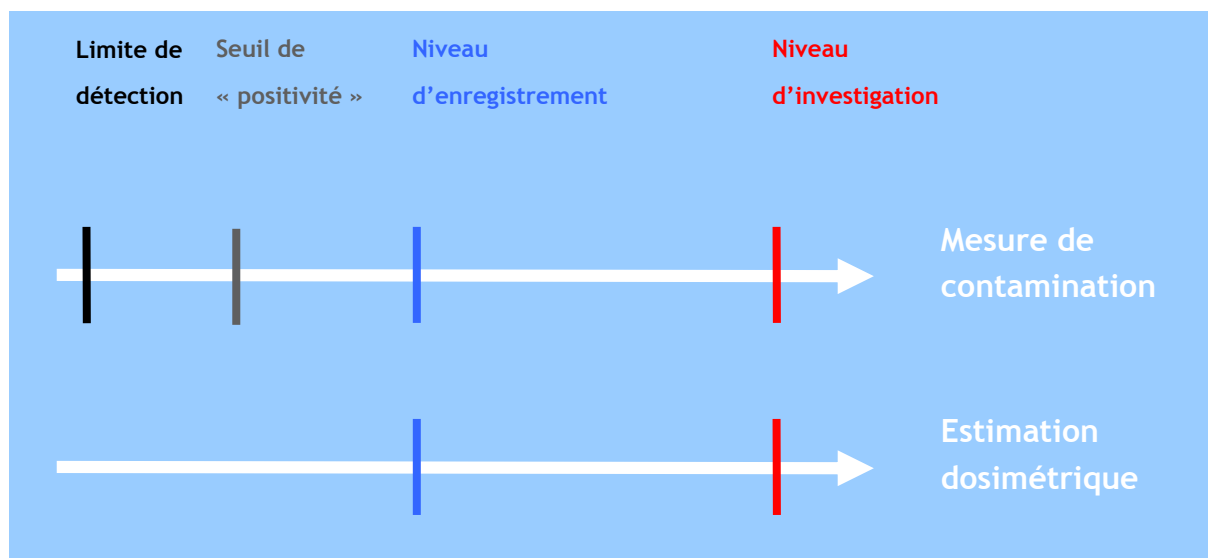


Figure 1 - Seuils utilisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

La limite de détection (LD) est la plus petite valeur détectable avec une incertitude acceptable, dans les conditions expérimentales décrites par la méthode de mesure. La LD est l'un des critères de performance des mesures radiotoxicologiques et anthroporadiométriques. Le tableau 3 présente les limites de détection atteintes par ces méthodes dans les laboratoires français en 2010, pour un certain nombre de radionucléides caractéristiques. Ces données sont issues des portées d'accréditation de ces laboratoires par le COFRAC.

Il apparaît que pour un examen donné, les LD diffèrent parfois de plusieurs ordres de grandeur d'un laboratoire à l'autre. Ceci s'explique par le fait que la LD dépend de nombreux paramètres, parmi

lesquels la durée de la mesure (suivant le programme de surveillance, la durée de la mesure peut être augmentée pour atteindre une meilleure LD), le type et les performances intrinsèques du ou des détecteurs utilisés : efficacité, résolution, bruit de fond, ainsi que la géométrie servant à l'étalonnage de ces détecteurs. Les programmes de surveillance et les protocoles de mesures ne font pas à l'heure actuelle l'objet de procédures standardisées entre les laboratoires, même si des initiatives sont actuellement en cours.

Tableau 3 - Limites de détection observées pour les principales techniques de dosimétrie interne mises en œuvre en France en 2010

Type d'examen	Type de rayonnements	Radionucléide(s) considéré(s)	Limites de détection (LD)
Radiotoxicologie des prélèvements nasaux	α β γ/X		de 0,1 à 0,11 Bq* de 0,02 à 4 Bq* 37 Bq*
Radiotoxicologie des selles	α γ/X	actinides ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{110}Ag	de 0,0002 à 0,002 Bq* 1 Bq*
Radiotoxicologie des urines	α	uranium pondéral uranium actinides (sauf uranium)	de 0,1 à 4 $\mu\text{g/L}$ de 0,0002 à 0,01 Bq de 0,0002 à 0,002 Bq
	β	^3H ^{14}C ^{32}P ^{35}S ^{36}Cl ^{90}Sr β totaux	de 15 à 1 850 Bq/L de 60 Bq/L à 370 Bq/L de 3,5 à 15 Bq/L de 4,5 à 20 Bq/L de 60 à 200 Bq/L de 0,2 à 0,6 Bq/L
	γ/X	tous radionucléides	de 0,12 Bq/L à 0,4 Bq/L 1 à 75 Bq/L
Anthroporadiométrie corps entier	γ/X	^{137}Cs ^{60}Co	de 50 Bq à 300 Bq de 50 Bq à 300 Bq
Anthroporadiométrie pulmonaire	γ/X	^{241}Am ^{235}U ^{239}Pu	de 5 Bq à 15 Bq de 7 Bq à 14 Bq 1 000 à 7 000 Bq
Anthroporadiométrie de la thyroïde	γ/X	^{131}I ^{125}I	de 2 Bq à 30 Bq de 20 à 25 Bq

* il s'agit de Bq par échantillon ou prélèvement

En pratique, il est parfois utile pour les radionucléides naturels présents dans l'organisme en dehors de toute activité professionnelle de considérer un seuil de « positivité », non défini dans la norme ISO 20553 [1], au-delà duquel l'analyse ou l'examen sont considérés positifs. Ce seuil est supérieur ou égal à la LD. A titre d'exemple, la limite de détection pour l'analyse de l'uranium dans les selles est inférieure à 0,01 Bq par prélèvement pour 9 laboratoires. Cependant, un de ces laboratoires indique un seuil de « positivité » égal à 0,07 Bq par prélèvement, de façon à s'affranchir d'une mesure d'uranium d'origine naturelle (présence dans la chaîne alimentaire), non pertinente dans le cadre de la surveillance des travailleurs exposés. Dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport, sont précisés les nombres d'examens considérés comme positifs dans le cadre de la surveillance de routine.

Dans le cas où la mesure dépasse la LD (ou le cas échéant, le seuil de positivité), le médecin du travail a la responsabilité de réaliser ou non une estimation dosimétrique. Il n'existe pas à l'heure actuelle de référentiel réglementaire sur les valeurs à partir desquelles l'estimation dosimétrique doit être réalisée. Deux niveaux de référence sont définis par la norme ISO 20553 [1] comme étant les valeurs des quantités au-dessus desquelles une action particulière doit être engagée ou une décision doit être prise : le niveau d'enregistrement et le niveau d'investigation.

Le niveau d'enregistrement est le niveau de dose, d'exposition ou d'incorporation (déterminé par l'employeur ou par une autorité compétente) à partir duquel les valeurs doivent être consignées dans le dossier médical. La valeur de ce niveau ne doit pas dépasser 5 % des limites annuelles de dose (pour une période de surveillance donnée), soit 1 mSv. C'est le niveau de référence qui est recommandé par l'IRSN et qui a été considéré dans les bilans statistiques présentés dans ce rapport.

Le niveau d'investigation est le niveau de dose, d'exposition ou d'incorporation (déterminé par l'employeur ou par une autorité compétente) à partir duquel l'estimation dosimétrique doit être confirmée par des investigations additionnelles. La valeur de ce niveau ne doit pas dépasser 30 % des limites annuelles de dose, soit actuellement 6 mSv.

2.2.3. SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT COSMIQUE

En France, le Système d'Information et d'Evaluation par Vol de l'Exposition au Rayonnement cosmique dans les Transports aériens (SIEVERT), développé conjointement par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), l'Observatoire de Paris, l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV) et l'IRSN, est mis à la disposition des compagnies aériennes pour le calcul des doses de rayonnement cosmique reçues par les personnels navigants lors des vols en fonction des routes empruntées, conformément à la réglementation⁹. Les doses sont évaluées, en fonction des caractéristiques du vol, à partir des données dosimétriques validées par l'IRSN. Des modèles numériques cartographient des débits de dose de rayonnements cosmiques jusqu'à une altitude de 80 000 pieds. Au cœur de SIEVERT, l'espace aérien est découpé en zones d'altitude, de longitude et de latitude, formant une cartographie de 265 000 mailles. A partir des modèles numériques, il est possible d'affecter une valeur de débit de dose à chaque maille. La cartographie des débits de dose est mise à jour tous les mois en tenant compte de l'activité solaire. Le système SIEVERT est opérationnel depuis 2001. L'IRSN propose aux compagnies une gestion automatisée reposant sur un fichier récapitulatif des données de tous les vols de la période de suivi. A partir des caractéristiques d'un vol, le calculateur de SIEVERT évalue le temps passé par l'avion dans chaque maille et en déduit la dose reçue. La valeur de la dose est plus précise lorsque le fichier du vol communiqué par l'entreprise comporte des points de passage avec pour coordonnées la latitude, la longitude, l'altitude et le temps relatif de passage en ce point, qui permettent de définir précisément la trajectoire d'un vol. Si ce n'est pas le cas, la dose est évaluée à partir d'un profil générique de vol. A

⁹ Arrêté du 8 décembre 2003 fixant les modalités de mise en œuvre de la protection contre les rayonnements ionisants des travailleurs affectés à l'exécution de tâches à bord d'aéronefs en vol

ce stade, les données dosimétriques ne sont pas nominatives. Il appartient ensuite à l'employeur de cumuler les doses reçues au cours des trajets effectués par chaque membre du personnel navigant. Il peut être utilisé pour évaluer la dose reçue lors d'un vol d'une personne quelconque par le biais du site internet www.sievert-system.org.

2.2.4. CENTRALISATION DES RESULTATS DE LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS DANS SISERI

Le système SISERI¹⁰ a été mis en service le 15 février 2005 par l'IRSN, conformément aux dispositions réglementaires, dans un but de centralisation, consolidation et conservation de l'ensemble des résultats de la surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs en vue de les exploiter à des fins statistiques ou épidémiologiques. Centralisés dans une base de données, ces résultats sont mis à disposition des médecins du travail et des personnes compétentes en radioprotection (PCR) *via* Internet (<http://www.irsn.org/siseri>) afin d'optimiser la surveillance médicale et la radioprotection des travailleurs (figure 2).

Le système SISERI est, depuis février 2010, opérationnel pour gérer les données de :

- la dosimétrie externe passive (corps entier ou supplémentaire), dont les résultats sont fournis par les organismes de dosimétrie ;
- la dosimétrie externe opérationnelle, dont les résultats sont envoyés directement par les personnes compétentes en radioprotection (PCR) des établissements ayant des locaux classés « zones contrôlées » ;
- la surveillance de l'exposition interne, à savoir les résultats d'analyses radiotoxicologiques et d'examen anthroporadiométriques fournis par les Laboratoires d'Analyse de Biologie Médicale (LABM) ou les Services de Santé au Travail (SST), et, lorsque les circonstances le nécessitent et le permettent, les doses internes calculées par les médecins du travail ;
- la dosimétrie du personnel navigant, dont les résultats sont transmis par les compagnies aériennes (www.sievert-system.org);
- La surveillance de l'exposition au radon ou à la radioactivité naturelle dans le cadre des activités NORM.

¹⁰ Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants

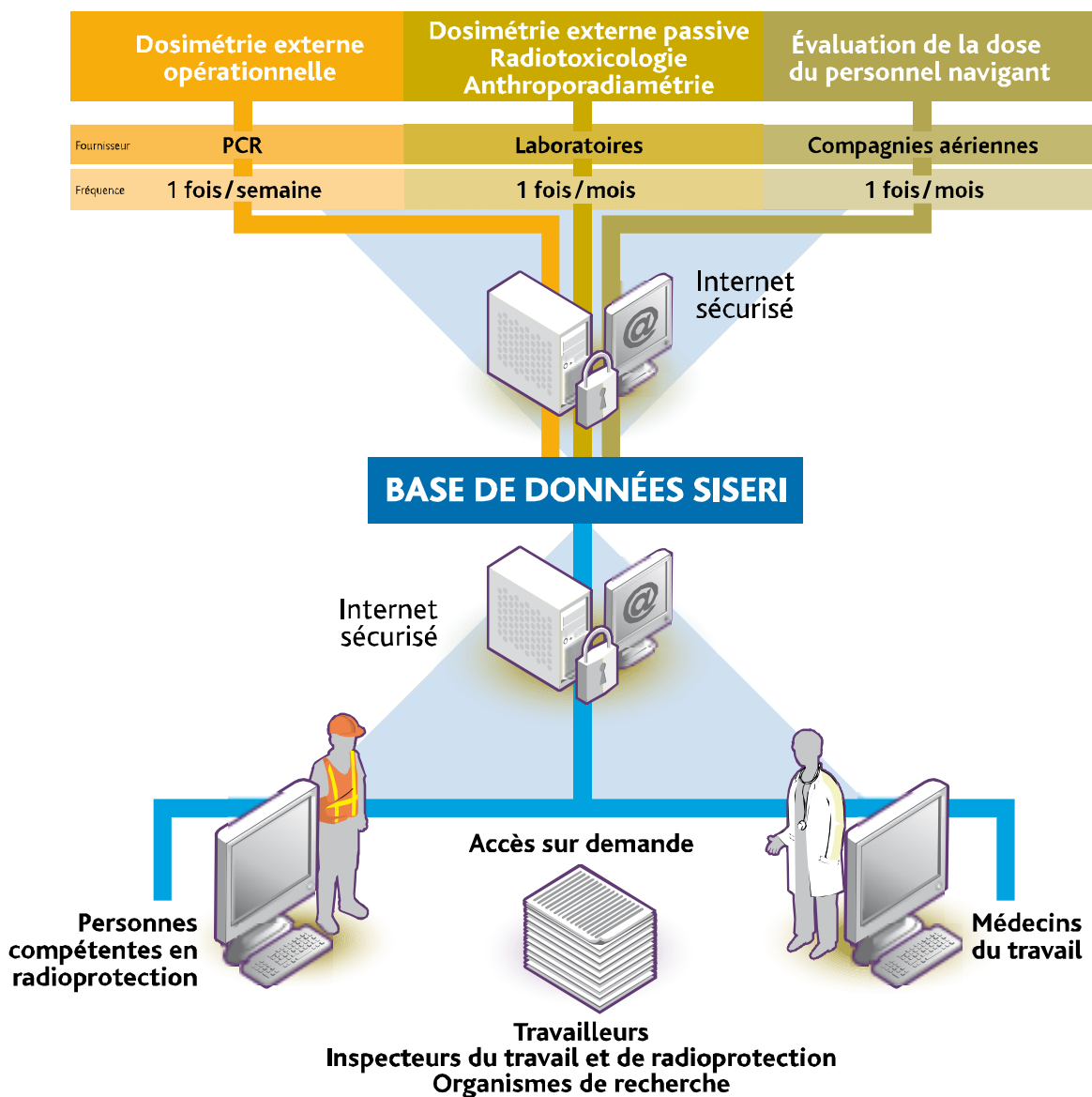


Figure 2 - Le système SISERI

2.2.4.1. La transmission des données à SISERI en 2010

Selon l'arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants, les résultats individuels de la **dosimétrie externe passive** doivent être transmis au plus tard un mois après la fin de période de port à SISERI par les laboratoires agréés. En 2010, des écarts avec cette règle de transmission ont encore été observés mais dans une proportion moindre qui confirme la tendance positive observée en 2009. Le nombre des données transmises en 2010 s'élève à 2,1 millions. Les données sont rapidement intégrées dans la base dès lors qu'elles respectent les formats définis. En 2010, 91 % des données envoyées par les laboratoires ont été intégrées à leur réception, confirmant l'amélioration obtenue en 2009 (88 %) par rapport à 2008 (77 %) et 2007 (75 %), et surtout par rapport à 2006 (54 %). Comme l'an passé, il faut distinguer les cas où la qualité des données transmises par certains organismes permet leur intégration quasi-totale à réception, de celle, insuffisante, d'autres

organismes qui ne permet pas de dépasser un taux moyen d'intégration à réception de 87 %, en raison notamment d'un manque de complétude du numéro RNIPP¹¹. L'effort des organismes doit donc être poursuivi car un traitement *a posteriori* par des opérateurs de l'IRSN est nécessaire pour résoudre ces difficultés d'intégration, ce qui est lourd et, de plus, limite la mise à disposition des données vers les utilisateurs. Les données de dosimétrie externe passive de l'année 2010 qui n'étaient pas intégrées, en juin 2011, représentaient 2 %. Il faut préciser que ces taux sont calculés sur les données effectivement transmises à SISERI et ne tiennent pas compte des éventuelles données non transmises par les laboratoires.

S'agissant de la **dosimétrie externe opérationnelle**, le nombre d'établissements ayant signé un protocole avec SISERI pour donner accès à leur(s) PCR et/ou médecin(s) du travail (MDT) s'élevait à 5 700, fin 2010, soit une augmentation de l'ordre de 50 % par rapport au nombre de protocoles signés fin 2009. Sur l'ensemble de l'année 2010, 847 établissements ont effectivement transmis au moins une donnée de dosimétrie opérationnelle, soit 17 % de plus qu'en 2009. Près de 70 % de ces établissements appartiennent au domaine des activités médicales et vétérinaires, 15 % à l'industrie non nucléaire et 5 % à celui de l'industrie nucléaire (figure 3).

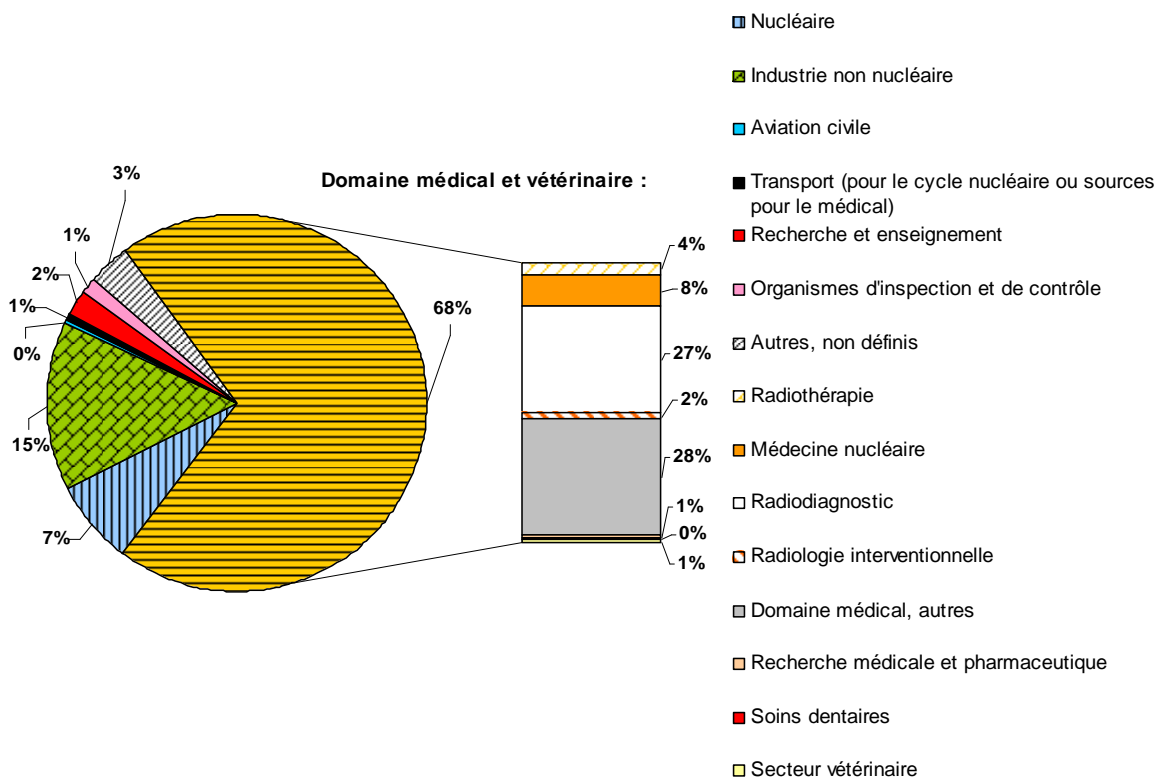


Figure 3 - Répartition par domaine d'activité des établissements ayant transmis des données de dosimétrie opérationnelle en 2010, avec le détail de la répartition par secteur d'activité dans le domaine médical et vétérinaire

Le nombre moyen de fichiers reçus mensuellement est de 2 113 pour l'année 2010, ce qui confirme l'augmentation observée en 2008 et 2009. Au total 9,3 millions de valeurs de dose « opérationnelle »

¹¹ Répertoire National d'Identité des Personnes Physiques

ont été enregistrées dans SISERI en 2010. Parmi ces données, 43 % proviennent des entreprises du nucléaire, 37 % du domaine médical et vétérinaire, et 8 % de l'industrie non nucléaire (figure 4). L'intégration des données de dosimétrie opérationnelle nécessite, elle-aussi, l'intervention d'un opérateur de l'IRSN dans un certain nombre de cas, sans toutefois que la consultation des données depuis l'extérieur n'en soit affectée puisque 100% des données de dosimétrie opérationnelle sont désormais intégrées au plus dans les trois jours suivant leur transmission à SISERI.

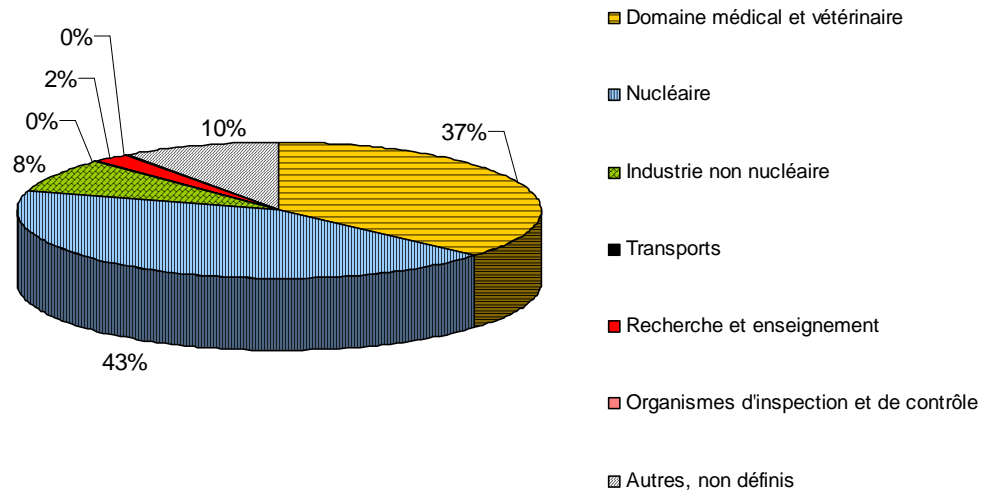


Figure 4 - Répartition par secteur d'activité des données de dosimétrie opérationnelle transmises à SISERI en 2010

En 2010, trois compagnies aériennes ont envoyé les résultats de la **dosimétrie des personnels navigants** à l'IRSN, pour intégration dans SISERI, ce qui correspond à un volume de plus de 165 000 données transmises.

S'agissant de la transmission des données de **dosimétrie interne** (transmission par les LABM des résultats des mesures d'activité incorporée, et le cas échéant, transmission par le médecin du travail de la dose calculée), l'envoi des données est progressivement devenu effectif pour la plupart des laboratoires au cours de l'année 2010, avec un volume de données transmises approchant 35 000 valeurs. Depuis début 2011, l'ensemble des organismes agréés transmet régulièrement des fichiers à SISERI.

Enfin, s'agissant de la transmission des données des travailleurs exposés **au radon ou à la radioactivité naturelle dans les industries NORM**, le système a été adapté pour recevoir ces données dont le transfert a réellement commencé début 2011.

2.2.4.2. La consultation des données de SISERI en 2010

Les PCR et MDT travaillant pour les établissements qui en ont fait la demande et ont signé le protocole d'accès à SISERI peuvent consulter en ligne les données dosimétriques des individus dont ils ont la charge.

Le nombre de PCR et de MDT ayant une clé d'accès au système est en constante progression depuis le 15 février 2005 (figure 5).

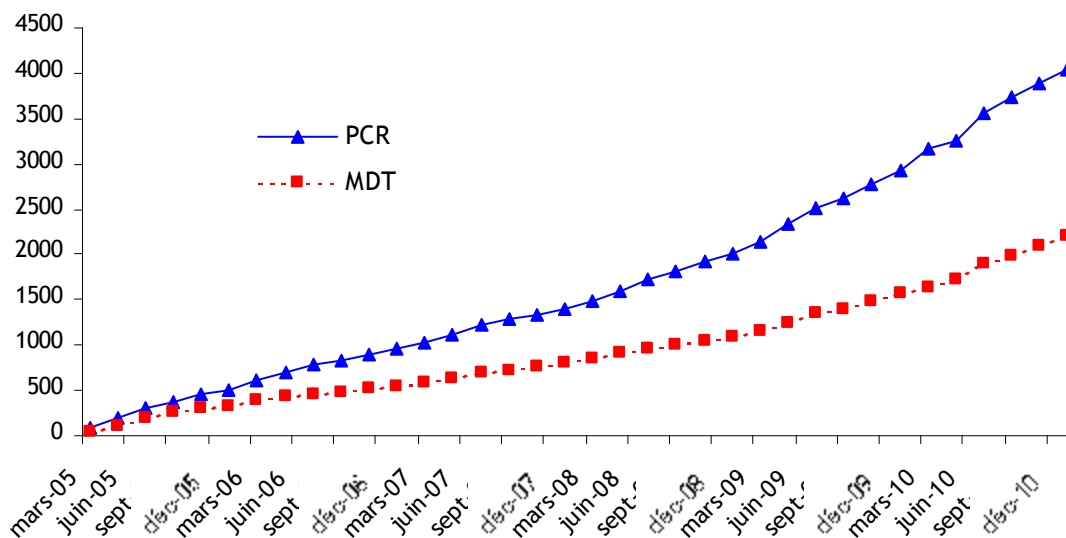


Figure 5 - Progression du nombre de personnes compétentes en radioprotection (PCR) et de médecins du travail (MDT) ayant accès à SISERI depuis sa mise en service

A la fin de l'année 2010, 2 202 MDT et 4 049 PCR avaient accès à SISERI, soit une augmentation respective de 29 % et 25 % par rapport à 2009. Les PCR pouvant accéder à SISERI se répartissaient entre le domaine médical pour 56 %, le nucléaire pour 15 % et l'industrie non nucléaire pour 14 % (figure 6). Cette répartition confirme la progression de la part du secteur médical déjà observée les années précédentes.

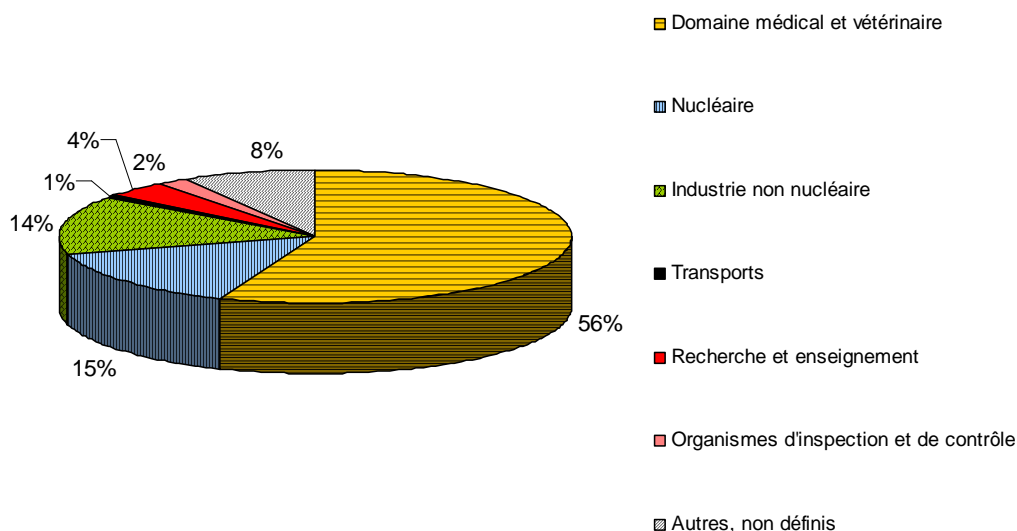


Figure 6 - Répartition par secteur d'activité des personnes compétentes en radioprotection (PCR) ayant accès à SISERI en 2010

Une estimation a montré que 40 % des PCR et 13 % des MDT ayant un code d'accès à SISERI fin 2010 avaient consulté au moins une fois la base au cours du premier trimestre de l'année 2011. Ces

chiffres démontrent que le système SISERI est loin d'être utilisé au maximum de son potentiel sur ce point.

Partant du constat d'une certaine méconnaissance de SISERI chez les PCR et MDT, l'IRSN a également œuvré à une communication plus active vers les utilisateurs de SISERI par sa participation à de nombreuses manifestations professionnelles ciblées : réunions des réseaux PCR, rencontres d'associations de MDT, rencontres PCR de la SFRP.

Afin de viser un fonctionnement du système au plus proche des besoins des utilisateurs et de leur permettre une meilleure utilisation, l'IRSN a réalisé une enquête auprès de tous les utilisateurs et a créé un club des utilisateurs de SISERI. En 2011, une boîte à idées a été mise en place, accessible depuis le site web de SISERI (<http://siseri.irsn.fr>).

2.3. MOYENS ET ACTIONS DE L'IRSN

2.3.1. MOYENS MIS EN ŒUVRE POUR LA SURVEILLANCE INDIVIDUELLE DES TRAVAILLEURS

2.3.1.1. Les laboratoires de l'IRSN

Dosimétrie externe passive

Le Laboratoire de Dosimétrie de l'IRSN (LDI) propose la fourniture de plusieurs types de dosimètres pour le suivi individuel des travailleurs :

- dosimètres RPL pour la mesure des équivalents de dose Hp(10) et Hp(0,07) au corps entier ;
- dosimètres TLD pour la mesure de l'équivalent de dose Hp(0,07) au poignet ;
- dosimètres TLD bague pour la mesure de l'équivalent de dose Hp(0,07) au doigt ;
- dosimètres à détecteur solide de traces (PN3) ou TLD pour la mesure de l'équivalent de dose Hp(10) lié à l'exposition du corps entier aux neutrons.

Radiotoxicologie

En dehors des installations nucléaires de base (INB) qui disposent de leurs propres moyens de surveillance, le laboratoire d'analyses médicales radiologiques de l'IRSN (LAMR) assure le suivi radiotoxicologique de tous les autres travailleurs manipulant des sources non scellées, principalement dans les secteurs suivants : médecine nucléaire, activités de recherche, diverses industries (aéronautique, optique,...).

