

Commission de Recherche
et d'Information Indépendantes
sur la Radioactivité

Rapport d'Etude N°10-140

Etat des lieux de la radioactivité de l'eau, des sédiments et plantes aquatiques du Rhône et de ses affluents (Ain, Saône, Isère)

Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD dans le cadre de la convention 2007-2009 avec le Conseil Régional Rhône-Alpes

Date de réalisation des prélèvements : Juin à octobre 2007.

Rapport d'étape (phase 1) : Avril 2009.

Rapport Phase 2 : Version V0 : Novembre 2010 / Version V1 : Janvier 2011

Responsable d'étude : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire,

Responsable de la mission d'échantillonnage : Christian COURBON, technicien spécialisé,

Responsable de la préparation des échantillons : Jocelyne RIBOUET, technicienne de laboratoire

Responsable des analyses par spectrométrie gamma et scintillation liquide: Stéphane PATRIGEON, technicien spécialisé,

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence

☎ 04 75 41 82 50 📠 04 75 81 26 48

SOMMAIRE

1. Objectifs de l'étude	3
2. Description des principaux types de rejets radioactifs	4
2.1. Documentation étudiée	4
2.2. Rejets radioactifs liquides des services de médecine nucléaire	4
2.2.1. Notions générales	4
2.2.2. Données de 2007-2010	7
2.3. Rejets radioactifs liquides des INB	13
2.3.1. Type de documentation disponible	13
2.3.2. Rejets des centrales nucléaires	17
2.3.3. Rejets des autres INB	20
2.3.4. Modalités de rejets liquides	20
3. Méthodologie Générale	21
3.1. Stratégie de prélèvements	21
3.2. Organisation des prélèvements	24
3.3. Méthodes de prélèvements	25
3.4. Réalisation des analyses	27
3.4.1. Méthodes analytiques	27
3.4.2. Traitement des échantillons	28
4. Le tritium dans les eaux	29
4.1. Résultats	29
4.2. Commentaires	30
5. Analyse des sédiments	31
5.1. Radionucléides « naturels » dans les sédiments	31
5.1.1. Chaîne de l'uranium 238	31
5.1.2. Chaîne de l'uranium 235	33
5.1.3. Chaîne du thorium 232	33
5.1.4. Potassium 40	33
5.1.5. Béryllium 7	33
5.2. Radionucléides « artificiels » dans les sédiments	35
5.2.1. Césium 137	36
5.2.2. Cobalt 60	38
5.2.3. Cobalt 58	39
5.2.4. Argent 110 ^m	39
5.2.5. Nickel 63	39
5.2.6. Strontium 90	41
5.2.7. Plutonium 238 et plutonium 239+240	43
6. Analyse des plantes aquatiques	45
6.1. Radionucléides « naturels » dans les plantes	45
6.1.1. Chaîne de l'uranium 238	46
6.1.2. Chaîne du thorium 232	46
6.1.3. Potassium 40	48
6.1.4. Béryllium 7	49

6.2. Radionucléides « artificiels » dans les plantes	49
6.2.1. Iode 131.....	49
6.2.2. Technétium 99 ^m	54
6.2.3. Césium 137.....	56
6.2.4. Cobalt 60	59
6.2.5. Cobalt 58	59
6.2.6. Argent 110 ^m	59
6.3. Tritium organiquement lié (OBT)	61
6.4. Carbone 14.....	66
7. Conclusion	69

Cette étude a été effectuée dans le cadre d'une convention de partenariat avec la Région Rhône-Alpes

Rhône-Alpes Région

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif de la présente étude est de réaliser un état des lieux de la **radioactivité naturelle et artificielle** dans le fleuve **Rhône** et ses principaux affluents (**Saône, Ain, Isère**).

Ce projet est réalisé dans le cadre d'une Convention Pluriannuelle d'objectifs entre le Conseil Régional Rhône-Alpes et la CRIIRAD / Période 2007-2009.

Il s'agit de vérifier le niveau de contamination des milieux bioaccumulateurs que sont les **sédiments** et les **plantes aquatiques** et de réaliser un contrôle ponctuel de l'activité du tritium dans les eaux.

Les stations d'échantillonnage ont été choisies de manière à disposer d'une vision d'ensemble à l'échelle régionale, tout en tenant compte des points de rejets radioactifs liquides des **installations nucléaires** (principalement les centrales nucléaires) et des exutoires des stations de traitement des eaux usées des agglomérations disposant de **services de médecine nucléaire**.

Pour autant, ce travail ne constitue pas une étude de l'impact spécifique des rejets liquides de chacune de ces installations, car cela nécessiterait bien plus de stations qu'un simple couple d'échantillons : amont et aval.

Ce projet est en liaison avec la politique de gestion des déchets radioactifs, en particulier les déchets radioactifs d'origine hospitalière, mais également les effluents liquides des installations du cycle du combustible nucléaire et les industries concernées par la radioactivité naturelle renforcée.

Tous les radionucléides artificiels et naturels n'ont pu être recherchés pour des raisons de coût.

De précédentes études conduites par le laboratoire de la CRIIRAD avaient montré :

- Une contamination des plantes aquatiques du Rhône, en aval de Vienne, par de **l'iode 131** probablement d'origine médicale, ce radionucléide a donc été recherché dans tous les végétaux aquatiques échantillonnés.
- Certaines contaminations par des **radionucléides naturels** liés à des activités industrielles. Le choix des stations n'a pas tenu compte de la localisation d'industries susceptibles de conduire à des rejets particuliers de substances radioactives naturelles car il n'existe pas d'inventaire fiable de ces activités. Par contre les principaux radionucléides naturels ont été recherchés dans les sédiments et les plantes aquatiques afin de disposer de données globales.
- L'insuffisance des contrôles concernant en particulier 3 radionucléides rejetés par les centrales électronucléaires (**tritium, carbone 14 et nickel 63**).

Une attention particulière a été apportée également au **strontium 90** et aux isotopes émetteurs alpha du **plutonium** qui sont rarement recherchés dans l'environnement.

L'étude proposée permet d'avoir une vision d'ensemble de l'état radiologique du Rhône et de certains de ses affluents et d'identifier certaines des sources de pollution. La connaissance de ces impacts constitue un outil qui permettra d'évaluer les efforts engagés par les producteurs de ces effluents pour limiter les impacts sur l'environnement.

Ce travail consiste en une généralisation, à l'échelle régionale, de l'étude conduite par le laboratoire de la CRIIRAD en 2000-2001 sur l'impact du CNPE (Centre Nucléaire de Production d'Electricité) de Saint-Alban et soutenue par le Conseil Général de l'Isère et les municipalités.

Le présent rapport constitue le complément au rapport d'étape (phase 1, avril 2009) rédigé dans le cadre du projet 2007. Il intègre en particulier les résultats des analyses complémentaires effectuées dans le cadre de la phase 2 (convention de l'année 2008).

2. DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE REJETS RADIOACTIFS

2.1. Documentation étudiée

Afin de sélectionner les stations d'échantillonnage, de déterminer la liste des radionucléides à rechercher et de recueillir les informations utiles à l'interprétation des résultats, la CRIIRAD a consulté les différentes études disponibles concernant la radioécologie du Rhône (Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, ASN, IRSN, CRIIRAD, industriels du nucléaire, établissements hospitaliers, etc.) et s'est rapprochée des organismes susceptibles de disposer d'informations utiles.

Un questionnaire a été adressé par la CRIIRAD, à l'automne 2010, aux principaux établissements de la région Rhône-Alpes disposant d'un **service de médecine nucléaire** afin de préciser les flux d'iode 131 (voir liste dans le tableau TR 3 page 8). Devant le faible taux de réponse, un second envoi par courrier a été réalisé en fin d'année 2010 suivi de démarches par téléphone et courriel. Ces efforts ont permis de compléter l'enquête. L'ASN de Lyon a confirmé en janvier 2011 qu'elle ne dispose pas d'une base de données permettant de connaître l'utilisation annuelle de radionucléides par les services de médecine nucléaire, ni les rejets induits. Ces informations sont tenues à la disposition des inspecteurs de l'ASN mais ne sont pas collectées et traitées de manière centralisée.

Un questionnaire a également été adressé par la CRIIRAD en juin 2007 aux **Installations Nucléaires de Base** susceptibles d'impacter les cours d'eau étudiés, (voir liste dans le tableau TR 4 page 15). Un second questionnaire d'actualisation des données a été envoyé en septembre 2010. Des compléments ont été reçus jusqu'en janvier 2011, en particulier certains des rapports de suivi radioécologique annuels effectués par l'IRSN à la demande d'EDF.

Les principaux éléments concernant les types de rejets radioactifs liquides sont présentés dans ce chapitre.

Les données les plus utiles à l'interprétation des résultats obtenus dans le cadre de la présente étude sont détaillées, par radionucléide, dans les chapitres correspondants.

2.2. Rejets radioactifs liquides des services de médecine nucléaire

2.2.1. Notions générales

Les études radioécologiques conduites par le laboratoire de la CRIIRAD à partir du début des années 90 [CRIIRAD M1] ont permis de mettre en évidence dans de nombreux bassins versants (Rhône, Seine, Garonne, etc.) une contamination des plantes aquatiques par des radionucléides utilisés en médecine dont en particulier **l'iode 131** (période physique de 8 jours).

Cette contamination a été détectée de manière quasi-systématique par le laboratoire de la CRIIRAD en aval des stations d'épuration des eaux usées d'agglomérations qui disposent de services de médecine nucléaire.

Elle provient à la fois des rejets radioactifs liquides directs au niveau des services hospitaliers et des rejets diffus via les patients de retour à leur domicile ou dans d'autres établissements, suite à une scintigraphie ou une thérapie mettant en jeu l'iode 131.

Radionucléides utilisés

Un certain nombre de radionucléides artificiels sont utilisés en médecine sous forme de sources non scellées, soit dans le cadre d'actes de diagnostic, soit pour la réalisation de thérapies.

Une étude [SN1] réalisée par la CRIIRAD au niveau de 24 services de médecine nucléaire du bassin Seine-Normandie, permettait de recenser l'utilisation de 16 radionucléides différents sur la période 1997-1998.

Le tableau TR 1 ci-dessous dresse la liste des principaux radionucléides recensés par ordre décroissant d'utilisation (période 1997 ou 1998, pour 24 services de médecine nucléaire).

Trois radionucléides représentaient à l'époque plus de 99 % de l'activité¹ annuelle commandée par les 24 établissements interrogés : le **technétium 99^m** (plus de 76,5 %), l'**iode 131** (13,5 %) et le **thallium 201** (9 %).

La situation est probablement sensiblement différente aujourd'hui avec l'utilisation accrue de nouveaux radiopharmaceutiques comme le fluor 18.

TR 1 / Principaux radiopharmaceutiques utilisés par 24 services de médecine nucléaire dans le secteur Seine-Normandie (année 1997 ou 1998)

Radionucléide	Période Physique	Utilisation typique	Activité utilisée en MBq
Technétium 99^m	6 heures	Thyroïde, cerveau, foie, moelle osseuse, poumons, circulation, reins	19 590 090
Iode 131	8 jours	Thyroïde, reins, espace vasculaire	3 455 885
Thallium 201	3 jours	Myocarde, cerveau, parathyroïde, thyroïde	2 298 553
Gallium 67	3,26 jours	Processus inflammatoires et tumoraux	70 582
Iode 123	13,2 heures	Thyroïde, reins, cerveau	58 618
Xenon 133 (Gaz)	5,24 jours	Poumons, débit sanguin régional	27 546
Indium 111	2,8 jours	Ventriculographie, moelle osseuse, marquage des cellules sanguines	26 825
Yttrium 90	2,67 jours	Synoviorthèse	23 577
Strontium 89	50,55 jours	Traitement palliatif de métastases osseuses	16 280
Samarium 153	1,95 jours	Traitement palliatif de métastases osseuses	14 800
Phosphore 32	14,28 jours	Métastases osseuses, leucémies, traitement de tumeurs et scintigraphie	10 707
Chrome 51	27,7 jours	Rate, reins, marquage de protéines, volume globulaire	3 700
Iode 125	60,14 jours	Marquage de composés, volume plasmatique	2 542

La période physique² des radionucléides concernés est comprise entre quelques heures (fluor 18 : 2 heures, technétium 99^m : 6 heures, iode 123 : 13 heures), quelques jours (thallium 201, gallium 67, indium 111 : environ 3 jours ; iode 131 : 8 jours) et quelques semaines (iode 125 : 60 jours).

L'enquête réalisée par la CRIIRAD sur la période 1997-1998 indiquait une activité administrée au patient comprise entre 46 MBq et 555 MBq (moyenne 240 MBq) pour le technétium 99^m et 30 à 3 700 MBq (moyenne 1 215 MBq) pour l'iode 131.

Les activités administrées au patient sont ainsi typiquement de l'ordre de plusieurs **dizaines de millions de becquerels (scintigraphie)** à plusieurs **milliards de becquerels (thérapie à l'iode 131 par exemple)**.

Pour l'iode 131, les activités administrées pour une thérapie sont typiquement 20 fois supérieures (100 mCi soit 3 700 MBq) à celles administrées pour un diagnostic (5 mCi soit 185 MBq).

¹ L'activité est le nombre de désintégrations par seconde. Elle est exprimée en Becquerel (Bq) et ses multiples dont le MBq (1 mégaBecquerel = 1 million de Becquerels). L'ancienne unité d'activité (le Curie : Ci) est encore utilisée dans la pratique médicale. 1 Ci = 37 milliards de Becquerels. 100 mCi (milliCurie) = 3,7 milliards de Becquerels.

² Période physique : temps au bout duquel la radioactivité diminue de moitié.

Les effluents liquides directs et diffus

Les activités de médecine nucléaire et Curiethérapie conduisent nécessairement à la production d'effluents radioactifs liquides (et parfois gazeux) et de déchets radioactifs solides.

Au niveau de l'hôpital, il s'agit des effluents liés à la préparation et à l'administration des substances radioactives au patient, au nettoyage des locaux, etc..

Il s'agit aussi des urines (et fèces) des patients tant qu'ils sont présents dans le centre hospitalier.

En effet, une grande partie de l'activité administrée est éliminée par les voies naturelles durant les heures ou les premiers jours (parfois les semaines) suivant l'administration des substances radioactives. On estime qu'environ **90 % du technétium 99^m et 84 % de l'iode 131 sont éliminés via les urines des 5 premiers jours.**

Une partie seulement de ces effluents est collectée de manière spécifique au niveau de l'hôpital. C'est le cas par exemple pendant la phase de confinement en **chambre dite « plombée »** pour les patients qui subissent une thérapie qui met en jeu plus de 20 milliCuries d'iode 131 (**740 MBq**). Dans ce cas, les effluents sont mis en attente avant rejet dans des cuves de décroissance.

Sachant que la période physique est le temps au bout duquel la moitié seulement des atomes radioactifs se sont désintégrés, un liquide (des urines de patient) dont le niveau de contamination en iode 131 est de 1 million de Bq/l aura ainsi une radioactivité résiduelle de 500 000 Bq/l au bout de 8 jours, 250 000 Bq/l au bout de 16 jours (2 périodes) et 5 000 Bq/l au bout de 2 mois (7,5 périodes).

A titre indicatif, l'arrêté³ du **30 octobre 1981** prévoyait en son article 8 que « *l'évacuation des cuves de stockage des effluents liquides ne peut intervenir que si l'activité volumique est inférieure à 7 becquerels par litre* ». Dans l'exemple ci-dessus, il faut attendre plus de 4 mois pour que la décroissance naturelle de l'iode descende en dessous⁴ de 7 Bq/l. La question est alors celle de la capacité de stockage des cuves de l'hôpital.

De plus, une partie des liquides radioactifs n'est pas collectée de manière spécifique, c'est le cas par exemple des eaux usées issues des toilettes des établissements (hors chambre plombée) et bien sûr des toilettes des patients de retour à domicile, ou dans d'autres établissements. Cet impact diffus n'est pas à négliger.

Le laboratoire de la CRIIRAD a ainsi mesuré en 1999 dans les **urines** d'un patient de retour à domicile après une Curiethérapie (Irathérapie) et un isolement de 3 jours en chambre plombée à Lyon, une activité de **6 millions de becquerels par litre**. L'activité initiale injectée au patient était de 80 milliCurie soit environ 3 milliards de becquerels.

Plus de 20 jours après le traitement, l'activité des urines était encore de 140 000 Bq/l. Les résultats de ces mesures sont reproduits dans le tableau TR 2 page suivante. Cet exemple montre que s'agissant du patient de retour à domicile, en particulier dans le cas d'une Curiethérapie à l'iode 131, il faudrait attendre plusieurs semaines pour que l'activité volumique des urines soit en dessous de 7 Bq/l.

³ Arrêté relatif aux conditions d'emploi de radioéléments artificiels utilisés en sources non scellées à des fins médicales / Ministère de la Santé.

⁴ En pratique, de nombreux établissements ne tenaient pas compte de cette limite d'autant que le SCPRI puis l'OPRI autorisaient en fait la vidange au dessus de cette limite en fonction de la radiotoxicité des radionucléides. La circulaire DGS N°2001-323 du 9 juillet 2001 relative à la gestion des effluents et des déchets d'activités de soins contaminés par des radionucléides, a fixé des limites différentes pour les cuves tampon associées aux laboratoires (7 Bq/l) et les cuves-tampon associées aux sanitaires de chambres plombées (100 Bq/l). Aucune limite n'est fixée pour les effluents en sortie de fosse septique raccordée aux sanitaires de médecine nucléaire. A l'émissaire de l'établissement, sont retenus des niveaux guide de 1 000 Bq/l pour le Tc 99^m et 100 Bq/l pour les autres radioéléments.

TR 2 / Activité en iode 131 mesurée par la CRIIRAD dans les urines d'un patient à Valence après injection de 80 mCi d'iode 131 (à Lyon)

Temps après injection (jours)	Activité en iode 131 des urines (Bq/l)
3	5,73E+06
4	2,84E+06
7	1,39E+06
23	1,42E+05

2.2.2. Données de 2007-2010

Liste des établissements

La liste des établissements de la région Rhône-Alpes disposant d'un service de médecine nucléaire est reproduite dans le tableau TR 3 page 8.