Le LAMR réalise l'analyse qualitative et quantitative des radionucléides dans les excréta (urines et selles) à l'aide d'équipements permettant les mesures suivantes :

- mesure des émetteurs α (détecteurs à diodes silicium et compteurs à gaz) ;
- mesure α du radium (photomultiplicateurs) ;
- mesure β par scintillation liquide ;

- mesure des émetteurs γ (détecteurs germanium).

Anthroporadiamétrie

L'IRSN propose l'analyse qualitative et quantitative des radionucléides dans l'organisme entier ou dans un organe ciblé à l'aide d'installations fixes et mobiles d'anthroporadiamétrie permettant les mesures suivantes :

- mesure des produits d'activation et des produits de fission dans le corps entier ;
- mesure des actinides dans les poumons ;
- mesure des isotopes de l'iode dans la thyroïde.

L'institut dispose également de fantômes anthropomorphes d'étalonnage et de fantômes numériques lui permettant d'assurer la calibration et l'expertise des installations anthroporadiamétriques des laboratoires chargés de réaliser des mesures directes de contamination interne.

La mesure anthroporadiamétrique sur site

Les laboratoires mobiles d'anthroporadiamétrie de l'IRSN sont de deux types :

- deux moyens mobiles d'expertise en anthroporadiamétrie qui se présentent sous la forme de camions équipés d'une installation de mesure constituée d'une enceinte ouverte plombée (type baignoire) dans laquelle s'allonge la personne à mesurer (Laboratoire Mobile d'anthroporadiamétrie, ou LMA, sur la figure 7). Ce système est équipé de deux détecteurs germanium de haute résolution permettant de réaliser des mesures du corps entier, des poumons et de la thyroïde ;
- un moyen léger de mesure anthroporadiamétrique à la thyroïde, équipé de 4 postes de mesure (Véhicule Léger d'anthroporadiamétrie, ou VLA, sur la figure 8).

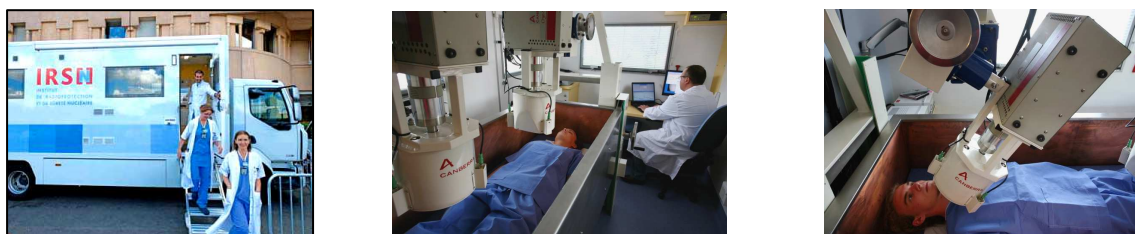


Figure 7 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiamétrie LMA

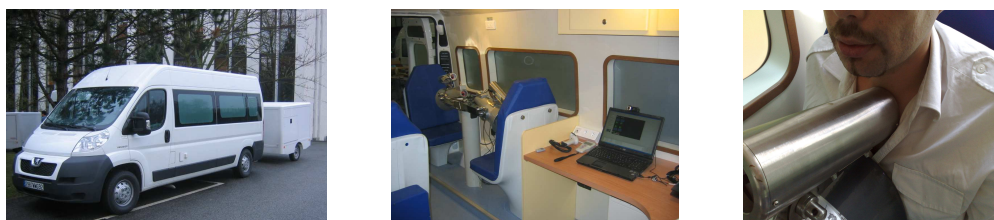


Figure 8 - Vues du laboratoire mobile d'anthroporadiamétrie VLA

Cette flotte de laboratoires mobiles est particulièrement adaptée à la surveillance du personnel qui manipule les substances de courte période radioactive utilisées en médecine nucléaire.

Ainsi, à la suite d'une première campagne de mesures menée en 2010 dans un CHU du Maine-et-Loire concernant des manipulateurs en électroradiologie médicale, des infirmiers, des techniciens de laboratoire, des préparateurs en pharmacie et des radiopharmaciens, plusieurs hôpitaux de la région du Pays de la Loire et de Poitou-Charente ont mis en place des campagnes de mesure similaires.

Jusqu'ici réservés aux situations de crise, les laboratoires mobiles d'anthroporadiométrie sont ainsi envoyés vers les établissements qui en font la demande pour des campagnes de mesures systématiques et améliorer ainsi le suivi des travailleurs exposés. Ces campagnes de mesures peuvent également être réalisées pour la caractérisation ponctuelle de postes de travail (chantiers...). Compte tenu de l'intérêt évident de tels outils, l'anthroporadiométrie mobile devrait connaître un développement important dans le cadre de la surveillance médicale des travailleurs concernés par le risque d'exposition interne.

2.3.1.2. Estimation de la dose engagée

L'Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN) est régulièrement sollicité par les médecins du travail pour évaluer les doses reçues par les salariés après exposition interne. Afin de s'assurer du respect des limites réglementaires et lorsque les éléments disponibles le permettent, les doses efficaces engagées sont estimées à partir des mesures individuelles de surveillance de l'exposition interne.

Au cours de l'année 2010, l'IRSN a réalisé 19 estimations dosimétriques pour des expositions internes professionnelles survenues hors du secteur du nucléaire. Ces évaluations ont concerné 19 travailleurs. Les expositions ont eu lieu majoritairement dans des services de médecine nucléaire (12 estimations) mais également à l'occasion d'un incident survenu lors de la récupération d'une source radioactive d'un appareil de radiographie industrielle (6 estimations), dans des laboratoires de recherche (2 estimations) et lors d'une mission dans les pays de l'est (une estimation).

A partir des résultats individuels des analyses radiotoxicologiques *in vitro* et/ou des mesures anthroporadiométriques *in vivo*, les doses efficaces engagées ont été estimées à l'aide des modèles biocinétiques et dosimétriques publiés par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR). Les coefficients de dose efficace engagée utilisés sont ceux figurant dans la réglementation française (arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants).

Les radionucléides responsables des 9 expositions internes dans les services de médecine nucléaires étaient l'iode 131 (7 cas), le thallium 201 (1 cas) et le technétium 99m (1 cas). Les incorporations d'iode 131 avaient eu lieu le plus souvent lors des soins donnés au patient ou des opérations de ménage dans les chambres plombées (5 cas). Les autres contaminations s'étaient produites lors de la préparation ou de l'administration des radiopharmaceutiques. Dans un cas, la dose atteint 14 mSv, la contamination étant due à des incorporations d'iode 131. Les doses efficaces engagées évaluées étaient inférieures à 0,1 mSv dans les 8 autres cas.

Six contaminations, par inhalation de particules de cobalt 60, ont eu lieu lors de l'incident survenu pendant la récupération d'une source radioactive d'un appareil de radiographie industrielle. Les doses efficaces engagées estimées pour les six personnes impliquées dans l'incident étaient comprises entre 0,2 et 0,6 mSv.

Les deux contaminations survenues dans des laboratoires de recherche étaient dues à du tritium dans un cas, à de l'iode 125 dans l'autre cas. Les doses efficaces engagées étaient inférieures à 0,1 mSv.

2.3.1.3. Suivi des alertes de dépassements dosimétriques

Des valeurs limites d'exposition sont réglementairement fixées par le code du travail (§ 2.1). Ces valeurs concernent la dose efficace, les doses équivalentes aux extrémités, la dose équivalente à la peau et la dose équivalente au cristallin.

Les laboratoires et organismes agréés en charge des mesures de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants doivent, sans délai, informer le médecin du travail et l'employeur de la survenue d'un dépassement de l'une de ces limites d'exposition. Conformément à l'arrêté du 30 décembre 2004, *relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés*, le médecin du travail diligente une enquête en cas de résultat dosimétrique jugé anormal et donc *a fortiori* en situation de dépassement de limite réglementaire de dose. Cette enquête doit conduire *in fine* à la confirmation ou, au contraire, à une modification, voire une annulation de la dose attribuée au travailleur.

Afin que des modifications puissent être prises en compte dans la base SISERI, une procédure permettant le retour des conclusions d'enquête vers l'IRSN a été mise en place après consultation de la Direction Générale du Travail. Cette organisation permet de consolider les données de la base SISERI et d'avoir un suivi de chacun des cas de dépassement de limite réglementaire de dose signalé. L'IRSN, informé par le laboratoire de l'alerte de dépassement faite au médecin du travail, peut prendre directement contact avec ce dernier, suivre l'enquête, en enregistrer les conclusions et, le cas échéant, proposer une assistance et des conseils pour mener à bien cette enquête. Dans les cas plus difficiles, l'IRSN intervient sur site afin de mener les investigations nécessaires. Ces déplacements sont l'occasion, au delà de l'aide apportée au médecin du travail et de la consolidation des données intégrées dans la base SISERI, de rappeler les bonnes pratiques en matière de radioprotection.

En l'absence de retour d'information du médecin du travail suite à une alerte de dépassement de limite réglementaire de dose, la dose mesurée est conservée dans SISERI et le dépassement est considéré comme avéré.

Les dépassements de la limite réglementaire annuelle de dose associés au cumul des valeurs de doses sur les douze mois (doses éventuellement mesurées par plusieurs laboratoires lorsque le travailleur a plusieurs employeurs) sont détectés à partir de requêtes dans SISERI. L'IRSN alerte alors directement le(s) médecin(s) du travail de cette situation.

2.3.2. ACTIONS DANS LE CADRE DE L'AGREMENT DES ORGANISMES

Les dispositions réglementaires du code du travail prévoient que les mesures de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants soient assurées par les laboratoires de l'IRSN, des services de santé au travail accrédités¹² ou par des organismes agréés par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Deux missions importantes sont confiées à l'IRSN dans le processus d'agrément des laboratoires de surveillance dosimétrique conformément à l'arrêté du 21 décembre 2007 modifiant l'arrêté du 6 décembre 2003 relatif aux conditions de délivrance du certificat et de l'agrément pour les organismes en charge de la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants :

- émettre un avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie de ces organismes pour la surveillance individuelle des travailleurs (Cf. § 2.3.1.1 ci-après). Les techniques de dosimétrie doivent par ailleurs être accréditées par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC) ou par tout autre organisme équivalent ;
- organiser des intercomparaisons entre ces organismes pour vérifier la qualité des mesures au cours du temps (Cf. § 2.3.1.1, § 2.3.1.2 et § 2.3.1.3).

Ce processus permet *in fine* à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) de se prononcer sur les demandes d'agrément des laboratoires et contribue à garantir la qualité des données d'exposition mesurées par ces organismes.

2.3.2.1. Avis de l'IRSN sur l'adéquation des techniques de dosimétrie avec la surveillance individuelle des travailleurs

Au cours de l'année 2010, l'IRSN a rendu des avis sur l'adéquation de leurs matériels et méthodes avec la surveillance individuelle des travailleurs pour le compte de quatre laboratoires de dosimétrie externe et cinq laboratoires d'analyses biologiques et médicales. Parmi ces organismes, un laboratoire a alors été agréé pour la première fois et huit ont vu leur agrément renouvelé par décision de l'ASN.

La liste des organismes agréés par l'ASN, incluant le lien vers les portées d'agrément correspondantes, est disponible sur le site Internet de SISERI¹³.

2.3.2.2. Intercomparaison de dosimétrie passive

Conformément aux dispositions de la réglementation, l'IRSN est chargé d'organiser au moins tous les 3 ans une intercomparaison dans le but de vérifier la qualité des mesures de dosimétrie réalisées par les organismes en charge de la surveillance de l'exposition des travailleurs. Dans ce contexte, l'IRSN a organisé en octobre 2010 la quatrième intercomparaison réglementaire de dosimètres individuels passifs. Elle a concerné 10 laboratoires. L'intercomparaison consiste à irradier les dosimètres des laboratoires participant à des doses de référence, inconnues de ces derniers, et à en comparer les

¹² Uniquement pour les examens anthroporadiométriques

¹³ <http://siseri.irsn.fr/index.php?page=information/agrement>

résultats obtenus aux valeurs attendues. Grâce aux installations de référence de l'institut situées à Fontenay-aux-Roses et à Cadarache, ce sont plus de 300 dosimètres qui ont été exposés à des rayonnements photoniques et neutroniques représentatifs des champs de rayonnements auxquels les travailleurs sont susceptibles d'être exposés.

Les tolérances considérées pour l'analyse des résultats sont issues des normes internationales :

- la norme CEI 62387-1 [2] : de - 29 % à +67 % de la dose de référence pour les dosimètres photon et béta (poitrine et extrémités) ;
- la norme ISO 21909 [3] : ± 50 % pour les dosimètres neutrons (poitrine et extrémités).

A de rares exceptions près, les dosimètres testés en 2010 ont donné des résultats conformes aux exigences de ces normes dans les configurations retenues pour l'intercomparaison ; en particulier les résultats obtenus avec les dosimètres X, gamma, béta « poitrine » et « poignet » étaient tous conformes. Dans le cas des dosimètres « poitrine » mesurant les rayonnements neutroniques, un laboratoire donne une valeur surestimée de la grandeur $H_p(10)$ dans la configuration $(^{252}\text{Cf}+\text{D}_2\text{O})_{\text{Cd}}$ à 75 cm, ce qui l'a conduit à prévoir sa participation à une nouvelle campagne de mesure. Dans le cas des dosimètres « bague » mesurant les rayonnements béta, un laboratoire a donné une valeur sous-estimée de la grandeur $H_p(0,07)$ dans la configuration de mesure d'une source de strontium 90 - yttrium 90 en incidence normale à 30 cm.

2.3.2.3. Intercomparaison d'analyses radiotoxicologiques

L'IRSN organise tous les ans une intercomparaison sur des échantillons urinaires contenant un ou plusieurs radionucléides à une activité déterminée. En 2010, cette intercomparaison a concerné 11 laboratoires.

Les radionucléides mesurés ont été les suivants : ^{22}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{40}K , ^{45}Ca , ^{90}Sr , ^{125}I , et ^{134}Cs .

Les résultats des analyses pratiquées par les laboratoires permettent à chaque laboratoire de situer ses résultats par rapport :

- aux valeurs cibles des radionucléides introduits dans chaque échantillon ;
- à la plage [-25 % à +50 %] par rapport à la valeur cible, tel que recommandé par la norme ISO 12790-1 [4] ;
- aux valeurs des activités déterminées par les autres laboratoires participants.

Les résultats des mesures réalisées par les participants en 2010 ont montré que 91 % d'entre eux étaient dans les bornes de tolérance rappelées ci-dessus.

Ces résultats constituent l'un des éléments sur lesquels s'appuie l'IRSN pour élaborer les avis prévus dans le processus d'agrément (§ 2.2.1). Les résultats d'intercomparaison permettent aussi aux laboratoires de revoir en tant que de besoin leurs protocoles d'analyse.

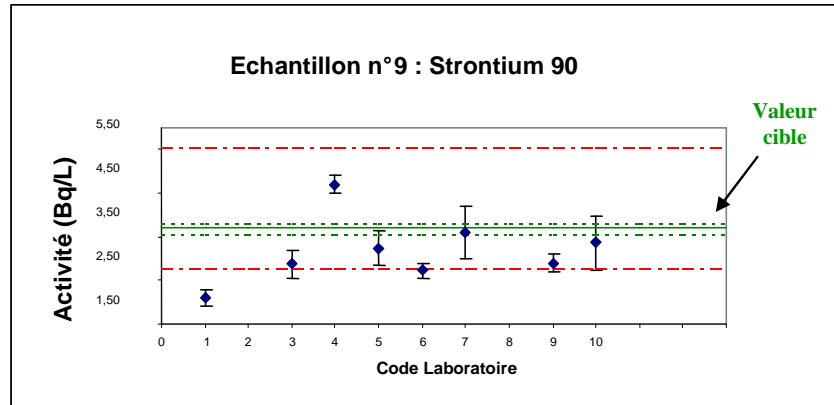


Figure 9 - Exemple de présentation graphique des résultats de l'intercomparaison en radiotoxicologie

2.3.2.4. Intercomparaison de mesures anthroporadiométriques

L'IRSN a lancé une nouvelle campagne d'intercomparaison concernant des mesures anthroporadiométriques pulmonaires, qui ont été réalisées entre avril et août 2010. Cette intercomparaison a concerné 15 installations réparties entre 10 laboratoires et/ou exploitants français, et trois laboratoires étrangers.

Les mesures ont été réalisées à l'aide du fantôme anthropomorphe de type LIVERMORE, fabriqué par la société Radiology Support Devices (figure 10).

Pour cette intercomparaison, deux configurations ont été retenues :

- le fantôme sans plaque, correspondant à une épaisseur thoracique équivalente de tissus de 18 mm ;
- le fantôme avec une plaque (équivalent 50 % graisse - 50% muscle), correspondant à une épaisseur thoracique équivalente de tissus de 28 mm.

Deux paires de poumons ont été utilisées, chacune dans les deux configurations décrites ci-dessus, l'une chargée en américium 241 avec une activité de 21 182 Bq, l'autre chargée en europium 152 avec une activité de 37 362 Bq.

Parmi les résultats des mesures réalisées par les participants, 93 % d'entre eux étaient dans les bornes de tolérance rappelées ci-dessus (§ 2.2.3).



Figure 10 - Fantôme anthropomorphe de LIVERMORE

2.3.3. INTERVENTIONS DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS

2.3.3.1. Etudes de poste

Un guide pratique d'aide à la réalisation des études dosimétriques de poste de travail présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants est édité par l'IRSN. Fondé sur l'expérience acquise par l'IRSN, il propose aux différents acteurs impliqués dans la radioprotection du personnel, notamment aux chefs d'établissement, aux personnes compétentes en radioprotection et aux médecins du travail, une approche méthodologique leur permettant de réaliser des études dosimétriques de poste de travail.

Une première partie du document présente le contexte réglementaire et les principaux objectifs associés à l'étude de poste, ainsi qu'un rappel sur les différents modes d'exposition, les grandeurs dosimétriques et les instruments de mesure associés, enfin des méthodes de calcul à mettre en œuvre, ainsi que des renvois vers quelques références utiles.

Dans une deuxième partie, le guide traite du recueil des données dosimétriques nécessaires pour mettre en œuvre le processus d'optimisation de la radioprotection, définir la classification des travailleurs et délimiter les zones de travail.

Enfin, la troisième partie est constituée de fiches déclinant la méthode pour des secteurs d'activité particuliers. Dans sa dernière édition, le guide comporte trois fiches se rapportant à des activités médicales, consacrées respectivement à la radiologie conventionnelle, à la radiologie interventionnelle, et à la médecine nucléaire. Le document est en libre accès sur le site Internet de l'IRSN¹⁴.

En 2010, 11 clients ont fait appel à l'IRSN pour la réalisation de 28 études de poste qui concernaient le domaine médical (20 études) et l'industrie non nucléaire (7 études). Le détail par secteur d'activité est donné dans les paragraphes dédiés (§ 4.2.5.1 et § 4.4.5.1).

Même si ces activités ne rentrent pas dans le bilan des activités soumises à déclarations ou à autorisation qui font l'objet du présent chapitre, il faut préciser qu'une de ces études concernait le secteur des NORM : manipulation et stockage de matières premières contenant naturellement des radionucléides (chaînes du thorium et de l'uranium).

2.3.3.2. Contrôles de radioprotection

Parmi les missions qui incombent au Service d'Intervention et d'Assistance en Radioprotection de l'IRSN, celui-ci procède à plusieurs types de contrôles : points zéro, contrôles avant mise en service d'un accélérateur, contrôles externe de radioprotection d'installations en fonctionnement, contrôle avant déclassement, évaluation de contamination d'anciens locaux,... Ces interventions visent entre autres à assurer que l'environnement de travail des personnels est satisfaisant sur le plan du risque radiologique.

¹⁴ http://www.irsn.fr/FR/base_de_connaissances/librairie/publications_professionnels/Pages/guides_techniques.aspx

En 2010, 18 clients ont fait appel au Service d'Intervention et d'Assistance de l'IRSN pour des contrôles techniques réglementaires : 6 de ces clients étaient issus du domaine médical, 6 de l'industrie non nucléaire et 6 de la recherche (dont 1 de la recherche médicale, et 1 de la recherche liée aux installations nucléaires). Ces contrôles ont concerné au total 66 installations (tableau 4).

Tableau 4 - Contrôles de radioprotection réalisés par l'IRSN en 2010

Domaine d'intervention	Secteur d'activité (suivant la nomenclature IRSN)	Nombre d'installations contrôlées dans l'établissement
Médical	Irradiation de produits sanguins	1
Médical	Autre secteur du médical	1
Médical	Irradiation de produits sanguins	1
Médical	Plusieurs secteurs du médical	20
Médical	Plusieurs secteurs du médical	4
Nucléaire	Autre secteur du nucléaire	15
Industrie non nucléaire	Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	1
Industrie non nucléaire	Détection géologique	1
Industrie non nucléaire	Autre secteur de l'industrie non nucléaire	1
Industrie non nucléaire	Contrôles utilisant des gammagraphes et des générateurs X	3
Industrie non nucléaire	Activités à l'étranger	1
Industrie non nucléaire	Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	1
Industrie non nucléaire	Détection géologique	2
Recherche	Recherche et enseignement	2
Recherche	Recherche et enseignement	1
Recherche	Installations de recherche liées au nucléaire	1
Recherche	Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	1
Recherche	Radiothérapie	6
Recherche	Recherche et enseignement	1
Recherche	Recherche et enseignement	2
Total médical		27
Total nucléaire		15
Total industrie non nucléaire		10
Total recherche		14
TOTAL		66

2.3.4. SUIVI DES INCIDENTS ET EVENEMENTS DE RADIOPROTECTION

De par sa position d'expert technique dans le domaine de la radioprotection et au regard de sa mission de participation à la veille permanente en radioprotection, l'IRSN collecte et analyse les données concernant les événements et incidents de radioprotection (ERP). Leur survenue témoigne en effet du niveau de qualité de la radioprotection dans les différents secteurs utilisant les rayonnements ionisants, en complément d'autres indicateurs tels que les doses individuelles moyennes reçues par les travailleurs, les doses collectives, etc. La connaissance des incidents et l'analyse des circonstances les ayant engendrés sont indispensables pour constituer un retour d'expérience et élaborer des recommandations visant à améliorer la protection des travailleurs.

Les ERP recensés par l'IRSN concernent tous les grands domaines d'activité mettant en œuvre des rayonnements ionisants. Il s'agit des événements significatifs déclarés à l'ASN ainsi que d'autres événements dont l'IRSN a connaissance à travers ses différentes activités. Tous ces événements sont recensés dans une base de données développée à cet effet : la base ERIA (Evénements de Radioprotection, Incidents, Accidents). Tous ces ERP sont ensuite soumis à une analyse de retour d'expérience transverse à tous les domaines d'activité.

2.3.5. ACTIONS DANS LE CADRE D'HARMONISATION DES PRATIQUES EN EUROPE

2.3.5.1. Participation au projet « ESOREX 2010 »

Le projet « ESOREX 2010 », organisé par la Commission Européenne à Prague en juin 2010, avait pour thème l'harmonisation des pratiques dans le champ des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, concernant plus précisément les problématiques d'enregistrement, de conservation et de rapport statistique des données dosimétriques individuelles dans les pays européens¹⁵. L'IRSN a présenté le dispositif mis en place en France autour du système SISERI et a participé aux discussions portant notamment sur l'opportunité du développement d'un standard européen concernant les questions de collecte, d'enregistrement et d'échange de données entre états membres, et sur le degré d'intégration d'un tel outil.

2.3.5.2. Intercomparaison organisée dans le cadre du réseau EURADOS

L'EURADOS est un réseau scientifique de laboratoires européens impliqués dans le domaine de la recherche en dosimétrie. Le principal objectif de ce réseau est de progresser dans la connaissance et le développement des techniques de dosimétrie des rayonnements ionisants en favorisant la collaboration inter laboratoire au sein de l'Europe.

Le groupe de travail n°2, qui porte sur l'harmonisation du suivi dosimétrique individuel, organise régulièrement des intercomparaisons à l'échelle européenne.

Une intercomparaison de dosimètres « corps entier », regroupant 70 laboratoires de surveillance individuelle de 30 pays, a été organisée en 2010. Les 85 systèmes faisant l'objet de cette

¹⁵ <http://www.esorex2010.cz/>

intercomparaison utilisent l'une des techniques suivantes : film, TLD, OSL, ou RPL pour les dosimètres passifs ; DIS ou APD pour les dosimètres électroniques. Les résultats ont été présentés et commentés lors du congrès annuel de l'EURADOS à Prague en Février 2011. Il est globalement observé :

- une importante dispersion des résultats obtenus avec les films (dans le sens d'une surestimation le plus souvent) ;
- une tendance à la surestimation avec les TLD dans le cas des faibles énergies ;
- une bonne réponse avec les OSL, à l'exception d'une tendance à la sous-estimation en cas de source mêlant des rayonnements X et γ ;
- une très bonne réponse avec les RPL (aucun rejet) ;
- une très bonne réponse avec les dosimètres électroniques DIS et APD (aucun rejet).

3. METHODOLOGIE SUIVIE POUR ETABLIR LE BILAN ANNUEL DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

3.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

Comme les années précédentes ([5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]), ce bilan est établi à partir des données de la dosimétrie passive mise en œuvre pour tous les travailleurs exposés et transmises à l'IRSN par les différents laboratoires de dosimétrie (§ 2.2.1) :

- ALGADE ;
- AREVA ;
- DOSILAB SARL ;
- IPHC¹⁶ ;
- IPN¹⁷ ;
- IRSN (LDI¹⁸) ;
- LANDAUER Europe¹⁹ ;
- SPRA²⁰.

Tout porteur d'au moins un dosimètre entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2010 est compté dans l'effectif surveillé par chaque laboratoire.

Le bilan des expositions professionnelles pour l'année 2010 est établi à partir des données de l'exposition externe obtenues sous forme agrégée pour chaque laboratoire de surveillance dosimétrique : effectifs des travailleurs par secteur d'activité professionnelle, doses collectives (somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes) correspondantes et répartition des travailleurs par classe de doses.

Certaines hypothèses ont été retenues pour agréger les données fournies par les laboratoires avec des caractéristiques différentes (seuils d'enregistrement des doses, règles d'affectation par secteurs d'activité).

Les classes de doses retenues pour le bilan reposent ainsi sur un choix de valeurs représentatives :

- Seuil d'enregistrement²¹ des doses ;
- 1 mSv/an (limite de dose efficace pour les personnes du public, art. R4451-18 du Code du travail) ;
- 6 mSv/an (seuil bas de la catégorie A des travailleurs exposés, art. R4451-44 du Code du, art. R4451-18 du Code du travail) ;

¹⁶ Institut Pluridisciplinaire Hubert CURIE

¹⁷ Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

¹⁸ Laboratoire de Dosimétrie de l'IRSN, ex LSDOS

¹⁹ Ex LCIE-Landauer

²⁰ Service de Protection Radiologique des Armées

²¹ Niveau de dose au-dessus duquel les valeurs des doses reçues par un travailleur sont enregistrées dans son dossier individuel. En pratique, ce niveau est lié aux performances de détection des dosimètres et varie de 0,05 à 0,2 mSv selon les années et les dispositifs, pour la mesure de l'exposition « corps entier » (§ 2.2.2., tableau 2).

- 20 mSv/an (limite sur 12 mois consécutifs de la somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne applicable aux travailleurs exposés, art. R4451-12 du Code du travail) ;
- 50 mSv/an (ancienne valeur de la limite réglementaire annuelle pour les travailleurs exposés).

Le bilan réalisé reste une « photographie » de la situation au moment de l'envoi des données par chaque laboratoire. Le nombre de cas de dépassements de la limite réglementaire de 20 mSv sur 12 mois glissants peut éventuellement diminuer par la suite, en fonction des résultats d'enquêtes validant ou réfutant les doses mesurées.

De plus, il faut noter certains autres éléments pouvant avoir une incidence sur les bilans réalisés d'une année sur l'autre, par exemple :

- des changements de techniques de dosimétrie (par exemple l'abandon progressif du film dosimètre) peut également conduire à des variations des résultats de la surveillance dosimétrique ;
- la période de port des dosimètres²² peut également entraîner une évolution des statistiques dosimétriques annuelles. Ainsi, des valeurs d'équivalents de dose inférieures au seuil d'enregistrement du dosimètre sur un mois d'exposition sont assimilées à des doses nulles, mais peuvent être positives dans le cas d'une période de port plus importante du fait du cumul des expositions.

Enfin, si les doses mesurées par les dosimètres sont correctes, les conditions de port ne le sont pas systématiquement. Les doses réellement reçues par les porteurs sont dans certains cas surestimées, par exemple lorsque le dosimètre est porté sur le tablier de plomb ou lorsqu'il est placé sur le tube émetteur de rayons X. Dans d'autres cas, les doses sont sous-estimées ou même non enregistrées car les dosimètres ne sont pas portés de façon systématique par les travailleurs.

Un point sur les difficultés rencontrées par les organismes est fait à partir des éléments rapportés dans le cadre d'une enquête faite conjointement à la collecte des données (§ 4.1.1.3).

Dans un souci d'amélioration de la connaissance des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants, l'IRSN a amorcé en 2008 l'utilisation d'une nomenclature unique des secteurs d'activité (présentée à l'annexe I). A sa demande, les laboratoires avaient dans leur grande majorité envoyé les données pour le bilan 2009 en renseignant l'activité de leurs clients suivant cette nomenclature. Le bilan 2010 a également pu être établi en répartissant les travailleurs surveillés suivant la classification proposée par cette nomenclature. Cette répartition est encore incomplète et par souci de cohérence, les secteurs pour lesquels moins de 20 travailleurs sont enregistrés sont regroupés dans la catégorie « Autres » du domaine concerné.

²² La période durant laquelle le dosimètre doit être porté est fonction de la nature et de l'intensité de l'exposition. Elle ne doit pas être supérieure à un mois pour les travailleurs de catégorie A et à trois mois pour les travailleurs de catégorie B.

3.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le bilan statistique présenté dans ce rapport a été établi à partir des données communiquées à l'IRSN par les laboratoires d'analyses de biologie médicale (LABM) ou les services de santé au travail (SST) en charge de la surveillance de l'exposition interne dans les établissements concernés, sur la base d'un questionnaire. Les données concernant le LAMR de l'IRSN ont directement été extraites de SISERI du fait de la transmission complète des données de l'année 2010.