L'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) a indiqué en outre à la CRIIRAD que 12 établissements hospitaliers de la Région Rhône-Alpes étaient susceptibles d'utiliser de l'iode 131 :

- 1 dans l'Ain, à Bourg en Bresse,
- 2 en Haute Savoie, à Annemasse-Bonneville et Annecy.
- 1 en Savoie, à Chambéry,
- 5 dans l'agglomération Lyonnaise,
- 2 dans l'Isère, à Grenoble,
- 1 dans la Drôme, à Valence.

La CRIIRAD a adressé en septembre et octobre 2010 un questionnaire aux 16 établissements de la région Rhône-Alpes qui disposent d'un service de médecine nucléaire.

A l'issue de plusieurs relances par courrier et par téléphone (jusqu'au 28 janvier 2011), il a été possible de déterminer quels établissements utilisent effectivement de l'iode 131 (voir tableau TR 3 bis page 9), soit **12 établissements**.

Par rapport à la liste initiale, le Centre d'Imagerie Nucléaire d'Annecy a indiqué qu'il n'utilisait pas d'iode 131. A l'inverse l'enquête a montré que 3 établissements de la Loire (à Roanne, Saint-Etienne et Saint-Priest-en-Jarez) en utilisent.

Sept services sur 16 soit 44 % n'ont pas répondu au questionnaire, 2 ont répondu partiellement par téléphone et 7 (soit 44 %) ont fourni une réponse écrite détaillée : SCINTEP à Grenoble, le CH de Valence, le Centre Léon Bérard à Lyon, la clinique du Tonkin à Villeurbanne, le CHI Annemasse Bonneville, le Centre d'Imagerie Nucléaire d'Annecy et le CH de Chambéry.

Quantités d'iode 131 utilisées

Sur les 12 établissements qui utilisent de l'iode 131, 6 nous ont transmis les activités commandées annuellement. Les valeurs sont reproduites dans le tableau TR 3 bis page 9. Elles s'étalent sur 3 voire 4 ordres de grandeur : de l'ordre du GBq à plusieurs centaines de GBq par an (752 GBq commandés en 2009 par le Centre Léon Bérard à Lyon).

Pour les 4 établissements qui ont fourni des résultats détaillés, on note sur la période 2007 à 2009, une forte diminution de la quantité utilisée à Valence (de 60 GBq à 22,6 GBq) et une forte augmentation au niveau du Centre Léon Bérard (de 369 GBq à 752,6 GBq).

TR 3 / Liste des principaux établissements de la région Rhône-Alpes disposant d'un service de médecine nucléaire.

Dept	Département	Ville	Nom établissement	Cours d'eau	Adresse postale
1	AIN	Bourg en Bresse	Clinique Convert / Imagerie Nucléaire de l'Ain géré par INOL à LYON	Reyssouze puis Saône	
26	DRÔME	Valence	CH de Valence / Médecine Nucléaire	Rhône	CH de VALENCE Médecine Nucléaire 179 Bd Maréchal Juin 26000 VALENCE
38	ISERE	Grenoble	CHU de Grenoble Hopital Nord / Bld Chantourne / Biophysique et Medecine Nucléaire	Isère	CHU de Grenoble Médecine Nucléaire BP 217 Boulevard de la Chantourne 38043 GRENOBLE Cedex 9
38	ISERE	Grenoble	SCINTEP (clinique mutualiste) Insitut Daniel Hollard	Isère	SCINTEP Institut Daniel Hollard 12 rue due Dr Calmette 38028 GRENOBLE Cedex 1
42	LOIRE	Roanne	Clinique de Renaison / Centre de Médecine Nucléaire	Loire	Clinique Renaison 75 rue Général Giraud 42 300 ROANNE
42	LOIRE	Saint Etienne	CH privé de la Loire / Centre d'Imagerie Nucléaire	Loire	CHPL de Saint Etienne Service Imagerie médicale 39 Boulevard de la Palle 42030 SAINT ETIENNE Cedex 2
42	LOIRE	Saint Priest en Jarez	CHU Hôpital Nord / Laboratoire de Médecine Nucléaire	Loire	CHU Hopital Nord Servive Médecine Nucléaire 42055 SAINT ETIENNE Cedex 2
69	RHÔNE	Bron	Groupement Hosp Est / Centre de Médecine Nucléaire (Comprend Hopital Pierre Wertheimer et Louis Pradel)	Rhône	Hopital Neurologique et cardiologique Centre Médecine Nucléaire 59 Boulevard Pinel 69500 BRON
69	RHÔNE	Lyon	CHU Edouard Herriot Fédération Médecine Nucléaire Radiopharmacie	Rhône	CHU Hopital Edouard Herriot Service Radiophysique médicale et radiovigilance 5 place Arsonval 69437 LYON Cedex 3
69	RHÔNE	Lyon	CHU Lyon Sud / Centre TEP des HCL	Rhône	Centre Hospitalier LYON SUD Médecine Nucléaire 165 chemin du grand Revoyet 69495 PIERRE BENITE Cedex
69	RHÔNE	Lyon	CHU Lyon Sud / Techniques Nucléaires Biophysiques	Rhône	Centre Hospitalier LYON SUD Médecine Nucléaire 165 chemin du grand Revoyet 69495 PIERRE BENITE Cedex
69	RHÔNE	Lyon	Centre Leon Berard / Médecine Nucléaire	Rhône	Centre Leon Bérard 28 rue Laennec 69 008 LYON
69	RHÔNE	Lyon	Clinique de la Sauvegarde / INOL	Rhône	Clinique de La Sauvegarde INOL 25 avenue Sources 69009 LYON
69	RHÔNE	Villeurbanne	Médecine Nucléaire de la Doua (SELARL) Clinique du Tonkin	Rhône	Médecine Nucléaire de la Doua 48 rue Condorcet 69 100 VILLEURBANNE
73	SAVOIE	Chambéry	CH de Chambéry / Service de Médecine Nucléaire	Tunnel puis Rhône (vers Bourget-La Balme)	Centre Hospitalier /Medecine Nucléaire place Docteur François Chiron BP 1125 73011 CHAMBERY Cedex
74	HAUTE SAVOIE	Annecy	Centre d'imagerie Nucléaire d'Annecy	Le Fier puis le Rhône (Seysselle)	Centre d'Imagerie Nucléaire Immeuble Le Péracles B Allée de la Mandallaz 74370 METZ - TESSY
74	HAUTE SAVOIE	Annemasse Bonneville	CH intercommunal Annemasse-Bonneville / Service de Médecine Nucléaire(sur Bonneville)	Arve puis Rhône (proche Genève)	Centre Hospitalier Bonneville service Médecine Nucléaire 64 Avenue de Genève 74130 BONNEVILLE

TR 3 bis / Bilan des réponses au questionnaire CRIIRAD adressé aux 16 établissements de la région Rhône-Alpes disposant d'un service de médecine nucléaire.

Dept	Ville	Nom établissement	Cours d'eau	Réponse au Questionnaire	Utilisation d'iode 131	Modalités utilisation de l'iode 131	Activité annuelle commandée (GBq) en 2007	Activité annuelle commandée (GBq) en 2009 (ou 2010)	Gestion des effluents liquides
1	Bourg en Bresse	Clinique Convert / Imagerie Nucléaire de l'Ain (géré par INOL à LYON)	Reyssouze puis Saône	Partielle (téléphone)	OUI	Thérapie en ambulatoire	?	1,33	?
26	Valence	CH de Valence / Médecine Nucléaire	Rhône	OUI	OUI	Diagnostic et Thérapie < 740 MBq par patient / Chambre plombée de jour	60,09	22,64	Chambre plombée de jour / Toilettes reliées à des cuves de décroissance / Contrôle trimestriel à l'émissaire / En 2007, 1 mesure ponctuelle horaire en iode 131 = 155 Bq/l
38	Grenoble	CHU de Grenoble Hôpital Nord	Isère	NON	OUI	La direction de l'hôpital ne souhaite pas répondre			
38	Grenoble	SCINTEP Insitut Daniel Hollard	Isère	OUI	NON	Sans objet			
42	Roanne	Clinique de Rensaison / Centre de Médecine Nucléaire	Loire	NON	OUI	La direction de la clinique ne souhaite pas répondre			
42	Saint Etienne	CH privé de la Loire / Centre d'Imagerie Nucléaire	Loire	NON	OUI	La direction de la clinique ne souhaite pas répondre			
42	Saint Priest en Jarez	CHU Hôpital Nord / Laboratoire de Médecine Nucléaire	Loire	NON	OUI	Thérapie et diagnostic	La direction du CHU ne souhaite pas répondre		
69	Bron	Groupeement Hosp Est / Centre de Médecine Nucléaire	Rhône	NON	OUI	Thérapie métabolique (chambre plombée) et ambulatoire	?	?	Cuves de décroissance (aval chambres plombées et WC service, sauf douches)
69	Lyon	CHU Edouard Herriot	Rhône	NON	NON	Sans objet			
69	Lyon	CHU Lyon Sud / Pierre Benite	Rhône	NON	OUI	Thérapie en ambulatoire	?	?	?
69	Lyon	Centre Leon Berard / Médecine Nucléaire	Rhône	OUI	OUI	Thérapie 3,7 GBq en moyenne par patient (chambre plombée) et ambulatoire (316 MBq par patient en moyenne)	369	752,6	SMN relié à une fosse septique (pas de mesure) / Eviers chauds et chambres plombées (mais pas douches) reliées à des cuves de décroissance / Activité moyenne en iode 131 au niveau du collecteur général des eaux usées près du service de médecine nucléaire (3 320 Bq/l en 2009).
69	Lyon	Clinique de la Sauvegarde / INOL	Rhône	Partielle (téléphone)	OUI	Thérapie en ambulatoire	?	3,5	?
69	Villeurbanne	Médecine Nucléaire de la Doua (SELARL) Clinique du Tonkin	Rhône	OUI	NON	Sans objet			
73	Chambéry	CH de Chambéry / Service de Médecine Nucléaire	Tunnel puis Rhône (vers Bourget-La Balme)	OUI	OUI	< 740 MBq (pas de chambre plombée)	64,9	54,01	Eviers chauds reliés à des cuves de décroissance / Toilettes du SMN reliées à 2 fosses septiques en série / Activité des effluents en sortie d'établissement < 100 Bq/l
74	Annecy	Centre d'imagerie Nucléaire d'Annecy	Le Fier puis le Rhône (Seysselle)	OUI	NON	Sans objet			
74	Annemasse Bonneville	CH intercommunal Annemasse-Bonneville / Service de Médecine Nucléaire (sur Bonneville)	Arve puis Rhône (proche Genève)	OUI	OUI	Diagnostic et Thérapie ambulatoire (< 740 MBq) / Pas de chambre plombée	54,7	56,17	Eviers chauds reliés à une cuve de décroissance / Fosse de retardement en aval des toilettes du SMN / Iode 131 dans les eaux usées en sortie établissement < 100 Bq/l

Remarques sur les prescriptions réglementaires concernant les effluents

En théorie, les effluents radioactifs produits au sein du service hospitalier doivent être recueillis dans des cuves pour mise en décroissance de manière à ne procéder à la vidange que lorsque la radioactivité est descendue en dessous d'un certain niveau.

La circulaire du ministère de la santé du **9 juillet 2001** a introduit des « niveaux guide » pour gérer la vidange des cuves de décroissance des effluents hospitaliers.

Cette vidange ne doit pas entraîner de dépassement d'une valeur moyenne en sortie du collecteur des eaux usées de l'établissement. Cette valeur est fixée à **100 Bq/l pour l'iode 131** et 1 000 Bq/l pour le technétium 99^m.

Le texte le plus récent qui fixe des prescriptions sur la gestion des effluents liquides radioactifs est l'arrêté⁵ du **23 juillet 2008**.

Ce texte précise en son article 20 : *« les effluents liquides contaminés sont dirigés vers un système de cuves d'entreposage avant leur rejet dans un réseau d'assainissement... Le contenu des cuves ...ne peut être rejeté dans le réseau d'assainissement qu'après s'être assuré que l'activité volumique est inférieure à une limite de 10 Bq par litre. Cette limite est fixée à 100 Bq par litre pour les effluents liquides issus des chambres de patients traités à l'iode 131 ».*

Il précise en son article 3 : *« Les dispositions de la présente décision ne s'appliquent pas aux effluents et déchets contaminés générés hors des établissements de santé par des patients ayant fait l'objet d'un examen diagnostique ou d'un traitement à l'aide de radionucléides ».*

Ces dispositions montrent :

1. qu'il subsiste un certain flou quant aux modalités de gestion des effluents issus des toilettes du service de médecine nucléaire ou des douches.

Comme l'a montré l'enquête CRIIRAD en Rhône-Alpes, les toilettes de certains services sont connectées à des fosses septiques ou fosses de retardement (cas de Chambéry, Annemasse-Bonneville et du Centre Léon Bérard à Lyon), d'autres à des fosses septiques et / ou des cuves de décroissance (cas de Valence⁶). Mais les eaux issues de ces fosses ne sont pas forcément contrôlées avant rejet (cas du centre Léon Bérard).

Comme nous l'ont indiqué plusieurs établissements, les douches de la zone adjacente aux chambres plombées ne sont pas, en général, raccordées à des cuves de décroissance.

On voit donc qu'il serait utile de mieux définir la notion d' « effluents » au sein des services de médecine nucléaire et de préciser quels fluides doivent être collectés à part et mis en décroissance.

2. qu'en tout cas, dès que le patient sort du service de médecine nucléaire, les « effluents » qu'il génère ne sont ni contrôlés, ni recueillis pour mise en décroissance.

Or, comme nous l'avons indiqué plus haut, les urines du patient peuvent avoir une activité volumique en iode 131 de plusieurs millions de Bq/l. On se retrouve donc dans une situation où les services peuvent très bien respecter les prescriptions réglementaires, en ne procédant à la vidange des cuves de décroissance que lorsque l'activité résiduelle en iode 131 est relativement faible (< 100 Bq/l), alors que dans le même temps, les patients, de retour à leur domicile ou dans d'autres établissements, vont déverser individuellement des millions de Bq d'iode 131 dans le réseau.

⁵ Arrêté du 23 juillet 2008 portant homologation de la décision no 2008-DC-0095 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 janvier 2008 fixant les règles techniques auxquelles doit satisfaire l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire, prise en application des dispositions de l'article R. 1333-12 du code de la santé publique.

⁶ Les toilettes concernant les patients reçus pour une scintigraphie avec des radionucléides à période très courte (technétium 99^m, indium 111, iode 123) sont connectées à 2 fosses septiques contrôlées avant vidange. Les éviers chauds et les toilettes des chambres plombées sont reliés à des cuves de décroissance.

Exemple de services qui ne disposent pas de chambres plombées

Pour les CHI Annemasse Bonneville et CH de Chambéry, aucun des patients traités n'est admis en chambre plombée.

En effet, en dessous de 740 MBq d'iode 131, l'admission n'est pas obligatoire.

On peut utilement mentionner les éléments fournis par le service de médecine nucléaire du **CHI Annemasse Bonneville** (74). L'activité en iode 131 administrée par patient se trouve dans une fourchette de **37 à 740 MBq**.

Sur la période 2007-2009 :

- Le nombre de patients traités pour hyperthyroïdie (entre 185 et 740 MBq) est compris entre 85 et 93.
- Le nombre de patients pour lesquels est effectuée une recherche de territoires iodofixants (entre 37 et 185 MBq) est compris entre 25 et 28.

La responsable radioprotection du service précise que les contrôles réalisés en interne n'indiquent pas de présence d'iode 131 dans la fosse de retardement située en aval des toilettes du service : *« Cela peut s'expliquer par un usage d'iode 131 à environ 75 % des patients, pour des traitements d'hyperthyroïdies. Après administration de la gélule, le patient repart chez lui ou dans une autre structure hospitalière ou maison de retraite ».*

La quantité totale d'iode 131 commandée par l'établissement en 2007, 2008 et 2009 est respectivement de 54,7 GBq ; 45,7 GBq et 56,1 GBq.

Des informations comparables ont été fournies par le **CH de Chambéry**, à savoir une quantité totale d'iode 131 commandée par l'établissement en 2007, 2008 et 2009 qui est respectivement de 64,9 GBq ; 58,3 GBq et 54,1 GBq.

La totalité de l'iode 131 est administrée à des patients qui ne sont pas admis en chambre plombée, l'activité moyenne administrée est de **400 MBq** et le nombre de patients compris entre 146 et 151 par an.

Les toilettes du service de médecine nucléaire sont reliées à 2 fosses septiques montées en série. L'activité des eaux usées en sortie de l'établissement est inférieure à 100 Bq/l.

Ces deux établissements indiquent que les contrôles effectués dans les eaux usées en sortie donnent des valeurs conformes aux prescriptions réglementaires.

La charge polluante est très probablement reportée vers d'autres lieux, via le patient lui-même.

Exemple de services qui disposent de chambres plombées

Pour le site de **Valence**, les patients, bien que recevant une dose inférieure à 740 MBq, peuvent être admis en chambre plombée de jour (en fonction de la dose administrée et du niveau de radiation mesuré à leur voisinage). Cela a concerné par exemple 91 patients en 2007 (activité moyenne administrée : 478 MBq). Il s'agit en général d'un traitement pour hyperthyroïdie.

En 2007, 41 autres patients ayant reçu une dose moyenne de 12,4 MBq n'ont pas été admis en chambre plombée.

Les contrôles trimestriels effectués par l'hôpital en 2007 au niveau du collecteur d'eaux usées ont montré la présence d'iode 131 de manière très ponctuelle (une valeur horaire à 155 Bq/l et des résultats inférieurs aux limites de détection pour les autres cas).

Dans le cas du **Centre Léon Bérard à Lyon**, comme nous l'avons indiqué ci-dessus, les activités mises en jeu sont nettement plus importantes. En 2007, 89 patients ont été admis en chambre plombée (avec une activité moyenne de 3,7 GBq) et 18 patients ont été traités hors chambre plombée (avec une activité moyenne de 270 MBq).

Dans ce dernier cas, les contrôles effectués en 2009 au niveau du collecteur général des eaux usées (près du service de médecine nucléaire) montrent une forte contamination en iode 131 (3 320 Bq/l en moyenne annuelle), nettement supérieure à la valeur guide de 100 Bq/l.

En Rhône-Alpes, 12 établissements utilisent de l'iode 131 pour des activités médicales.

Pour les 6 établissements qui ont bien voulu nous communiquer des données, il apparaît que les quantités d'iode 131 commandées annuellement sont de l'ordre du GBq à plusieurs centaines de GBq (752,6 GBq en 2009 pour le centre Léon Bérard).

Quelles que soient les modalités de gestion mises en œuvre au sein de l'hôpital, des rejets diffus sont effectués par le patient de retour à domicile ou au sein d'autres établissements. Pour des patients ayant subi une thérapie métabolique, les doses administrées sont de l'ordre de 3,7 GBq et, même après plusieurs jours d'isolement en chambre plombée, les mesures effectuées par la CRIIRAD montrent que leurs urines restent fortement contaminées (plusieurs millions de Bq/l). Ces rejets diffus ne sont pas pris en compte par la réglementation.

Les activités de médecine nucléaire, tout en respectant les textes en vigueur, conduisent ainsi à un rejet diffus d'iode 131 dans les systèmes de collecte des eaux usées. Ce rejet pourrait dépasser plusieurs milliards de Bq par an pour certains établissements, soit des valeurs supérieures de plusieurs ordres de grandeurs aux rejets d'iode 131 effectués par les centrales nucléaires (0,023 GBq pour Bugey et 0,012 GBq pour St Alban en 2007).

L'expérience montre que les dispositifs de dépollution des eaux usées n'ont pas une efficacité totale pour ce qui concerne l'iode 131 et que les eaux traitées entraînent une contamination secondaire du milieu récepteur.

2.3. Rejets radioactifs liquides des INB

2.3.1. Type de documentation disponible

Depuis la mise en application de la loi TSN, les Installations Nucléaires de Base sont tenues de produire un rapport annuel, dit « rapport TSN » qui décrit les rejets de l'installation et les contrôles effectués sur l'environnement.

En ce qui concerne la description des rejets radioactifs liquides effectués dans l'environnement les informations contenues dans ces documents sont cependant très partielles.

Ceci est illustré ci-dessous par l'exemple du site de Cruas et de ses rejets de nickel 63, un élément radioactif émetteur bêta pur, de période physique égale à 100 ans.

Lacunes concernant le nickel 63

Selon le document détaillé transmis à la CRIIRAD par EDF, la centrale nucléaire de Cruas rejette du nickel 63.

La valeur était par exemple de 154 MBq (millions de Becquerels) pour l'année 2006 et 476 MBq en 2009.

Or l'arrêté interministériel du 7 novembre 2003 qui encadre les autorisations de rejet ne demande pas de déclarer spécifiquement ce radionucléide mais seulement les catégories : tritium, carbone 14, iodes et « *autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta et gamma* ». Le nickel 63 étant un émetteur bêta pur, il n'est donc pas comptabilisé dans les rejets déclarés par EDF dans les rapports TSN comme le montre l'extrait E1 ci-dessous du rapport TSN 2009 de Cruas :

E1 / Rejets radioactifs liquides du CNPE de CRUAS en 2009 / source : rapport TSN

Pour les réacteurs en fonctionnement

	Unité	Limite réglementaire annuelle	Activité rejetée	% de la limite réglementaire
Tritium	T Bq	80	56,9	71,2%
Carbone 14	G Bq	600	68,2	11,4%
Iodes	G Bq	0.6	0,058	9,6%
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta et gamma	G Bq	70	1,52	2,5%

1 TBq (térabecquerel) : 10^{12} Bq
1 GBq (gigabecquerel) : 10^9 B

Pour l'année 2009, la somme des activités des produits de fission ou d'activation émetteurs bêta et gamma calculée à partir des rejets détaillés fournis par EDF est de 1 523,78 MBq. Cette valeur est cohérente avec le chiffre de 1,52 GBq publié dans le rapport TSN 2009 et confirme bien que le rejet de nickel 63 (476 MBq en 2009 selon EDF) n'apparaît pas dans le rapport TSN. La sous-évaluation des rejets déclarés, liée notamment à des insuffisances de la réglementation a été dénoncée de longue date par la CRIIRAD (cas du carbone 14, du nickel 63, de l'activité bêta totale).

Lacunes concernant le carbone 14

Comme indiqué dans le tableau TR 5 page 16, le carbone 14, qui est pourtant en seconde position de par l'activité rejetée par les centrales électronucléaires, n'est mesuré que depuis peu de temps par certaines centrales EDF.

Il ne l'est toujours pas pour le CNPE du Bugey par exemple qui nous a adressé le 28 octobre 2010 la liste détaillée des rejets radioactifs liquides des années 2007 à 2009.

Dans ce document, reproduit ci-dessous (extrait E2), le carbone 14 n'est pas mentionné.

Il l'est par contre dans les rapports TSN (extrait E3 ci-dessous), avec la mention « *calculé à partir de la puissance électrique produite* ».

Pour le CNPE du Tricastin, le carbone 14 (dont la mesure est requise depuis août 2008) est mentionné dans les rapports TSN à partir de 2008, mais pas dans les tableaux détaillés de rejets de 2008 à 2009 que la centrale nous a communiqués en décembre 2010.

La CRIIRAD dénonce ce type de « lacunes » depuis plusieurs années.

E2 / Extrait du courrier adressé à la CRIIRAD par le CNPE du Bugey (rejets liquides 2007 à 2009).

BILAN DES REJETS RADIOACTIFS REALISES PAR LE CNPE BUGUEY POUR LES ANNEES 2007 - 2008 ET 2009

Activité annuelle rejetée pour chaque radionucléide en MBq

	Volume annuel TER rejeté en m3	Nombre de réservoirs TER rejetés	Tritium rejeté dans l'année en MBq	Nickel 63 rejeté dans l'année en MBq	Iode 131 rejeté dans l'année en MBq	Manganèse 54 rejeté dans l'année en MBq	Cobalt 58 rejeté dans l'année en MBq	Cobalt 60 rejeté dans l'année en MBq	Argent 110m rejeté dans l'année en MBq	Tellure 123m rejeté dans l'année en MBq	Antimoine 124 rejeté dans l'année en MBq	Antimoine 125 rejeté dans l'année en MBq	Césium 134 rejeté dans l'année en MBq	Césium 137 rejeté dans l'année en MBq	Chrome 51 rejeté dans l'année en MBq	Molybdène 99 rejeté dans l'année en MBq
année 2007	60600	159	4,88 E7	151	23,2	26	264	195	736	15,5	125	85	17	31	8,7	0,7
année 2008	49100	131	4,73 E7	133	31,1	20	323	140	951	23,5	25	65	15	33	3,8	0,3
année 2009	45000	118	5,49 E7	117	14	20	285	99	821	14	45	84	14	28	1,5	0,7

E3 / Extrait du rapport TSN du CNPE du Bugey (rejets liquides en 2009).

Pour les réacteurs en fonctionnement

	Unité	Limite réglementaire annuelle	Activité rejetée	% de la limite réglementaire
Tritium	T Bq	185	54,9	29,7
Carbone 14	G Bq	Pas de limite réglementaire	37,7 *	sans objet
Nickel 63	M Bq	Pas de limite réglementaire	117	sans objet
Iodes	G Bq	2035	0,0135	0,07
Autres produits de fission ou d'activation, émetteurs bêta et gamma	G Bq		1,42	

1 TBq (térabecquerel) : 10^{12} Bq

1 GBq (gigabecquerel) : 10^9 Bq

* : ce chiffre est calculé à partir de la puissance électrique produite

Méthodologie suivie

Lorsque les informations plus détaillées demandées par la CRIIRAD aux exploitants des INB ne nous sont pas parvenues, nous avons utilisé à défaut celles issues des rapports TSN correspondant.

La colonne « rejets liquides » du tableau TR 4 ci-dessous précise si les documents utilisés sont les documents spécifiques détaillés fournis à la CRIIRAD par l'exploitant en réponse au courrier de la CRIIRAD (dans ce cas est mentionnée l'année des rejets mentionnés) ou s'il s'agit du rapport TSN ou le cas échéant du rapport annuel environnement qui peut être consulté auprès des services du Conseil Général.

TR 4 / Liste des principales INB de la région Rhône-Alpes ou installations assimilées et bilan des documents recueillis.

Département	Nom établissement	Demande de Juin 2007	Demande de Septembre- Octobre 2010	Rejets liquides	Radioécologie
		Date réponse	Date réponse		
AIN	CERN	Pas de réponse	Demande non renouvelée		
ISERE	Superphénix / Morestel	18-juil-07	29 octobre 2010	2006-2009 / TSN 2009	Rapport LSCE 2005 + rapports IRSN 2007 et 2008
AIN	CNPE BUGEY	17-juil-07	28 octobre et 25 nov 2010	2006-2009 / TSN 2007- 2008-2009	Rapport IRSN 2005 + 2007 à 2009
ISERE	CNPE Saint-Alban	19-juil-07	22 oct et 6 décembre 2010	2006-2009 / TSN 2007- 2008-2009	Rapport IRSN 2005 + suivis EDF 2007-2009
ARDECHE	CNPE Cruas	09-juil-07	Consultation rapport annuel 2009 prêté par Conseil Général 07	2006 / TSN 2007-2008- 2009	Rapport IRSN 2005 + synthèse 2006 à 2009
DROME	CNPE Tricastin	17-juil-07	08-déc-10	2006-2009 / TSN 2007- 2008-2009 / RE 2009	Rapport IRSN 2005 + extraits 2007 à 2009
DROME	Site nucléaire du Tricastin	Pas de demande	Accusé réception 7/10/10	RE 2009	Rapport Annuel 2009
ISERE	ESRF / Grenoble	Pas de rejet	Demande non renouvelée	Néant	Sans objet
ISERE	CEA Grenoble	22-oct-07	Demande non renouvelée	TSN 2006- 2007-2008- 2009	TSN 2006-2007-2008- 2009
ISERE	Réacteur ILL / Grenoble	28-juin-07	Accusé réception du 5/10/10	2006 / TSN 2007-2008	2006 / TSN 2007-2008
DROME	FBFC Romans	Données disponibles	Données disponibles	RE 2007	RE 2007

Légende : RE (Rapport Environnement) / TSN (Rapport TSN)

La nature et la quantité de substances radioactives rejetées dépendent du type d'installation nucléaire.

L'ensemble des informations recueillies est regroupé dans les tableaux TR 5 (principales catégories de radionucléides) et TR 6 (radionucléides individuels) pages 16 et 17.

Les unités utilisées sont des multiples du Becquerel (Bq) : le MBq (1 million de Bq), le GBq (1 milliard de Becquerels) et le TBq (mille milliards de Becquerels).

TR 5 / Rejets radioactifs liquides déclarés par les principales INB de la région Rhône-Alpes
(principales catégories de radionucléides)

	H3 (TBq)	C14 (GBq)	Iodes (GBq)	Iode 131 (GBq)	I 133 (GBq)	Ni63 (MBq)	Emetteurs alpha (MBq)	Autre (GBq)	Tc 99 (GBq)
2006									
Super Phénix	0,00209	?	?	8,28E-04	?	?			
Bugey	45,4	?		0,0251	4,35E-04	171			
Saint Alban	51,15	16,45		2,01E-02	?	343,9			
Cruas	48,4	73,6	?	0,03664	?	154		?	
Tricastin EDF	41,4	44,9	?	0,0398	?	91,4		?	
ILL (Grenoble)	0,12	?						0,28 (1)	
CEA Grenoble	0,00072	?					0,4	0,0152 (2)	
2007									
Super Phénix	0,00399	?	?	0,768 (1/2 seuil)	?	0,70		voir détail	
Bugey	48,8	42,2 (calculé)	0,0234	0,0232	?	151		1,51	
Saint Alban	54	18,5	0,012	0,012	?	170		0,78	
Cruas	35,5	46,6	0,0325			TSN ?		1,42	
Tricastin AREVA	2,175	20,9				?	5 721	11,35 (5)	27,6
Tricastin EDF	38,2	TSN ?	0,027	0,0266	?	80,1		0,59	
ILL (Grenoble)	0,53	0,23	0,0012					0,48 (1)	
CEA Grenoble	0,00068	?					0,103	0,00765 (2)	
2008									
Super Phénix	0,00301	?		Pas de mesure		2,18		voir détail	
Bugey	47,3	45 (calculé)	0,031	0,0311	?	133		1,6	
Saint Alban	39	8,5	0,014	0,0137	?	160		0,54	
Cruas	51,2	40,0	0,0327			TSN ?		1,29	
Tricastin AREVA	3,684	10,2				?	6 699	7,7 (5)	40,8
Tricastin EDF	35,5	3,38 (3)	0,0257	0,0257	?	63,1		0,542	
ILL (Grenoble)	0,22	0,23	0,002					0,0975 (4)	
CEA Grenoble	0,00009	?					0,234	0,00905 (2)	
2009									
Super Phénix	0,00314			Pas de mesure		2,59		0,0173	
Bugey	54,9	37,7 (calculé)	0,0135	0,014	?	117		1,42	
Saint Alban	57	14,1	0,013	0,0127	?	135		0,38	
Cruas	56,9	68,2	0,058	0,0572	0,000616	476		1,52	
Tricastin AREVA	1,30	3,0				?	8 800	8,77 (5)	16,3
Tricastin EDF	36,2	15,9	0,032	0,032		86,5		1,05	
CEA Grenoble	0,00043	?					0,254	0,00378 (2)	

(1) Produits d'activation hors tritium

(2) Emetteurs bêta-gamma

(4) Emetteurs bêta-gamma

(3) Analyses réalisées à partir du 1/8/2008, date d'application du nouvel arrêté de rejet

(5) Bêta (hors tritium et carbone 14)

TR 6 / Rejets radioactifs liquides déclarés par les principales INB de la région Rhône-Alpes (autres radionucléides)

	Mn 54 (MBq)	Co 58 (MBq)	Co 60 (MBq)	Ag110m (MBq)	Ag 108m (MBq)	Te 123m (MBq)	Sb 124 (MBq)	Sb 125 (MBq)	Cs 134 (MBq)	Cs 137 (MBq)	Na 24 (MBq)	Fe 59 (MBq)	Cr 51 (MBq)	Mo 99 (MBq)	Tc99m (MBq)
2006															
Super Phénix	1,12	1,18	3,93	?	?	?	?	?	1	1,05	1,38	2,34	?	?	?
Bugey	23,2	232	167	1 120	0,27	21,4	55,9	200	35,9	108		1,66		1,29	1,18
Saint Alban	28,05	287,7	496	31,27	?	8,779	28,19	50,57	19,64	62,84	?	?	7,383	?	?
Cruas	55,73	326,6	203,8	316,8	?	78,47	125,9	204,5	53,99	61,22	?	?	?	?	?
Tricastin EDF	44,2	108	123	92	?	34,6	99,8	117	41,1	50,7	?	?	?	?	?
ILL (Grenoble)															
CEA Grenoble															
2007															
Super Phénix	1,763	1,491	5,745						1,403	1,887	3,82	3,206			
Bugey	26	264	195	736	?	15,5	125	85	17	31	?	?	8,7	0,7	?
Saint Alban	17	82	550	24	?	5,9	16	46	12	35	?	?	?	?	?
Cruas															
Tricastin AREVA															
Tricastin EDF	32,1	50,7	240	52	?	22,2	52	78,7	27,7	35,6	?	?	?	?	?
ILL (Grenoble)															
CEA Grenoble															
2008															
Super Phénix	1,975	2,522	3,287						2,222	2,741	2,736	5,198			
Bugey	20	323	140	951	?	23,5	25	65	15	33	?	?	3,8	0,3	?
Saint Alban	16,3	209	155	40,3	?	13,4	21,7	42,2	15,1	27	?	?	?	?	?
Cruas															
Tricastin AREVA															
Tricastin EDF	27,4	60,3	232	43,5	?	23,2	26,3	75,1	24,9	29,5	?	?	?	?	?
ILL (Grenoble)															
CEA Grenoble															
2009															
Super Phénix	1,783	1,697	4,931						1,615	1,929	1,796	3,518			
Bugey	20	285	99	821	?	14	45	84	14	28	?	?	1,5	0,7	?
Saint Alban	13,6	103,3	140	19,3	?	9,6	13,9	34,5	15,2	25,2	?	?	?	?	?
Cruas	45,2	507	424	224	?	34,2	58,2	128	49,8	52,6	?	?	?	?	?
Tricastin AREVA															
Tricastin EDF	52,3	100,6	443,1	228,2	?	32,3	33,2	96,2	32,1	37,6					

2.3.2. Rejets des centrales nucléaires

Liste des centrales nucléaires

Il peut s'agir de centrales de faible puissance destinées à de la recherche comme l'ILL (Institut Laue Langevin) à Grenoble ou de centrales électronucléaires appelées CNPE (Centre Nucléaire de Production d'Electricité).

En Rhône-Alpes on compte 5 CNPE qui, compte tenu des besoins en eau de refroidissement, sont situés sur le cours du Rhône. On distingue de l'amont à l'aval :

- **Superphénix**, réacteur à neutrons rapide, en cours de démantèlement
- **Bugey** : 4 réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MW en fonctionnement et 1 réacteur UNGG mis à l'arrêt en 1992 et en cours de démantèlement.
- **Saint-Alban** : 2 réacteurs à eau pressurisée (REP) de 1 300 MW en fonctionnement.
- **Cruas** : 4 réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MW en fonctionnement.
- **EDF Tricastin** : 4 réacteurs à eau pressurisée (REP) de 900 MW en fonctionnement.