Le bilan général (§ 4.1.2) détaille successivement les données de mesures relatives à la surveillance de routine, celles concernant les mesures réalisées dans le cadre des surveillances spéciale ou de contrôle notamment à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination, enfin celles relatives aux estimations dosimétriques. Les difficultés rencontrées par les organismes pour la mise en œuvre de la surveillance de l'exposition interne sont également évoquées, telles que rapportées par les organismes eux-mêmes (§ 4.1.2.4).

Les tableaux 6 et 7 du chapitre 4 (§ 4.1.2) présentent les données relatives respectivement aux examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine et à ceux réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou de contrôle dans les grands domaines d'activité. Ces données sont ensuite détaillées par secteur dans les paragraphes dédiés à chaque domaine. Ces tableaux présentent pour chaque type d'examen : le nombre de travailleurs suivis quand il est connu, le nombre total d'examens réalisés et, parmi ceux-ci, le nombre d'examens considérés comme positifs suivant les seuils considérés par chaque laboratoire (dans la plupart des cas il s'agit de la limite de détection, mais ce peut être parfois une valeur plus élevée : Cf. § 2.2.2.4). Sont également présentées de façon globale, et ensuite pour chaque domaine, les statistiques concernant le nombre de travailleurs pour lesquels un calcul de dose interne a été effectué au cours de l'année 2010 ainsi que le nombre de travailleurs considérés comme contaminés, c'est-à-dire ceux pour lesquels l'activité mesurée a conduit à une dose efficace annuelle engagée supérieure à 1 mSv, conformément aux recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)²³ et à la norme ISO 20553 [1] qui fixe une valeur maximale pour ce niveau égale à 5 % des limites annuelles de dose.

Les résultats sont présentés par secteur d'activité à partir de l'information fournie par le laboratoire ou le SST, ou à partir des informations enregistrées dans SISERI, dans le cas des données fournies par le laboratoire de radiotoxicologie de l'IRSN.

La méthode de collecte décrite ci-dessus présente un certains nombre de limites qui introduisent les incertitudes suivantes dans le bilan, notamment concernant les effectifs surveillés :

- en fonction de leur activité professionnelle, tous les travailleurs surveillés n'ont pas systématiquement eu d'examen au cours de l'année 2010. C'est pourquoi le nombre d'examens réalisés dans un établissement donné peut être inférieur au nombre de travailleurs considérés comme surveillés dans cet établissement ;

²³ Publication 78, Individual monitoring for internal exposure of workers - Replacement of ICRP Publication 54. vol. 27, n° 3/4, 1997.

- tous les laboratoires sont en mesure de fournir le nombre total d'examens effectués mais pas toujours le nombre de travailleurs concernés par ces analyses (ce qui explique que le nombre de travailleurs suivis peut être parfois supérieur au nombre d'examens réalisés) ;
- chaque examen n'est pas nécessairement exclusif. Pour un suivi optimal de la contamination, il peut être utile de combiner les différents types de mesure : par exemple, lorsqu'une mesure d'iode 131 par anthroporadiométrie au niveau de la thyroïde donne un résultat positif, il sera généralement effectué à la suite une analyse radiotoxicologique urinaire. La méthode de collecte de données ne permet pas d'éviter des doubles comptes dans le nombre total de travailleurs suivis, puisque l'effectif est indiqué pour chaque examen, indépendamment du fait qu'un travailleur peut bénéficier d'une autre type d'examen ;
- un travailleur peut avoir bénéficié d'examens anthroporadiométriques dans plusieurs entreprises exploitantes où il est intervenu au cours de la même année. Chaque fois, il est recensé dans le nombre de travailleurs suivis par le laboratoire en charge de l'entreprise.

Par conséquent, il est impossible d'établir précisément le nombre de travailleurs suivis dans le cadre de la surveillance de l'exposition interne. Les nombres de travailleurs qui figurent dans ces tableaux doivent donc être considérés avec une certaine précaution et seuls les nombres d'examens présentés sont fiables.

3.3. VERS L'UTILISATION DE SISERI POUR L'ETABLISSEMENT DU BILAN ANNUEL DES EXPOSITIONS DES PROFESSIONNELLES

Des développements de SISERI se poursuivent pour satisfaire aux besoins d'analyses statistiques, en vue notamment de mieux cibler les groupes à risque et vérifier l'adéquation des techniques dosimétriques aux véritables enjeux en termes de type et de niveaux d'exposition. Aux informations individuelles déjà prises en compte dans SISERI, s'ajoutent des informations concernant le métier du travailleur et le secteur d'activité dans lequel il l'exerce.

Partiellement renseignées jusqu'en 2009 par les organismes de dosimétrie, ces informations devraient à l'avenir être intégrées dans SISERI selon une nomenclature unique élaborée par l'IRSN, formellement approuvée courant 2009, et qui devait être progressivement déployée et partagée avec tous les organismes de dosimétrie externe passive afin que chaque donnée dosimétrique arrivant dans SISERI contienne l'information du secteur d'activité du travailleur. Fin 2010, tous les laboratoires de dosimétrie externe n'avaient pas encore adopté cette nomenclature. De plus, dans certains cas, la complétude des données transmises pour l'année 2010 n'était pas atteinte à un taux suffisant pour garantir la fiabilité des statistiques. Par souci d'homogénéité dans la méthodologie appliquée pour l'établissement des bilans, la collecte des données auprès des laboratoires a par conséquent été nécessaire cette année encore. En effet, établir le bilan à partir de SISERI entraînera vraisemblablement des écarts qu'il est important de pouvoir analyser globalement pour assurer une continuité dans les données d'une année sur l'autre (par exemple, les travailleurs étant suivis par plusieurs laboratoires n'apparaîtront plus qu'une fois dans les bilans, modifiant ainsi potentiellement les effectifs surveillés).

Cependant, un certain nombre de données du présent rapport sont d'ores et déjà extraites du système SISERI :

- les données de dosimétrie opérationnelle permettant de compléter le bilan de la surveillance de l'exposition externe des travailleurs (§ 4.3.1.1) ;
- le bilan des analyses radiotoxicologiques réalisées par le laboratoire de l'IRSN (§ 4.1.2, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 et 4.2.5) ;
- le bilan des personnels navigants de l'aviation civile (§ 5.3).

3.4. PARTICIPATION A LA MISSION CONFIEE AU VICE-PRESIDENT DE LA CNDP

Une réflexion sur les actions à mettre en œuvre pour renforcer la transparence des travaux de l'IRSN a fait l'objet d'une mission confiée par l'Institut au vice-président de la Commission nationale du débat public (CNDP). Dans le cadre de cette mission, des « cas-tests » ont été proposés par l'IRSN pour évaluer sa démarche d'ouverture à la société. Le rapport annuel sur la radioprotection des travailleurs a été retenu comme l'un de ces cas-tests. L'objectif était d'améliorer la structure du rapport et la présentation des données mises à disposition des différents publics, en recueillant le point de vue de parties prenantes représentatives. Un groupe de travail constitué en veillant à ce que tous les domaines d'activité concernés par la radioprotection des travailleurs soient représentés, s'est réuni à deux reprises pour proposer des évolutions et en débattre. La principale évolution retenue est le choix d'une présentation du bilan annuel par secteur d'activité, pour une meilleure lisibilité du document. La mise en œuvre pratique de cette évolution reste dépendante de la disponibilité de l'information concernant le secteur d'activité, information qui doit être associée aux données dosimétriques des travailleurs, ce qui implique l'utilisation de la nomenclature établie par l'IRSN (Cf. Annexe I) par tous les acteurs de la radioprotection des travailleurs : des employeurs à l'IRSN, en passant par les organismes de dosimétrie.

Le rapport 2009 (établi courant 2010) présentait le bilan statistique de la surveillance des expositions externes suivant les secteurs de la nouvelle nomenclature. Grâce aux progrès réalisés, il a été possible d'inclure dans le présent rapport des chapitres consacrés à chacun des grands domaines d'activité dans lesquels l'ensemble des bilans 2010 (surveillance de l'exposition externe, surveillance de l'exposition interne, dépassements des limites annuelles réglementaires de dose, événements et incidents de radioprotection,...) sont détaillés par secteur d'activité, dans la mesure où les activités professionnelles sont connues avec suffisamment de précision.

4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS DANS LES ACTIVITES CIVILES SOUMISES A UN REGIME D'AUTORISATION OU DE DECLARATION ET DANS LES ACTIVITES DE DEFENSE

Le bilan qui suit porte sur le suivi des travailleurs dans les activités civiles soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique et dans les activités de la défense. Les données relatives aux activités civiles et de défense ont été regroupées dans chaque secteur des domaines d'activités concernés : activités médicales et vétérinaires, nucléaire, industrie non nucléaire, recherche.

Le premier chapitre de cette partie (§ 4.1) présente les statistiques globales de l'exposition des travailleurs dans ces domaines d'activité. La méthodologie adoptée est présentée aux paragraphes 3.1 et 3.2 ; elle est identique pour l'obtention des statistiques globales et des données détaillées pour chaque domaine d'activité dans les paragraphes suivants :

- activités médicales et vétérinaires (§ 4.2) ;
- nucléaire (§ 4.3) ;
- industrie non nucléaire (§ 4.4);
- recherche (§ 4.5).

4.1. RESULTATS GENERAUX

4.1.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

4.1.1.1. Dosimétrie « corps entier »

Dosimétrie « corps entier » : analyse suivant les activités professionnelles

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Le tableau 5 présente les données agrégées pour chaque domaine d'activité : effectifs surveillés, dose collective²⁴, dose individuelle moyenne et effectif ayant dépassé la limite annuelle réglementaire.

Le nombre de travailleurs surveillés par dosimétrie externe passive en 2010 est de 330 618 soit 11 527 travailleurs de plus qu'en 2009, ce qui correspond à une augmentation de 3,6 %.

La dose collective s'élève à 62,40 homme.Sv, soit une diminution de 5,0 % par rapport à 2009.

La dose individuelle annuelle moyenne est de 0,19 mSv, soit en légère diminution par rapport à 2009 où elle était égale à 0,21 mSv. La dose individuelle annuelle moyenne calculée sur le nombre de

²⁴ La dose collective est la somme des doses individuelles reçues par un groupe de personnes. A titre d'exemple, la dose collective de 10 personnes ayant reçu chacune 1 mSv est égale à 10 homme.mSv.

travailleurs ayant reçu une dose supérieure au seuil d'enregistrement est de 0,82 mSv, en diminution par rapport à la valeur de 0,89 mSv obtenue en 2009.

Tableau 5 - Bilan synthétique des doses externes passives - 2010

Domaine d'activité	Effectif surveillé	Dose collective (homme.Sv)	Dose individuelle moyenne ^(a) (mSv)	Effectif dont la dose individuelle annuelle est supérieure à 20 mSv	Répartition des effectifs par classes de dose						
					< seuil	seuil à 1 mSv	1 à 6 mSv	6 à 15 mSv	15 à 20 mSv	20 à 50 mSv	> 50 mSv
Utilisations médicales et vétérinaires	205 195	21,05	0,10	4	164 065	37 304	3 515	291	16	2	2
Nucléaire ^(b)	65 353	23,39	0,36	0	44 426	14 755	5 546	620	6	0	0
Usages industriels	32 276	16,44	0,51	3	21 721	6 927	2 933	676	16	2	1
Recherche ^(c)	14 174	0,56	0,04	1	12 652	1 470	50	1	0	1	0
Autres ^(d)	13 620	0,96	0,07	0	11 944	1 503	163	10	0	0	0
Total	330 618	62,40	0,19	8	254 808	61 959	12 207	1 598	38	5	3

(a) Dose individuelle moyenne = dose collective / effectif surveillé.

(b) Le domaine du nucléaire inclut également le transport de matières radioactives dans les activités liées à ce domaine.

(c) Le domaine de la recherche inclut la recherche médicale, les activités au sein des installations de recherche liées au nucléaire, la recherche (autre que médicale et nucléaire) et l'enseignement.

(d) La catégorie « Autres » regroupe les secteurs d'activité suivants : la gestion des situations de crise, l'inspection et le contrôle, les activités à l'étranger, les activités de transports de sources dont l'utilisation n'est pas précisée, ainsi que les activités non classées d'après la nomenclature. Le secteur des activités à l'étranger n'est encore que peu identifié en termes de classification des travailleurs, avec la difficulté supplémentaire dans le cadre du bilan annuel que les activités à l'étranger sont souvent conduites une partie seulement de l'année.

95,8 % des travailleurs surveillés ont une dose annuelle inférieure à la limite réglementaire d'exposition du public, soit 1 mSv/an, parmi lesquels 80 % n'ont reçu aucune dose au cours de l'année (doses mesurées inférieures au seuil d'enregistrement). 3,7 % des travailleurs surveillés ont une dose annuelle comprise entre 1 et 6 mSv et 0,5 % une dose annuelle comprise entre 6 et 20 mSv. Enfin, 8 travailleurs ont enregistré une dose supérieure à 20 mSv, la dose maximale étant égale à 345 mSv, reçue par un travailleur de l'industrie non nucléaire (cf. § 4.4.3).

La répartition des travailleurs par classes de doses est comparable à celle de 2009.

Bien que plus de 60 % des effectifs surveillés soient employés dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (figure 11), ce domaine représente 34 % de la dose collective totale. Le nucléaire

représente 20 % de l'effectif total et contribue à près de 40 % de la dose collective totale. L'industrie non nucléaire représente 10 % de l'effectif total et 26 % de la dose collective totale. La recherche contribue pour 0,9 % à la dose collective.

C'est dans le domaine des activités médicales et vétérinaires et dans la recherche que les doses individuelles annuelles moyennes sont les plus faibles (inférieures ou égales à 0,1 mSv). A l'opposé, les travailleurs de l'industrie non nucléaire ont les doses les plus élevées en moyenne (0,51 mSv), suivis des travailleurs du nucléaire avec une dose individuelle moyenne de 0,36 mSv. En 2010, les doses individuelles annuelles moyennes ont diminué dans tous les domaines, sauf dans le domaine médical où elle est restée stable par rapport à 2009.

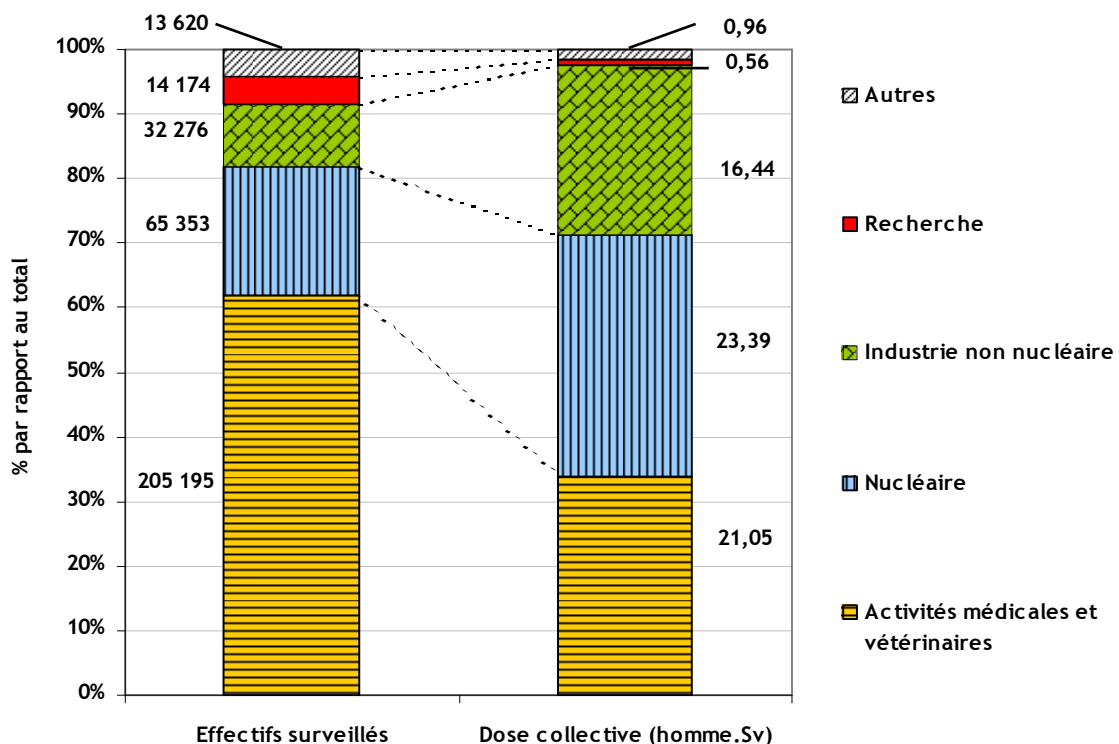


Figure 11 - Bilan synthétique des doses externes passives par domaines d'activité en 2010 (effectifs surveillés et doses collectives)

Les travailleurs suivis par le SPRA représentent 2,3 % de l'effectif total surveillé, avec une contribution à hauteur de 2,5 % de la dose collective.

Le tableau 6 présente la répartition entre port mensuel et port trimestriel des dosimètres « corps entier » dans les grands domaines d'activité en 2010. Elle est proche de la répartition observée en 2009. Le port mensuel reste majoritaire dans les domaines du nucléaire et de l'industrie non nucléaire alors que dans les domaines des activités médicales et vétérinaires et de la recherche, c'est le port trimestriel qui est le plus fréquemment pratiqué.

Tableau 6 - Répartition entre port mensuel et port trimestriel suivant les domaines d'activité

Domaine d'activité	Port mensuel (%)	Port trimestriel (%)	Effectifs considérés
Utilisations médicales	31	69	201 301
Nucléaire	72	28	62 478
Industrie non nucléaire	59	41	31 270
Recherche	15	85	12 501

Contribution des neutrons

En 2010, un suivi de l'exposition aux neutrons a été mis en œuvre pour 36 073 travailleurs (34 521 travailleurs en 2009), soit 11 % de l'effectif total surveillé. La dose collective « neutrons » est de 1,52 homme.Sv (pour 1,50 homme.Sv en 2009). La dose collective due aux neutrons représente seulement 2,4 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues).

Il convient de noter que ces données n'incluent pas l'effectif suivi au sein d'EDF, ni la dose collective associée, le laboratoire de dosimétrie qui assure le suivi des travailleurs d'EDF n'ayant pas été en mesure de transmettre ces informations à l'IRSN (cf. § 4.3.1.1).

Près de 60 % des effectifs suivis pour leur exposition aux neutrons appartiennent au domaine nucléaire, avec une contribution à la dose collective à hauteur de 91% (figure 12). Les activités réalisées dans l'établissement de Melox contribuent pour 61 % à la dose collective due aux neutrons.

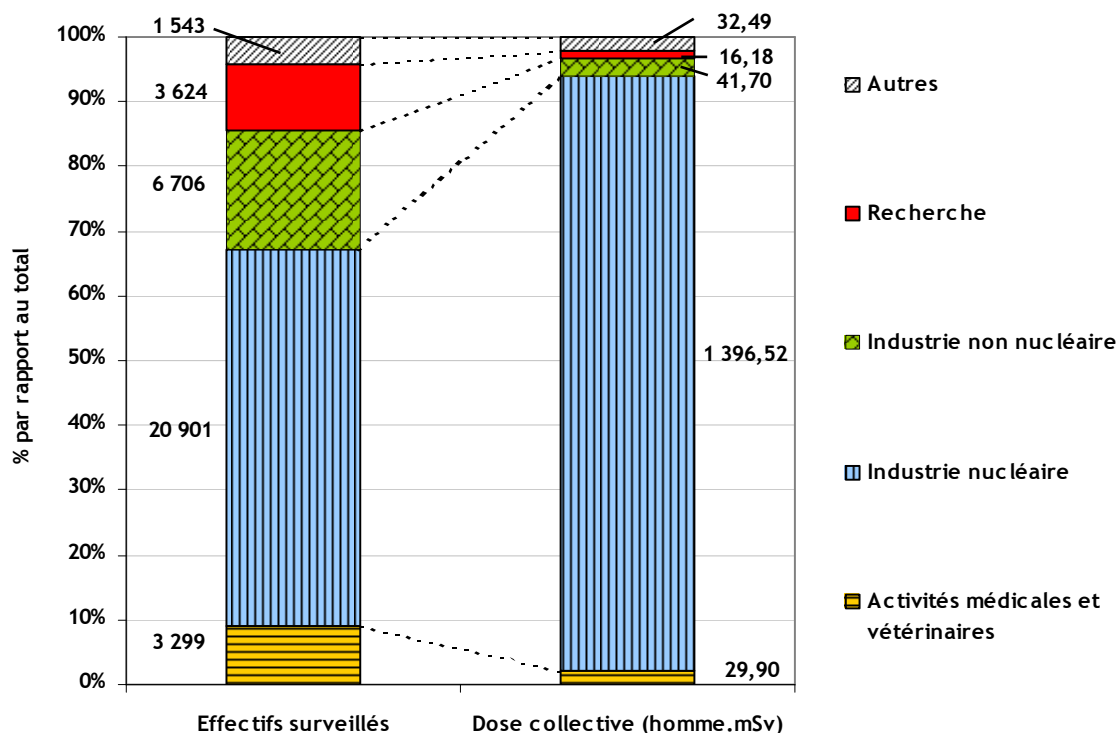


Figure 12 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives pour la dosimétrie des neutrons en 2010 (hors personnels EDF)

Les effectifs suivis dans l'industrie non nucléaire et la recherche représentent respectivement 19 % et 10 % de l'effectif total, avec des contributions à la dose collective totale inférieures à 3 %. Le domaine médical représente moins de 10 % des effectifs surveillés et 2 % de la dose collective.

La dose individuelle maximale enregistrée sur l'effectif total suivi pour une exposition aux neutrons, égale à 10,6 mSv, concerne le secteur des activités à l'étranger (plus précisément l'utilisation de générateurs de neutrons pour la diagraphie des puits de pétrole), classées dans la catégorie « Autres ».

Les travailleurs suivis par le SPRA représentent 5,9 % de l'effectif total surveillé pour l'exposition aux neutrons, avec une contribution à hauteur de 12,4 % de la dose collective.

Dosimétrie « corps entier » : évolution sur la période 1996-2010

Exposition externe totale (photons et neutrons)

La figure 13 présente l'évolution des effectifs surveillés et de la dose collective entre 1996 et 2010.

Sur cette période, l'effectif total surveillé est passé de 230 385 à 330 619 travailleurs, soit une augmentation de 44 %. Cette évolution est le résultat d'une croissance des activités mettant en œuvre des sources de rayonnements ionisants mais également celui d'une meilleure surveillance des travailleurs professionnellement exposés. Dans le même temps, la dose collective a globalement diminué, avec cependant une tendance à l'augmentation à partir de 2006 qui s'achève avec la baisse de 5,0 % observée entre 2009 et 2010, alors que l'effectif surveillé augmente de 3,6 % (figure 13).

Si l'intégration progressive des données de nouveaux laboratoires dans le bilan (en l'occurrence DOSILAB au cours de l'année 2005 avec plus de 5 000 travailleurs surveillés et le SPRA en 2007 avec plus de 8 000 travailleurs surveillés) a contribué à l'augmentation des effectifs dans le passé, ceci n'est plus vrai aujourd'hui et l'augmentation observée depuis 2008 indique une réelle progression du nombre de travailleurs suivis.

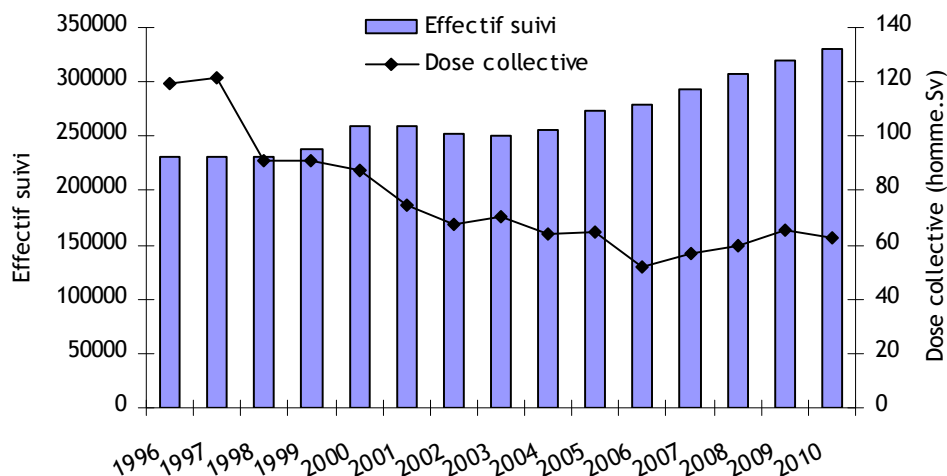


Figure 13 - Evolution des effectifs surveillés et de la dose collective, de 1996 à 2010

Contribution des neutrons

Après une diminution entre 2005 et 2007, la dose collective due aux neutrons retrouve en 2008 le niveau atteint en 2005 ; cette augmentation se poursuit en 2009 et plus légèrement en 2010. Les effectifs surveillés sont en augmentation de 4,5 % entre 2009 et 2010, après une augmentation de 19 % entre 2008 et 2009 (figure 14).

Il convient de rappeler que ces effectifs n'incluent pas les personnels d'EDF (cf. § 4.3.1.1).

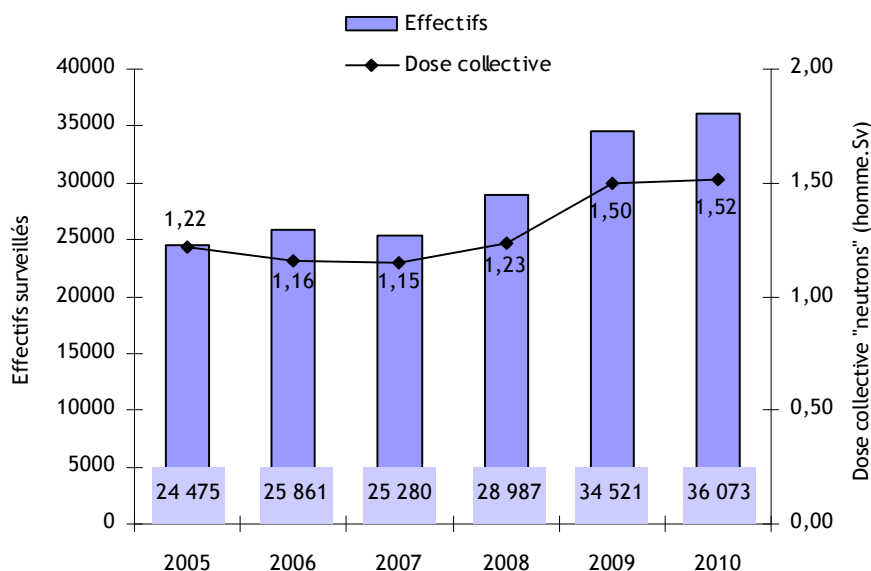


Figure 14 - Evolution des effectifs surveillés et des doses collectives pour l'exposition spécifique aux neutrons de 2005 à 2010 (hors personnels d'EDF)

4.1.1.2. Dosimétrie des extrémités

Des dosimètres d'extrémités (dosimètres « bague », dosimètres « poignet ») sont portés par les travailleurs dont les mains ou les membres sont susceptibles d'être soumis, au cours de leurs tâches, à une exposition aux rayonnements ionisants significative par rapport au reste de leur organisme. C'est le cas par exemple des médecins réalisant une biopsie viscérale sous rayonnements ionisants ou encore des opérateurs effectuant des manipulations de sources radioactives en boîtes à gants.

La mesure de la dose équivalente aux extrémités, à l'endroit le plus exposé, doit permettre de vérifier le respect de la limite réglementaire (§ 2.1).

Le choix entre la dosimétrie au poignet et la dosimétrie par bague doit reposer sur l'analyse précise des postes de travail. La figure 15 montre que le port d'un dosimètre bague ou d'un dosimètre poignet est variable suivant le domaine d'activité (hors secteur de la défense car les travailleurs suivis par le SPRA bénéficient exclusivement d'un suivi par dosimétrie au poignet). Il apparaît que le port du dosimètre poignet est largement prédominant dans le nucléaire et majoritaire dans le domaine des activités de recherche. L'industrie non nucléaire utilise à poids égal les deux types de dosimètres, alors que l'utilisation des bagues est devenue majoritaire dans le domaine des activités médicales et vétérinaires. Globalement, la dosimétrie au poignet est utilisée dans 54 % des cas.

L'IRSN souligne que pour une même source d'exposition, la dose mesurée au poignet est en général inférieure que celle mesurée au doigt, plus représentative de l'exposition, et que la surveillance à l'aide de dosimètres poignet doit tenir compte de cet écart le cas échéant (éventuellement à l'aide de facteurs correctifs), pour faire en sorte que les doses plus importantes reçues aux doigts des travailleurs respectent bien les limites réglementaires.

La répartition entre les deux types de dosimétrie évolue différemment suivant les domaines d'activité. Dans le nucléaire, l'augmentation de la proportion des dosimètres bague se confirme : 2 % en 2008, 17 % en 2009 et 21 % en 2010. Cependant, la dose totale associée reste faible au regard de celle enregistrée au poignet dans ce domaine (figures 16 et 17). Concernant les activités médicales et vétérinaires, la progression des bagues se poursuit : 37 % en 2008, 50 % en 2009 et 58 % en 2010. La proportion des dosimètres bagues dans l'industrie non nucléaire est relativement stable : 57 % en 2008, 51 % en 2009 et 52 % en 2010. Seul le domaine de la recherche enregistre une diminution de la proportion de bagues : 70 % en 2008, 67 % en 2009 et 44 % en 2010.

Il faut bien noter que ces résultats sont fortement dépendants de la qualité du classement des travailleurs suivant leur activité, lui-même soumis à des évolutions d'une année sur l'autre.

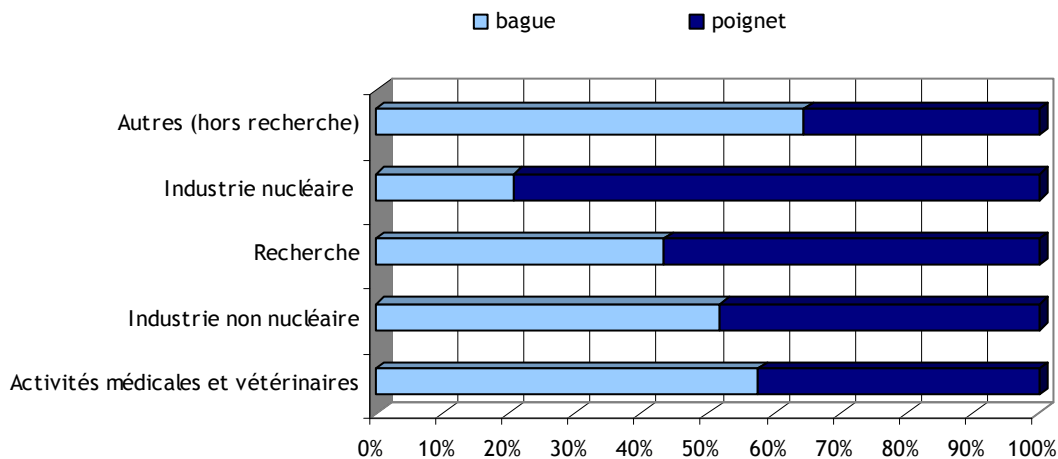


Figure 15 - Importance relative de la surveillance de l'exposition aux extrémités par dosimétrie par bague ou au poignet en 2010, suivant les domaines d'activité

Dosimétrie par bague

L'effectif surveillé par une dosimétrie par bague est globalement moins important que celui surveillé par une dosimétrie poignet. Ceci s'explique en grande partie par la contrainte supplémentaire que représente pour le travailleur le port d'une bague par rapport au dosimètre poignet.

La dose totale pour la dosimétrie par bague (doigts) est de 70,3 Sv pour 9 795 travailleurs surveillés en 2010, soit en moyenne une dose aux extrémités de 7,2 mSv (ils étaient 8 750 travailleurs surveillés en 2009 et leur dose totale s'élevait à 67,0 Sv). La dose individuelle maximale enregistrée au doigt est égale à 1 242 mSv, ce qui constitue un dépassement de la limite réglementaire annuelle de

500 mSv, et concerne un travailleur du domaine médical. Le domaine des activités médicales et vétérinaires contribue à hauteur de 62 % des effectifs mais pour 86 % à la dose totale (figure 16).

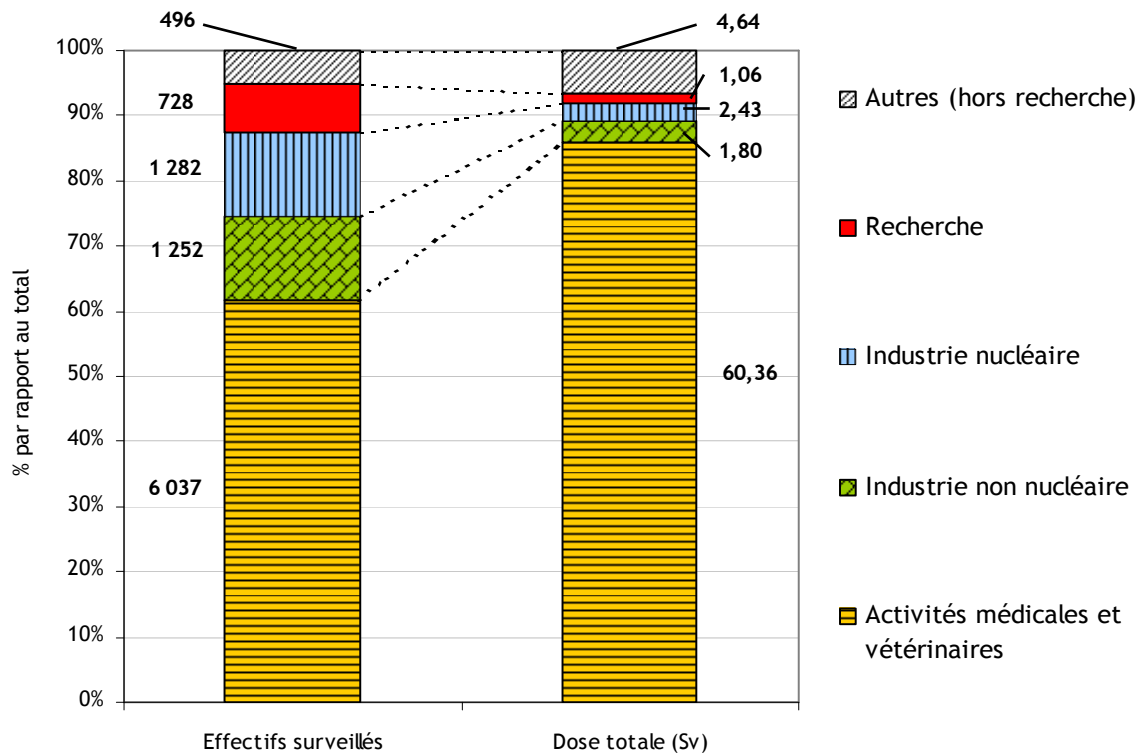


Figure 16 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie badge en 2010

Dosimétrie au poignet

En 2010, la dosimétrie au poignet montre une dose totale de 62,9 Sv pour 11 704 travailleurs surveillés, soit en moyenne une dose aux extrémités de 5,4 mSv (ils étaient 12 588 travailleurs surveillés en 2009 et leur dose totale s'élevait à 61,6 Sv). La dose individuelle maximale enregistrée au poignet est égale à 386 mSv et concerne un travailleur du nucléaire. Alors que le nombre de travailleurs ayant une dosimétrie au poignet est sensiblement le même dans le domaine de l'industrie nucléaire et celui des activités médicales et vétérinaires, le domaine nucléaire représente à lui seul 89 % de la dose totale enregistrée en 2010 (figure 17).

4.1.1.3. Difficultés liées à la surveillance de l'exposition externe des travailleurs

Les résultats d'une enquête réalisée par l'IRSN auprès des laboratoires à l'occasion de la collecte des données présentées dans ce bilan montrent que le taux moyen de retour des dosimètres ayant été portés est compris entre 96 % et 100 %. Le taux de dosimètres rendus avec un retard de 1 à 3 mois varie de 2 % à 5 % selon les laboratoires, il est inférieur à 1,1 % pour les retards de 4 à 6 mois et inférieur à 0,1 % pour ceux supérieurs à 6 mois. Le taux de dosimètres inexploitable à leur retour au laboratoire est au maximum de 1 %. Il faut toutefois souligner que ces chiffres ne portent que sur 44 % de l'effectif suivi, tous les laboratoires n'ayant pas répondu à cette enquête, et les données

renvoyées par le SPRA n'étant pas agrégées du fait que certains établissements de la défense ne peuvent retourner les dosimètres dans les délais pour des raisons opérationnelles. Parmi les autres difficultés rapportées par les laboratoires, de façon purement qualitative, il faut citer les cas d'inversion entre dosimètre d'ambiance et dosimètre témoin, entre dosimètres portés à la poitrine ou au poignet, ou encore d'inversion entre dosimètres mensuels et dosimètres trimestriels, l'absence de dosimètres témoins, les difficultés d'obtention des données administratives associées au porteur, ou encore les cas de dosimètres portés par plusieurs personnes.

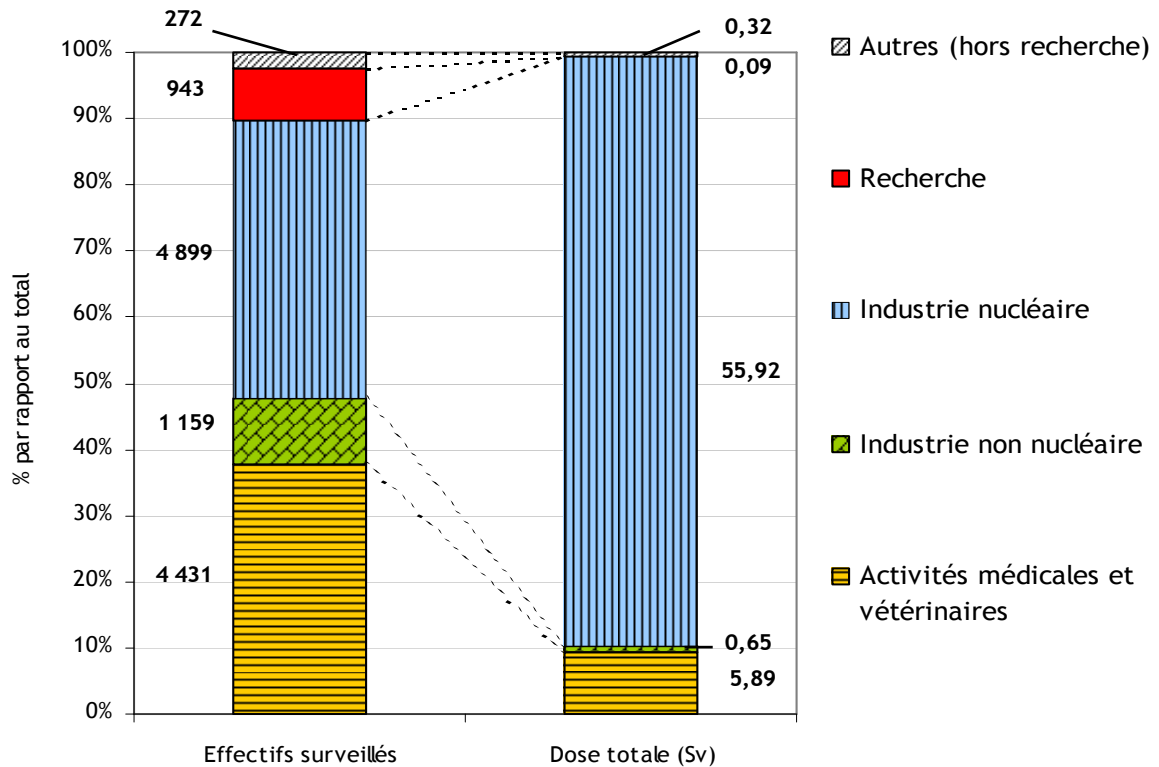


Figure 17 - Répartition des effectifs surveillés et des doses enregistrées pour la dosimétrie au poignet en 2010

4.1.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

4.1.2.1. Surveillance de routine

Dans le bilan général concernant la surveillance de routine, il apparaît que les examens anthroporadiométriques sont les plus nombreux, avec 193 266 examens réalisés en 2010, suivis par les analyses radiotoxicologiques des prélèvements nasaux et des urines, avec respectivement 63 243 et 44 485 examens. Si les nombres d'examens sont relativement proches pour ces deux derniers types d'analyses, les effectifs correspondants diffèrent nettement : 12 118 travailleurs ont été suivis en 2010 pour des analyses urinaires, contre 2 649 pour des analyses de prélèvements

nasaux. Enfin 9 348 analyses radiotoxicologiques fécales ont été réalisées. Le nombre total d'examens réalisés en 2010, toutes analyses confondues, s'élève à 310 342.

Surveillance de routine : répartition suivant les activités professionnelles

Le tableau 7 présente la répartition des examens effectués dans le cadre d'une surveillance de routine suivant les domaines d'activité.

Le nombre d'examens positifs correspond au nombre d'examens dont le résultat est supérieur au seuil d'enregistrement (dans les statistiques collectées pour établir le présent bilan, ce seuil est souvent pris égal à la limite de détection, mais il s'agit parfois d'une valeur plus élevée).

Tableau 7 - Exposition interne : surveillance de routine dans les différents domaines d'activité en 2010

Domaines d'activité	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Activités médicales et vétérinaires	13 648	65
Industrie non nucléaire	477	6
Nucléaire	283 597	128 (*)
Recherche	11 055	1
Autres	1 565	55
Total	310 342	255 (*)

(*) Ce chiffre ne prend pas en compte le nombre non connu d'examens enregistrés comme positifs parmi les 162 604 examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires. La seule donnée disponible concerne les 468 examens anthroporadiométriques enregistrés comme positifs dans les centrales nucléaires, tous types de surveillance confondus.

La figure 18 présente le nombre d'examens effectués dans le cadre d'une surveillance de routine dans chaque domaine d'activité et suivant le type d'examen. Le détail est présenté dans les paragraphes dédiés à chaque domaine.

Il apparaît que les grandes entreprises du nucléaire font appel à l'ensemble des techniques de surveillance, avec une forte prédominance des examens anthroporadiométriques sur les analyses radiotoxicologiques (à noter que parmi les 193 266 examens anthroporadiométriques réalisés en 2010, 162 604 sont réalisés dans les centrales nucléaires d'EDF). Le suivi des personnels dans les établissements du domaine médical repose essentiellement sur des analyses radiotoxicologiques urinaires. Les personnels du domaine de la recherche bénéficient plus rarement d'une surveillance de l'exposition interne (examens anthroporadiométriques et analyses radiotoxicologiques urinaires, avec une légère prédominance de ces dernières).

Cette disparité s'explique à la fois par la nature différente des radionucléides à mesurer dans les différents secteurs, mais aussi par des considérations logistiques. Alors qu'il est relativement simple d'organiser un contrôle anthroporadiométrique au CEA, à AREVA et à EDF, dont les différents sites disposent des installations de mesure nécessaires, un tel contrôle des personnels du secteur médical ou de celui de la recherche est beaucoup plus difficile à mettre en œuvre : en pratique, les individus doivent se déplacer dans les laboratoires de l'IRSN situés en région parisienne, à moins d'utiliser les moyens mobiles de l'Institut (§ 2.3.1.1).

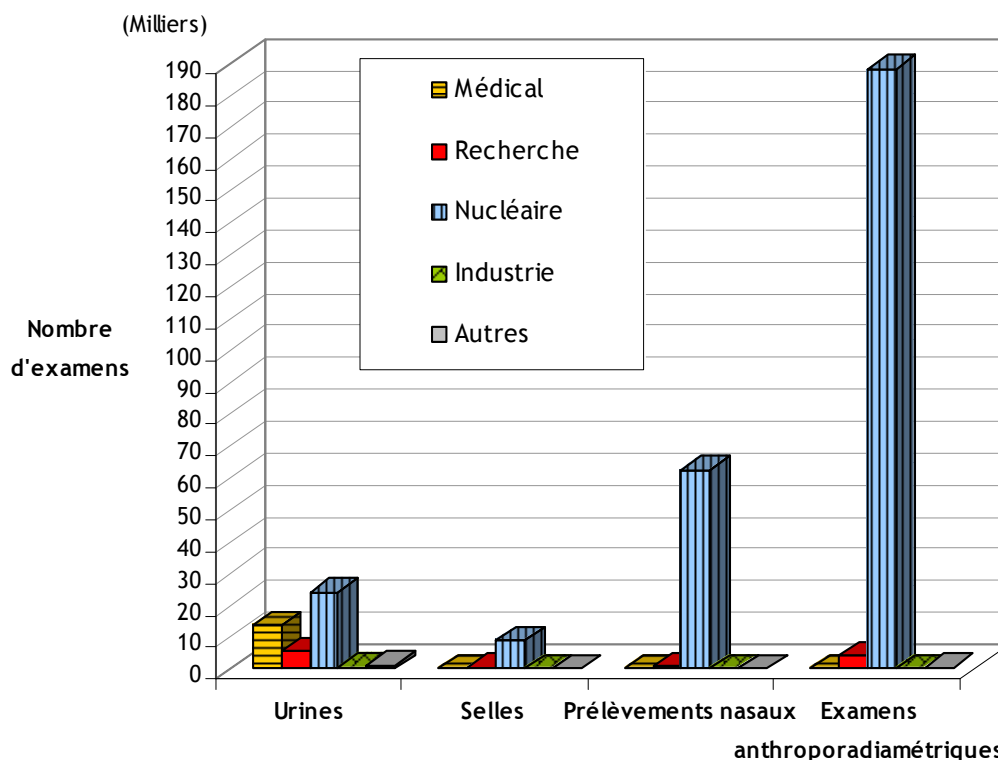


Figure 18 - Nombre d'examens suivant les types d'analyses mises en œuvre pour assurer la surveillance de l'exposition interne dans les grands domaines d'activité en 2010 (surveillance de routine)

Surveillance de routine : évolution sur la période 2006-2010

Globalement, le nombre total d'examens réalisés est resté relativement stable entre 2009 et 2010 avec une légère diminution de 0,4 %, après l'augmentation de 6,5 %, observée entre 2008 et 2009.

La figure 19 détaille ces évolutions en fonction du type d'examen entre 2006 et 2010, et montre que la proportion des types d'examen réalisés pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs est globalement stable sur cette période.

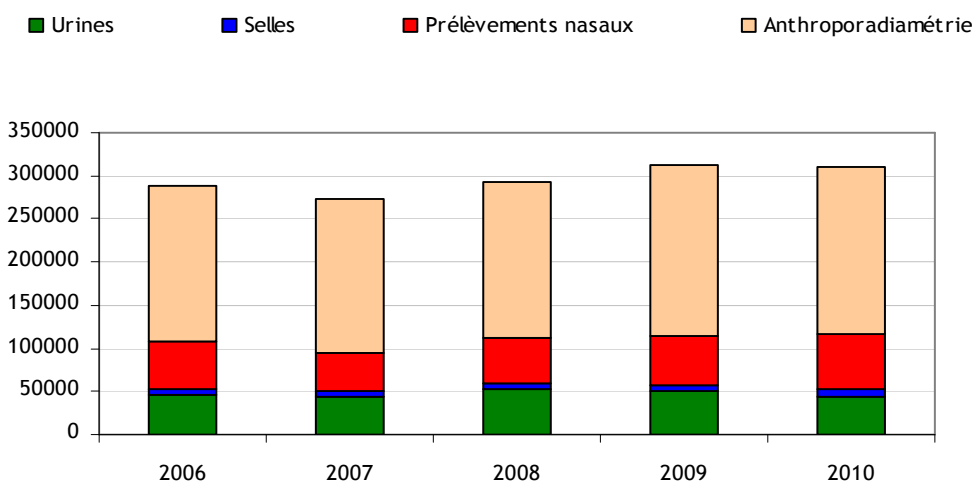


Figure 19 - Evolution du nombre d'examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine entre 2006 et 2010 (tous secteurs d'activité confondus)

4.1.2.2. Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle

En 2010, 11 395 examens ont été réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou d'une surveillance de contrôle, dont 4 775 examens anthroporadiométriques réalisés dans les centrales nucléaires d'EDF (le nombre des travailleurs d'EDF ayant bénéficié de ces examens n'est pas connu). Pour 177 examens, soit 1,6 %, le résultat est supérieur au niveau d'enregistrement. Il est important de préciser que ces examens ne sont pas tous réalisés à la suite d'un événement considéré comme un événement significatif de radioprotection.

Surveillance spéciale ou de contrôle : répartition suivant les activités professionnelles

Le tableau 8 présente la répartition des examens réalisés dans le cadre de cette surveillance suivant les domaines d'activité.

Il apparaît que 88 % des examens réalisés dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle concernent le domaine nucléaire.

Tableau 8 - Exposition interne : surveillance spéciale ou de contrôle dans les différents domaines d'activité en 2010

Domaines d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Activités médicales et vétérinaires	83	219	19
Industrie non nucléaire	37	258	44
Nucléaire	1 140 (*)	10 039	86 (*)
Recherche	223	673	11
Autres	54	206	17
Total	1 880 (*)	11 395	177 (*)

(*) Ces chiffres n'incluent pas deux données non disponibles concernant les travailleurs des centrales nucléaires : le nombre de travailleurs suivis dans le cadre d'une surveillance spéciale ou de contrôle et le nombre d'examens anthroporadiométriques enregistrés comme positifs dans le cadre de ces surveillances.

Surveillance spéciale ou de contrôle : évolution sur la période 2006-2010

L'effectif total suivi dans le cadre de la surveillance spéciale ou de contrôle est de 1 880 travailleurs en 2010, à comparer aux 1 601, 1 344, 1 421 et 1 498 travailleurs ayant bénéficié d'un examen dans ce cadre en 2006, 2007, 2008 et 2009 respectivement.

Seules les données en termes d'effectifs sont disponibles depuis 2006 pour cette comparaison, les nombres d'examens n'étant pas connus pour 2006 et 2007. Le nombre d'examens réalisés dans ce cadre a augmenté de 9 % entre 2008 et 2009, et dans la même proportion entre 2009 et 2010, passant de 10 473 à 11 395 examens, tous types confondus.

4.1.2.3. Estimations dosimétriques

Estimations dosimétriques : répartition suivant les activités professionnelles

En 2010, 531 travailleurs ont fait l'objet d'un calcul de dose engagée. Ce sont pour 96 % des travailleurs du domaine nucléaire. Tous domaines d'activité confondus, 15 cas d'exposition interne conduisant à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv ont été rapportés.

La dose individuelle la plus élevée (14 mSv) a été enregistrée lors d'un incident intervenu dans le domaine médical.

Estimations dosimétriques : évolution sur la période 2006-2010

La figure 20 présente pour les années 2006 à 2010 le nombre de travailleurs pour lesquels le calcul de la dose a conduit à une dose efficace engagée supérieure à 1 mSv, ainsi que les doses individuelles maximales enregistrées.

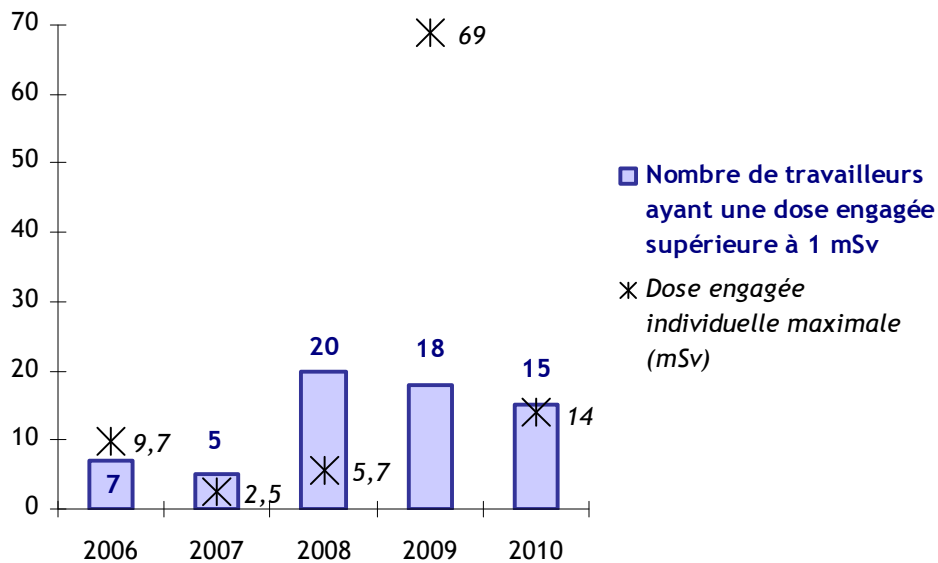


Figure 20 - Evolution, de 2006 à 2010, du nombre de travailleurs ayant une dose engagée supérieure à 1 mSv

4.1.2.4. Difficultés liées à la surveillance de l'exposition interne des travailleurs

Le questionnaire envoyé par l'IRSN aux laboratoires pour établir le bilan 2010 permettait à ces derniers de faire remonter les difficultés éventuelles rencontrées dans leur travail en termes de délais de retour d'échantillons, de volumes exploitables, etc. Parmi les laboratoires ayant répondu à cette partie du questionnaire, plusieurs déclarent ne rencontrer aucune difficulté. Il ressort des réponses apportées par les autres laboratoires que le taux d'échantillons rendus hors délai varie entre 1% et 10% suivant les laboratoires, et que le volume des échantillons d'urines ou de selles collectées sur 24h est insuffisant dans moins de 5 % des cas.

Concernant les estimations dosimétriques, un service de santé au travail évoque la difficulté de réaliser les calculs de dose pour les travailleurs d'entreprises extérieures ayant quitté le chantier à la fin de leur mission.

4.1.3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Le bilan établi début juillet 2011 met en évidence un dépassement de l'une des limites réglementaires de dose, entre le 1^{er} janvier 2010 et le 31 décembre 2010, pour 13 travailleurs (tableau 9).

Tableau 9 - Dépassements des limites annuelles réglementaires de doses : bilan 2010

	Nombre de travailleurs
Dose efficace	8
<i>due à une exposition externe</i>	8
<i>due à une exposition interne</i>	0
Dose équivalente aux extrémités	5
Dose équivalente à la peau	0

Dans tous les cas, le dépassement de la limite réglementaire de dose efficace est dû à une dose externe supérieure à 20 mSv, reçue soit sur une seule période de port du dosimètre (5 cas), soit par cumul sur plusieurs périodes de port (les 3 autres cas).

Trois travailleurs se situent juste au-dessus de la limite réglementaire, ayant reçu moins de 22 mSv, et 3 travailleurs ont reçu plus de 50 mSv.

Des dépassements de la limite réglementaire de dose efficace sont observés dans les différents domaines d'activités : 4 travailleurs exercent dans le domaine médical, 3 dans le domaine industriel non nucléaire et 1 dans le domaine de la recherche.

Les dépassements de la limite de dose équivalente aux extrémités se sont produits pour 4 des 5 travailleurs par cumul des doses reçues sur 12 mois. Parmi ces 5 travailleurs, 4 exercent dans le domaine médical et plus précisément dans le secteur de la radiologie interventionnelle. Le cinquième exerce comme prestataire dans les opérations de logistique et de maintenance des installations nucléaires.

L'IRSN n'a pas reçu le retour des conclusions d'enquête, qui doit être diligentée par le médecin du travail selon les dispositions réglementaires, pour 3 des 13 cas de dépassements recensés pour 2010. Il s'agit en l'occurrence de travailleurs indépendants non suivis par un médecin du travail.

Evolution sur la période 1996-2010

La figure 21 présente l'évolution de 1996 à 2010 du nombre de travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv.

En 1996, 905 travailleurs surveillés avaient reçu une dose externe supérieure à 20 mSv. Ce nombre a été divisé par 13 entre 1996 et 2000. La situation est restée relativement stable entre 2000 et 2004, année au cours de laquelle l'IRSN a commencé à tracer chacun des signalements de dépassement

pour avoir accès aux conclusions de l'enquête menée par le médecin du travail. Depuis, le nombre des dépassements n'a cessé de diminuer.

La figure 22 présente la répartition des travailleurs surveillés dont la dose annuelle est supérieure à 20 mSv selon les domaines d'activité sur la période 2004-2010. Une baisse régulière est également observée dans le domaine des activités médicales et vétérinaires ; ce domaine est celui où les effectifs présentant les doses les plus élevées sont les plus nombreux. C'est aussi le domaine où les travailleurs suivis sont les plus nombreux et où les écarts par rapport aux bonnes pratiques de port des dosimètres étaient précédemment les plus importants et il est vraisemblable qu'un certain nombre des fortes valeurs observées dans les années 90 n'aient pas été réellement reçues (typiquement, le dosimètre reste dans la salle d'examen et enregistre alors une dose significative non reçue par le travailleur, ou le dosimètre est porté au-dessus du tablier de plomb et non en-dessous,...).

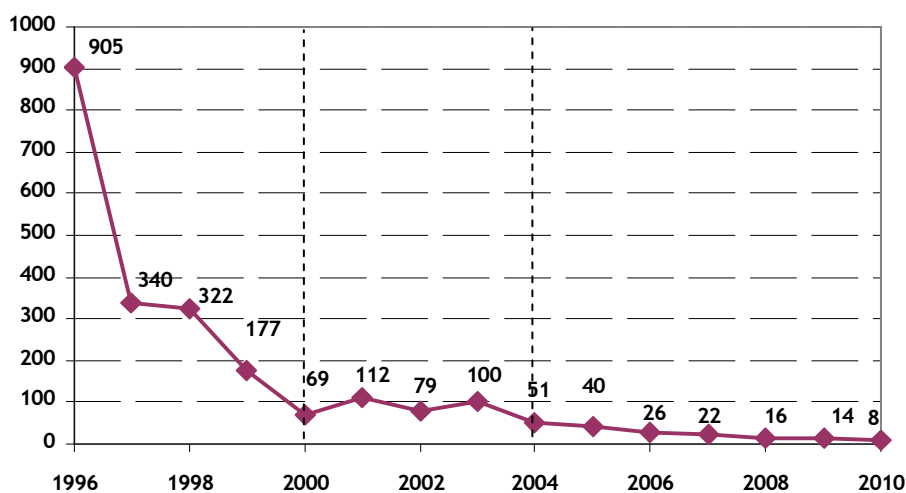


Figure 21 - Evolution, de 1996 à 2010, du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv

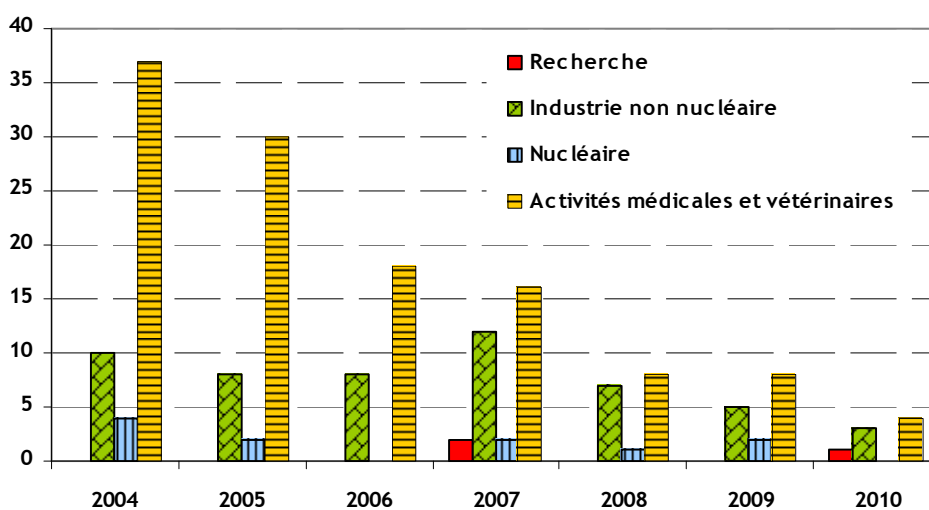


Figure 22 - Répartition par domaine d'activité du nombre de travailleurs surveillés dont la dose externe annuelle est supérieure à 20 mSv (période 2004-2010)

4.1.4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

4.1.4.1. Bilan de l'année 2010

Parmi l'ensemble des évènements concernant la radioprotection que l'IRSN a recensés en 2010, 210 concernent directement les travailleurs. La figure 23 illustre la répartition de ces évènements selon les domaines d'activités. Ces évènements concernent très majoritairement le domaine nucléaire (67 %) puis le domaine médical et vétérinaire (21 %) suivi par le domaine des usages industriels et de service des rayonnements ionisants (10 %).