Origine et nature des rejets liquides

Les effluents liquides d'une centrale nucléaire proviennent du circuit primaire et des circuits annexes nucléaires. L'eau du circuit primaire est contaminée par des produits de fission et des produits d'activation.

Les produits de fission sont des éléments radioactifs issus de la cassure (fission) des atomes fissiles contenus dans le combustible nucléaire (comme l'uranium 235). Ils devraient en théorie être confinés dans les gaines du combustible mais en réalité certains produits de fission parviennent à traverser la gaine d'autant que certaines présentent des fissures. EDF est en effet autorisé à faire fonctionner les réacteurs nucléaires avec un certain taux de fissure de gaines.

Les produits d'activation résultent eux de l'interaction des neutrons émis lors des fissions avec les atomes présents dans leur environnement, c'est-à-dire les atomes présents dans les matériaux de structure et les fluides du circuit primaire (métaux, eau).

L'eau du circuit primaire est donc contaminée. Les mouvements d'eau dans le circuit (purges, fuites, traitement chimique, etc..) conduisent à des rejets radioactifs liquides, malgré les traitements effectués sur les effluents avant rejet.

En quantité, les principales substances radioactives rejetées par les centrales électronucléaires, par voie liquide, sont le **tritium** (plusieurs dizaines de TBq par centrale) et le **carbone 14** (plusieurs GBq à dizaines de GBq par centrale).

Comme indiqué dans le tableau TR 7 ci-dessous, le tritium et le carbone 14 représentaient en 2007, pour les centrales électronucléaires de Bugey, Saint-Alban et Cruas, **plus de 99,99 %** de l'activité rejetée. On notera que pour le CNPE du Bugey, la valeur donnée pour le carbone 14 est une valeur calculée par EDF à partir de la puissance électrique, la mesure directe de cet élément radioactif dans les effluents liquides n'étant pas encore effectuée.

TR 7 / Part du tritium et du carbone 14 dans les rejets radioactifs liquides de 3 centrales électronucléaires en 2007

	H3 (TBq)	C14 (GBq)	Iodes (GBq)	Ni63 (MBq)	Autre (GBq)	Part H3+C14 / total	Part H3 / total
Bugey	48,8	42,2	0,0234	151	1,51	99,997%	99,910%
Saint Alban	54	18,5	0,012	170	0,78	99,998%	99,964%
Cruas	35,5	46,6	0,0325	TSN ?	1,42	99,996%	99,865%
Tricastin EDF	38,2	TSN ?	0,027	TSN ?	0,59		

Le tritium

Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène dont il possède les mêmes propriétés chimiques. Il émet des rayonnements bêta de faible énergie. Sa période physique est de **12,3 ans**. Il est produit naturellement dans la haute atmosphère par interaction du rayonnement cosmique sur certains atomes présents dans l'air. Dans un réacteur nucléaire, il est produit par fission ternaire de l'uranium, mais surtout par **l'activation neutronique** du bore et du lithium contenus dans l'eau du circuit primaire.

La quantité de tritium produite est liée à l'énergie fournie par le réacteur. L'atome de tritium étant de l'hydrogène, c'est le plus petit atome existant. Il n'est pas piégé par les systèmes de filtration mis en place sur les effluents radioactifs liquides avant rejet.

C'est pourquoi il représente plus de 99 % de la radioactivité rejetée par voie liquide (cf. tableau TR 7 ci-dessus).

Le carbone 14

Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone. Il se désintègre en azote stable en émettant un rayonnement bêta de faible énergie. Sa période physique est de **5 730 ans**. Il est produit naturellement dans la haute atmosphère par interaction du rayonnement cosmique sur certains atomes présents dans l'air.

Dans un réacteur nucléaire, il est produit principalement par **activation** neutronique de l'oxygène contenu dans l'eau du circuit primaire. La quantité de carbone 14 produite est liée à l'énergie fournie par le réacteur.

Le carbone 14 est relativement mal retenu par les systèmes de traitement des effluents radioactifs. Il est rejeté par voie atmosphérique sous forme de gaz et par voie liquide sous forme de CO₂ dissous.

Le nickel 63

Le nickel 63 est un isotope radioactif du nickel. Il se désintègre en émettant un rayonnement bêta de faible énergie. Sa période physique est de **100 ans**.

Dans un réacteur nucléaire, il est produit par activation neutronique du nickel contenu dans les aciers. La CRIIRAD dénonce depuis de nombreuses années le fait que ce radionucléide n'est pas correctement comptabilisé dans les rejets déclarés par EDF. Depuis quelques années, il fait l'objet de mesures spécifiques par certaines centrales.

Comme indiqué dans le tableau TR 5 page 16, l'activité annuelle rejetée est en général supérieure à la **centaine de MBq** par centrale et par an (le rejet de Saint-Alban en 2006 était de 343,9 MBq).

Iodes radioactifs

Les iodes radioactifs proviennent de la fission du combustible nucléaire au sein des assemblages de combustible. Cela représente une quinzaine d'isotopes radioactifs différents potentiellement présents dans les rejets. L'isotope le plus important est l'**iode 131**, émetteur bêta et gamma de période physique égale à **8 jours**.

Comme indiqué dans le tableau TR 5 page 16, l'activité annuelle rejetée est de l'ordre de **10 à 40 MBq** par centrale et par an (le rejet du CNPE du Tricastin en 2006 était de 39,8 MBq).

Autres produits de fission et d'activation

Historiquement, les centrales nucléaires déclaraient les activités rejetées sous forme liquide par catégories de radionucléides.

La catégorie « autres produits de fission et d'activation émetteurs bêta et gamma » est censée représenter le cumul des activités des éléments rejetés à l'exception du tritium, des iodes radioactifs, du carbone 14 (et du nickel 63) comptabilisés séparément.

En réalité, initialement, EDF ne précisait pas que les rejets de carbone 14 et de nickel 63 n'étaient pas pris en compte dans la rubrique « autres radionucléides ».

Comme indiqué dans le tableau TR 5 page 16, l'activité annuelle rejetée pour ces « autres produits de fission et d'activation » est **de l'ordre du GBq** par centrale et par an (le rejet du CNPE du Bugey en 2008 était de 1,6 GBq).

Comme indiqué dans le tableau TR 6 page 17, il s'agit principalement de radionucléides comme le **cobalt 58 et le cobalt 60, l'argent 110^m, l'antimoine 124 et 125, le manganèse 54, les césium 134 et 137**, etc... Ces radionucléides sont détectables par spectrométrie gamma, c'est pourquoi leur activité est prise en compte, contrairement aux radionucléides émetteurs bêta purs comme le carbone 14 et le nickel 63, qui ne sont pas mesurables par spectrométrie gamma, mais seulement au moyen de techniques spécifiques.

Radionucléides émetteurs alpha

Les centrales électronucléaires ne sont pas autorisées à rejeter des radionucléides émetteurs alpha comme certains isotopes de l'uranium (uranium 238, uranium 234, uranium 235) ou du plutonium (plutonium 238, plutonium 239-240).

2.3.3. Rejets des autres INB

Les sites qui comportent des installations de recherche ou liées au cycle du combustible nucléaire, peuvent rejeter les radionucléides listés ci-dessus ainsi que des isotopes de la famille de l'uranium naturel (uranium 238, uranium 234, uranium 235), voire des isotopes artificiels de l'uranium (uranium 232, uranium 236) et des transuraniens (isotopes du plutonium, du curium, américium 241).

Par exemple, l'utilisation d'uranium issu du retraitement sur les sites AREVA du Tricastin ou de FBFC à Romans conduit à manipuler des isotopes artificiels⁷. Certains de ces radionucléides sont émetteurs de rayonnement alpha.

Les installations du CEA à Grenoble ont rejeté 0,4 MBq d'émetteurs alpha dans l'Isère en 2006, les installations d'AREVA au TRICASTIN en ont rejeté 8 800 MBq en 2008 dans le Rhône (voir tableau TR 5 page 16).

2.3.4. Modalités de rejets liquides

Généralités

Les effluents liquides des INB doivent être contrôlés avant rejet. La quantité totale d'activité rejetée durant l'année doit être inférieure à des limites fixées par voie réglementaire.

Les rejets doivent être effectués selon des modalités permettant de garantir que l'activité volumique de l'eau de la rivière ou du fleuve dans la « zone de bon mélange » reste inférieure à des valeurs fixées par la réglementation.

Les stations de rejet sont des ouvrages spécifiques placés sous le contrôle de « l'exploitant » de l'INB, contrairement aux rejets des services de médecine nucléaire qui rejoignent le milieu naturel via les stations de traitement des eaux usées gérées par la collectivité.

Remarque sur les rejets du CEA Grenoble dans l'Isère

En ce qui concerne les rejets dans l'Isère, ceux du CEA de Grenoble se faisaient par l'intermédiaire d'un Egout des Eaux Spéciales via une installation qui effectuait les derniers contrôles de conformité du rejet.

Selon le CEA⁸, « dans le cadre des opérations de désinstallation nucléaire, l'Egout des Eaux Spéciales a été consigné définitivement le 4 février 2009, entraînant de fait l'arrêt de tous les rejets d'effluents liquides des installations du CEA Grenoble. Sur les 1 600 m de tuyauterie à démonter, environ 70 % l'ont été en 2009. Les opérations se poursuivent en 2010. Seule la partie en aval de l'ILL est conservée pour les besoins de cette installation. »

⁷ C'est pourquoi certaines installations d'AREVA au Tricastin déclarent des rejets spécifiques de technétium 99 (40,8 GBq en 2008).

⁸ CEA Grenoble, rapport TSN 2009, page 15.

3. METHODOLOGIE GENERALE

3.1. Stratégie de prélèvements

L'étude a consisté à réaliser des prélèvements d'eau, sédiments et plantes aquatiques sur le Rhône et certains de ses affluents : principalement l'Isère (impact des INB de Grenoble) ainsi que la Saône en amont de Lyon et l'Ain (références).

Les groupes de stations ont été choisis de manière à disposer de couples amont / aval en privilégiant 2 termes sources principaux : les **Installations Nucléaires de Base (INB)** et les **services de médecine nucléaire**.

1 / Terme source : INB

Un couple amont-aval a été retenu pour **chaque centrale nucléaire** (CNPE) : Superphénix (en cours de démantèlement), Bugey, Saint-Alban, Cruas, Tricastin, et pour les installations nucléaires de Grenoble (CEA, ILL).

En ce qui concerne l'impact des rejets du CERN (accélérateurs de particules), il fait l'objet d'une étude spécifique traitée dans un autre rapport de la CRIIRAD.

Pour chacun de ces cas, chaque station numérotée STi est complète (eau, sédiments et plantes aquatiques), soit **16 stations**.

- ST1 (aval CERN), ST2 (amont Superphénix), ST3 (aval Superphénix), ST4 (aval Bugey). Ces stations sont situées sur le Rhône en amont de Lyon.
- ST5 sur la Saône en amont de Lyon (Référence).
- ST6 (aval Lyon), ST7 (amont Saint-Alban), ST8 (aval Saint-Alban), ST9 (aval rejets eaux usées de l'agglomération de Valence), ST10 (aval Cruas), ST11 (amont Tricastin), ST12 (aval Tricastin). Ces stations sont situées sur le Rhône, de l'aval de Lyon à l'aval du site nucléaire du Tricastin en tenant compte de la localisation des centrales de Saint-Alban et de Cruas, et du rejet des eaux usées de l'agglomération lyonnaise.
- ST14 D (Drac en amont du CEA Grenoble), ST14 I (Isère en amont du CEA Grenoble), ST14 ID (Isère en aval de Grenoble) et ST 13 (Isère à Pont d'Isère avant confluence avec le Rhône et en aval du site FBFC à Romans).

Les stations amont sont situées systématiquement à plus de 5 kilomètres des INB, de manière à minimiser l'impact des rejets liquides de l'installation (inversion des courants) et l'impact des retombées liées aux rejets atmosphériques.

Les stations aval ont été choisies dans un secteur situé à environ 2 km des INB (Cruas : environ 2,5 km, Saint-Alban environ 1,6 km) afin de se situer dans la zone après mélange du rejet avec les eaux du Rhône.

Dans le cas des installations du Tricastin, compte tenu de la configuration du Rhône (rejet dans le canal de Donzère) le prélèvement aval a été effectué dans le Rhône en aval de la confluence avec le canal.

2 / Terme source : activités de médecine nucléaire

Un couple amont-aval a été recherché également pour certaines stations de **traitement des eaux des grandes villes** disposant d'au moins un service de médecine nucléaire.

Des stations complémentaires P_i ont été ajoutées, lorsque nécessaire, afin d'affiner le diagnostic. En fonction du budget global alloué, les stations ont pu être allégées en ne conservant que les plantes aquatiques, et en ne réalisant que le dosage des radionucléides hospitaliers émetteurs gamma comme l'iode 131, le technétium 99^m, l'iode 125, le thallium 201, l'indium 111, etc...

Les stations complémentaires sont listées ci-dessous :

- P1 pour l'analyse des plantes aquatiques du Rhône en aval de la confluence avec le Fier (impact éventuel des activités de médecine nucléaire de l'agglomération **d'Annecy**).
- P2 pour le dosage du tritium et l'analyse des plantes aquatiques dans **l'Ain (référence)**.
- P4 pour l'analyse des plantes aquatiques du Rhône en aval des rejets des eaux usées de **l'agglomération lyonnaise** (impact éventuel des activités de médecine nucléaire de l'agglomération).
- P5 pour l'analyse des plantes aquatiques du Rhône, en aval des rejets des eaux usées de **l'agglomération de Valence** (impact éventuel des activités de médecine nucléaire de l'agglomération).
- P6 pour l'analyse des plantes aquatiques du Rhône en amont de la centrale de Cruas.

Cartes de localisation

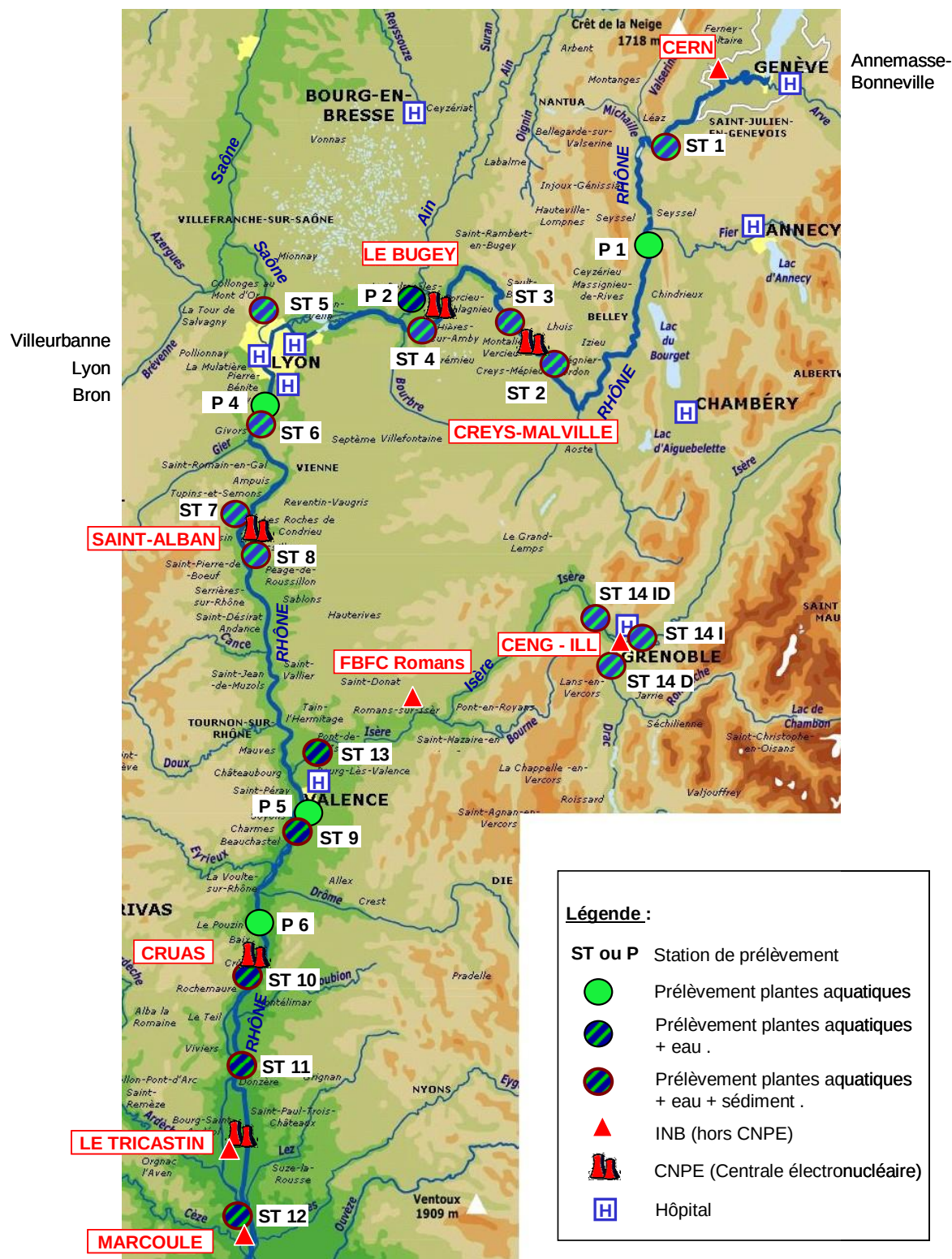
Les secteurs retenus figurent sur la carte générale C0 page suivante. Le symbole H mentionne la présence de structures hospitalières dotées d'un service de médecine nucléaire.

La localisation exacte des stations d'échantillonnage, effectuée au moyen des coordonnées GPS, figure sur les cartes détaillées C1 à C19 en [Annexe 1](#).

Remarques concernant les plantes aquatiques

S'agissant des plantes aquatiques, du fait de la difficulté de disposer des mêmes espèces à toutes les stations (voir ci-après), plusieurs espèces ont été échantillonnées en chaque station ST_i et/ou P_i, lorsque cela était possible, portant à **26** le nombre total d'échantillons de plantes.