Pour rappel, les évènements de radioprotection recensés par l'IRSN recouvrent :

- les évènements déclarés à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) dont l'IRSN est destinataire d'une copie, au titre des différents guides de déclaration mis en place par l'ASN ;
- les évènements non déclarés dont l'IRSN a connaissance au travers de ses activités et qu'il considère comme des signaux intéressants pour la radioprotection ;
- les évènements pour lesquels une expertise de l'IRSN est directement sollicitée.

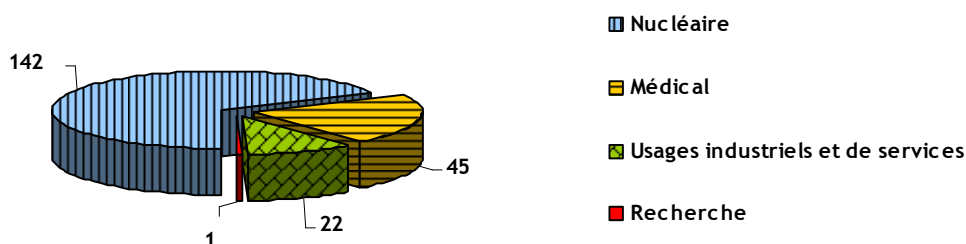


Figure 23 - Répartition des évènements « travailleurs » selon les domaines d'activités

Parmi les 210 évènements recensés, 170 sont des évènements déclarés selon les critères des guides de déclaration de l'ASN :

- guide ASN 2005 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux évènements significatifs impliquant la sûreté, la radioprotection ou l'environnement applicable aux installations nucléaires de base et au transport de matières radioactives ;
- guide ASN n°11 relatif aux modalités de déclaration et à la codification des critères relatifs aux évènements significatifs dans le domaine de la radioprotection hors installations nucléaires de base et transports de matières radioactives.

Par ailleurs, dans le cadre du suivi de l'exposition des travailleurs et de la consolidation des données dosimétriques, les alertes des organismes de dosimétrie pour dépassement de limites réglementaires de dose parvenues à l'IRSN en 2010 sont au nombre de 42, ce qui correspond à 20 % des évènements recensés. Parmi ces alertes, 76 % proviennent du domaine médical et vétérinaire, 12 % de l'industrie non nucléaire, et 12 % du domaine nucléaire.

Après enquête, sur ces 42 alertes, 13 cas de dépassement sont confirmés pour l'année 2010 (§ 4.1.3).

4.1.4.2. Evolution par rapport aux années précédentes

Le tableau 10 reprend la répartition des évènements « travailleurs » recensés par l'IRSN depuis 2004, selon les grands domaines d'activité. Il montre qu'aucune évolution significative n'a été observée sur ces 7 années, même s'il semble qu'une diminution s'esquisse. Le domaine médical reste le principal pourvoyeur d'alertes de dépassement de limite réglementaire de dose, dans une proportion (57 %), comparable à la proportion des travailleurs de ce domaine (62 %) dans l'ensemble des travailleurs suivis. Il convient de noter que ces évènements sont connus de l'IRSN sans aucune démarche proactive des employeurs. Si la culture de déclaration entre peu à peu dans les habitudes du domaine médical en ce qui concerne les évènements relatifs aux patients, il semblerait qu'il y ait peu d'évolution en ce qui concerne les évènements affectant la radioprotection des travailleurs. Les domaines d'activité ayant historiquement une culture déclarative plus forte, à l'image du domaine nucléaire, affichent un nombre relativement stable d'évènements.

Tableau 10 - Evolution des évènements « travailleurs » sur la période 2004 - 2010

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alertes de dépassements de limite réglementaire de dose signalés par les organismes de dosimétrie							
- utilisations médicales et vétérinaires	42	63	48	54	36	44	32
- transport	0	0	5	0	0	0	0
- industrie	11	17	13	18	17	13	5
- nucléaire							
- autres (recherche, contrôle et inspection...)	2	2	2	0	0	0	0
Total alertes de dépassements	55	82	68	72	57	59	42
Autres évènements							
- utilisations médicales et vétérinaires	2	8	9	10	7	9	13
- transport						4	0 ^(*)
- industrie						7	17 ^(**)
- nucléaire						137	137
- autres (recherche, contrôle et inspection...)						16	1 ^(**)
Total autres évènements	195	190	179	179	190	173	168
TOTAL	250	272	247	251	247	232	210

(*) En 2010, chaque évènement concernant le transport a été classé dans le domaine d'activités pour lequel le transport est effectué.

(**) La différence du nombre d'évènements entre 2009 et 2010 provient essentiellement d'un reclassement d'évènements de « autres » à « industrie ».

4.2. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS DU DOMAINE MEDICAL ET VETERINAIRE

Le domaine des activités médicales et vétérinaires utilisant les rayonnements ionisants recouvre les secteurs de la radiologie médicale²⁵, de la médecine nucléaire, de la radiothérapie, de la médecine du travail, des soins dentaires, de la médecine vétérinaire, ainsi que les laboratoires d'analyses mettant en œuvre des techniques de radioimmunologie, et les opérations de logistique et de maintenance sur les différents installations nécessaires à ces activités.

La méthode utilisée pour établir les bilans statistiques est décrite aux paragraphes 3.1 et 3.2.

4.2.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

4.2.1.1. Dosimétrie « corps entier »

Dosimétrie « corps entier » : analyse suivant les activités professionnelles

Exposition externe totale (photons et neutrons)

L'effectif total surveillé dans ce domaine est de 205 195 travailleurs, soit 62 % de l'effectif total surveillé dans le cadre des activités soumises à un régime de déclaration ou d'autorisation. La dose collective correspondant à cet effectif est égale à 21,05 homme.Sv, soit 34 % de la dose collective enregistrée pour l'ensemble des travailleurs.

La dose individuelle maximale du domaine médical en 2010 a été enregistrée dans le secteur de la radiologie interventionnelle. Cette dose est de 63 mSv et constitue un dépassement de la limite réglementaire annuelle.

Le tableau 11 présente les statistiques concernant le domaine médical et vétérinaire réparties par secteur d'activité.

Pour chaque secteur d'activité, les données pour les travailleurs civils et ceux de la défense ont été regroupées. Les travailleurs suivis par le SPRA se retrouvent ainsi dans les secteurs du radiodiagnostic, de la radiologie interventionnelle, des soins dentaires, de la médecine du travail, de la radiothérapie, de la médecine nucléaire, de la médecine vétérinaire, de la maintenance et dans la catégorie « Autres ». Ils représentent 0,8 % de l'effectif total du domaine médical et vétérinaire, avec une contribution à la dose collective de 2,1 %.

²⁵ La radiologie médicale regroupe les techniques de radiologie conventionnelle, de mammographie, de scanographie et de radiologie interventionnelle. Des installations de radiodiagnostic existent aussi dans les secteurs dentaire et vétérinaire.

Tableau 11 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans le domaine médical et vétérinaire

	Effectif surveillé	< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15	15 à 20	≥ 20	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (mSv)
		(mSv)							
Radiologie	111 501	86 365	22 745	2 209	168	11	3	12,66	0,11
Soins dentaires	42 053	36 567	5 283	198	3	2	0	2,10	0,05
Médecine du travail et dispensaires	5 919	4 887	971	57	3	1	0	0,42	0,07
Radiothérapie	11 323	8 119	2 615	481	106	1	1	2,95	0,26
Médecine nucléaire	3 082	1 873	872	332	5	0	0	1,01	0,33
Laboratoires d'analyses	160	113	47	0	0	0	0	0,01	0,06
Médecine vétérinaire	17 122	14 804	2 278	38	2	0	0	0,67	0,04
Logistique et maintenance (prestataires)	146	77	64	5	0	0	0	0,03	0,19
Autres	13 889	11 260	2 429	195	4	1	0	1,20	0,09
Total	205 195	164 065	37 304	3 515	291	16	4	21,05	0,10

La majorité des travailleurs surveillés est employée dans le secteur de la radiologie médicale : 111 501 travailleurs, soit 59 % de l'effectif total du domaine, pour une contribution de 60 % à la dose collective. Tous les laboratoires ne sont pas encore en mesure de distinguer les données relatives aux activités de radiodiagnostic de celles concernant la radiologie interventionnelle. C'est la raison pour laquelle les données sont regroupées dans la catégorie « Radiologie ». Pour l'année 2010, seuls 6 % des 111 501 travailleurs ont une activité bien identifiée : 2 % en radiodiagnostic et 4 % en radiologie interventionnelle, ce qui montre le chemin restant à parcourir pour fournir des données représentatives concernant ces activités.

Le secteur des soins dentaires représente le deuxième effectif le plus important du domaine médical, soit 20 % des travailleurs, et 10 % de la dose collective.

La médecine vétérinaire représente 8 % des travailleurs du domaine et 3 % la dose collective.

La radiothérapie regroupe la radiothérapie externe, qui utilise principalement des accélérateurs d'électrons, et la curiethérapie, qui utilise des sources scellées (iridium 192 et césium 137). La radiothérapie externe peut également être réalisée par protonthérapie, à Orsay et à Nice. Au total, le secteur de la radiothérapie représente 5,5 % des effectifs du domaine médical surveillés et 15 % de la dose collective du domaine.

La médecine nucléaire met en œuvre des radionucléides de périodes relativement courtes (quelques heures à quelques jours) pouvant conduire à une exposition externe (et parfois interne : Cf. § 4.2.2) des professionnels de santé lors des différentes étapes de leur administration aux patients. 1,5 % des travailleurs du domaine médical appartiennent à ce secteur alors que leur contribution à la dose collective s'élève à 4,8 %. C'est le secteur qui présente la dose externe individuelle moyenne annuelle la plus élevée (0,33 mSv).

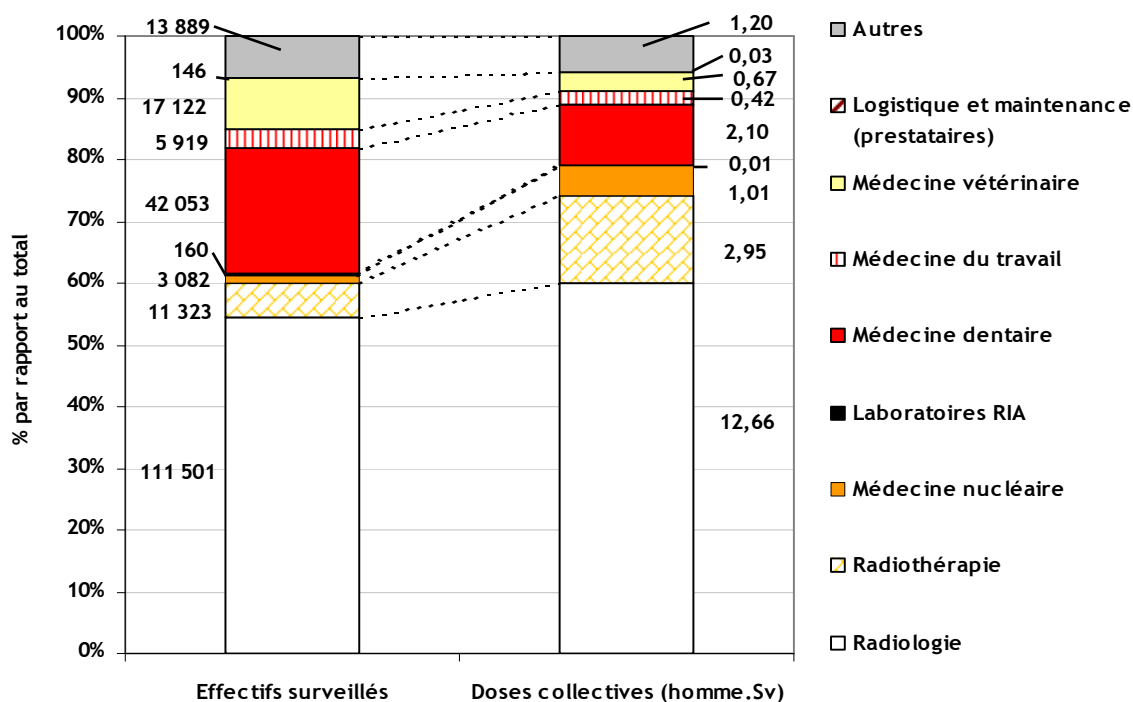


Figure 24 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le domaine médical et vétérinaire en 2010

Contribution des neutrons

L'effectif du domaine médical dont l'exposition aux neutrons est surveillée atteint 3 299 travailleurs et la dose collective correspondante est égale à 29,9 homme.mSv. Près de 90 % de la dose est reçue par des travailleurs du secteur de la radiologie médicale. Les 10 % restants concernent des travailleurs du secteur de la radiothérapie (dont près de 70 % en protonthérapie).

Dosimétrie « corps entier » : évolution sur la période 1996-2010

L'étude de cette évolution permet de distinguer deux périodes différentes (figure 25) : une première période (1996 - 2004) au cours de laquelle l'effectif reste stable alors que la dose collective diminue, ce qui peut refléter un certain progrès dans les pratiques, avec une optimisation de la radioprotection entraînant une diminution progressive des doses reçues. Depuis 2004, l'effectif et les doses collectives augmentent parallèlement, ce qui témoigne de la mise en place d'une surveillance plus large auprès des professionnels de ce domaine.

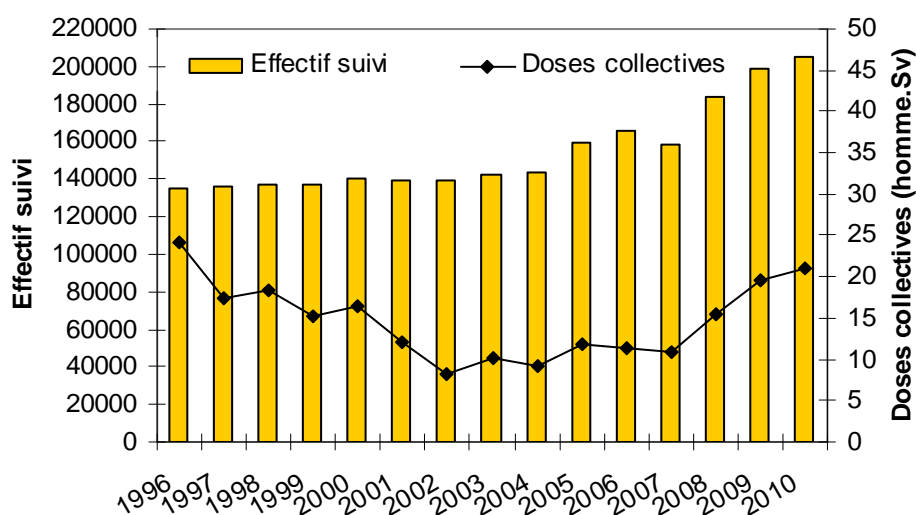


Figure 25 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le domaine des activités médicales et vétérinaires (période 1996-2010)

4.2.1.2. Dosimétrie des extrémités

Dosimétrie par bague

58 % des travailleurs bénéficiant d'un suivi dosimétrique aux extrémités portent un dosimètre bague, soit 6 037 travailleurs. La dose totale enregistrée par ces porteurs est de 60,36 Sv.

La figure 26 illustre la répartition des doses enregistrées en 2010 suivant les secteurs d'activité de ce domaine. C'est le secteur de la radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) qui contribue majoritairement aux expositions des extrémités, avec 62 % des travailleurs suivis et 56 % de la dose totale.

Dosimétrie au poignet

En 2010, la dose totale enregistrée dans les domaines des activités médicales et vétérinaires à l'aide de la dosimétrie au poignet concerne 4 431 travailleurs et s'élève à 5,89 Sv. Le secteur de la radiologie (sans distinction du radiodiagnostic et de la radiologie interventionnelle) contribue pour 74 % à l'effectif surveillé et pour 73 % à la dose totale enregistrée.

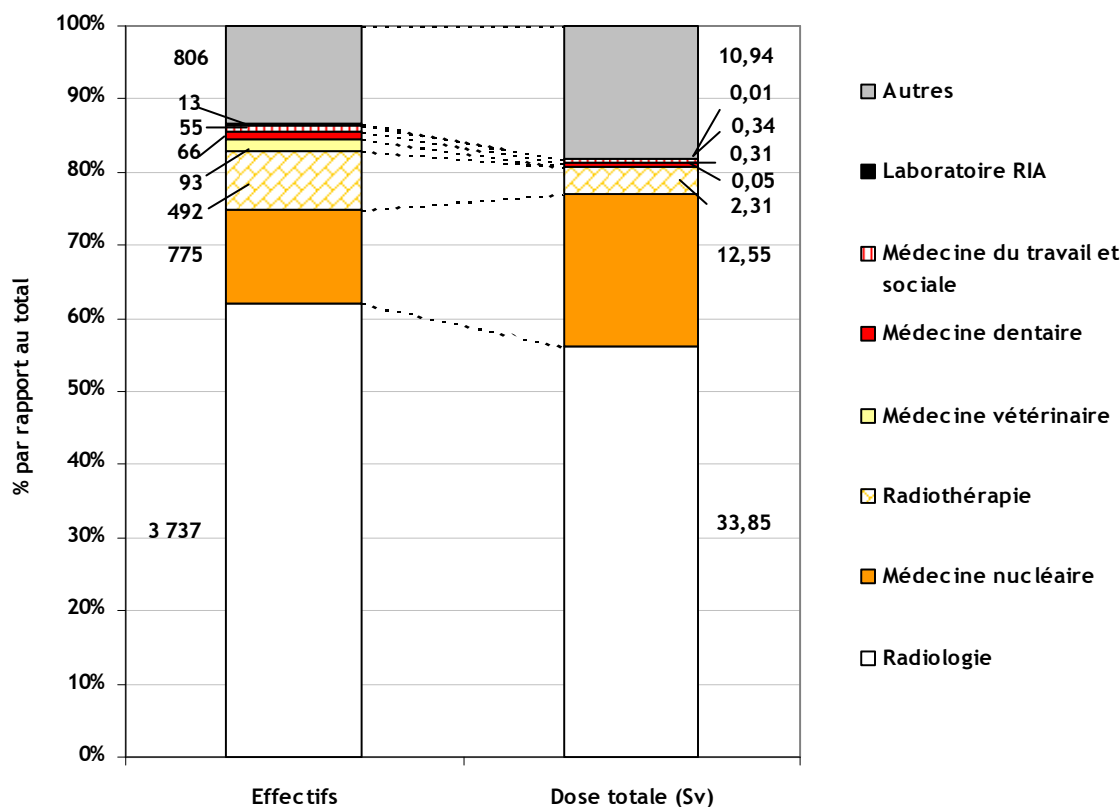


Figure 26 - Répartition des doses enregistrées pour la dosimétrie badge en 2010 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires

4.2.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

4.2.2.1. Surveillance de routine

99 % des examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxiques urinaires et concernent des travailleurs de médecine nucléaire, de laboratoires d'analyses médicales avec radio-immunologie et de médecine vétérinaire (tableau 12). Il est rappelé que le nombre d'examen positifs correspond au nombre d'examen dont le résultat est supérieur au seuil d'enregistrement (en pratique, ce seuil est souvent pris égal à la limite de détection, mais il peut parfois être plus élevé).

Tableau 12 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxiques urinaires dans le domaine médical et vétérinaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examen	Nombre d'examen considérés positifs
Médecine nucléaire	1 650	12 085	37
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	650	1 380	0
Médecine vétérinaire	16	40	0
Total	2 226	13 505	37

Le tableau 13 présente la répartition des 143 examens anthroporadiométriques réalisés en 2010, pour les trois quarts en médecine nucléaire.

Tableau 13 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine médical et vétérinaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Médecine du travail et dispensaires	33	34	2
Médecine nucléaire	109	109	28
Total	142	143	28

4.2.2.2. Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou d'une surveillance de contrôle ont été très majoritairement faits dans le secteur de la médecine nucléaire, où 10 % des examens se sont révélés positifs (tableau 14).

Tableau 14 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine médical et vétérinaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Médecine nucléaire	68	180	18
Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie	14	15	1
Autres activités (domaine médical)	1	24	0
Total	83	219	19

4.2.2.3. Estimations dosimétriques

En 2010, 11 travailleurs du secteur de la médecine nucléaire ont fait l'objet d'une estimation de dose interne. Pour 3 d'entre eux, la dose engagée a été estimée supérieure ou égale à 1 mSv, la dose individuelle maximale enregistrée étant de 14 mSv, reçue au cours d'un incident intervenu lors de la préparation d'un médicament à partir d'une solution d'iode 131.

4.2.3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dosimétrie du corps entier, 4 cas de dépassement de la limite de 20 mSv ont été recensés, avec une dose maximale enregistrée égale à 63 mSv dans le secteur de la radiologie interventionnelle. Les autres cas se répartissent entre la radiologie interventionnelle (3 cas) et la radiothérapie (1 cas). La dose engagée estimée à 14 mSv (§ 4.2.2.3) n'a pas conduit à un dépassement de la limite annuelle réglementaire de 20 mSv, la dose externe du travailleur reçue par ailleurs étant faible.

Concernant la dosimétrie aux extrémités, 4 cas de dépassement de la limite de 500 mSv ont été recensés à l'aide de la dosimétrie par bague pour des travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle (doses comprises entre 542 mSv et 1 242 mSv). Aucun dépassement de la limite de 500 mSv sur la dosimétrie au poignet n'a été enregistré en 2010 dans le domaine des activités médicales et vétérinaires.

4.2.4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2010, 45 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans des installations médicales ont été recensés. Les événements du domaine médical se répartissent selon les secteurs d'activité comme indiqué dans le tableau 15.

Tableau 15 - Répartition des événements « travailleurs » du domaine médical selon les secteurs d'activité

Utilisations médicales et vétérinaires	Nombre d'événements recensés
Radiologie interventionnelle	5
Médecine nucléaire	9
Logistique et maintenance du médical	2
Radiodiagnostic	15
Radiothérapie	8
Soins dentaires	3
Autres	3
Total	45

Sur l'ensemble des événements recensés du domaine médical, seulement 15 des ERP relevant du guide de déclaration de l'ASN ont fait l'objet d'une déclaration portée à la connaissance de l'IRSN :

- 6 ERP concernant l'exposition des travailleurs (2 signalements de dépassement de la dose individuelle annuelle réglementaire, 2 contaminations externes, 1 signalement de dosimétrie individuelle élevée, 1 cas de dépassement de l'objectif de dose individuelle) ;
- 5 ERP concernant la gestion des effluents et des déchets contaminés (rejet non autorisé de radioactivité dans l'environnement, ruptures de canalisations...) ;
- 4 ERP concernant la gestion, l'utilisation ou le transport de sources radioactives (source orpheline, livraison non conforme, perte de source, vol de source).

Les événements non déclarés à l'autorité ou déclarés mais dont l'IRSN ignore la déclaration, ont été comptabilisés comme des événements non déclarés. En effet, l'IRSN peut être alerté d'un événement par le biais de ses actions d'expertises. Les événements recensés dans le domaine médical sont pour 67 % des alertes de dépassement des limites annuelles réglementaires de dose.

4.2.5. CONNAISSANCE DES POSTES DE TRAVAIL

L'IRSN est régulièrement sollicité pour des études de poste de travail dans le domaine médical. Certaines de ces études, souvent complexes, présentent un réel intérêt pédagogique pour l'ensemble du secteur concerné. Parmi les 20 études de poste réalisées par l'IRSN en 2010 dans le domaine médical, 18 études concernent le secteur du radiodiagnostic, 1 étude concerne le secteur de la radiologie interventionnelle et 1 le secteur de la médecine nucléaire. Ces deux dernières études sont détaillées ci-après.

4.2.5.1. Analyse des postes de travail et détermination du zonage en neuroradiologie interventionnelle

En neuroradiologie, le nombre de procédures thérapeutiques (ou interventionnelles) guidées en temps réel par imagerie est en constante augmentation. En 2010, l'IRSN a mené une étude dont l'objectif était d'évaluer l'exposition du personnel d'un service de neuroradiologie interventionnelle aux rayonnements ionisants émis lors de la production d'images, et de suggérer le classement radiologique de ce personnel. Des mesures dosimétriques autour des dispositifs radiologiques ont abouti à la proposition d'un zonage radiologique tridimensionnel. Le but de ce travail a été également d'émettre des recommandations afin de diminuer la dose reçue par le personnel.

La délimitation des zones de travail a été établie pour les trois salles du service dans le cas des deux interventions les plus pénalisantes et les plus fréquemment réalisées. Les mesures dosimétriques autour des dispositifs ont abouti à la proposition d'un zonage radiologique tridimensionnel. La figure 27 présente à titre d'exemple le zonage obtenu pour une vertébroplastie dans la salle monoplan : l'ensemble de la salle est classée en zone contrôlée jaune à l'exception d'un espace pouvant atteindre 1,40 m de diamètre autour du patient dont l'intérieur est classé en zone contrôlée orange.

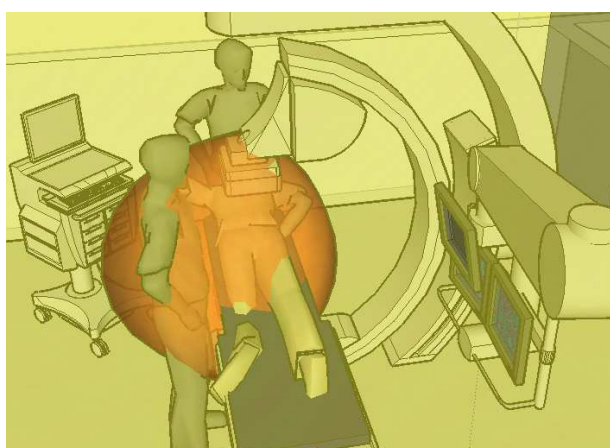


Figure 27 - Zonage tridimensionnel de la salle monoplan lors d'une vertébroplastie

S'agissant de l'exposition des personnels, cette étude a porté sur les 4 acteurs intervenant lors de ces procédures (neuroradiologue, médecin et infirmière anesthésistes et manipulateur en radiologie) pour lesquels des mesures « corps entier » ont été réalisées à l'aide de dosimètres radiophotoluminescents. Des dosimètres thermoluminescents ont également été utilisés pour évaluer

les expositions au niveau des extrémités et du cristallin chez les neuroradiologues et les anesthésistes. La cartographie dosimétrique des locaux a été établie à partir de mesures réalisées à l'aide d'une chambre d'ionisation grand volume (1 800 cm³) de type Radcal.

Les valeurs de doses estimées sont très disparates en fonction des neuroradiologues (tableau 16). Les doses évaluées de certains radiologues, relativement élevées (cf. neuroradiologue 1), conduisent à suggérer leur classement en catégorie A. S'agissant de la dose équivalente au cristallin, il convient de souligner que celles-ci sont toutes supérieures à 20 mSv, nouvelle valeur limite préconisée par la CIPR dans sa recommandation du 21 avril 2011 (§ 2.2). L'IRSN a suggéré de classer les autres personnels, qui reçoivent des doses plus faibles et toutes inférieures à 1 mSv, en catégorie B.

Tableau 16 - Doses équivalentes et dose corps entier (en mSv) reçues par six neuroradiologues du service pendant une année

	Neuroradiologue n°					
	1	2	3	4	5	6
Cristallins [Hp (3)]	115	70	77	30	43	48
Pouce droit [Hp (0,07)]	38	20	16	6	8	8
Index droit [Hp (0,07)]	138	75	67	26	34	38
Pouce gauche [Hp (0,07)]	107	53	29	11	10	7
Index gauche [Hp (0,07)]	185	94	117	47	73	78
Corps entier [Hp (10)]	7,8	4,5	3	1,1	1,3	1,5

Ce travail a été l'occasion d'observer un certain nombre de dysfonctionnements qui ont conduit l'IRSN à émettre des recommandations sur les pratiques. Leur respect devrait conduire à une diminution de la dose reçue par les opérateurs d'un facteur égal à 4 ou 5.

4.2.5.2. Apport du réaménagement partiel d'un service de médecine nucléaire vis-à-vis de la radioprotection

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact du réaménagement partiel d'un service de médecine nucléaire considéré représentatif de la pratique nationale en termes d'activité. L'aménagement du service a concerné la salle de radiopharmacie et la salle de ventilation pulmonaire, afin de prendre en compte des contraintes imposées par l'utilisation récente de nouveaux radionucléides, dans le respect de l'arrêté du 30 octobre 1981.

Des mesures de contamination atmosphérique et surfacique ont été réalisées avant et après le réaménagement, respectivement au moyen de prélèvements d'air sur 3 jours analysés sur site grâce aux moyens mobiles de l'IRSN, et d'analyses de frottis réalisés en différents points du service. L'évolution de la dose efficace et des doses aux extrémités du personnel a également été étudiée.

La contamination atmosphérique, principalement due à l'iode 131, semble avoir été enrayerée par le réaménagement. Les nouveaux locaux présentent des taux de renouvellement d'air satisfaisants. L'étude de la contamination surfacique a permis de mettre en évidence des pratiques non adaptées et de définir de nouvelles procédures. En termes de doses reçues par le personnel, le gain apporté par le réaménagement concerne essentiellement les doses aux extrémités, avec une diminution

globale d'un facteur 2,5 pour un manipulateur à plein temps occupant successivement tous les postes, sachant que ce résultat est à moduler selon l'opérateur. Cette étude a mis en évidence le rôle primordial du facteur humain, et rappelle, au-delà des aménagements des locaux, l'importance du respect des procédures et de la formation régulière du personnel pour la bonne application des principes de la radioprotection.

4.2.6. PARTICIPATION AU PROJET ORAMED : « OPTIMISATION DE LA RADIOPROTECTION DU PERSONNEL MEDICAL »

Financé par l'Union européenne dans le cadre du 7ème PCRD et coordonné par le centre belge d'étude de l'énergie nucléaire SCK-CEN, le projet ORAMED, auquel a participé l'IRSN, s'est achevé à l'issue de trois années de travail consacrées à quatre thèmes : l'évaluation des doses aux extrémités et au cristallin en radiologie interventionnelle, le développement d'un dosimètre pour le cristallin, l'utilisation de dosimètres opérationnels en radiologie interventionnelle et, enfin, l'amélioration de la dosimétrie d'extrémités en médecine nucléaire. Dans le cadre du projet, des dizaines de milliers de données concernant les doses reçues aux extrémités et au cristallin des opérateurs ont été recueillies auprès de plusieurs services de radiologie interventionnelle et de médecine nucléaire en Europe.