Carte C0 / localisation des stations d'échantillonnage STi et Pi



3.2. Organisation des prélèvements

Les prélèvements ont été effectués par monsieur Christian Courbon, technicien spécialisé, accompagné systématiquement, pour des raisons de sécurité, d'un assistant.

Ils ont été effectués à partir d'un Zodiac appartenant à la CRIIRAD.

Dans certains cas, des repérages ont dû être effectués au préalable afin de localiser les zones de mise à l'eau du Zodiac et d'affiner le choix des stations en fonction de la disponibilité des plantes aquatiques et de la présence de zones propices à la sédimentation.

Des repérages ont été effectués par exemple le 10 juillet 2007 (entre Saint-Alban et Givors) et le 12 juillet 2007 (Saône en amont de Lyon et Rhône de Lyon au Bugey), etc..

Contrairement à ce qui était prévu dans le projet initial (réalisation des prélèvements au cours d'un mois), les prélèvements ont dû être étalés de fin **juin à mi-octobre 2007**.

La réalisation des prélèvements a nécessité au total **4 campagnes de repérage** et **onze missions de prélèvements** listées dans le tableau TM 1 ci-dessous.

TM 1 / liste des missions de repérage et échantillonnage et kilométrage parcouru

1 / Déplacements CRIIRAD pour repérages / Rhône 2007

Date	Zone	km
10-juil	Givors	190
12-juil	Bugey	334
28 août	Givors	334
26-sept	Pont d'Isère	60
Total		918

2 / Déplacements CRIIRAD pour prélèvements / Rhône 2007

Date	Zone	km
27-juin	Saint-Etienne des Sorts	214
28-juin	Cruas	96
29-juin	Charmes	40
09-juil	Péage de Roussillon	132
18-juil	Condrieu	176
11-sept	Bugey	334
12-sept	Fontaine sur Saône	288
13-sept	Saint Julien en Genevois	508
14-sept	Creys Malville	338
09-oct	Pont d'Isère	60
17-oct	Grenoble	216
Total		2402

La campagne de fin Juin début juillet a dû être interrompue compte tenu des fortes pluies et des crues intervenues début juillet 2007. En effet compte tenu de la hauteur d'eau et des débits, il n'était plus possible de réaliser des prélèvements tant pour des raisons de sécurité que pour des raisons techniques (niveau d'eau supérieur à la hauteur du tube de prélèvement, courant trop fort rendant impossible la stabilisation de l'embarcation).

Une dernière tentative a été effectuée le 18 juillet 2007 afin que les échantillons à la station ST7, en amont du CNPE de Saint-Alban, ne soient pas prélevés trop longtemps après les échantillons de la station ST8 (Aval du CNPE de Saint-Alban) prélevés le 9 juillet 2007.

Cet objectif ayant été atteint avec difficulté la campagne a été interrompue et les prélèvements reportés à fin août 2007 pour les secteurs situés plus en amont.

La localisation des stations est reportée dans le tableau TM 2 page suivante avec indication :

- Du code de la station STi ou Pi
- Du nom de la localité importante la plus proche,
- des PK (Point kilométrique sur le cours du Rhône) déterminés sur le terrain à mieux que 250 mètres près, à partir des panneaux indicateurs qui mentionnent les PK tous les 500 mètres,
- des dates de prélèvement,
- des coordonnées GPS,
- de la rive (droite ou gauche),
- de la distance à la berge,
- d'observations spécifiques.

Les coordonnées GPS (GPS Garmin GPSmap 60CX) sont reportées en outre dans le tableau en [Annexe 2](#).

3.3. Méthodes de prélèvements

Les eaux

Les eaux ont été prélevées en surface en flaconnage plastique (pot de 250 cc avec obturateur).

Les sédiments

Les prélèvements de sédiments ont été effectués au moyen d'un **tube gradué** en méthacrylate extrudé (diamètre intérieur 36 mm, longueur 2 mètres). Les sédiments ont été prélevés au niveau des herbiers de plantes car cela permet en général une accumulation de sédiments fins.

Les sédiments de la station ST7 (amont Saint-Alban) sont grossiers car il s'agit d'un secteur à fort courant.

Les sédiments ont été échantillonnés sur une profondeur de **0 à 20 cm** à 1 cm près.

Il a fallu une dizaine de prises pour obtenir environ 2 litres de sédiments qui ont été préalablement introduits dans un seau.

Après élimination de l'excédent d'eau, les sédiments ont été conditionnés dans un pot B2000 de 2 litres de contenance et mis en glacière réfrigérée pour transport au laboratoire de la CRIIRAD.

TM 2 / Description des stations d'échantillonnage

Code station	Lieu	PK	Date	Coordonnées GPS	Rive	Distance berge	Localisation
ST 12	Saint Etienne des Sorts	PK 202,5	27/06/2007	N44 12.024 E4 42.151	Rive droite	5m berge	Aval pont TGV bleu - aval CNPE Tricastin
ST 11	Donzère	PK 170	27/06/2007	N44 26.893 E4 41.987	Rive gauche	5-6m berge	Aval pont de Donzère - amont 800m de la séparation du Rhône - amont CNPE Tricastin
ST10	Cruas	PK 150,5	28/06/2007	N44 36.644 E4 44.513	Rive droite	5m berge	Aval de l'ilot et CNPE Cruas
P 6	Le Pouzin	PK 134,5	28/06/2007	N44 44.784 E4 45.459	Rive droite	10m berge	Aval 500 m usine - amont barrage Pouzin (1,1km) - amont CNPE Cruas
ST 9	Charmes/Rhône	PK 118,7	29/06/2007	N44 51.623 E4 50.914	Rive gauche	5m berge	Face village - amont barrage(850m)
P 5	Valence	PK 110,1	29/06/2007	N44 55.714 E4 52.900	Rive gauche	2 m berge	Aval pont de guilherand (400 m)
ST 8	Saint Alban	PK 49,7	09/07/2007	N45 23.493 E4 45.577	Rive gauche	5-10 m berge	Aval CNPE St Alban
ST 7	Condrieu	PK 37,7	18/07/2007	N45 28.490 E4 47.131	Rive droite	10m berge	Amont CNPE St Alban - Aval de l'île du Beurre
ST 4	Loyettes Plantes		11/09/2007	N45 47.024 E5 11.131	Rive droite		Aval Bugey ,aval Pont de Loyettes
	Loyettes Sédiments		11/09/2007	N45 46.292 E5 12.325	Rive gauche	2m berge	Aval Bugey,aval immédiat Pont Loyettes
	Loyettes Eau		11/09/2007	N45 46.332 E5 11.979	Rive droite		Aval Bugey,aval Pont Loyettes
P 2	Ain		11/09/2007	N45 49.043 E5 12.839	Rive droite		Amont Pont Port-Galland
ST 6	Givors	PK 16,2	12/09/2007	N45 36.098 E4 47.673	Rive gauche	5 m berge	Aval Lyon
ST 5	Fontaine sur Saône		12/09/2007	N45 50.102 E4 50.258	Rive gauche	5 m berge	Amont Lyon
P 4-D	Bras droit Rhône	niveau PK 13	12/09/2007	N45 37.630 E4 48.388	Rive droite	3 m berge	Aval Lyon
P 4-G	Bras gauche Rhône	PK 13,6	12/09/2007	N45 37.209 E4 48.574	Rive droite	5 m berge	Aval Lyon
ST 3	Briord		14/09/2007	N45 46.806 E5 27.414	Rive gauche	7 m berge	Aval Malville , 500m amont pont de Briors
ST 2	Port de Groslée		14/09/2007	N45 42.739 E5 33.027	Rive droite	3 m berge	Amont Malville ,amont Pont Port de Groslée
ST 1	Début Rhône		13/09/2007	N46 07.676 E5 55.857	Rive gauche	5 m berge	Amont défilé de l'Ecluse
	Début Rhône		13/09/2007	N46 07.652 E5 55.025	Rive gauche		Amont défilé de l'Ecluse
P 1	Aval Fier	PK 1452	13/09/2007	N45 55.490 E5 49.419	Rive gauche		Face Barrage de Motz/aval Fier
ST 13	Pont de l' Isère		09/10/2007	N44 59.873 E4 52.607	Rive gauche	1 m berge	Entre Pont route et Pont autoroute
ST 14 D	Grenoble Drac		17/10/2007	N45 11.880 E5 41.870	Rive gauche		Amont CEA,aval Cezus
ST 14 ID	Grenoble Isère Drac		17/10/2007	N45 16.263 E5 37.325	Rive droite		Aval STEP,aval CEA
ST 14 I	Grenoble Isère		17/10/2007	N45 11.657 E5 43.767	Rive gauche		Amont CEA

Les plantes aquatiques

Comme dans le cadre des études conduites par le laboratoire de la CRIIRAD en 1993, 1997 et 2000 dans le secteur de Saint-Alban, le bioindicateur retenu en priorité est le **potamot pectiné** (potamogeton pectinatus) qui est relativement polyvalent dans sa capacité à piéger les radionucléides présents dans l'eau, et est en outre assez répandu dans le Rhône. Il a pu être repéré et échantillonné pour toutes les stations à l'aval de Givors.

Des **potamots fluitans** ont été repérés en certaines stations et un échantillon a été collecté à la station 12 (aval Tricastin) pour comparaison avec les potamots pectinés recueillis au même endroit.

Des **myriophylles** ont été repérées à toutes les stations et un échantillon a été collecté à la station 7 (amont Saint-Alban) pour comparaison avec les potamots pectinés recueillis au même endroit.

Des renoncules d'eau ont été observées à partir de Saint-Étienne des Sorts au sud du Tricastin.

L'identification des espèces a été effectuée in situ par le technicien CRIIRAD.

Les prélèvements de plantes aquatiques ont été réalisés en surface ou subsurface, à la main ou au moyen d'une **perche** munie d'un outil denté.

Les échantillons de plantes aquatiques ont été soigneusement rincés in situ dans l'eau du fleuve ou de la rivière afin de les débarrasser des particules fines de sédiments qui pourraient fausser l'interprétation des résultats.

En règle générale environ 1,5 Kg de plantes ont pu être prélevés en chaque station. Les échantillons ont été conditionnés en double sac plastique et transportés au laboratoire de la CRIIRAD en glacière réfrigérée.

3.4. Réalisation des analyses

Pour des questions de coût, il n'était pas possible de rechercher et de quantifier toutes les substances radioactives dans tous les échantillons. Le choix des méthodes analytiques et des échantillons soumis à l'analyse a été réalisé dans un souci d'optimisation des moyens.

3.4.1. Méthodes analytiques

Spectrométrie gamma

La spectrométrie gamma permet de détecter et de quantifier des dizaines d'éléments radioactifs dont la désintégration s'accompagne de l'émission de rayonnements gamma. Elle est donc utile tant pour le contrôle de la radioactivité naturelle qu'artificielle.

Pour ce qui concerne les éléments **radioactifs naturels** elle permet de détecter :

- Certains éléments de la chaîne de l'uranium 238 : l'uranium 238 (à travers son premier descendant, le thorium 234), le radium 226 (soit directement soit via ses descendants le plomb et le bismuth 214), et le plomb 210.
- L'uranium 235 et certains de ses descendants (protactinium 231, thorium 227, radium 223, radon 219, plomb 211). En situation naturelle, l'activité de l'uranium 235 est égale à celle de l'uranium 238 divisée par 21,6. Dans le cas où il s'agit d'uranium appauvri en isotope 235 ou au contraire enrichi en isotope 235, ce ratio va respectivement augmenter ou diminuer.
- Certains éléments de la chaîne du thorium 232 : l'actinium 228, le plomb 212, le bismuth 212 et le thallium 208.
- Le potassium 40
- Le béryllium 7, radionucléide d'origine cosmogénique.

En ce qui concerne les éléments **radioactifs artificiels**, la spectrométrie gamma permet de détecter de très nombreuses substances radioactives susceptibles d'être rejetées par les INB comme par exemple : chrome 51, manganèse 54, cobalt 58 et 60, fer 59, ruthénium rhodium 106, argent 110^m, antimoine 125, iode 131 et 129, césium 134 et 137, cérium 144, américium 241 (transuranien), etc..

Elle permet de détecter également la majorité des radionucléides utilisés en médecine nucléaire : technétium 99^m, indium 111, thallium 201, iodes 123, 125, 131, etc..

De par son caractère multi paramètres, la spectrométrie gamma a été utilisée systématiquement pour le contrôle des plantes et des sédiments.

Les analyses par spectrométrie gamma ont été effectuées au laboratoire de la CRIIRAD (voir en [annexe 7](#), la liste des agréments délivrés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire).

Autres méthodes analytiques

Le tritium (émetteur bêta pur) a été recherché dans les eaux par scintillation liquide (laboratoire de la CRIIRAD). Le tritium organiquement lié et le carbone 14 ont été dosés par scintillation liquide (laboratoire RCD).

Le strontium 90 et le nickel 63 ont été dosés par scintillation liquide après séparation chimique (laboratoire SUBATECH).

Les isotopes émetteurs alpha de l'uranium et du plutonium ont été dosés par spectrométrie alpha après séparation chimique (laboratoire SUBATECH).

3.4.2. Traitement des échantillons

Eau

Les eaux ont fait l'objet du dosage du **tritium** par scintillation liquide au laboratoire de la CRIIRAD. Il s'agit du principal radionucléide artificiel rejeté par les installations nucléaires. Les résultats (17 analyses) sont présentés dans le tableau TE 1 page suivante.

Sédiments

Les fractions **granulométriques** ont été déterminées par le laboratoire d'Analyses Agricoles Teyssier à Bourdeaux. Les radionucléides artificiels et naturels **émetteurs gamma** à longue période, ont été recherchés sur 16 échantillons après dessiccation. Les mesures ont été effectuées par spectrométrie gamma, au laboratoire de la CRIIRAD. Les résultats sont présentés en [Annexes 3 et 4](#).

Dans le cadre de la phase 2 de l'étude a été effectué, sur 15 échantillons, le dosage du **nickel 63**, radionucléide artificiel émetteur bêta pur de période longue (100 ans) ainsi que le dosage des isotopes émetteurs alpha du **plutonium** et le dosage du **strontium 90** (émetteur bêta pur).

Le dosage des isotopes de l'**uranium** par spectrométrie alpha a en outre réalisé sur une sélection de 10 échantillons, afin de vérifier les rapports isotopiques U238-U234, calcul que ne permettent pas les analyses par spectrométrie gamma. Ces mesures ont été effectuées par le laboratoire SUBATECH-ARMINES.

Plantes aquatiques

Les radionucléides artificiels **émetteurs gamma à très courte période** (technétium 99^m) ont été recherchés par spectrométrie gamma, au laboratoire de la CRIIRAD, immédiatement après échantillonnage. Ces mesures ont pu être effectuées dans de bonnes conditions sur 20 échantillons et sont présentées dans le tableau TP 5, page 55.

Les radionucléides artificiels **émetteurs gamma à courte période**, dont les principaux radionucléides liés aux activités de médecine nucléaire : iode 125, iode 131, thallium 201, etc. ont été recherchés par spectrométrie gamma, au laboratoire de la CRIIRAD, dans les meilleurs délais après échantillonnage. Les résultats détaillés (26 échantillons) sont présentés en [Annexe 5](#). Seul l'iode 131 a été mis en évidence.

Les radionucléides **artificiels et naturels émetteurs gamma** à longue période, ont été recherchés sur les échantillons après dessiccation, par spectrométrie gamma, au laboratoire de la CRIIRAD. Les résultats détaillés (26 échantillons) sont présentés en [Annexe 6](#).

Dans le cadre de la phase 2 de l'étude a été effectué le dosage du **tritium organiquement lié** et du **carbone 14** sur une sélection de 20 des 26 échantillons de plantes aquatiques. Les mesures ont été effectuées par scintillation liquide par un laboratoire européen spécialisé, le laboratoire anglais RCD (Radio Carbon Dating). Les résultats sont présentés dans les tableaux TP 7 page 62 et TP 8 page 66.

4. LE TRITIUM DANS LES EAUX

4.1. Résultats

Dans le cadre de cette étude, la CRIIRAD a privilégié la réalisation de mesures sur des milieux intégrateurs de la contamination comme les sédiments et les plantes aquatiques.

Néanmoins, dans le cas particulier du tritium, compte tenu de l'intensité des rejets effectués par les centrales électronucléaires, il a été décidé de réaliser une vérification des activités volumiques dans les eaux recueillies au moment de l'échantillonnage des plantes et ou des sédiments.

Les résultats de dosage du tritium dans les eaux sont reportés dans le tableau TE 1 ci-dessous.

TE 1 / activité volumique du tritium dans les eaux de surface (Bq/l)

Station	Prélevé le	à	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Localisation	Tritium (Bq/l)
ST 1	13/09/2007	16:35	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Amont défilé de l'Ecluse	< 2,5
ST 2	14/09/2007	10:10	Rhône	Amont centrale SPX Malville	Amont pont Port de Groslée	< 2,5
ST 3	14/09/2007	12:10	Rhône	Aval centrale SPX Malville et amont CNPE Bugey	500 m amont pont de Briord	< 2,5
ST 4	11/09/2007	14:00	Rhône	Aval CNPE Bugey	aval Pont Loyettes	< 2,5
ST 5	12/09/2007	17:50	Saône	Amont Lyon	Fontaines sur Saône	< 2,5
P 2	11/09/2007	17:10	Ain	Rivière Ain	Amont pont "Port Galand"	< 2,5
ST 6	12/09/2007	13:00	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Amont Givors	18,5
ST 7	18/07/2007	13:00	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	amont Condrieu (aval de l'île)	< 2,5
ST 8	09/07/2007	18:05	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Amont St Pierre de Bœuf	< 2,5
ST 14 I	17/10/2007	16:00	Isère	Amont CEA	Grenoble Isère	< 2,5
ST 14 D	17/10/2007	11:15	Drac	Amont CEA	Grenoble Drac	< 2,5
ST 14 ID	17/10/2007	12:30	Isère	Aval STEP,aval CEA	Veurey	< 2,5
ST 13	09/10/2007	15:30	Isère	Isère avant confluence Rhône	Pont de l' Isère, entre pont route et pont autoroute	< 2,5
ST 9	29/06/2007	12:30	Rhône	Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Charmes/Rhône - amont barrage (1km)	< 2,5
ST10	28/06/2007	12:50	Rhône	Aval CNPE Cruas	Cruas, aval de l'îlot et de la centrale (à 2,5 km)	10,7
ST 11	27/06/2007	17:30	Rhône	Amont CNPE Tricastin	Donzère, aval pont de Donzère - amont 800 m de la séparation du Rhône	37,7
ST 12	27/06/2007	13:00	Rhône	Aval CNPE Tricastin	amont Saint Etienne des Sorts, aval pont TGV	< 2,5

4.2. Commentaires

L'activité volumique du tritium est inférieure à la limite de détection ($< 2,5$ Bq/l) dans la majorité des stations.

Une activité significative a été détectée le 12 septembre 2007 en **aval de Lyon** (18,5 Bq/l), et le 27 et 28 juin 2007 en aval de la **centrale nucléaire de Cruas** (37,7 Bq/l et 10,7 Bq/l). Il est possible que les rejets de Cruas expliquent également l'activité mesurée le 27 juin 2007 plus en aval au niveau de Donzère (37,7 Bq/l).

En première approche, cette contamination des eaux du Rhône est principalement liée aux rejets autorisés des centrales électronucléaires.

Elle reste⁹ inférieure aux valeurs prescrites dans les arrêtés d'autorisation de rejet, à savoir, par exemple pour la centrale de Cruas, une activité volumique maximale à mi-rejet de 280 Bq/l (pour un point de prélèvement situé à 4,52 km en aval du point de rejet).

Ces résultats sont à interpréter au regard des résultats du dosage de la bioaccumulation du tritium organiquement lié dans les plantes aquatiques, ce qui donne une information intégrée dans le temps (voir paragraphe 6.3).

⁹ Compte tenu de la variabilité de la contamination des eaux en fonction du calendrier et des modalités de rejets, le laboratoire de la CRIIRAD a lancé, fin 2009, un suivi spécifique de l'activité volumique du tritium des eaux du Rhône dans l'environnement des CNPE de Saint-Alban et Cruas (rapport disponible fin 2011).

5. ANALYSE DES SEDIMENTS

Les résultats complets des mesures par spectrométrie gamma effectuées sur les 16 échantillons de sédiments et exprimés en Bq/kg sec sont reportés dans les 3 tableaux T4, T5, T6 en [Annexe 3](#). Les principaux résultats sont synthétisés dans les tableaux TS 1, TS 2 et TS 3 pages suivantes.

Les résultats des analyses granulométriques figurent en [Annexe 4](#).

Les résultats concernant le dosage du nickel 63, du strontium 90 et des isotopes émetteurs alpha du plutonium, sont reportés dans le tableau TS 4 page 40. Les résultats concernant le dosage des isotopes émetteur alpha de l'uranium sont reportés en [Annexe 8](#).

5.1. Radionucléides « naturels » dans les sédiments

L'écorce terrestre contient 4 radionucléides naturels primordiaux principaux : uranium 238, uranium 235, thorium 232 et potassium 40. Les 3 premiers donnent naissance à une chaîne de désintégration. Ces radionucléides, présents depuis la formation de notre planète, ont toujours une radioactivité non négligeable du fait de leur très longue période physique (de 700 millions d'années pour l'uranium 235 à 14 milliards d'années pour le thorium 232).

5.1.1. Chaîne de l'uranium 238

Les principaux résultats concernant les descendants de l'uranium 238 sont reportés dans le tableau TS 1 page suivante.

Dans les 16 sédiments analysés, l'activité du **thorium 234** est comprise entre **28 et 55 Bq/kg sec**, valeurs comparables à l'activité moyenne de l'écorce terrestre qui est de l'ordre de 40 Bq/kg selon l'UNSCEAR.

Les activités du plomb 214 et du bismuth 214, descendants du radium 226¹⁰ sont du même ordre de grandeur que celles du thorium 234, aux marges d'incertitude près.

Les teneurs en radionucléides naturels de la chaîne de désintégration de l'uranium 238 sont normales.

La chaîne de l'uranium 238 est en équilibre à l'exception d'un léger excès de **plomb 210**¹¹. Le ratio plomb 210 / plomb-bismuth 214 est compris entre 1,1 et 2,3 (valeur moyenne 1,4).

Les mesures complémentaires par spectrométrie alpha (voir annexe 8) confirment¹² que le rapport isotopique uranium 238 / uranium 234 est proche de l'unité, aux marges d'incertitude près, dans les 10 échantillons analysés. Ceci indique qu'il ne s'agit ni d'uranium appauvri, ni d'uranium enrichi.

¹⁰ Le plomb 214 et le bismuth 214 ne sont pas forcément en équilibre avec le radium 226 leur précurseur dans la mesure où les analyses par spectrométrie gamma sur échantillon brut ont été réalisées sans délai après conditionnement des échantillons, afin de privilégier la détection des radionucléides artificiels de période relativement courte.

¹¹ Cet excès n'est pas anormal car au plomb 210 endogène s'ajoute la contribution du plomb 210 lié à la désintégration du radon 222, isotope radioactif naturel présent dans l'atmosphère.

¹² On remarque cependant un écart significatif entre les activités massiques obtenues pour le thorium 234 par spectrométrie gamma et celles obtenues pour son précurseur l'uranium 238 par spectrométrie alpha. Les activités massiques du thorium 234 mesurées par le laboratoire de la CRIIRAD sont en tout cas cohérentes avec celles publiées par l'IRSN. Par exemple pour Cruas en amont et aval en 2007 : CRIIRAD : 51 et 54 Bq/kg sec ; IRSN : 50 et 40 à 50 Bq/kg sec.

TS 1 / Activité massique de l'uranium 238 (Th 234), plomb-bismuth 214, et plomb 210 dans les sédiments prélevés par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Th 234 (Bq/kg sec)	Pb-Bi 214 (Bq/kg sec)	Pb 210 (Bq/kg sec)	Ratio Pb 210 / Pb-Bi 214
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	50 ± 9	48 ± 6	58 ± 9	1,2
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	43 ± 8	38,2 ± 4,6	57 ± 9	1,5
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	50 ± 10	44 ± 5	72 ± 11	1,6
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	36 ± 6	35,9 ± 4,1	39 ± 6	1,1
ST 5	Saône	Amont Lyon	36 ± 8	31,9 ± 3,9	43 ± 8	1,3
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	29 ± 7	27,7 ± 3,4	38 ± 7	1,4
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	35 ± 7	28,3 ± 3,4	45 ± 7	1,6
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	55 ± 11	47 ± 6	107 ± 15	2,3
ST 14 D	Drac	Amont CENG	47 ± 9	43 ± 5	49 ± 8	1,1
ST 14 I	Isère	Amont CENG	53 ± 11	44 ± 5	61 ± 10	1,4
ST 14 ID	Isère	Aval STEP,aval CENG	28 ± 6	28,3 ± 3,5	33 ± 6	1,2
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	35 ± 7	31,6 ± 3,8	37 ± 7	1,2
ST 9	Rhône	Amont CNPE Cruas / Aval Valence	51 ± 10	45 ± 5	88 ± 13	2,0
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	54 ± 9	47 ± 5	64 ± 9	1,4
ST 11	Rhône	Amont CNPE Tricastin	37 ± 8	34,2 ± 4,1	46 ± 8	1,3
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin	42 ± 9	37,4 ± 4,5	57 ± 9	1,5
Moyenne			42,6	38,2	55,9	1,4

Les principaux résultats concernant l'uranium 235, l'actinium 228 (descendant du thorium 232) et le potassium 40 sont reportés dans le tableau TS 2 page suivante, ainsi que les résultats concernant le béryllium 7.

5.1.2. Chaîne de l'uranium 235

L'activité massique de l'uranium 235 est inférieure à la limite de détection obtenue par spectrométrie gamma pour les 16 échantillons analysés.

Les contrôles plus fins réalisés par spectrométrie alpha sur 10 échantillons donnent une activité mesurable dans 9 cas (0,27 à 1,2 Bq/kg sec) mais entachée d'une forte marge d'incertitude (cf. Annexe 8).

L'examen du rapport isotopique U 238 / U 235, ne révèle aucune anomalie, compte tenu des marges d'incertitude.

5.1.3. Chaîne du thorium 232

L'activité de l'actinium 228 est comprise entre **28 et 52 Bq/kg sec** avec une moyenne de 39,8 Bq/kg sec.

De telles valeurs sont proches de l'activité moyenne du thorium 232 dans l'écorce terrestre (40 Bq/kg selon l'UNSCEAR).

Comme le montrent les résultats détaillés en Annexe 3, l'activité du plomb 212 est égale à celle de l'actinium 228, aux marges d'incertitude près.

5.1.4. Potassium 40

L'activité du potassium 40 est comprise entre **378 et 920 Bq/kg sec** avec une moyenne de 527 Bq/kg sec.

La valeur la plus élevée correspond aux sédiments échantillonnés dans le Drac.

L'activité moyenne du potassium 40 dans l'écorce terrestre est de 300 à 600 Bq/kg selon l'UNSCEAR.

5.1.5. Béryllium 7

Le béryllium 7 est un radionucléide naturel produit par interaction du rayonnement cosmique avec les atomes de l'air dans la haute atmosphère.

Il est détecté dans 15 des 16 échantillons.

Son activité est comprise entre **3,5 et 68 Bq/kg sec** avec une moyenne de 20 Bq/kg sec.

Les teneurs en radionucléides naturels des sédiments analysés sont relativement homogènes sur l'ensemble des stations et comparables aux valeurs moyennes de l'écorce terrestre.

On ne détecte pas d'anomalie à l'échelle étudiée, ce qui n'exclut pas la présence d'anomalies à une échelle plus réduite, comme l'a montré par exemple l'étude conduite en 2000 par le laboratoire de la CRIIRAD en amont du CNPE de Saint-Alban [CRIIRAD 2000]. Du fait du fonctionnement d'une usine de production d'acide phosphorique sur le site des Roches de Condrieu, l'activité massique des sédiments du Rhône au droit de cette zone était plus de 10 fois supérieure à la normale.

TS 2 / Activité massique de l'uranium 235, actinium 228, potassium 40 et béryllium 7 dans les sédiments prélevés par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	U 235 (Bq/kg sec)	Ac 228 (Bq/kg sec)	K 40 (Bq/kg sec)	Be 7 (Bq/kg sec)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	< 1,7	45 ± 6	540 ± 60	14,7 ± 2,8
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	< 1,6	36,2 ± 5	450 ± 50	5,8 ± 2,1
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	< 9	43 ± 6	490 ± 60	12,4 ± 2,7
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	< 4,2	36,2 ± 4,5	460 ± 50	3,5 ± 1,2
ST 5	Saône	Amont Lyon	< 1,7	39 ± 5	630 ± 70	11,4 ± 2,6
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	< 1,5	28,4 ± 4,1	408 ± 48	7,2 ± 2,1
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	< 1,3	35,2 ± 4,6	490 ± 50	21,4 ± 3,4
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	< 9	47 ± 6	490 ± 60	41 ± 6
ST 14 D	Drac	Amont CENG	< 6	43 ± 6	920 ± 100	16,3 ± 3
ST 14 I	Isère	Amont CENG	< 1,9	45 ± 6	580 ± 70	68 ± 9
ST 14 ID	Isère	Aval STEP,aval CENG	< 1,7	30,8 ± 4,2	378 ± 45	17 ± 3,2
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	< 4,9	33,4 ± 4,5	392 ± 46	< 0,9
ST 9	Rhône	Amont CNPE Cruas / Aval Valence	< 2,0	52 ± 7	630 ± 70	43 ± 7
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	< 4,9	45 ± 6	560 ± 60	6,7 ± 1,7
ST 11	Rhône	Amont CNPE Tricastin	< 1,6	36 ± 4,9	480 ± 60	10,5 ± 2,4
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin	< 6	42 ± 6	530 ± 60	22,8 ± 4,1

Moyenne

39,8

526,8

20,1

5.2. Radionucléides « artificiels » dans les sédiments

Seuls 2 radionucléides artificiels émetteurs gamma sont détectés dans les sédiments, le **césium 137** (dans toutes les stations) et le **cobalt 60** (en aval de Cruas).

Les résultats sont reportés dans le tableau TS 3 ci-dessous, ainsi que les limites de détection obtenues pour 2 autres radionucléides artificiels, le cobalt 58 et l'argent 110^m.

Comme indiqué dans les rapports d'essai détaillés en Annexe 3, les activités massiques des autres radionucléides artificiels émetteur gamma recherchés sont restées inférieures aux limites de détection.

TS 3 / Activité massique du césium 137, cobalt 58, cobalt 60 et argent 110^m dans les sédiments prélevés par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Cs 137 (Bq/kg sec)	Co 58 (Bq/kg sec)	Co 60 (Bq/kg sec)	Ag 110m (Bq/kg sec)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	5,9 ± 0,9	< 0,10	< 0,08	< 0,09
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	6,1 ± 0,9	< 0,09	< 0,08	< 0,09
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	9,5 ± 1,3	< 0,10	< 0,09	< 0,09
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	11,2 ± 1,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05
ST 5	Saône	Amont Lyon	5,2 ± 0,8	< 0,10	< 0,09	< 0,09
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	4,6 ± 0,7	< 0,08	< 0,08	< 0,08
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	4,7 ± 0,7	< 0,06	< 0,06	< 0,06
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	14,1 ± 1,8	< 0,10	< 0,12	< 0,11
ST 14 D	Drac	Amont CENG	4,2 ± 0,7	< 0,09	< 0,09	< 0,09
ST 14 I	Isère	Amont CENG	3,0 ± 0,6	< 0,10	< 0,10	< 0,10
ST 14 ID	Isère	Aval STEP,aval CENG	1,45 ± 0,36	< 0,11	< 0,10	< 0,11
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	4,4 ± 0,7	< 0,11	< 0,10	< 0,11
ST 9	Rhône	Amont CNPE Cruas / Aval Valence	10,9 ± 1,5	< 0,10	< 0,12	< 0,11
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	33,8 ± 3,7	< 0,06	0,45 ± 0,18	< 0,06
ST 11	Rhône	Amont CNPE Tricastin	5,4 ± 0,8	< 0,08	< 0,08	< 0,08
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin	6,2 ± 0,9	< 0,09	< 0,09	< 0,09

Moyenne

8,2

5.2.1. Césium 137

Le césium 137 est détecté¹³ dans les 16 échantillons avec une activité comprise entre **1,45 Bq/kg sec (Veurey dans l'Isère) et 33,8 Bq/kg sec (aval Cruas)**.

Les résultats figurent sur la carte page suivante.

L'activité moyenne du césium 137 sur les 16 stations est de **8,2 Bq/kg sec**.

Origine du césium 137

Le césium 137 détecté dans le Rhône provient principalement d'une contamination à grande échelle liée aux retombées des essais nucléaires atmosphériques particulièrement intenses dans les années 50-60 et aux retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986.

Cette contamination, en l'absence d'autres apports (rejets de centrales ou d'installations nucléaires par exemple), est amenée à diminuer avec le temps (par décroissance naturelle du césium 137 dont la période physique est de 30 ans, et par les mécanismes de migration, dissolution, désorption et transport vers l'aval).

On note un excès significatif de césium 137 en **aval du CNPE de Cruas** par rapport à l'amont (**facteur 3**). Cette différence ne semble pas pouvoir être expliquée par les différences de granulométrie.

Comme indiqué dans le tableau TR 6 page 17, les rejets de césium 137 du CNPE de Cruas en 2006 (61,22 MBq) sont dans la gamme de ceux déclarés par les autres CNPE de la vallée du Rhône (50,7 MBq pour EDF Tricastin à 108 MBq pour le CNPE du Bugey).

Comparaison avec les sédiments du Rhin et du bassin Seine Normandie

L'activité du césium 137 mesurée en **2007** dans les sédiments du Rhône peut être comparée à celle mesurée par la CRIIRAD dans les sédiments du **Rhin** en octobre **1999**.

Le césium 137 était détecté¹⁴ dans 12 échantillons prélevés sur une centaine de kilomètres, de Bâle à Strasbourg, à un niveau compris entre 10,5 et 23,0 Bq/kg sec (valeur moyenne **16,5 Bq/kg sec** ; écart type de 26,1 %). On n'observait pas d'accroissement significatif du niveau de césium 137 en aval de la centrale de Fessenheim.

L'activité du césium 137 dans les sédiments du Rhône et du Rhin est sensiblement supérieure à celle des sédiments collectés par la CRIIRAD¹⁵ dans les principaux cours d'eau du bassin Seine-Normandie en septembre **1998** (entre 0,9 et 11 Bq/kg sec, pour une moyenne de **5 Bq/kg sec** dans 23 échantillons et un écart-type de 67 %).