Les principaux résultats ont été présentés à l'occasion d'un workshop organisé à Barcelone, au mois de janvier 2011. Les exposés et publications scientifiques présentés lors de ce workshop, montrent que la base de données constituée au bout de trois ans permet de mieux comprendre la distribution des doses reçues en fonction des pratiques des opérateurs et d'évaluer ainsi la pertinence des moyens mis en œuvre pour les protéger. Par ailleurs, un nouveau dosimètre cristallin a été développé et testé avec succès en situation de travail. Ce dosimètre est commercialisé sous la dénomination EYE-DTM (figure 28) par la Société RADCARD, partenaire du projet. Enfin, les performances de huit dosimètres opérationnels ont été étudiées pour des types de champs de rayonnements caractéristiques de la radiologie interventionnelle.

Des recommandations visant à améliorer la radioprotection des travailleurs dans le domaine médical ont été élaborées dans le cadre d'ORAMED et éditées sous formes de fiches disponibles sur le site internet du projet (<http://www.oramed-fp7.eu/>).



Figure 28 - Dosimètre passif EYE-DTM (RADCARD) dédié à la mesure de la dose au cristallin, développé dans le cadre du projet européen ORAMED

4.3. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS DU DOMAINE NUCLEAIRE

Le domaine nucléaire regroupe les activités civiles ou militaires liées au nucléaire. L'industrie nucléaire civile recouvre l'ensemble des étapes du cycle du combustible (principalement réalisées chez AREVA NC, agents et prestataires), l'exploitation des réacteurs de production d'électricité (EDF, agents et prestataires), ainsi que les activités de transport effectuées dans ce domaine (transport de matières dangereuses de classe 7, matières radioactives). Les activités militaires recouvrent la propulsion nucléaire, l'armement et les activités de la Division des Affaires Militaires du CEA.

La méthode utilisée pour établir les bilans statistiques est décrite aux paragraphes 3.1 et 3.2.

4.3.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

4.3.1.1. Dosimétrie « corps entier »

Dosimétrie « corps entier » : analyse suivant les activités professionnelles

Exposition externe totale (photons et neutrons)

L'effectif total surveillé dans le domaine nucléaire est de 65 353 travailleurs et la dose collective correspondant à cet effectif est égale à 23,39 homme.Sv. La dose individuelle annuelle maximale dans ce domaine est égale à 17 mSv.

Les doses individuelles moyennes (tableau 17) les plus importantes en 2010 concernent la fabrication du combustible nucléaire (0,86 mSv) et les opérations de logistique et de maintenance réalisés par les prestataires (0,80 mSv). Cette dernière valeur est de 0,48 mSv si l'on inclut également la catégorie « Autres » dans laquelle sont classées de nombreuses entreprises prestataires (comparable à la valeur de 0,53 mSv obtenue par ce même calcul en 2009).

Les travailleurs suivis par le SPRA se répartissent entre les secteurs de la propulsion nucléaire et de l'armement ainsi que dans la catégorie « Autres ». Ils représentent 5,8 % de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution de 3,3 % à la dose collective de ce domaine.

Tableau 17 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans le domaine nucléaire

	Effectif surveillé	< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15	15 à 20	≥ 20	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (mSv)
Propulsion nucléaire - équipage	2 317	762	1 501	54	0	0	0	0,49	0,21
Armement	2 475	1 569	872	33	1	0	0	0,34	0,14
Extraction et traitement de l'uranium	118	16	94	8	0	0	0	0,04	0,30
Enrichissement et conversion	861	558	214	89	0	0	0	0,25	0,29
Fabrication du combustible	1 897	1 085	440	289	83	0	0	1,64	0,86
Réacteurs et production d'énergie	21 036	14 064	5 035	1 920	15	2	0	5,68	0,27
Retraitement	3 163	2 868	269	26	0	0	0	0,11	0,04
Démantèlement	2 186	1 886	232	67	1	0	0	0,24	0,11
Logistique et maintenance (prestataires)	7 849	3 959	2 269	1 411	210	0	0	6,23	0,79
Transports	1 118	826	280	12	0	0	0	0,10	0,09
Autres	22 333	16 833	3 549	1 637	310	4	0	8,27	0,37
Total	65 353	44 426	14 755	5 546	620	6	0	23,39	0,36

La figure 29 illustre la répartition des effectifs et des doses collectives dans les principaux secteurs du nucléaire.

Il apparaît que plus d'un tiers des travailleurs du nucléaire n'ont pas pu être classés selon leur secteur d'activité, par manque d'information.

Cette figure montre également le faible nombre de travailleurs classés dans les activités de logistique et de maintenance réalisées par les prestataires (7 849 en 2010 contre 22 721 en 2009). Ce constat laisse à penser qu'une grande partie d'entre eux se retrouvent cette année dans la catégorie « Autres », sans qu'il soit cependant possible de le vérifier, et illustre bien la difficulté encore trop importante d'accéder à l'information sur l'activité des travailleurs bénéficiant d'une surveillance individuelle de l'exposition externe. Même si les deux types de dosimétrie ne sont pas directement comparables du fait de conditions de port des dosimètres différentes, la comparaison entre les données de dosimétrie opérationnelle extraites de SISERI et les données de dosimétrie passive présentées ici met en évidence des écarts de l'ordre de 70 % en termes d'effectif et de 80 % en termes de dose collective pour cette catégorie de travailleurs. Les données de dosimétrie opérationnelle extraites de SISERI confirment par ailleurs les valeurs publiées par EDF. L'étude

approfondie à l'aide de SISERI des secteurs d'activité attribués à certains prestataires du nucléaire par les organismes assurant leur surveillance montre effectivement des erreurs de classification : on retrouve des prestataires classés dans l'industrie non nucléaire (dans les activités de contrôle non destructif notamment mais également souvent dans les autres activités non détaillées de ce domaine), et, de façon plus surprenante, dans le domaine médical (secteur de la radiologie, voire de la radiothérapie). Une part importante de la dose collective des prestataires du nucléaire est donc potentiellement attribuée à tort à ces autres secteurs et une meilleure utilisation de la nomenclature des activités apparaît indispensable pour obtenir des données fiables quant à l'exposition des travailleurs selon leur activité.

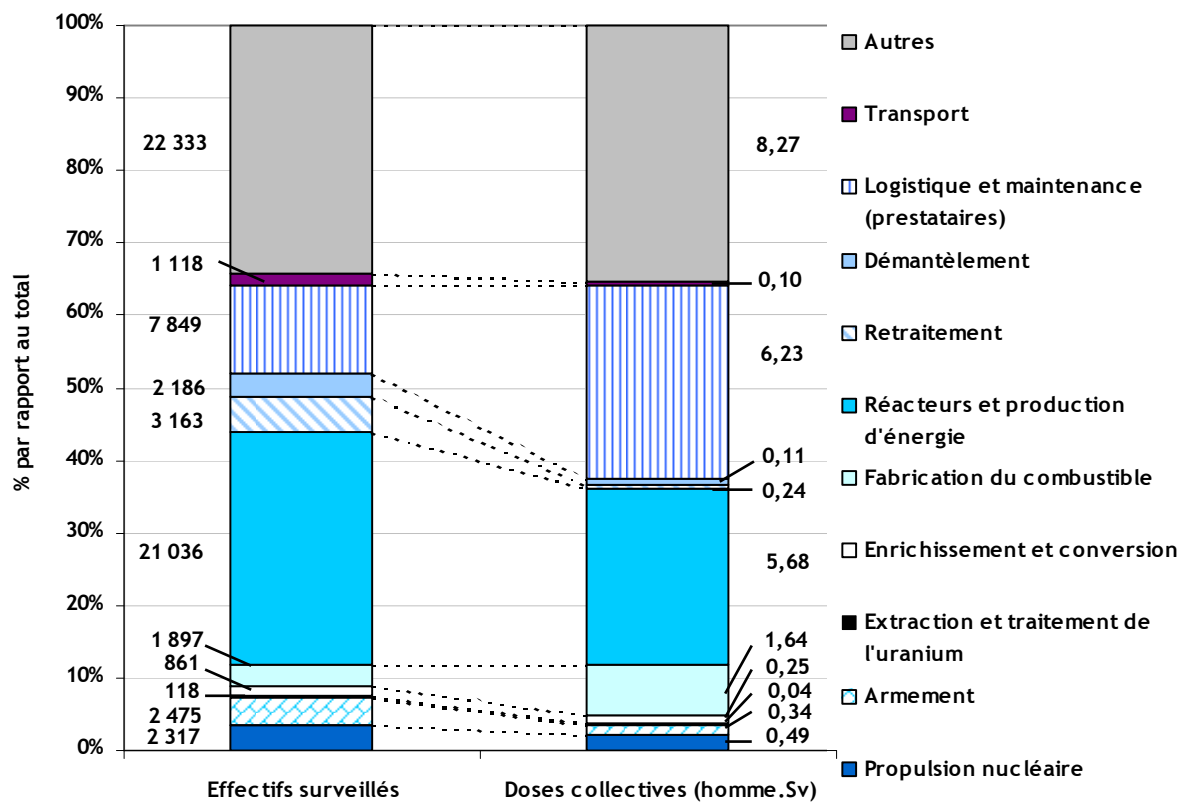


Figure 29 - Répartition des effectifs surveillés et des doses collectives dans le nucléaire civil et militaire en 2010

Contribution des neutrons

20 901 travailleurs du domaine nucléaire ont une surveillance de l'exposition aux neutrons et la dose collective correspondante est égale à 1,4 homme.Sv. La figure 30 présente la répartition des effectifs surveillés et des doses collectives « neutrons » enregistrées.

67 % de la dose collective neutron est enregistrée dans le secteur de la fabrication du combustible, pour la quasi-totalité (99,7 %) au sein de l'établissement Melox.

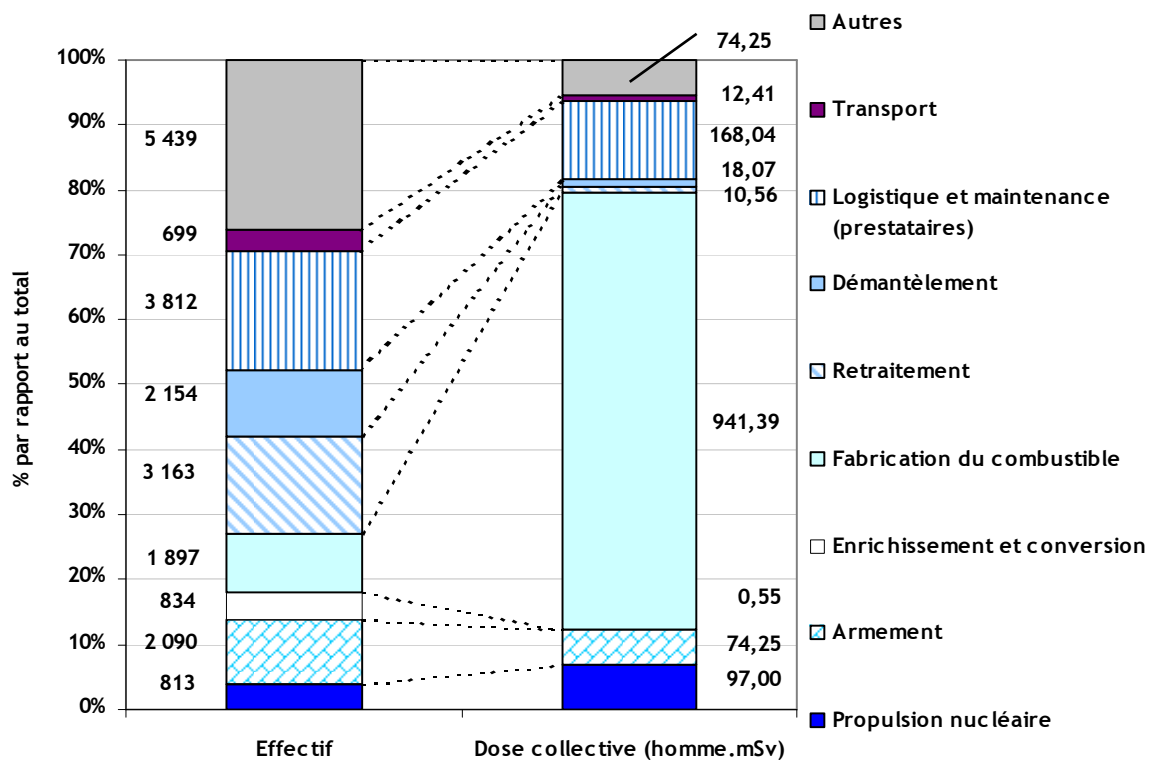


Figure 30 - Répartition des doses enregistrées en 2010 pour la dosimétrie neutron dans le nucléaire civil et militaire (hors réacteurs de production d'énergie)

Toutefois, ce bilan n'inclut pas les doses reçues par les travailleurs du secteur des réacteurs et de la production d'énergie, le laboratoire assurant la surveillance des travailleurs d'EDF n'ayant pas été en mesure de fournir cette information lors de la collecte des données pour l'établissement du bilan annuel. Il n'a pas non plus été possible d'extraire cette information du système de façon exhaustive (il apparaît notamment que pour certaines centrales nucléaires, aucune mesure des neutrons n'est transmise à SISERI).

En revanche, l'information concernant le suivi de ces personnels par dosimétrie opérationnelle a été extraite de SISERI (tableau 18). Alors que 15 % d'entre eux bénéficient d'une dosimétrie opérationnelle « neutrons », la contribution à la dose collective totale de ces agents est inférieure à 3 %.

Tableau 18 - Dosimétrie opérationnelle des agents EDF employés dans les centrales nucléaires (données 2010 extraites de SISERI)

	Nombre de travailleurs suivis	Dose collective (homme.mSv)
Exposition aux photons et aux neutrons	15 995	6 538
Exposition aux neutrons seule	2 477	180

Dosimétrie « corps entier » : évolution sur la période 1996-2010

La figure 31 présente l'évolution de l'effectif suivi et de la dose collective entre 1996 et 2010 dans le nucléaire.

Il est possible de distinguer deux périodes dans l'évolution de la dose collective : jusqu'en 2006, la dose diminue globalement pendant que l'effectif suivi connaît des variations plus aléatoires ; à partir de 2006, la tendance est à une augmentation de la dose collective associée à l'augmentation de l'effectif suivi, sauf en 2010 avec l'enregistrement d'une diminution de la dose collective. Cette baisse s'explique en partie par le fait qu'un certain nombre d'opérations de maintenance dans les centrales nucléaires d'EDF (dont plusieurs visites décennales) ont été reportées à 2011.

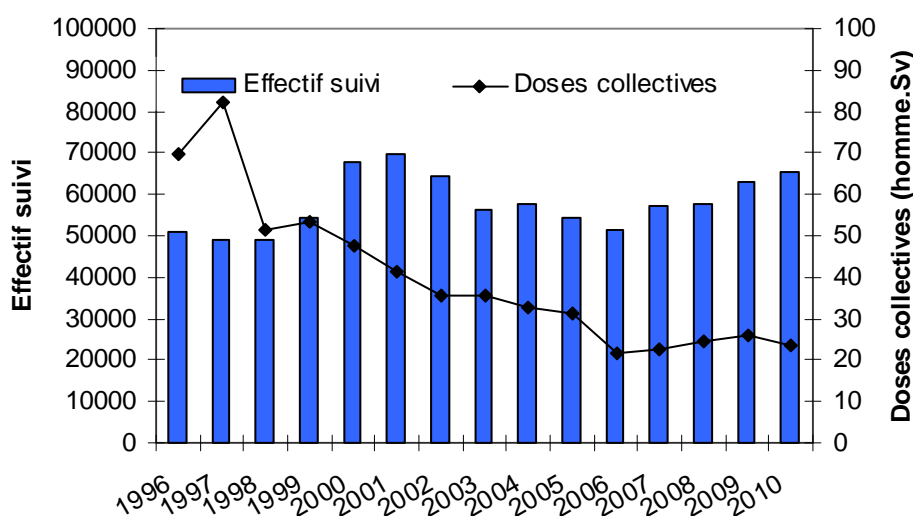


Figure 31 - Evolution de l'effectif surveillé et de la dose collective dans le nucléaire civil et militaire (période 1996-2010)

4.3.1.2. Dosimétrie des extrémités

Dosimétrie par bague

Dans le domaine nucléaire, 21 % des effectifs surveillés par une dosimétrie des extrémités en 2010 portent un dosimètre bague. Cette proportion a évolué de façon notable ces dernières années car elle était de 2 % en 2008 et de 17 % en 2009.

La dose totale enregistrée pour les 1 282 travailleurs suivis par une dosimétrie par bague atteint 1,80 Sv, dose partagée entre les prestataires intervenant dans les opérations de logistique et de maintenance (à hauteur de 45 % de la dose totale) et les travailleurs dont le secteur d'activité n'est pas connu (catégorie « Autres »), à hauteur de 55 %, parmi lesquels se trouvent probablement de nombreux prestataires (§ 4.3.1.1). C'est à la suite d'un incident concernant un prestataire que la dose maximale de 646 mSv a été enregistrée, ce qui constitue un cas de dépassement de la limite annuelle de dose.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 4 900 travailleurs suivis par une dosimétrie au poignet atteint 55,9 Sv, répartis principalement entre les travailleurs intervenant dans la fabrication du combustible nucléaire (à hauteur de 56 % de la dose totale) et les prestataires intervenant dans les opérations de logistique et de maintenance (à hauteur de 41 % de la dose totale). La dose maximale enregistrée au poignet dans le domaine nucléaire est de 356 mSv et concerne un prestataire intervenant dans les opérations de logistique et de maintenance.

4.3.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

Le tableau 19 indique dans quel secteur d'activité les établissements intervenant dans le domaine du nucléaire ont été classés par les organismes assurant la surveillance de l'exposition interne de leurs travailleurs. Le classement qui en résulte reste macroscopique.

Tableau 19 - Secteur d'activité de rattachement des établissements intervenant dans le domaine du nucléaire (exposition interne)

Secteur d'activité		Etablissements
1501000	Propulsion Nucléaire	AREVA TA
1502000	Armement	CEA DAM Valduc
1504000	Enrichissement et reconversion	AREVA NC Pierrelatte, EURODIF (en 2010, pas encore de suivi à SET GB II), COMURHEX Pierrelatte, COMURHEX Malvesi, CEA Pierrelatte
1505000	Fabrication du combustible	FBFC Romans, MELOX
1506000	Réacteurs de production d'énergie	EDF
1507000	Retraitement	AREVA NC La Hague
1508000	Démantèlement des installations nucléaires	AREVA NC Marcoule, AREVA NC Cadarache, STMI Cadarache, CEA Fontenay-aux-Roses, CEA Grenoble
1509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables	CENTRACO
1510000	Logistique et maintenance (prestataires)	AREVA Intercontrôle, AREVA NP Jeumont SA, entreprises extérieures d'AREVA NC Marcoule, de MELOX, du CEA DAM Ile-de-France, du CEA Cadarache
1511000 (*)	Installations de recherche liées au nucléaire	CEA Cadarache, CEA DAM Ile-de-France, CEA Marcoule, CEA Saclay, IRSN Cadarache
1201000	Transport (nucléaire)	TN international
1512000	Autres (nucléaire)	AREVA NC siège, AREVA NP Chalon, SGN Marcoule, SGN St-Quentin, STMI Pierrelatte, SOCATRI

(*) Ce secteur est comptabilisé dans le domaine de la recherche (§ 4.5.2.) et non dans le domaine nucléaire ; la ligne est conservée dans ce tableau pour donner l'information sur les établissements concernés.

4.3.2.1. Surveillance de routine

Dans le nucléaire, les risques de contamination proviennent principalement des produits de fission et d'activation, des actinides et du tritium. Dans les installations en amont et en aval du cycle, la mesure anthroporadiométrique pulmonaire permet un suivi des personnels soumis au risque de contamination par des émetteurs α (^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu , ...). Les analyses fécales sont pratiquées essentiellement pour la mesure des actinides. D'après les données collectées pour établir le bilan 2010, il apparaît que ce sont les examens anthroporadiométriques qui sont majoritairement réalisés dans le domaine nucléaire (figure 32).

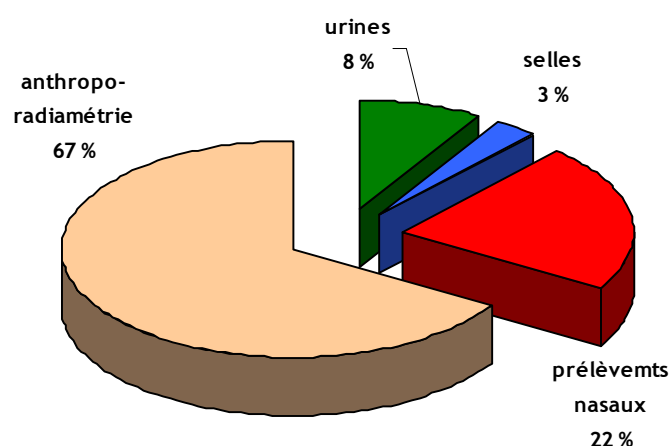


Figure 32 - Répartition des analyses réalisées dans le domaine du nucléaire (surveillance de routine)

Le tableau 20 présente les résultats de la surveillance faite par analyses radiotoxiques urinaires, en 2010. Les deux secteurs effectuant les plus grands nombres de ces analyses sont l'armement, avec plus de 30 % des analyses et le démantèlement des installations nucléaires (21 %). Le nombre d'analyses positives représente 0,2 % du nombre total d'analyses radiotoxiques urinaires. Il est rappelé que le nombre d'examen positif correspond au nombre d'examen dont le résultat est supérieur au seuil d'enregistrement (en pratique, ce seuil est souvent pris égal à la limite de détection, mais il peut parfois être plus élevé).

Le tableau 21 présente les statistiques concernant les analyses radiotoxiques des selles réalisées en 2010. Les deux secteurs effectuant les plus grands nombres de ces analyses sont les activités d'enrichissement et de conversion, avec près de 30 % des analyses et la prestation en logistique et maintenance des installations (20 %). Le nombre d'analyses positives représente 0,5 % du nombre total d'analyses radiotoxiques fécales.

Tableau 20 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine du nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Propulsion nucléaire	223	598	0
Armement	1 644	7 550	35
Enrichissement et conversion	973	3 981	0
Fabrication du combustible	23	30	0
Réacteurs de production d'énergie	85	682	0
Retraitement	2 568	4 155	11
Démantèlement des installations nucléaires	1 062	4 989	3
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	735	1 931	0
Autres activités (nucléaire)	355	124	0
Total	7 668	24 040	49

Tableau 21 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques des selles dans le domaine du nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Propulsion nucléaire	30	60	0
Armement	1 644	1 231	21
Enrichissement et conversion	639	2 581	0
Fabrication du combustible	760	837	8
Réacteurs de production d'énergie	248	611	0
Retraitement	512	709	8
Démantèlement des installations nucléaires	607	1 050	9
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	1 255	1 752	0
Autres activités (nucléaire)	4	4	0
Total	5 699	8 835	46

Le tableau 22 présente les statistiques concernant les analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux réalisées en 2010. Le nombre important d'analyses observé s'explique par le fait qu'il s'agit d'une surveillance systématique en sortie de locaux classés en zone contrôlée.

Tableau 22 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques de prélèvements nasaux dans le domaine du nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Armement	1 644	48 803	6
Enrichissement et conversion	319	122	0
Réacteurs de production d'énergie	239	2 179	0
Démantèlement des installations nucléaires	193	6 546	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	170	4 858	0
Total	2 565	62 508	6

Le tableau 23 présente les statistiques concernant les examens anthroporadiométriques réalisés en 2010. Pour 86 %, ces examens sont réalisés par EDF sur les sites des centrales nucléaires.

Le tableau 24 présente le bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF en 2010. L'évolution du nombre d'examens d'une année sur l'autre dépend en grande partie des variations de l'activité au sein de chaque site (arrêts de tranche, activités de démantèlement,...). Le secteur du retraitement est le deuxième secteur réalisant le plus grand nombre de ce type d'examens, dont bénéficient l'ensemble des secteurs du nucléaire.

Tableau 23 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine du nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Transport (nucléaire)	62	63	0
Propulsion nucléaire	2 902	3 506	0
Armement	1 787	1 727	0
Enrichissement et conversion	62	13	0
Fabrication du combustible	205	205	0
Réacteurs de production d'énergie (*)	nd (**)	162 604	nd (**)
Retraitement	6 062	8 875	24
Démantèlement des installations nucléaires	2 777	3 708	0
Effluents, déchets et matériaux récupérables	177	172	0
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	3 873	4 710	3
Autres activités (nucléaire)	947	2 631	0
Total	nd	188 214	nd

(*) Cette ligne inclut également les prestataires intervenant dans les centrales nucléaires d'EDF.

(**) nd : données non disponibles. Dans les centrales nucléaires d'EDF, 468 examens anthroporadiométriques ont été enregistrés comme positifs, tous types de surveillance confondus.

Tableau 24 - Bilan détaillé des mesures anthroporadiométriques réalisées par EDF pour les travailleurs des centrales nucléaires suivis en 2010

ANTHROPORADIOMETRIE EDF - année 2010	
Nombre de travailleurs EDF	16 441
Nombre de travailleurs d'entreprises extérieures	20 314
Nombre total d'examens effectués	170 635
pour surveillance de routine :	162 604
pour surveillance spéciale ou de contrôle :	4 720
pour surveillance de chantier :	3 360
Détail par centrale nucléaire (toutes surveillances)	Nombre d'examens (***)
BELLEVILLE	10 997 (+ 35 %)
BLAYAIS	10 339 (- 9 %)
BUGEY	15 488 (+ 56%)
CATTENOM	8 188 (- 23 %)
CHINON	12 386 (- 3 %)
CHOOZ	8 739 (- 1 %)
CIVAUX	5 138 (- 20 %)
CRUAS	9 277 (+ 6 %)
DAMPIERRE	11 846 (+ 5 %)
FESSENHEIM	5 624 (- 42 %)
FLAMANVILLE	5 998 (- 2 %)
GOLFECH	5 657 (+ 49 %)
GRAVELINES	14 410 (+ 3 %)
NOGENT	6 918 (- 6 %)
PALUEL	8 682 (- 16 %)
PENLY	4 761 (- 37 %)
SAINT ALBAN	5 607 (- 1 %)
SAINT LAURENT	5 565 (- 24 %)
TRICASTIN	12 590 (- 16 %)
CREYS MALVILLE	1 974 (+ 14 %)
BRENNILIS	451 (- 8 %)

(***) Evolution par rapport à 2009

Parmi les 170 635 examens anthroporadiométriques réalisés au sein des centrales nucléaires d'EDF, toutes surveillances confondues, 468 examens ont eu un résultat supérieur à la limite de détection, dont 111 ont entraîné des investigations complémentaires.

4.3.2.2. Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou de contrôle (tableau 25) se répartissent majoritairement entre les travailleurs des centrales nucléaires d'EDF (48 % des examens) et ceux du secteur du retraitement (25 % des examens).

Tableau 25 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine du nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Propulsion nucléaire	5	3	0
Armement	204	585	25
Enrichissement et conversion	353	185	0
Fabrication du combustible	109	425	4
Réacteurs de production d'énergie (*)	(**)	4 775	(**)
Retraitement	106	2 540	34
Démantèlement des installations nucléaires	68	201	9
Effluents, déchets et matériaux récupérables	10	19	6
Logistique et maintenance du nucléaire (prestataires)	130	521	1
Autres activités (nucléaire)	151	785	1
Total	1 440 (**)	10 039	86 (**)

(*) Cette ligne inclut également les prestataires intervenant dans les centrales nucléaires d'EDF.

(**) Données non disponibles concernant les travailleurs des centrales nucléaires. Le seul chiffre connu est le nombre d'examens anthroporadiométriques enregistrés comme positifs pour ces travailleurs, tous types de surveillance confondus : 468 examens.

4.3.2.3. Estimations dosimétriques

Dans le nucléaire, 512 travailleurs ont fait l'objet d'une estimation de la dose engagée. Pour 14 d'entre eux, une dose supérieure ou égale à 1 mSv a été enregistrée : 5 travailleurs dans le secteur de l'armement, 4 travailleurs dans le secteur de la fabrication du combustible, 3 travailleurs du démantèlement, 1 travailleur dans le retraitement et 1 travailleur dans les opérations de logistique et de maintenance (prestataire). La dose maximale s'élève à 10 mSv et concerne un prestataire.

Par ailleurs, une évaluation dosimétrique a été réalisée pour 1 travailleur d'une centrale nucléaire d'EDF conduisant à une dose engagée estimée inférieure à 1 mSv.

4.3.3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dose efficace, aucun dépassement de la limite annuelle de 20 mSv n'a été enregistré dans le domaine nucléaire en 2010.

Une dose supérieure à la limite annuelle de 500 mSv pour les extrémités a été enregistrée au doigt d'un prestataire dans le cadre d'un incident (§ 4.3.4), avec une dose égale à 646 mSv.

4.3.4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

En 2010, 142 événements de radioprotection (ERP) ont été recensés concernant des personnes travaillant dans le domaine nucléaire (tableau 26), très majoritairement au sein du secteur des réacteurs de production d'énergie (67 %) et dans une moindre mesure dans des installations de recherche liées au nucléaire (13 %).

Tableau 26 - Répartition des événements ayant impliqué des travailleurs dans les différents secteurs d'activité du nucléaire

Domaine nucléaire	Nombre d'événements recensés
Enrichissement et conversion	9
Installations de recherche liées au nucléaire	18
Propulsion nucléaire	1
Réacteurs de production d'énergie	94
Retraitement	6
Fabrication du combustible	6
Effluents, déchets et matériaux récupérables	2
Transport de matières radioactives (*)	2
Autres	4
Total	142

(*) Sont considérés comme événements de transport de matières radioactives, les événements qui sont intervenus, soit au cours du transport, soit au cours des opérations de chargement, de déchargement ou de contrôle avant et après le transport.

Plus de 96 % (137 événements) des événements recensés dans le domaine nucléaire ont été déclarés :

- au titre du guide ASN 2005 concernant les INB et le transport de matières radioactives selon :
 - les critères de déclaration au titre de la radioprotection (125 événements) ;
 - les critères de déclaration au titre de la sûreté ou de l'environnement, mais avec un impact sur la radioprotection (6 événements) ;
 - les critères de déclaration au titre du transport (2 événements) ;
- au titre du guide ASN n°11 concernant les critères de déclaration hors INB et transport (1 événement). Il s'agit d'un événement de radioprotection survenu dans une centrale nucléaire ;

- au titre du guide de déclaration des événements survenus dans les INBS (3 événements).