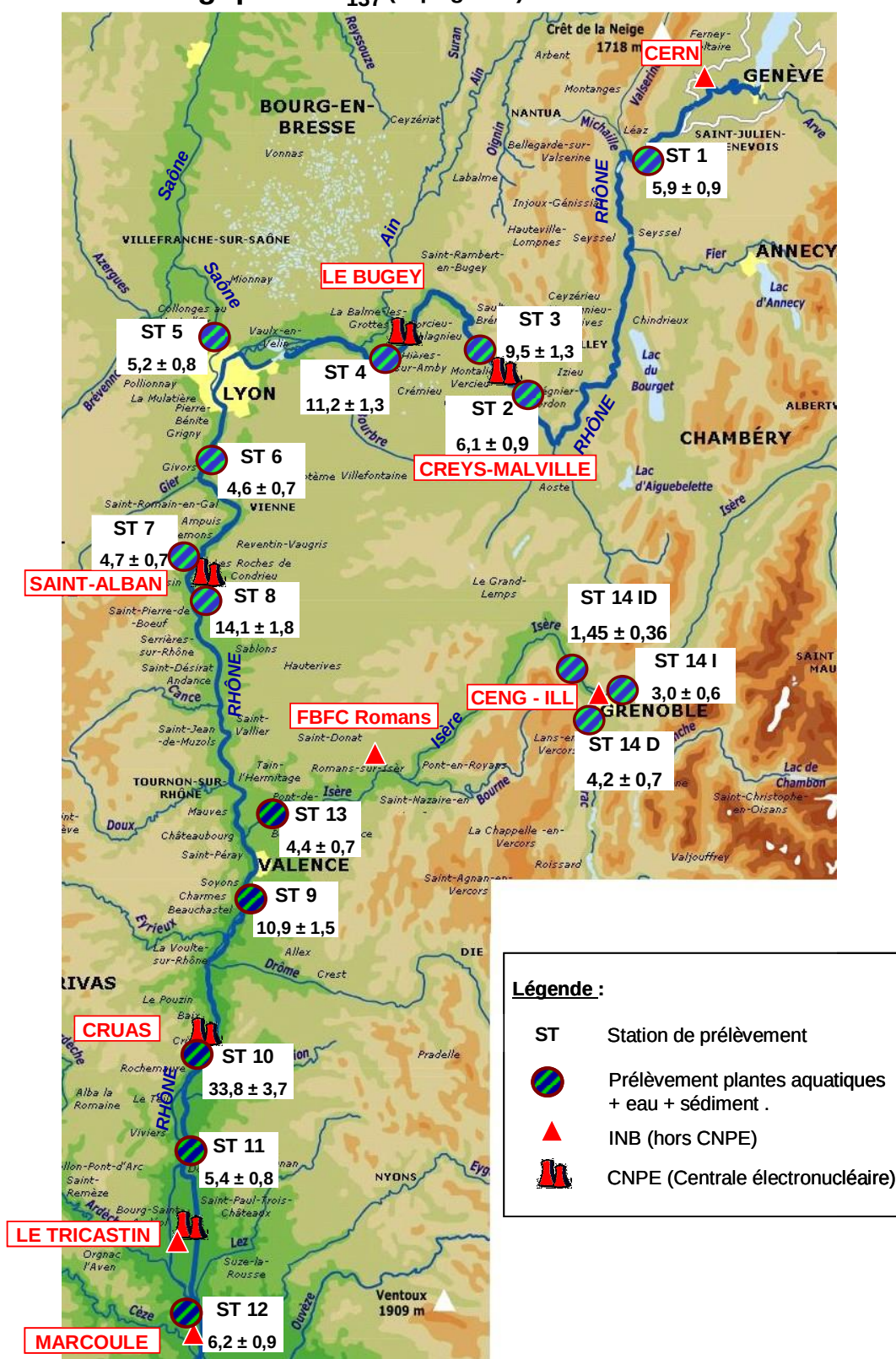
Ce constat peut être lié au fait de la plus forte contamination de l'Est de la France par les retombées de Tchernobyl en 1986, mais aussi à l'impact des centrales nucléaires.

¹³ Ces résultats sont globalement comparables à ceux qui figurent dans les rapports de suivi radioécologique annuels de l'IRSN (années 2005 et 2007). On note un écart d'un facteur 2 à 3 pour la station aval proche Cruas. La CRIIRAD détecte 33,8 +/- 3,7 Bq/kg sec (juin 2007), l'IRSN 9,6 et 14 Bq/kg sec (mars 2007). Les différences de granulométrie des sédiments pourraient être un facteur de disparité.

¹⁴ Contrôle de la radioactivité des sédiments du canal du Rhin, en amont et en aval du CNPE de Fessenheim / Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD pour la CLS de Fessenheim / B. Chareyron / juin 2000.

¹⁵ Etude de l'impact des rejets d'effluents radioactifs liquides par les services de médecine nucléaire / secteur dépendant de l'Agence de Bassin Seine Normandie / Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande de l'Agence de Bassin Seine-Normandie / B. Chareyron / septembre 2000.

Contrôles radiologiques Cs₁₃₇ (Bq/Kg sec) dans les sédiments en 2007



Dans les années à venir, la diminution de la contamination résiduelle par le césium 137 de Tchernobyl et des essais militaires, permettra de mettre plus facilement en évidence l'impact spécifique des rejets de césium 137 par les centrales nucléaires.

Cette diminution est illustrée par la comparaison suivante : en juillet 2000, l'activité en césium 137 des sédiments du Rhône entre Pierre Bénite et l'aval du CNPE de Saint-Alban était comprise entre 7 et 47,5 Bq/kg sec (9 stations). En 2007, les valeurs sont de 4,6 à 14,1 Bq/kg sec (3 stations).

5.2.2. Cobalt 60

Dans le cadre de cette étude le cobalt 60 est détecté dans les sédiments uniquement en **aval de la centrale de Cruas¹⁶ (0,45 +/- 0,18 Bq/kg sec)**. Dans les autres échantillons, son activité reste inférieure aux limites de détection (< 0,05 à 0,12 Bq/kg sec).

Comme indiqué dans le tableau TR 6 page 17, les rejets de cobalt 60 du CNPE de Cruas en 2006 (203,8 MBq) sont dans la gamme de ceux déclarés par les autres CNPE de la vallée du Rhône (123 MBq pour EDF Tricastin à 496 MBq pour le CNPE de Saint-Alban).

Comparaison avec les mesures CRIIRAD de 2000

Pour mémoire est rappelé le constat de l'étude CRIIRAD de Juillet 2000 [CRIIRAD 2000] portant sur les sédiments du Rhône, de Vienne à l'aval de la centrale de Saint-Alban.

« Le cobalt 60 était détecté dans le Rhône sur 6 des 9 échantillons bruts (fraction inférieure à 2 mm), avec une activité comprise entre 0,3 et 1,5 Bq/kg sec.

La présence de cobalt 60 en amont de la centrale de Saint-Alban montrait qu'il existait un terme source plus en amont (il peut s'agir d'autres centrales nucléaires). On n'observait pas de différence réellement significative entre l'amont et l'aval de la centrale de Saint-Alban ce qui suggérait que l'impact des rejets radioactifs de la centrale (entre 140 MBq et 14 000 MBq par an selon les années de 1985 à 1996) était en partie masqué par une source située plus en amont.

*L'activité du cobalt 60 dans les sédiments du Rhône en juillet 2000 était comparable à celle mesurée par la CRIIRAD dans les sédiments du **Rhin en octobre 1999**. Le cobalt 60 était détecté¹⁷ dans 7 échantillons prélevés sur une centaine de kilomètres de Bâle à Strasbourg, à un niveau compris entre 0,3 et 1,2 Bq/kg sec. Dans la mesure où le cobalt 60 n'était pas mis en évidence en amont de la centrale de Fessenheim, l'étude suggérait un impact de la centrale bien que des travaux antérieurs de la CRIIRAD et de l'IPSN aient montré la présence de cobalt 60 en amont de Fessenheim (impact probable des centrales Suisses).*

*L'activité du cobalt 60 dans les sédiments du Rhône et du Rhin était sensiblement supérieure à celle des sédiments collectés par la CRIIRAD¹⁸ dans les principaux cours d'eau du **bassin Seine-Normandie** en septembre 1998. Le cobalt 60 n'était détecté que dans un échantillon sur 23 (**5,1 Bq/kg sec** dans les sédiments de l'Orne en aval de Caen. Cette contamination*

¹⁶ Il est d'ailleurs possible que le cobalt 60 détecté en aval de Cruas provienne en partie des rejets des centrales situées plus en amont. Les suivis radioécologiques annuels réalisés par l'IRSN pour EDF indiquent, par exemple en 2005, la présence de cobalt 60 au niveau d'une des 2 stations en aval de Cruas (0,5 +/- 0,2 Bq/kg sec) mais aussi en amont (0,4 +/- 0,2 Bq/kg sec). En mars 2007, le cobalt 60 est détecté par l'IRSN au niveau d'une des 2 stations aval (0,5 Bq/kg sec).

¹⁷ Contrôle de la radioactivité des sédiments du canal du Rhin, en amont et en aval du CNPE de Fessenheim / Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD pour la CLS de Fessenheim / B. Chareyron / juin 2000.

¹⁸ Etude de l'impact des rejets d'effluents radioactifs liquides par les services de médecine nucléaire / secteur dépendant de l'Agence de Bassin Seine Normandie / Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande de l'Agence de Bassin Seine-Normandie / B. Chareyron / septembre 2000.

provenait très probablement de l'impact des rejets de l'usine de retraitement de la COGEMA à la Hague). ».

5.2.3. Cobalt 58

Dans le cadre de cette¹⁹ étude, l'activité du cobalt 58 est restée inférieure aux limites de détection pour les 16 sédiments prélevés en 2007 (< 0,05 à 0,11 Bq/kg sec).

5.2.4. Argent 110^m

Dans le cadre de cette²⁰ étude, l'activité de l'argent 110^m est restée inférieure aux limites de détection pour les 16 sédiments prélevés en 2007 (< 0,05 à 0,11 Bq/kg sec).

5.2.5. Nickel 63

Les résultats concernant le dosage du nickel 63 sont reportés dans le tableau TS 4 page suivante.

L'activité massique de cet isotope émetteur bêta à longue période physique (100 ans) est inférieure à la limite de détection dans les 15 échantillons de sédiments analysés.

Les limites de détection obtenues (< 2,9 à < 6,8 Bq/kg sec) sont cependant relativement élevées pour apporter une conclusion définitive.

Comme indiqué dans le tableau TR 5 page 16, les rejets de nickel 63 des CNPE de la vallée du Rhône en 2006 sont compris entre 91,4 MBq pour EDF Tricastin et 343,9 MBq pour le CNPE de Saint-Alban.

En 2009 c'est le CNPE de Cruas qui a effectué les rejets les plus importants (476 MBq), comparativement à Bugey, Saint-Alban et Tricastin (entre 86,5 et 135 MBq).

Compte tenu de la longue période physique du nickel 63, il serait utile de vérifier son niveau d'accumulation dans les sédiments du Bas Rhône.

Dans le cadre des suivis radioécologiques annuels réalisés pour EDF, l'IRSN ne recherche pas²¹ habituellement le nickel 63.

¹⁹ A titre de comparaison : sur la période 1999 à 2009, les suivis radioécologiques effectués pour EDF par l'IRSN n'indiquent la détection du cobalt 58 dans les sédiments en aval de Bugey qu'en 2000 (0,3 Bq/kg sec sur une des 2 stations) et en aval de Cruas qu'en 2005 (0,3 +/- 0,2 Bq/kg sec).

²⁰ Les suivis radioécologiques annuels effectués pour EDF par l'IRSN indiquent la détection assez fréquente de l'argent 110^m dans les sédiments. Sur la période 1999 à 2009, il a été détecté par exemple en aval du Bugey (mais pas en amont) en 2002 et de 2004 à 2009 (en 2007, il a été détecté sur une des 2 stations aval : 0,3 +/- 0,2 Bq/kg sec).

A Saint-Alban, le suivi 2005 de l'IRSN indique la présence de l'argent 110^m en amont (0,8 +/- 0,2 Bq/kg sec) et sur une des 2 stations en aval (0,7 +/- 0,2 Bq/kg sec).

Sur la période 1999 à 2009, l'argent 110^m a été détecté en amont de Cruas en 2006 et 2007 (0,3 Bq/kg sec) et sur une des 2 stations aval (0,4 et 0,5 Bq/kg sec).

Sur la période 2007 à 2009, l'Ag 110^m n'a été détecté par l'IRSN ni en amont, ni en aval du Tricastin. Entre 2000 et 2006, il était détecté (de façon non régulière) sur l'une des 2 stations aval (0,4 à 0,6 Bq/kg sec).

²¹ Il n'est en tout cas pas mentionné dans les rapports IRSN que nous avons pu consulter : 2007 à 2009 pour le CNPE du Bugey, 2009 pour Cruas, extraits des rapports 2007 à 2009 pour le CNPE du Tricastin.

Il existe une exception pour le suivi de l'impact de Superphénix [IRSN 2007-2008].

En 2007 et 2008 les teneurs en nickel 63 étaient inférieures aux limites de détection dans les sédiments prélevés en amont et en aval de la centrale ($< 0,4$ à $< 0,5$ Bq/kg sec).

Le nickel 63 qui n'était pas détecté dans les myriophylles en 2007 ($< 0,09$ à $< 0,14$ Bq/kg sec), l'était dans les mousses aquatiques (*Cinclitodus aquaticus*) en septembre 2008, à un niveau nettement supérieur en aval ($2,0 \pm 0,2$ Bq/kg sec) par rapport à l'amont ($0,12 \pm 0,04$ Bq/kg sec). Ces résultats indiquent un impact des rejets de Superphénix en cours de démantèlement. Le rejet déclaré par EDF en 2008 était²² de 2,18 MBq.

TS 4 / Activité massique du nickel 63, strontium 90, plutonium 238 et plutonium 239-240 dans les sédiments prélevés par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Ni63 (Bq/kg sec)	Sr90 (Bq/kg sec)	Pu238 (Bq/kg sec)	Pu239+240 (Bq/kg sec)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	< 4,4	0,26 $\pm$ 0,13	< 0,12	0,10 $\pm$ 0,06
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	< 3,2	0,31 $\pm$ 0,13	< 0,11	0,066 $\pm$ 0,039
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	< 5,5	0,43 $\pm$ 0,17	< 0,11	0,16 $\pm$ 0,07
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	< 3,6	0,24 $\pm$ 0,13	< 0,065	0,26 $\pm$ 0,07
ST 5	Saône	Amont Lyon	< 4,0	0,21 $\pm$ 0,11	< 0,064	0,064 $\pm$ 0,056
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	< 3,5	0,15 $\pm$ 0,11	< 0,070	0,051 $\pm$ 0,036
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	< 2,9	0,16 $\pm$ 0,11	< 0,043	0,049 $\pm$ 0,036
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	< 3,3	0,59 $\pm$ 0,21	< 0,057	0,15 $\pm$ 0,06
ST 14 I	Isère	Amont CENG	< 6,8	0,59 $\pm$ 0,32	< 0,065	0,041 $\pm$ 0,036
ST 14 ID	Isère	Aval STEP,aval CENG	< 3,2	< 0,29	< 0,035	0,051 $\pm$ 0,028
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	< 3,3	0,18 $\pm$ 0,12	< 0,081	0,091 $\pm$ 0,044
ST 9	Rhône	Amont CNPE Cruas / Aval Valence	< 5,2	0,42 $\pm$ 0,20	< 0,075	0,075 $\pm$ 0,050
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	< 4,1	0,41 $\pm$ 0,21	< 0,082	0,16 $\pm$ 0,07
ST 11	Rhône	Amont CNPE Tricastin	< 6,2	0,16 $\pm$ 0,13	< 0,080	< 0,099
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin	< 4,8	0,21 $\pm$ 0,11	< 0,11	0,10 $\pm$ 0,06
			Moyenne	0,31		0,10

²² La valeur de 2,18 MBq est celle transmise par EDF dans un courrier du 29 octobre 2010 adressé à la CRIIRAD. Le rapport IRSN de 2008 indique une valeur de 2,42 MBq (page 64).

5.2.6. Strontium 90

Les résultats concernant le dosage du strontium 90 sont reportés dans le tableau TS 4 page précédente et sur la carte page suivante.

Le strontium 90 est un isotope émetteur bêta de période physique égale à **28,5 ans**.

Il s'agit d'un produit de fission qui a été rejeté en grande quantité dans la biosphère par les essais nucléaires atmosphériques.

Il n'est pas mentionné explicitement dans les déclarations de rejets liquides des centrales électronucléaires qui nous ont été communiquées par EDF, ni dans les rejets des installations exploitées par AREVA au Tricastin ou le CEA à Grenoble. Il peut cependant être présent dans les rejets et comptabilisé dans les rubriques « émetteurs bêta ».

Parmi les INB de la Région Rhône-Alpes, la seule qui fait état d'un rejet de strontium 90 est le site FBFC à Romans sur Isère. Le rapport environnement 2007 [FBFC 2007] mentionne la détection du strontium 90 dans l'échantillon aliquote des mois de juillet (0,066 Bq/l) et octobre (0,047 Bq/l).

Nous avons souhaité inclure le strontium 90 dans cette étude car peu de résultats sont disponibles sur la contamination actuelle des sédiments du Rhône ou de l'Isère par ce radionucléide. Même l'étude CAROL conduite par l'IRSN et portant sur la répartition des radionucléides artificiels dans la basse vallée du Rhône, ne donne pas de résultats pour le strontium 90 [IRSN 2004].

Dans les sédiments échantillonnés par la CRIIRAD en 2007, l'activité massique du strontium 90 est supérieure à la limite de détection dans **14 des 15** échantillons avec une valeur comprise entre **0,15 et 0,59 Bq/kg sec**.

Compte tenu des faibles activités mesurées, les marges d'incertitude sont relativement élevées.

Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur pour les différentes stations.