Cinq événements n'ont pas fait l'objet d'une déclaration connue de l'IRSN. Il s'agit de signalements de dépassement de limite réglementaire de dose.

Parmi les événements déclarés, 4 événements ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES, ils ont respectivement concerné :

- une rupture de confinement lors d'une intervention en boîte à gants occasionnant une contusion et une contamination de l'avant bras droit de l'intervenant (Fabrication du combustible) ;
- une blessure d'un opérateur en zone spécialement réglementée orange lors de travaux d'assainissement. Les analyses radiotoxicologiques ont permis d'évaluer que le quart de la limite individuelle de dose avait été dépassé (Installations de recherche liées au nucléaire) ;
- une contamination α sur la tenue de travail de deux opérateurs en sortie de zone contrôlée. Cependant les résultats des prélèvements nasaux et des analyses radiotoxicologiques se sont avérés négatifs (Installations de recherche liées au nucléaire) ;
- la détection d'une contamination vestimentaire, en sortie de site. Le niveau d'activité de la contamination vestimentaire a entraîné une exposition au niveau du pied de l'intervenant. L'évaluation de la dose aux extrémités, à partir de facteurs de sécurité pénalisants, a conduit à une valeur d'équivalent de dose maximale inférieure au quart de la limite réglementaire fixée à 500 mSv (Réacteurs de production d'énergie).

Un événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES. En effet, lors d'un contrôle de propreté réalisé en fond de piscine du bâtiment combustible du réacteur 4 de la centrale nucléaire de Chinon, un intervenant a été irradié à la main en ramassant puis en manipulant une pièce métallique activée. L'intervenant a reçu une dose « corps entier » et une dose aux cristallins inférieures au dixième de la limite annuelle réglementaire. Cependant, la limite de dose individuelle annuelle réglementaire aux extrémités a été dépassée (§ 4.3.1.2).

La répartition des ERP concernant les INB, déclarés selon les critères du guide ASN 2005, montre que 38 % d'entre eux relèvent du critère « zonage » et que 29 % n'ont pas été déclarés selon un critère précis mais au titre du critère 10 (tableau 27).

Les événements relatifs à la propreté radiologique concernent la dispersion de contamination en zones contrôlées, la contamination des zones non contrôlées et des voiries, ainsi que la découverte de contamination en sortie de site.

Les 48 événements recensés au titre du critère 7 du guide ASN 2005 recouvrent :

- 2 défauts de classement de zones,
- 4 découvertes de points chauds non conformes ou non identifiés,
- 17 défauts de balisage,

- 25 écarts relatifs aux conditions d'accès en zone, dont la répartition plus détaillée est présentée sur la figure 33. Dans leur grande majorité, il s'agit en fait de franchissements de zone.

Tableau 27 - Evénements du domaine nucléaire en fonction des critères de l'annexe 7 du guide de déclaration ASN concernant les INB et le transport de matières radioactives

Critères de déclaration radioprotection INB	Nombre d'événements recensés
1- Dépassement d'une limite de dose individuelle (réel ou potentiel)	2
2- Dépassement du quart d'une limite de dose individuelle (réel)	1
3- Propreté radiologique	19
4- Analyse de radioprotection formalisée	5
5- Malveillance	1
6- Source	11
7- Zonage	48
8- Systèmes de surveillance radiologique	1
9- Contrôle périodique appareil de surveillance radiologique	1
10- Tout autre écart significatif pour l'ASN ou l'exploitant	36
Total	125

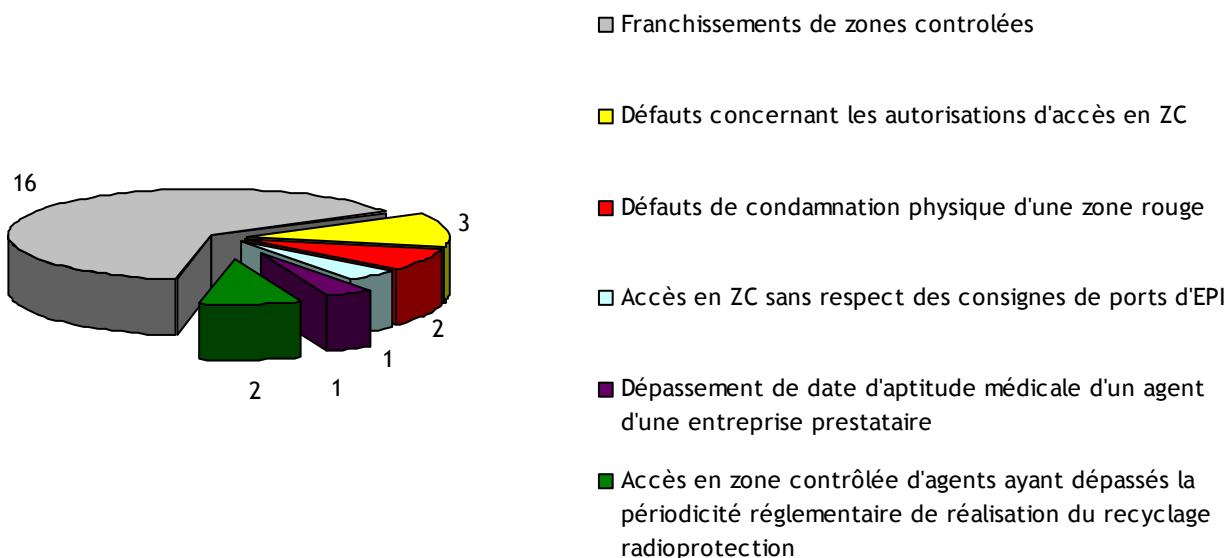


Figure 33 - Répartition des écarts relatifs aux conditions d'accès en zone

4.4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS DU DOMAINE INDUSTRIEL (NON NUCLEAIRE)

L'industrie non nucléaire regroupe toutes les activités industrielles hors nucléaire concernées par l'usage des rayonnements ionisants : contrôles non destructifs (gammagraphie), étalonnage, irradiation industrielle, fabrication de produits radiopharmaceutiques et autres activités utilisant des sources radioactives telles que les humidimètres et les gamma-densitomètres, les jauges d'épaisseur ou de niveau, les ioniseurs, etc.

La méthode utilisée pour établir les bilans statistiques est décrite aux paragraphes 3.1 et 3.2.

4.4.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

4.4.1.1. Dosimétrie « corps entier »

Dosimétrie « corps entier » : analyse suivant les activités professionnelles

Exposition externe totale (photons et neutrons)

En 2010, 32 276 travailleurs de l'industrie non nucléaire ont totalisé une dose collective de 16,44 homme.Sv. La dose individuelle annuelle moyenne pour ce domaine est de 0,51 mSv. La dose individuelle annuelle maximale, égale à 345 mSv, a été enregistrée dans le secteur du contrôle non destructif et constitue un cas de dépassement de la limite réglementaire.

Le tableau 28 présente la répartition des données collectées suivant les secteurs d'activité de ce domaine. L'industrie non nucléaire est le domaine où l'activité professionnelle des travailleurs surveillés est la moins bien connue : 74 % des travailleurs n'ont pas pu être classés suivant la nomenclature des activités (à hauteur de 72 % de la dose collective dans ce domaine). 24 % des travailleurs sont classés dans le secteur du contrôle non destructif (utilisation de gammagraphes, de générateurs X ou de jauges industrielles), contribuant à hauteur de 27 % à la dose collective. Les 2 % restants se répartissent entre la production et le conditionnement de radio-isotopes, les opérations de logistiques et de maintenance et le soudage par faisceau d'électrons, sans toutefois que les effectifs associés puissent être considérés représentatifs de ces secteurs d'activité.

Rappelons qu'il est probable qu'une fraction non négligeable de la dose collective attribuée au domaine de l'industrie non nucléaire soit en réalité reçue par des travailleurs d'entreprises classées dans ce domaine mais qui interviennent aussi en sous-traitance des exploitants nucléaires.

Une dose supérieure à 20 mSv a été enregistrée pour trois travailleurs (§ 4.4.3). La dose la plus élevée est égale à 345 mSv et concerne un travailleur du secteur du contrôle non destructif (utilisation de gammagraphes et générateurs X).

Pour chaque secteur d'activité, les statistiques civiles et militaires ont été regroupées. Les travailleurs suivis par le SPRA sont classés dans les secteurs du contrôle, de la logistique et de la maintenance, ainsi que dans la catégorie « Autres ». Ils représentent 3 % de l'effectif total de

l'industrie non nucléaire, avec une contribution à hauteur de 1,3 % de la dose collective de ce domaine.

Tableau 28 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans l'industrie non nucléaire

	Effectif surveillé	< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15	15 à 20	≥ 20	Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (mSv)
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	5 993	3 694	1 325	791	178	3	2	4,46	0,74
Contrôles : utilisation de gammagraphes et générateurs X	1 717	1 142	559	16	0	0	0	0,21	0,12
Contrôle : jauges industrielles	70	69	1	0	0	0	0	0,00	0,00
Soudage par faisceau d'électron	32	25	5	1	1	0	0	0,01	0,47
Production et conditionnement de radio-isotopes	345	276	58	10	1	0	0	0,05	0,16
Logistique et maintenance (prestataires)	270	65	196	9	0	0	0	0,07	0,27
Autres	23 849	16 450	4 783	2 106	496	13	1	11,63	0,49
Total	32 276	21 721	6 927	2 933	676	16	3	16,44	0,51

Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a concerné 6 706 travailleurs de l'industrie non nucléaire en 2010, avec une dose collective associée de 41,7 homme.mSv (0,042 homme.Sv). Là encore, la grande majorité de ces travailleurs (85 %) ne sont pas classés suivant leur secteur d'activité.

Dosimétrie « corps entier » : évolution sur la période 1996-2010

La figure 34 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire entre 1996 et 2010.

Les effectifs plus importants observés entre 2004 et 2008 s'expliquent par le fait que les travailleurs non classés étaient inclus dans les effectifs de l'industrie non nucléaire. Depuis l'introduction de la nouvelle nomenclature en 2009, ce n'est plus le cas. Même si cette nouvelle classification ne permet pas encore de détailler précisément les statistiques par secteur d'activité dans ce domaine, les statistiques obtenues grâce à sa mise en place montrent que l'effectif de l'industrie non nucléaire et la dose collective associée sont très probablement assez stables sur la période 1996-2010.

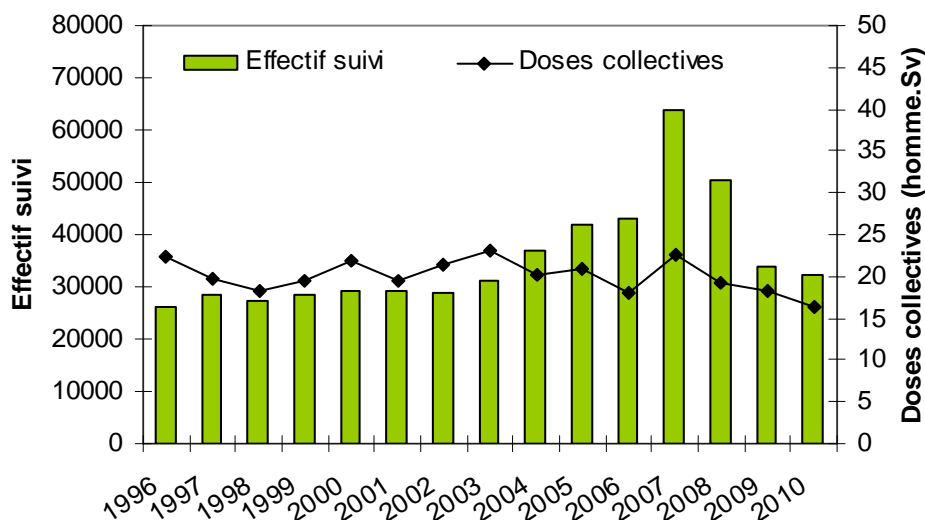


Figure 34 - Evolution de l'effectif surveillé et des doses collectives dans l'industrie non nucléaire (période 1996-2010)

4.4.1.2. Dosimétrie des extrémités

Dosimétrie par bague

Dans l'industrie non nucléaire, 52 % des effectifs surveillés par dosimétrie des extrémités en 2010 portent un dosimètre bague. Cette proportion est stable sur les dernières années (57 % en 2008 et 51 % en 2009).

La dose totale enregistrée pour les 1 252 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 1,80 Sv, dose reçue à 93 % par des travailleurs dont le secteur d'activité n'est pas connu. Les travailleurs identifiés comme intervenant dans le secteur du contrôle ont reçu les 7 % restants.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée pour les 1 159 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,65 Sv. 78 % des travailleurs sont non classés, 15 % sont des travailleurs du secteur du contrôle non destructif.

4.4.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

4.4.2.1. Surveillance de routine

L'industrie non nucléaire est le domaine où sont pratiqués le moins d'examens de surveillance de l'exposition interne. Ceci s'explique par le peu d'activités industrielles mettant en jeu des sources non scellées. Au total, 477 examens ont été réalisés en 2010, qui se répartissent entre les analyses radiotoxicologiques urinaires (84 %) et les examens anthroporadiométriques (16 %). Les tableaux 29 et 30 détaillent la répartition de ces examens par secteur d'activité. Les examens anthroporadiométriques sont plutôt réalisés dans le secteur de la production de radio-isotopes, alors

que les analyses radiotoxicologiques urinaires sont plutôt utilisées dans les secteurs du contrôle non destructif. Il est rappelé que le nombre d'examens positifs correspond au nombre d'examens dont le résultat est supérieur au seuil d'enregistrement (en pratique, ce seuil est souvent pris égal à la limite de détection, mais il peut parfois être plus élevé).

Tableau 29 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans l'industrie non nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Contrôles utilisant des sources de rayonnement	3	21	0
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	47	152	1
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	52	90	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	39	136	5
Total	141	399	6

Tableau 30 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans l'industrie non nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Production et conditionnements de radio-isotopes	53	74	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	2	4	0
Total	55	78	0

4.4.2.2. Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle

La majorité des examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou de contrôle concernent les prestataires réalisant des opérations de logistique ou de maintenance, mais les examens considérés comme positifs sont principalement observés dans les secteurs du contrôle (tableau 31).

Tableau 31 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans l'industrie non nucléaire

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Contrôles utilisant des sources de rayonnement	8	38	36
Production et conditionnements de radio-isotopes	1	3	0
Détection géologique (Well logging)	1	1	0
Logistique et maintenance dans l'industrie non nucléaire (prestataires)	18	200	0
Autres activités (industrie non nucléaire)	9	16	8
Total	37	258	44

4.4.2.3. Estimations dosimétriques

Dans l'industrie non nucléaire, 6 travailleurs du secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements ont fait en 2010 l'objet d'un calcul de dose engagée, aucun résultat ne dépassant la valeur de 1 mSv.

4.4.3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Concernant la dose efficace, 3 cas de dépassement de la limite de 20 mSv ont été recensés, avec une dose maximale enregistrée égale à 345 mSv dans le secteur du contrôle utilisant des sources de rayonnements, qui constitue la dose externe individuelle la plus importante enregistrée en 2010 sur l'ensemble des travailleurs, tous domaines confondus. A noter que le contexte particulier de la mesure de cette dose permet de suspecter une exposition du dosimètre seul, sans exposition du travailleur, même s'il n'appartient pas à l'IRSN de conclure à ce sujet.

4.4.4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Au cours de l'année 2010, 22 événements de radioprotection (ERP) concernant des personnes travaillant dans le domaine des usages industriels des rayonnements ionisants et des services ont été recensés par l'IRSN. Dans le tableau 32, il apparaît que près de la moitié d'entre eux se sont produits dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes et un quart dans le secteur des contrôles utilisant des sources de rayonnements.

Tableau 32 - Répartition des événements du domaine industriel non nucléaire suivant les secteurs d'activité

Usages Industriels et services	Nombre d'événements recensés
Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens	1
Contrôles utilisant des sources de rayonnements	6
Logistique et maintenance dans le secteur industriel	1
Production et conditionnement de radio-isotopes	9
Stérilisations	1
Autres usages industriels et services hors transport	4
Total	22

Parmi les 22 événements recensés, l'IRSN a eu connaissance de 17 déclarations, dont :

- 6 au titre de la radioprotection selon le guide ASN 2005 relatif aux critères de déclaration des événements dans les INB et le transport de matières radioactives ;
- 7 au titre de la radioprotection selon le guide ASN n° 11 concernant les critères de déclaration des événements hors INB et hors transport ;
- 2 au titre des critères sûreté du guide ASN 2005, compte tenu de leur impact sur la radioprotection ;

- 2 événements liés au transport dans le secteur de la production et du conditionnement de radio-isotopes.

4.4.5. CONNAISSANCE DES POSTES DE TRAVAIL

En 2010, 6 études de postes réalisées par l'IRSN ont concerné l'industrie non nucléaire, dont une dans le secteur du contrôle pour la sécurité des personnes et des biens détaillée ci-après.

A la demande du constructeur, l'étude concernait le scanner corporel BS 16HR DV[®], conçu pour être utilisé en service des douanes. L'objectif était d'évaluer la dose délivrée aux personnes contrôlées, et de caractériser la dose ambiante autour de l'installation pour chaque mode d'acquisition proposé.

Pour évaluer les risques d'exposition autour de l'appareil, des mesures de rayonnement diffusé ont été réalisées tout autour de celui-ci, à 1 m du centre du tunnel en présence d'un fantôme anthropomorphe (milieu diffusant) simulant une personne contrôlée (figure 35).

Les doses mesurées autour du dispositif à une distance de 1 m en modes « scanner thoracique » et « scanner corps entier » sont de l'ordre de 30 nSv par acquisition, et de l'ordre du double pour une acquisition en mode « dual » qui correspond à une acquisition simultanée selon les deux modes. Les personnels réalisant le contrôle se trouvent en pratique à distance de l'installation. Seules les personnes du public sont potentiellement exposées par l'appareil.



Figure 35 - Fantôme anthropomorphe équivalent tissu de type ALDERSON-RANDO lors d'un contrôle avec le Body Scanner BS 16HR DV[®]

4.5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS DU DOMAINE DE LA RECHERCHE

Le domaine des activités de recherche et d'enseignement recouvre les travaux effectués au sein de laboratoires pharmaceutiques, de centres universitaires, de laboratoires des organismes nationaux de recherche (INSERM, INRA, CNRS,...), ainsi que dans des établissements suivis par le SPRA. Les travaux de recherche du CEA sont en majorité effectués pour l'industrie nucléaire. Cependant une partie d'entre eux concerne d'autres domaines : sciences du vivant, étude des matériaux, applications médicales, applications militaires, etc.

La méthode utilisée pour établir les bilans statistiques est décrite aux paragraphes 3.1 et 3.2.

4.5.1. BILAN DES EXPOSITIONS EXTERNES

4.5.1.1. Dosimétrie « corps entier »

Dosimétrie « corps entier » : analyse suivant les activités professionnelles

Exposition externe totale (photons et neutrons)

Les 14 174 travailleurs surveillés dans le domaine de la recherche en 2010 totalisent une dose collective de 0,56 homme.Sv. Les doses individuelles annuelles sont très faibles dans ce domaine, avec une valeur moyenne de 0,04 mSv. La dose individuelle annuelle la plus élevée enregistrée est égale à 44 mSv, et constitue un dépassement de la limite réglementaire annuelle.

Le tableau 33 présente la répartition des données collectées suivant les secteurs d'activité de ce domaine.

Pour chaque secteur d'activité, les données de suivi des travailleurs des activités civiles et militaires ont été regroupées. Les travailleurs suivis par le SPRA se retrouvent exclusivement dans les secteurs de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement. Ils représentent 4,7 % de l'effectif total du domaine nucléaire, avec une contribution de 1,3 % à la dose collective.

Contribution des neutrons

La surveillance de l'exposition aux neutrons a concerné 3 624 travailleurs du domaine de la recherche en 2010, avec une dose collective associée de 16,2 homme.mSv (0,016 homme.Sv). La grande majorité de ces travailleurs (80 %) interviennent dans les activités de recherche liées aux installations nucléaires ; ils reçoivent 60 % de la dose collective neutron de ce domaine.

Tableau 33 - Surveillance de l'exposition externe (toutes composantes de rayonnements) dans le domaine de la recherche

	Effectif surveillé	Dose (mSv)						Dose collective (homme.Sv)	Dose moyenne (mSv)
		< seuil	seuil à 1	1 à 6	6 à 15	15 à 20	≥ 20		
Etablissements de recherche (hors recherche médicale et nucléaire)	2 873	2 615	253	3	1	0	1	0,09	0,03
Centres d'enseignement et de formation	157	156	1	0	0	0	0	0,00	0,00
Recherche et enseignement : autres	6 585	5 697	872	16	0	0	0	0,29	0,04
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	111	76	35	0	0	0	0	0,01	0,08
Recherche liée aux installations nucléaires	4 448	4 108	309	31	0	0	0	0,16	0,04
Total	14 174	12 652	1 470	50	1	0	1	0,56	0,04

Dosimétrie « corps entier » : évolution sur la période 1996-2010

La figure 36 présente l'évolution de l'effectif suivi et des doses collectives associées sur la période 1996-2010.

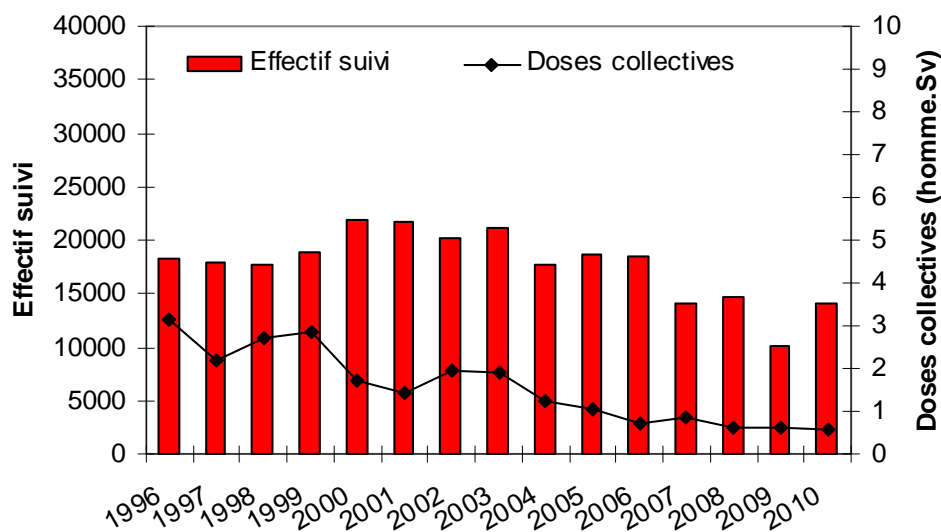


Figure 36 - Evolution de l'effectif surveillé et des doses collectives dans le domaine de la recherche (période 1996-2010)

La nette diminution de l'effectif suivi entre 2008 et 2009 s'explique par l'introduction de la nouvelle nomenclature des activités (précédemment l'ensemble des travailleurs du CEA étaient inclus dans le domaine de la recherche). L'augmentation entre 2009 et 2010 reflète le fait que l'ensemble des activités de recherche sont incluses dans ce domaine : recherche médicale, recherche liée au nucléaire, autre recherche et enseignement. Dans ce domaine où les doses sont relativement moins élevées que dans les autres, ces évolutions n'ont pas un grand impact sur la dose collective associée.

4.5.1.2. Dosimétrie des extrémités

Dosimétrie par bague

44 % des effectifs surveillés par dosimétrie des extrémités en 2010 portent un dosimètre bague. Cette proportion est en nette diminution par rapport à 2008 (70 %) et 2009 (67 %). La dose totale enregistrée auprès des 728 travailleurs bénéficiant d'une dosimétrie par bague atteint 1,06 Sv. Cette dose est reçue à 60 % par des travailleurs du secteur de la recherche (hors médical et nucléaire) et de l'enseignement, et à 37 % par des travailleurs exerçant des activités de recherche au sein des installations nucléaires. Les travailleurs identifiés comme intervenant dans le secteur de la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique ont reçu les 3 % restants.

Dosimétrie au poignet

La dose totale enregistrée auprès des 943 travailleurs suivis par dosimétrie au poignet atteint 0,09 Sv, dont un tiers est reçu au sein des établissements de recherche (hors médical et nucléaire).

4.5.2. BILAN DES EXPOSITIONS INTERNES

4.5.2.1. Surveillance de routine

Dans le domaine de la recherche, la moitié des examens réalisés dans le cadre de la surveillance de routine sont des analyses radiotoxicologiques urinaires (figure 37), suivies par les examens anthroporadiométriques (39 %).

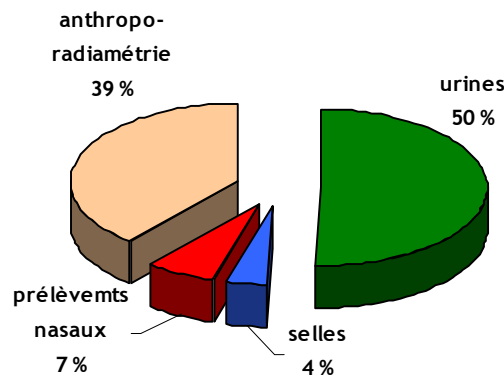


Figure 37 - Répartition des examens réalisés dans le domaine de la recherche (surveillance de routine)

Les analyses radiotoxicologiques urinaires sont mises en œuvre très majoritairement (79 %) dans le secteur des recherches liées au nucléaire (tableau 34). Il est rappelé que le nombre d'examens positifs correspond au nombre d'examens dont le résultat est supérieur au seuil d'enregistrement (en pratique, ce seuil est souvent pris égal à la limite de détection, mais il peut parfois être plus élevé).

Tableau 34 - Surveillance de routine par des analyses radiotoxicologiques urinaires dans le domaine de la recherche

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	374	1 270	1
Installations de recherche liées au nucléaire	1 515	3 881	0
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	95	390	0
Total	1 984	5 541	1

Le tableau 35 présente les statistiques concernant les 4 266 examens anthroporadiométriques. Ils sont presque exclusivement réalisés dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire.

Tableau 35 - Surveillance de routine par des examens anthroporadiométriques dans le domaine de la recherche

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Installations de recherche liées au nucléaire	3 829	4 253	0
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	13	13	0
Total	3 842	4 266	0

4.5.2.2. Surveillance spéciale ou surveillance de contrôle

Les examens réalisés dans le cadre d'une surveillance spéciale ou d'une surveillance de contrôle sont les plus nombreux dans le secteur des installations de recherche liées au nucléaire. Il peut être noté que c'est dans les deux autres secteurs concernés par cette surveillance que sont enregistrés les examens positifs : 8 dans la recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique, et 3 dans le secteur recherche et enseignement (tableau 36).

Tableau 36 - Examens réalisées à la suite d'un incident ou d'une suspicion de contamination (surveillance spéciale ou de contrôle) dans le domaine de la recherche

Secteurs d'activité	Nombre de travailleurs suivis	Nombre total d'examens	Nombre d'examens considérés positifs
Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique	81	142	8
Installations de recherche liées au nucléaire	133	490	0
Recherche (hors médical et nucléaire) et enseignement	9	41	3
Total	223	673	11

4.5.2.3. Estimations dosimétriques

Dans le domaine de la recherche, 3 travailleurs (1 dans le secteur « recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique » et 2 dans le secteur « recherche autre que médicale et nucléaire et enseignement ») ont fait en 2010 l'objet d'un calcul de dose engagée, aucun résultat ne dépassant la valeur de 1 mSv.

4.5.3. DEPASSEMENTS DES LIMITES ANNUELLES REGLEMENTAIRES DE DOSE

Aucun cas de dépassement d'une limite annuelle réglementaire de dose n'a été enregistré dans le domaine de la recherche en 2010.

4.5.4. SUIVI DES EVENEMENTS ET INCIDENTS DE RADIOPROTECTION

Un seul événement a été recensé, survenu dans un établissement de recherche (hors INB) autre que nucléaire et médical. L'événement correspond à la contamination de l'avant bras d'un chercheur. La déclaration a été effectuée sous le critère n° 1 du guide ASN n° 11 : Dépassement d'une limite de dose travailleur (réel ou potentiel).

5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

La surveillance des travailleurs exposés à la radioactivité dite « naturelle renforcée » liée aux matières premières utilisées (industries NORM) ou au radon sur les lieux de travail était toujours en cours d'organisation fin 2010, suite à des évolutions réglementaires récemment intervenues dans ces deux secteurs. En revanche, les personnels navigants soumis à une exposition aux rayonnements cosmiques font l'objet d'un suivi dosimétrique déjà effectif, bien que non exhaustif.

5.1. INDUSTRIES « NORM »

Certaines activités industrielles telles que la production de céramiques réfractaires, la combustion de charbon en centrales thermiques ou encore le traitement de minerais (d'étain, d'aluminium, etc.) mettent en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides (chaînes de filiation de l'uranium et du thorium). La manipulation et la transformation de ces matières qualifiées de « NORM²⁶ » ou « TENORM²⁷ » peuvent entraîner une augmentation notable de l'exposition des travailleurs.

Cette problématique dite des « expositions naturelles renforcées » a été prise en compte pour la première fois au plan réglementaire au travers de dispositions introduites dans le code du travail par le décret 2003-296 et définies plus précisément par l'arrêté du 25 mai 2005 relatif aux activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives. Cet arrêté précise la liste des activités ou des catégories d'activités professionnelles concernées et impose notamment aux chefs d'établissements concernés de réaliser une évaluation des doses pour les travailleurs. A l'instar des autres catégories professionnelles, la surveillance dosimétrique individuelle n'est imposée pour les travailleurs concernés que s'ils sont susceptibles d'être exposés à des doses supérieures à 1 mSv/an.

5.1.1. BILANS DES ETUDES REÇUES

L'IRSN a été chargé de centraliser les résultats des évaluations des doses reçues par les travailleurs réalisées par les industriels dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005, afin d'établir une cartographie des doses reçues en France dans les différents secteurs industriels concernés.

Le nombre total d'études transmises à l'IRSN sur la période 2005-2010 dans le cadre de l'application de l'arrêté du 25 mai 2005 s'élève à 86 (en 2010, l'Institut n'a pas reçu de nouvelle étude). La figure 38 en présente la répartition selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté. Si certaines activités professionnelles, telles que la combustion de charbon, la production ou l'utilisation de zircon et de céramiques réfractaires, sont bien représentées parmi les études reçues, d'autres catégories, telles que le traitement d'eaux souterraines par filtration, les établissements thermaux, la production ou l'utilisation de composés contenant du thorium ou des

²⁶ NORM = Naturally Occurring Radioactive Materials

²⁷ TENORM = Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials

terres rares, n'ont fait l'objet que d'un faible nombre d'études, ce qui soulève la question de la représentativité des données associées vis-à-vis de l'ensemble de l'industrie française.

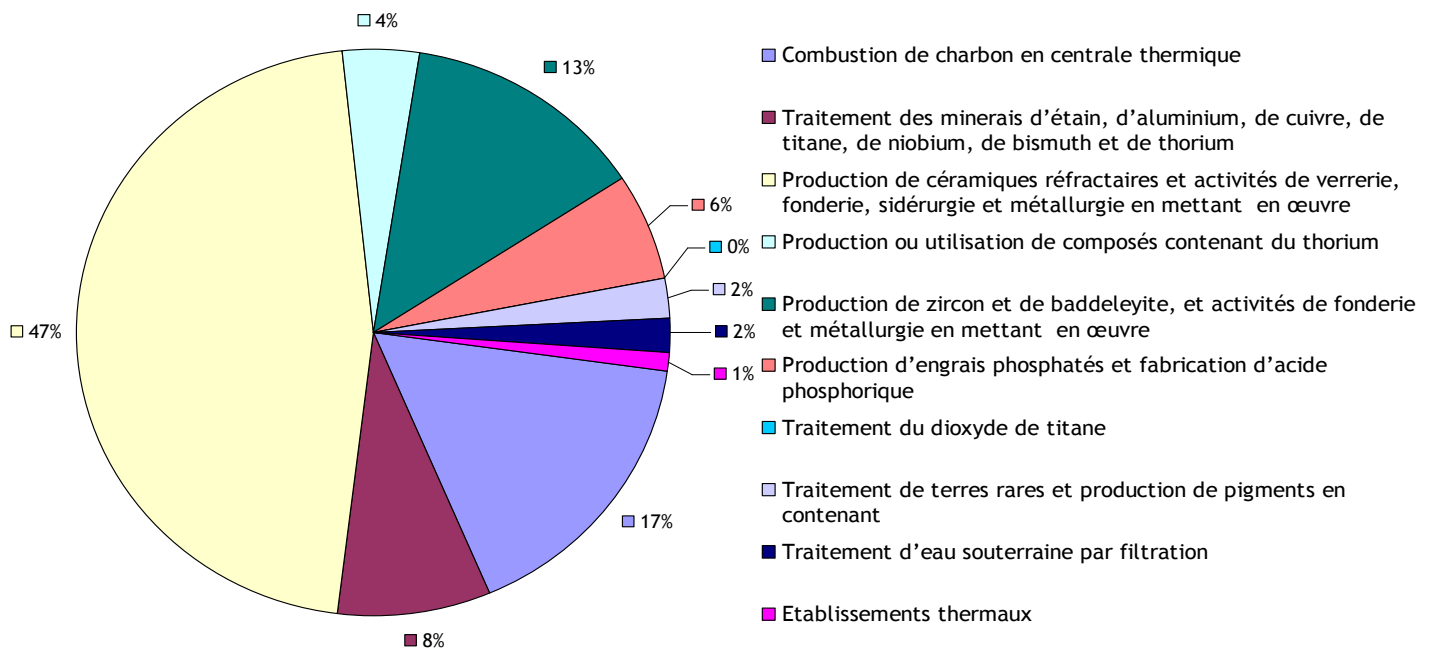


Figure 38 : Répartition des études reçues selon les catégories d'activités professionnelles visées par les dispositions de l'arrêté du 25 mai 2005 (période 2005-2010)

La quasi-totalité des études reçues comprennent des évaluations de dose ; elles portent sur plus de 400 postes de travail identifiés par les industriels. Environ 15% des doses efficaces individuelles calculées pour les travailleurs sont supérieures à la limite de 1 mSv/an au-delà de laquelle les travailleurs doivent être considérés comme « professionnellement exposés » au sens du code du travail et faire l'objet d'une surveillance individuelle dosimétrique et médicale. Des postes de travail dans certaines catégories professionnelles visées par l'arrêté du 25 mai 2005 présentent des doses efficaces individuelles pouvant même être supérieures à 20 mSv/an. Certains postes de travail ont d'ailleurs fait l'objet d'une analyse plus approfondie de la part de l'IRSN. La figure 39 présente la distribution des doses efficaces individuelles calculées par les industriels dans les études transmises, toutes catégories d'activités professionnelles confondues.

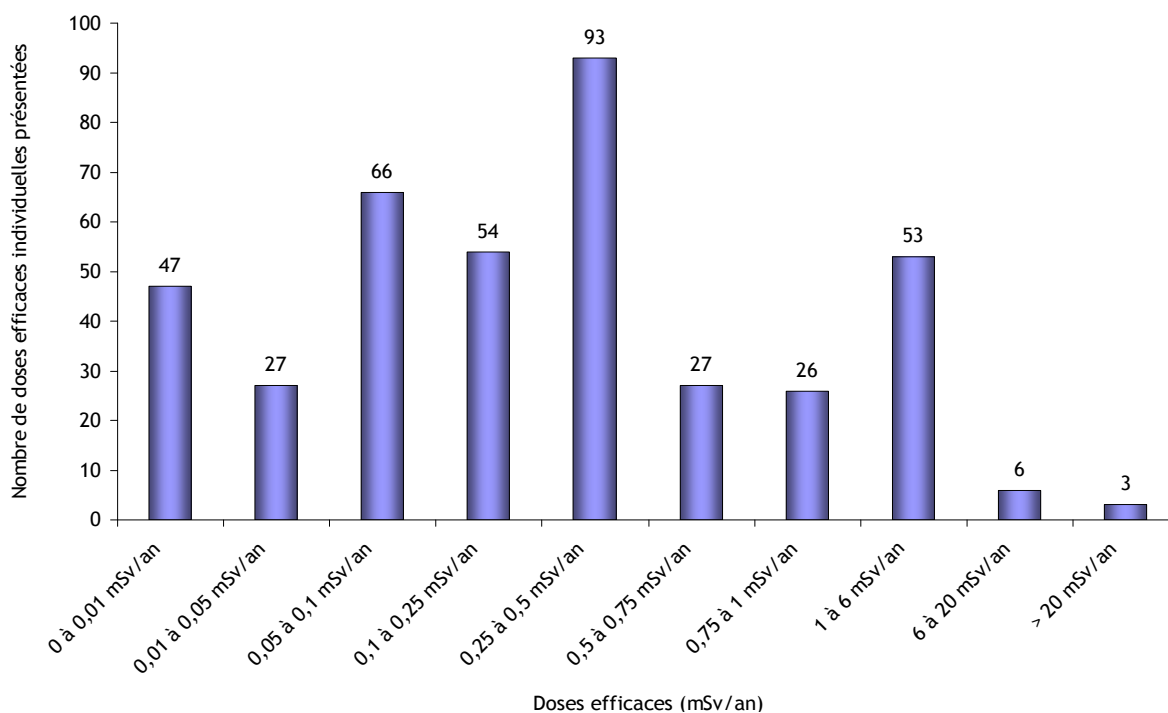


Figure 39 : Distribution des doses efficaces calculées par les industriels pour les travailleurs, toutes catégories d'activités professionnelles confondues (période 2005-2010)

5.1.2. BILAN DES ANALYSES REALISEES PAR L'IRSN

L'arrêté du 25 mai 2005 impose aux industriels, lors de leurs évaluations des doses efficaces pour leurs travailleurs, de tenir compte de l'exposition externe, de l'exposition interne par inhalation de poussières ainsi que de l'exposition interne par inhalation du radon et de ses descendants.

Pour ce qui concerne les doses efficaces individuelles présentées, l'IRSN a mis en évidence l'hétérogénéité des approches retenues par les industriels dans leur prise en compte :

- de l'exposition externe ou de l'exposition interne par inhalation de poussières. Certains industriels n'en tiennent pas compte, même si ces voies peuvent constituer une voie significative d'exposition ;
- de la contribution du radon et de ses descendants dans le calcul de la dose efficace individuelle ;
- de la contribution de la radioactivité naturellement présente dans l'environnement autour de l'installation pour le calcul de la dose efficace individuelle.

Pour ces raisons, il n'est pas possible de comparer directement les doses efficaces individuelles rapportées par les différents industriels.

Pour chaque secteur d'activité, lorsque les données étaient disponibles, l'IRSN a compilé les doses efficaces ajoutées hors radon²⁸, c'est-à-dire en supplément de l'exposition due à la radioactivité naturellement présente dans l'environnement et hors exposition due au radon et à ses descendants. Le tableau 37 présente ces données portant sur environ 250 postes de travail associés à sept

²⁸ La contribution du radon et de ses descendants a été traitée par le biais de l'activité volumique du radon.

catégories d'activités professionnelles. La gamme des doses efficaces ajoutées compilées par l'IRSN ainsi que la part des doses supérieures à 1 mSv/an sont présentées dans ce tableau.

Tableau 37 - Doses efficaces ajoutées compilées par l'IRSN (période 2005-2010)

Catégorie	Nombre de postes de travail	Gamme de doses efficaces ajoutées	Part des doses supérieures à 1 mSv/an
Combustion de charbon en centrale thermique	32	< 1 µSv/an à 0,4 mSv/an	0 %
Traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium	42	50 µSv/an à 4 mSv/an	30 %
Production de céramiques réfractaires et activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie en mettant en œuvre	100	13 µSv/an à 1,5 mSv/an	2 %
Production ou utilisation de composés contenant du thorium	6	< 1 µSv/an à 82 mSv/an	35 %
Production de zircon et de baddeleyite, et activités de fonderie et métallurgie en mettant en œuvre	57	< 1 µSv/an à 2 mSv/an	15 %
Production d'engrais phosphatés et fabrication d'acide phosphorique	6	10 µSv/an à 0,5 mSv/an	0 %
Traitement de terres rares et production de pigments en contenant	3	65 µSv/an à 0,3 mSv/an	0 %

Les doses efficaces ajoutées relatives à la combustion de charbon en centrale thermique, à la production d'engrais phosphatés et à la fabrication d'acide phosphorique ainsi qu'au traitement de terres rares et à la production de pigments en contenant sont toutes inférieures à 1 mSv/an. Notons toutefois le faible nombre de données relatives à ces deux dernières catégories d'activités professionnelles. La quasi-totalité des doses efficaces ajoutées relatives à la production de céramiques réfractaires et aux activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie sont inférieures à 1 mSv/an. Ceci est cohérent avec les données publiées dans la littérature.

De nombreuses doses efficaces ajoutées pour les catégories relatives à la production de zircon et de baddeleyite, aux activités de fonderie et métallurgie en mettant en œuvre, et au traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium sont de l'ordre de 2 mSv/an à 3 mSv/an.

Concernant la catégorie relative à la production ou à l'utilisation de composés contenant du thorium, notons le faible nombre de données disponibles et le fait que deux postes de travail présentent des doses efficaces ajoutées très supérieures à 1 mSv/an : 82 mSv/an et 60 mSv/an. L'inhalation de poussières est la voie d'exposition principale pour ces deux postes de travail. Pour l'un des postes, afin de réduire l'exposition des travailleurs, l'industriel a envisagé d'imposer le port d'équipements de protection individuelle, de procéder périodiquement à l'aspiration des poussières dans les locaux et d'installer un système de filtration de l'air ambiant des locaux. Le second poste de travail est

actuellement suspendu. Dans l'optique où l'industriel souhaiterait redémarrer l'activité à ce poste de travail, l'IRSN a notamment recommandé une surveillance individuelle de routine de l'exposition interne : des analyses radiotoxicologiques d'urines et de selles, ainsi qu'un suivi de l'exposition associée au radon au moyen d'un dosimètre « alpha » individuel.

L'absence en 2010 de la transmission de nouvelles études par les industriels en application de l'arrêté du 25 mai 2005 n'a pas permis d'élargir la connaissance des expositions des travailleurs concernant les activités professionnelles mettant en œuvre des matières contenant naturellement des radionucléides non utilisées en raison de leurs propriétés radioactives. Des études sont pourtant attendues pour différentes catégories professionnelles telles que le traitement d'eaux souterraines par filtration ou les établissements thermaux.

5.2. RADON

Suite à la mise en place de la réglementation relative à l'exposition des travailleurs au radon en 2008 (arrêté du 7 août 2008 et décision n°2008-DC-0110 de l'ASN homologuée par l'arrêté du 8 décembre 2008 qui établit l'obligation de faire des mesures d'ambiance sur les lieux de travail) et conformément à deux décisions de l'ASN (décisions n° 2009-DC-0135 et n° 2009-DC-0136 du 7 avril 2009, homologuées par l'arrêté du 5 juin 2009), l'IRSN a ouvert deux nouveaux cursus de formation destinés aux organismes désirant obtenir les agréments Niveau 1 option A (mesure dans tous types de bâtiment) et Niveau 1 option B (mesure dans les cavités et ouvrages souterrains) de l'ASN. Entre septembre 2009 et décembre 2010, l'IRSN a dispensé 7 sessions de formation N1A auprès de 85 stagiaires issus d'une quarantaine d'organismes et 2 sessions de formation N1B ayant accueilli une vingtaine de stagiaires de 14 organismes.

La formation professionnelle étant l'un des critères majeurs de l'obtention de l'agrément, les premiers agréments pour le mesurage du radon dans les lieux de travail n'ont pu être délivrés par l'ASN que dans le courant de l'année 2010.

Compte tenu des périodes de l'année imposées par les normes AFNOR et les guides méthodologiques publiés par l'IRSN pour la réalisation des mesures, seuls quelques dépistages ont été initiés au cours de l'année 2010.

Dans une démarche d'harmonisation des textes méthodologiques de référence pour le dépistage réglementaire du radon (code de la santé publique et code du travail), l'IRSN a initié en 2010 la transposition des guides méthodologiques relatifs au mesurage du radon dans les bâtiments souterrains²⁹, dans les établissements thermaux³⁰ et dans les cavités et les ouvrages souterrains³¹ en normes AFNOR. Ce travail réalisé dans le cadre d'un groupe de travail de la commission M60.3 du Bureau de Normalisation des Equipements Nucléaires devrait aboutir à la publication de deux normes AFNOR en 2011/2012.

²⁹ Rapport IRSN/DEI/SARG/2009-019

³⁰ Rapport IRSN/DEI/SARG/2008-028

³¹ Rapport IRSN/DEI/SARG/2009-020

5.3. EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS COSMIQUES

Conformément à l'arrêté du 8 décembre 2003, les compagnies aériennes françaises sont tenues d'évaluer l'exposition de leur personnel navigant aux rayonnements cosmiques dès lors que cette exposition est susceptible de dépasser 1 mSv/an et, si tel est le cas, de surveiller ces personnels. Afin d'évaluer les doses efficaces reçues par ces personnels, le système SIEVERT a été mis en service par l'IRSN en 2001, en coopération avec la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), l'Observatoire de Paris et l'Institut Polaire français - Paul Emile Victor (IPEV) (§ 2.2.5).

En 2010, 18 compagnies françaises, dont Air France, avaient un abonnement à SIEVERT, soit 2 compagnies de plus qu'en 2009. Ainsi environ 24 000 personnels navigants ont bénéficié d'un suivi de leur exposition aux rayonnements cosmiques tout au long de l'année.

Parmi ces compagnies, Air France, Air Calédonie International et Unijet ont envoyé à l'IRSN les doses reçues par leurs personnels en 2010. Le tableau 38 présente le bilan réalisé pour l'année 2010 concernant les personnels navigants de l'aviation civile. Selon ce bilan, 15 % des doses individuelles annuelles sont inférieures à 1 mSv, et 85 % des doses sont comprises entre 1 mSv et 5 mSv. Cette répartition des doses est identique à celle observée en 2009 et reste très proche de celle observée dans d'autres pays européens, comme par exemple l'Allemagne ou les Pays-Bas. La dose individuelle annuelle moyenne est de 2,1 mSv (2,2 mSv en 2009). La dose individuelle annuelle maximale atteint 4,9 mSv, soit une valeur légèrement plus faible qu'en 2009 (5,5 mSv).

Tableau 38 - Bilan 2010 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Air Calédonie International et Unijet)

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)					Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5		
19 532	3 009 (15,4 %)	5 939 (30,4 %)	6 081 (31,1 %)	4 188 (21,4 %)	315 (1,6 %)	2,1	4,9

Le tableau 39 présente un bilan des doses reçues par les personnels navigants de l'aviation militaire. A la différence du bilan présenté dans le tableau 37, ces doses ne sont pas le résultat d'un calcul, mais sont issues de mesures de l'équivalent de dose Hp(10) à l'aide de dosimètres individuels (composantes photonique et neutronique).

Tableau 39 - Bilan 2010 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation militaire

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)						Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5	5 à 6		
427	380 (89 %)	46 (11 %)	0	0	0	0	0,4	1,2

6. CONCLUSIONS

La veille permanente en matière de radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants constitue l'une des missions importantes de service public de l'IRSN. Dans ce cadre, l'Institut établit chaque année un bilan des expositions des travailleurs dans tous les secteurs d'activité soumise à un régime d'autorisation ou de déclaration en application du code de la santé publique (industrie nucléaire, industrie non nucléaire, applications médicales et vétérinaires, recherche) ainsi que des travailleurs de la défense et de ceux exposés à des sources naturelles de rayonnement sur leur lieu de travail.

Le bilan des expositions des travailleurs pour l'année 2010 permet de retenir les données marquantes suivantes :

Bilan de la surveillance de l'exposition externe par dosimétrie passive en 2010

- *Effectif total surveillé : 330 618 travailleurs*
- *Dose collective de l'effectif total surveillé : 62,4 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés : 0,19 mSv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne sur l'ensemble des travailleurs surveillés ayant enregistré une dose supérieure au seuil d'enregistrement: 0,82 mSv*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 1 mSv : 13 851 travailleurs (soit 4,2 % de l'effectif total surveillé par dosimétrie passive)*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle > 20 mSv : 8 travailleurs*
- *Effectif ayant enregistré une dose individuelle annuelle aux extrémités > 500 mSv : 5 travailleurs*

Bilan de la surveillance de l'exposition interne en 2010

- *Nombre d'examens de routine réalisés : 310 342 examens (dont moins de 1 % considérés positifs)*
- *Effectif concerné par une estimation dosimétrique : 531 travailleurs*
- *Effectif ayant enregistré une dose efficace engagée > 1 mSv : 15 travailleurs*

Bilan de la surveillance de l'exposition aux rayonnements cosmiques en 2010 (aviation civile)

- *Dose collective pour 19 532 personnels navigants : 41 homme.Sv*
- *Dose individuelle annuelle moyenne: 2,1 mSv*

En comparaison avec les bilans établis les années précédentes, il convient de souligner les points suivants :

- le nombre de travailleurs surveillés par dosimétrie externe passive, tous secteurs d'activité soumise à autorisation ou déclaration confondus, a augmenté de 3,6 % en 2010, ce qui confirme la tendance observée les années précédentes (+7,3 % en 2005, +1,5 % en 2006, +5,7 % en 2007, +4,3 % en 2008 et +4,1% en 2009). Cette progression régulière du nombre de

travailleurs surveillés en France s'inscrit dans la continuité depuis l'année 2003. Au-delà de l'impact de l'évolution réglementaire importante intervenue cette année-là, l'augmentation du nombre de travailleurs recensés dans ce bilan peut traduire également le développement de certaines activités. Cela peut aussi être dû à un nombre croissant de travailleurs suivis par plusieurs laboratoires de dosimétrie (ces travailleurs étant alors comptés plusieurs fois), ou encore à la prise en compte de travailleurs bénéficiant d'un suivi ponctuel, et qui n'étaient pas forcément comptabilisés précédemment. Seul l'établissement du bilan à partir du système SISERI permettra d'obtenir un nombre de travailleurs fiable puisque chaque travailleur ne sera compté qu'une fois, indépendamment du nombre de laboratoires ayant assuré son suivi dosimétrique au cours de l'année (le nombre de travailleurs dont au moins une valeur de dosimétrie externe passive corps entier est enregistrée pour l'année 2010 dans SISERI s'élève à 307 291 travailleurs) ;

- une diminution de 5,0 % de la dose collective totale associée aux expositions externes mesurées par dosimétrie passive est observée par rapport à 2009, qui interrompt la tendance observée en 2009 (+10,2 %), 2008 (+4,9 %) et 2007 (+9,1 %). Cette diminution est principalement observée dans le domaine nucléaire et reflète entre autres la diminution de la dose reçue par les personnels d'EDF du fait du report de certaines opérations en 2011 ;
- les doses individuelles moyennes ont diminué dans tous les domaines d'activité par rapport à 2009, sauf dans le domaine médical où elle est restée stable ;
- le nombre de travailleurs ayant reçu au cours de l'année une dose externe cumulée supérieure à 20 mSv (8 cas) a encore baissé par rapport à 2009 (14 cas) et 2008 (16 cas), confirmant la baisse régulière observée depuis 2003. En 2010, la plus forte dose est enregistrée dans l'industrie non nucléaire et 50 % des cas relèvent du domaine médical ;
- le nombre de travailleurs surveillés pour le risque d'exposition aux neutrons représente 11 % de l'effectif surveillé total, alors que la dose collective neutrons représente seulement 2,4 % de la dose collective totale (toutes composantes de rayonnements confondues). Les travailleurs concernés par cette surveillance supplémentaire sont employés majoritairement dans des installations nucléaires de base ; les doses individuelles correspondantes sont faibles en moyenne par rapport à celles dues aux rayonnements gamma, en dehors du secteur de la fabrication du combustible nucléaire où elles représentent plus de la moitié des doses totales reçues par les travailleurs ;
- près de 7 % des travailleurs surveillés bénéficient d'une dosimétrie supplémentaire des extrémités (poignet ou doigt). En 2010, les doses individuelles moyennes mesurées au niveau des poignets et des doigts sont de 5,4 mSv et 7,2 mSv respectivement. Cinq cas de dépassement de la limite annuelle de dose aux extrémités ont été recensés, qui concernent quatre travailleurs du secteur de la radiologie interventionnelle et un prestataire du nucléaire ;
- les doses internes reçues par les travailleurs sont évaluées de façon moins systématique que pour l'exposition externe. Dans l'immense majorité des cas, les mesures de surveillance

individuelle visent davantage à s'assurer de l'absence de contamination chez les travailleurs qu'à calculer une dose interne. En pratique, celle-ci n'est calculée que dans les cas de contamination avérés. En 2010, 15 valeurs de dose interne ont été estimées supérieures à 1 mSv, la dose maximale estimée, à la suite d'un incident, étant égale à 14 mSv ;

- le bilan de l'exposition externe des personnels navigants de l'aviation civile aux rayonnements cosmiques, établi à partir des données transmises par trois compagnies en 2010, témoigne d'une exposition externe non négligeable : 19 532 personnels navigants totalisent une dose collective de 41 homme.Sv, avec une dose individuelle annuelle moyenne de 2,1 mSv et maximale de 4,9 mSv ;
- parmi les événements de radioprotection que l'IRSN a recensés en 2010, 210 concernaient directement les travailleurs, tous secteurs d'activité confondus, contre 232 en 2009.

7. REFERENCES

- [1] Norme ISO 20553 (juillet 2006). Surveillance professionnelle des travailleurs exposés à un risque de contamination interne par des matériaux radioactifs.
- [2] Norme CEI 62387-1 (juillet 2007). Instrumentation pour la radioprotection, systèmes dosimétriques intégrés passifs pour la surveillance de l'environnement et de l'individu.
- [3] Norme ISO 21909 (décembre 2005). Dosimètres individuel passifs pour les neutrons. Exigences de fonctionnement et d'essai.
- [4] Norme ISO 12790-1 (mars 2002). Radioprotection, les critères de performance pour l'analyse radiotoxicologique.
- [5] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 - IRSN - Rapport DRPH/SER/2004-38 du 22/12/04 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [6] La radioprotection des travailleurs - Bilan de la surveillance de l'exposition externe en 2003 (compléments apportés au rapport DRPH/SER/2004-38) - IRSN - Rapport DRPH/SER/2005-03 du 10/02/05 - Olivier COUASNON et Alain RANNOU
- [7] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2004 - IRSN - Rapport DRPH/2005-09 du 15/11/05 - Alain RANNOU et Olivier COUASNON
- [8] La radioprotection des travailleurs - Activités de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection - IRSN - Rapport DRPH/2006-09 du 04/12/06 - Alain RANNOU (coordinateur), Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Pascale SCANFF, Jean-Luc REHEL, Myriam THEVENET
- [9] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-4 du 01/02/08 - Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Patrice BOISSON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Didier FRANCK, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [10] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2007 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2008-11 du 05/12/08 - Juliette FEUARDENT, Alain RANNOU, Roselyne AMEON, Isabelle CLAIRAND, Olivier COUASNON, Jean-Michel DELIGNE, Ronan MEAR, Jean-Philippe PIERRE, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [11] La radioprotection des travailleurs - Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France - IRSN - DRPH/DIR/2009-16 du 02/10/09 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON, James BERNIERE, Isabelle CLAIRAND, Johnny DUMEAU, Gwenaëlle LORIOT, Nathalie PIRES, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF, Antoine TALBOT, Maylis TELLE-LAMBERTON
- [12] La radioprotection des travailleurs - Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2009 - IRSN - DRPH/DIR/2010-14 du 09/09/10 - Juliette FEUARDENT, Roselyne AMEON,

Ben-Mekki AYADI, Isabelle CLAIRAND, Sylvie DERREUMAUX, Gwenaëlle LORIOT, Baptiste LOUIS,
Nathalie PIRES, Françoise RANCILLAC, Jean-Luc REHEL, Pascale SCANFF

ANNEXE I : NOMENCLATURE DES SECTEURS D'ACTIVITE

Utilisations médicales et vétérinaires

1101000	Radiodiagnostic
1101010	<i>Radiologie conventionnelle</i>
1101020	<i>Radiologie conventionnelle + scanner</i>
1102000	Soins dentaires
1103000	Médecine du travail et dispensaires
1104000	Radiologie interventionnelle
1104010	<i>Cardiologie</i>
1104020	<i>Neurologie</i>
1104030	<i>Vasculaire</i>
1104040	<i>Autres</i>
1105000	Radiothérapie
1105010	<i>Radiothérapie avec Cobalt ou accélérateur</i>
1105020	<i>Radiothérapie autre (protons, neutrons)</i>
1105030	<i>Curiethérapie bas débit</i>
1105040	<i>Curiethérapie pulsée ou haut débit</i>
1106000	Médecine nucléaire
1106010	<i>Services spécialisés en diagnostic</i>
1106011	Sans TEP
1106012	Avec TEP
1106020	<i>Services mixtes thérapie-diagnostic</i>
1107000	Laboratoire d'analyse médicale avec radio-immunologie
1108000	Irradiation de produits sanguins
1109000	Recherche médicale, vétérinaire et pharmaceutique
1110000	Médecine vétérinaire
1111000	Logistique et maintenance du médical (prestataires)
1111010	<i>Logistique</i>
1111020	<i>Maintenance</i>
1112000	Autres

Transport de matières radioactives

1201000	Nucléaire
1202000	Médical
1203000	Sources à usages divers (industriel, etc.)

Usages industriels et de services (hors entreprises de transport)

1301000	Contrôles utilisant des sources de rayonnements
1301010	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X</i>
1301011	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes</i>
1301012	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X mobiles</i>
1301013	<i>Utilisation de gammagraphes et générateurs X fixes et mobiles</i>
1301020	<i>Détection de plomb dans les peintures</i>
1301030	<i>Utilisation de jauges industrielles</i>
1301031	<i>Utilisation de jauges industrielles à poste fixe</i>
1301032	<i>Utilisation de jauges industrielles avec matériel mobile</i>
1301033	<i>Utilisation de jauges industrielles fixes et mobiles</i>
1302000	Soudage par faisceau d'électron
1303000	Production et conditionnement de radio-isotopes (y compris industrie radio-pharmaceutique)
1304000	Radio-polymérisation et « traitement de surface »
1305000	Stérilisations
1306000	Contrôles pour la sécurité des personnes et des biens
1307000	Détection géologique (Well logging)
1308000	Logistique et maintenance dans le secteur industriel (Prestataires)
1308010	<i>Logistique</i>

1308020	Maintenance
1309000	Autres
Sources naturelles	
1401000	Aviation
1402000	Mines et traitement des minerais
1403000	Manipulation et stockage de matières premières contenant des éléments des familles naturelles du thorium et de l'uranium
1404000	Activités s'exerçant dans un lieu entraînant une exposition professionnelle au radon et à ses descendants
1404010	Sources thermales et établissements thermaux
1404020	Captage et traitement des eaux
1404030	Autres
1405000	Industries du gaz, du pétrole et du charbon
1406000	Autres
Nucléaire	
1501000	Propulsion nucléaire
1501010	Equipage
1501020	Maintenance à terre
1501030	Intervention et préparation à l'intervention
1502000	Armement
1502010	Maintenance des installations
1502020	Transport
1502030	Intervention et préparation à l'intervention
1503000	Extraction et traitement du minerai d'uranium
1504000	Enrichissement et conversion
1505000	Fabrication du combustible
1506000	Réacteurs de production d'énergie
1507000	Retraitement
1508000	Démantèlement des installations nucléaires
1509000	Effluents, déchets et matériaux récupérables (y compris ne provenant pas du cycle)
1509010	Traitement des effluents
1509020	Traitement et conditionnement des déchets
1509030	Entreposage
1509040	Stockage
1510000	Logistique et maintenance du Nucléaire (Prestataires)
1510010	Logistique
1510011	Logistique dont le personnel est attaché aux sites
1510012	Logistique dont le personnel est itinérant
1510020	Maintenance
1510021	Maintenance dont le personnel est attaché aux sites
1510022	Maintenance dont le personnel est itinérant
1511000	Installations de recherche liées au Nucléaire
1512000	Autres
Autres	
1601000	Recherche (autre que nucléaire et médical) et Enseignement
1601010	Centre d'enseignement et formation
1601020	Etablissements de recherche (autre que nucléaire et médical)
1602000	Situations de crise (pompiers, protection civile...)
1603000	Organismes d'inspection et de contrôle
1603010	Organismes d'inspection et de contrôle publics
1603020	Organismes de contrôle privés
1604000	Activités à l'étranger
1605000	Activités sécurité-radioprotection-environnement