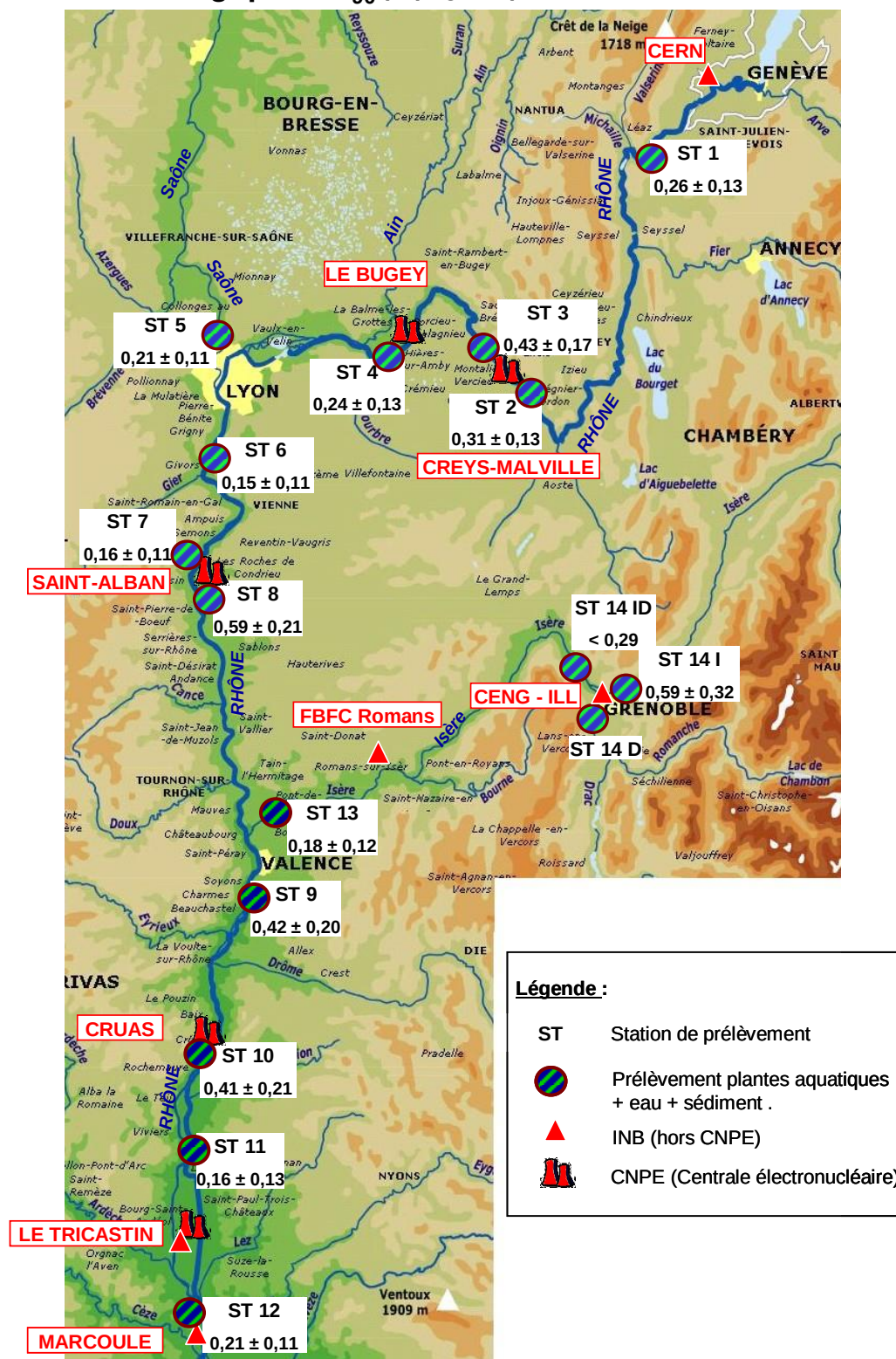
Au niveau des différentes INB, on n'observe pas d'écart entre station aval et station amont réellement significatif, compte tenu des marges d'incertitude.

L'écart le plus élevé (3,68), qui est aussi le seul réellement significatif, est observé au niveau du CNPE de Saint-Alban (0,16 +/-0,11 Bq/kg sec en amont et 0,59 +/-0,21 Bq/kg sec en aval). Mais on remarque qu'il peut être expliqué par les différences de granulométrie des sédiments. En effet, la fraction de sables grossiers (0,2 à 2 mm) est de 63,7 % dans l'échantillon amont contre 1,0 % en aval. Or les particules radioactives ont tendance à être plus facilement adsorbées sur la fraction fine des sédiments.

L'ensemble de ces résultats suggère que la contamination généralisée des sédiments par le strontium 90 provient majoritairement des retombées globales des essais nucléaires atmosphériques particulièrement intenses dans les années 50-60.

L'activité moyenne du strontium 90 dans les sédiments est, en 2007, de **0,31 Bq/kg sec** soit une valeur 26 fois plus faible que celle du césium 137.

Contrôles radiologiques Sr₉₀ (Bq/Kg sec) dans les sédiments en 2007



5.2.7. Plutonium 238 et plutonium 239+240

Les résultats concernant les isotopes émetteurs alpha du plutonium (plutonium 238 et plutonium 239-240) sont reportés dans le tableau TS 4 page 40 et sur la carte page suivante.

Plutonium 238

L'activité massique du plutonium 238 est inférieure à la limite de détection dans les 15 échantillons de sédiments analysés ($< 0,035$ à $< 0,12$ Bq/kg sec).

Plutonium 239+240

L'activité massique du plutonium 239+240 est comprise entre **0,041 Bq/kg sec** et **0,26 Bq/kg sec**.

Compte tenu des faibles activités mesurées, les marges d'incertitude sont relativement élevées.

Au niveau des différentes INB, on n'observe pas d'écart entre station aval et station amont réellement significatif, compte tenu des marges d'incertitude.

Par exemple, au niveau de Superphénix, le ratio aval / amont est de 2,4 mais il n'est pas significatif, compte tenu des marges d'incertitude et des différences de granulométrie des sédiments.

Au niveau du CNPE du Bugey, le ratio aval / amont est de 1,6, ce qui n'est pas significatif, compte tenu des marges d'incertitude. Les mêmes constatations sont faites pour les couples amont aval au niveau de Grenoble, Saint-Alban, Cruas, Tricastin.

L'écart le plus élevé (3,06) est observé au niveau du CNPE de Saint-Alban ($0,049 \pm 0,036$ Bq/kg sec en amont et $0,15 \pm 0,06$ Bq/kg sec en aval). Mais on remarque que cet écart peut être expliqué par les différences de granulométrie des sédiments. En effet, la fraction de sables grossiers (0,2 à 2 mm) est de 63,7 % dans l'échantillon amont contre 1,0 % en aval.

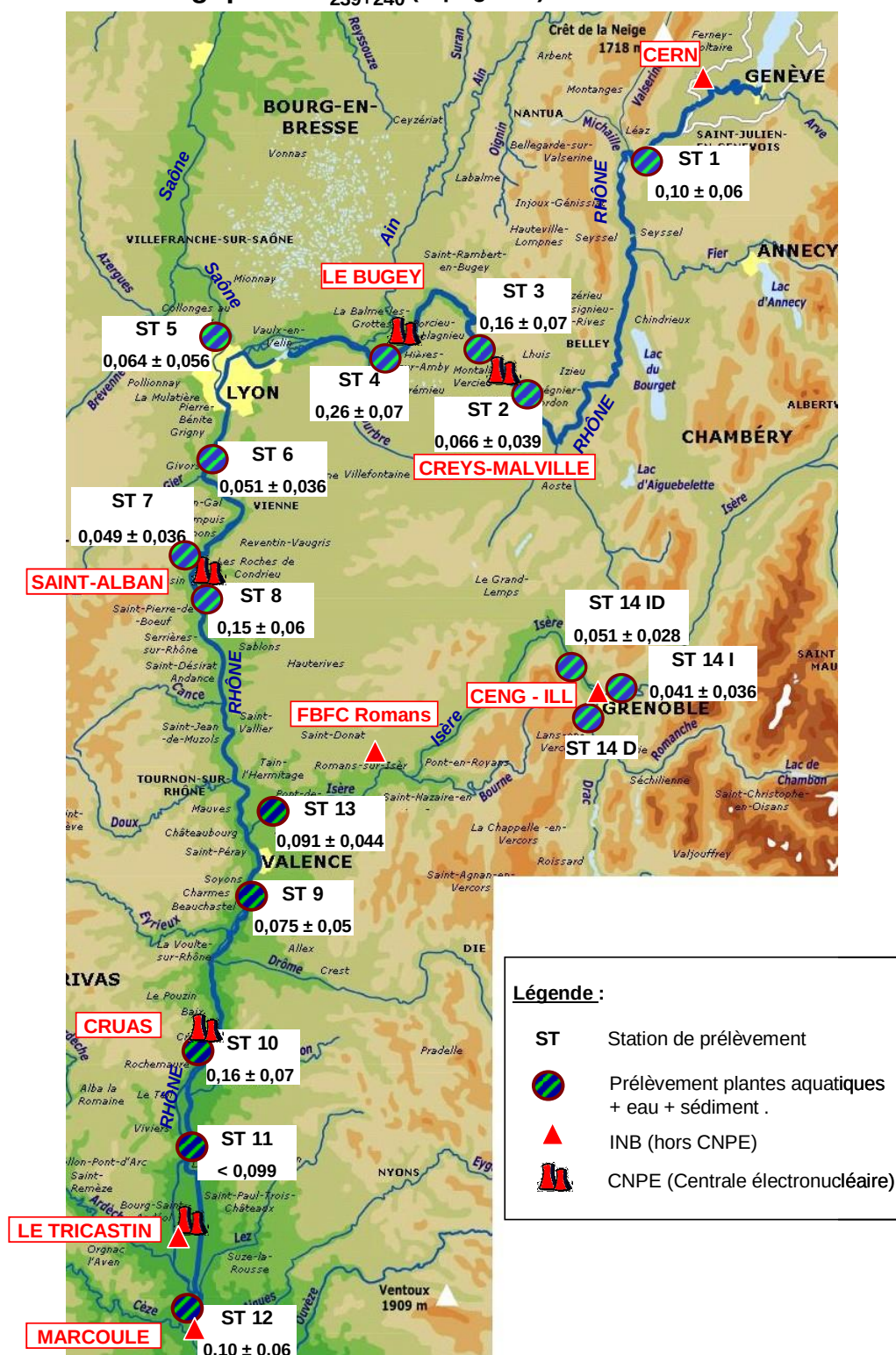
Le ratio moyen Pu 238 / Pu 239-240 caractéristique des retombées des essais nucléaires atmosphériques est de 0,03 [IRSN 2004]. L'activité théorique du plutonium 238 obtenue en multipliant²³ par 0,03 l'activité mesurée du plutonium 239 et 240 est, pour les 15 échantillons de sédiments étudiés, inférieure à la limite de détection associée à la mesure.

L'ensemble de ces résultats suggère que la contamination généralisée des sédiments par le plutonium 239-240 provient majoritairement des retombées globales des essais nucléaires atmosphériques particulièrement intenses dans les années 50-60.

L'activité moyenne du plutonium 239-240 mesurée sur les 14 échantillons de sédiments prélevés en 2007 est de **0,1 Bq/kg sec**.

²³ Le résultat est identique, même si l'on tient compte de l'évolution de ce ratio, du fait de la décroissance du plutonium 238 de période physique égale à 87,7 ans.

Contrôles radiologiques Pu₂₃₉₊₂₄₀ (Bq/Kg sec) dans les sédiments en 2007



6. ANALYSE DES PLANTES AQUATIQUES

Les résultats complets des mesures par spectrométrie gamma effectuées sur les 26 échantillons de plantes aquatiques sont reportés :

- Dans le tableau TP 5 page 55 (activité du technétium 99^m , déterminée à l'issue d'un comptage de très courte durée, effectué sur matière fraîche, dans les plus brefs délais après échantillonnage).
- En [annexe 5](#), dans les 5 tableaux T7 à T11 (comptages de plus longue durée, sur matière fraîche).
- En [annexe 6](#), dans les 5 tableaux T12 à T16 (comptages après dessiccation).

6.1. Radionucléides « naturels » dans les plantes

De manière à privilégier la détection de radionucléides artificiels de courte période ou volatils, les plantes ont fait l'objet d'un premier comptage sur matière fraîche, ce qui limite la quantité de matière et donc l'activité introduite dans le détecteur.

De ce fait, le dosage des radionucléides naturels est difficile, la limite de détection de la méthode employée est bien souvent supérieure à l'activité réelle.

Les principales observations effectuées sur les plantes fraîches sont détaillées ci-dessous. Elles seront approfondies pages suivantes à partir des résultats plus précis obtenus sur les plantes après dessiccation. On note sur les plantes fraîches :

- La présence de descendants de la chaîne de l'uranium 238, en particulier :
 - Le **thorium 234** (détecté uniquement dans les fontinales du **Drac** : 30 Bq/kg frais et confirmé sur comptage après dessiccation²⁴).
 - Le **plomb 214** et le **bismuth 214**. Leur activité est de quelques Bq/kg frais, sauf dans les plantes de type Fontinalis récoltées dans l'**Ain (41 Bq/kg frais)**. Le comptage étant réalisé rapidement après conditionnement des échantillons, le plomb et le bismuth 214 (de périodes physiques respectives 27 et 20 minutes) ne sont pas forcément à l'équilibre avec leurs précurseurs ; le radon 222 et le radium 226. Les activités massiques sont donc susceptibles d'augmenter ou de diminuer avec le temps²⁵.
 - Le **plomb 210**. Son activité n'est supérieure aux limites de détection que dans 2 cas : dans les plantes du genre fontinalis : en aval de Bugey : 18,7 +/- 4,4 Bq/kg frais et à Veurey en aval de Grenoble : 21 +/- 6 Bq/kg frais. Ces résultats sont confirmés sur les comptages après dessiccation.
- La présence de descendants de la chaîne du thorium 232, en particulier l'**actinium 228** et le **plomb 212**. L'activité du plomb 212 est comprise entre 1,1 et 12,3 Bq/kg frais.
- La présence de **béryllium 7**, radionucléide cosmogénique. Il est détecté sur matière fraîche dans 18 échantillons sur 26 avec une activité comprise entre 4,2 et 85 Bq/kg frais. Les comptages après dessiccation (meilleure sensibilité de détection) confirment sa présence dans 25 échantillons sur 26.

²⁴ On mesure sur la plante fraîche une activité massique pour le thorium 234 de 30 +/- 10 Bq/kg frais soit 133 +/- 44 Bq/kg sec (TMS de 22,5 %). Le comptage après dessiccation donne 101 +/- 19 Bq/kg sec ce qui est cohérent avec la valeur précédente.

²⁵ Ceci a pu être clairement observé sur les plantes de l'Ain. Le comptage court réalisé sur plantes fraîches immédiatement après conditionnement a donné une activité de 90 +/- 17 Bq/kg frais pour le bismuth 214. La poursuite du comptage pendant quelques heures a donné une activité de 41 +/- 6 Bq/kg frais soit 186 +/- 27 Bq/kg sec (TMS de 22,0%). Le comptage réalisé après dessiccation et à l'équilibre a donné 15 +/- 6 Bq/kg sec. Ceci montre que, dans ces plantes fraîches le plomb et le bismuth 214 étaient en excès par rapport à leurs précurseurs.

Les résultats issus du second comptage effectué sur les plantes après dessiccation (cf [Annexe 6](#)) sont synthétisés ci-après.

6.1.1. Chaîne de l'uranium 238

Les principaux résultats concernant les descendants de l'uranium 238 sont reportés dans le tableau TP 1 page suivante.

Pour les 26 plantes analysées, l'activité du **thorium 234** n'est supérieure à la limite de détection que dans 4 cas, avec une activité comprise entre **42 et 101 Bq/kg sec**. Les 2 valeurs les plus élevées sont mesurées dans les plantes du genre *Fontinalis* recueillies dans le Drac en amont de Grenoble (101 +/-19 Bq/kg sec) et l'Isère en aval de Grenoble (96 +/-22 Bq/kg sec). Les activités mesurées pour les éléments thorium 234, radium 226 et plomb 210 dans ces 2 échantillons sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le même type de plantes collectées dans le Rhône en aval du Bugey.

L'activité du **radium 226** est supérieure aux limites de détection dans 24 cas sur 26, avec des valeurs comprises entre **6,1 et 78 Bq/kg sec**. La valeur maximale est mesurée dans les plantes du genre *fontinalis*, échantillonnées dans l'Isère en aval de Grenoble.

L'activité du **plomb 210** est supérieure aux limites de détection dans 13 cas sur 26, avec des valeurs comprises entre **24 et 108 Bq/kg sec**. La valeur maximale est mesurée dans les plantes du genre *fontinalis*, échantillonnées dans l'Isère en aval de Grenoble. Le ratio plomb 210 / radium 226 est compris entre 1,3 et 9,18. La valeur maximale correspond aux *fontinales* échantillonnées dans l'Ain.

Des mesures complémentaires par spectrométrie alpha ou spectrométrie de masse seraient nécessaires pour quantifier l'uranium dans tous les échantillons.

Les principaux résultats concernant, l'actinium 228 et le plomb 212 (descendants du thorium 232) ainsi que le potassium 40 et le béryllium 7 sont reportés dans le tableau TP 2 page 48.

6.1.2. Chaîne du thorium 232

L'activité de l'**actinium 228** est supérieure aux limites de détection dans 18 cas sur 26, avec des valeurs comprises entre **11,7 et 136 Bq/kg sec**. La valeur maximale est mesurée dans les plantes du genre *fontinalis*, échantillonnées dans l'Isère en aval de Grenoble.

L'activité du **plomb 212** est également supérieure aux limites de détection dans 18 cas sur 26, avec des valeurs comprises entre **3,4 et 45 Bq/kg sec**. La valeur maximale est mesurée dans les plantes du genre *fontinalis*, échantillonnées dans l'Isère en aval de Grenoble.

Le ratio actinium 228 / plomb 212 est compris entre 1,19 et 5,2. La valeur maximale correspond aux potamots fluitans échantillonnés dans le Rhône en ST12 (aval Tricastin).

TP 1 / Activité massique de l'uranium 238 (Th 234), radium 226, et plomb 210 dans les plantes aquatiques prélevées par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Th234 (Bq/kg sec) / second comptage	Ra226 (Bq/kg sec) / second comptage	Pb210 (Bq/kg sec) / second comptage
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	< 20	< 13	< 36
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	< 100	13 ± 7	< 70
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	42 ± 15	24,6 ± 4,6	42 ± 15
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	< 60	31 ± 4,5	55 ± 12
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	71 ± 15	53 ± 7	79 ± 16
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	< 11	19,2 ± 4	< 40
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	< 28	< 24	< 34
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	< 25	6,1 ± 2,4	56 ± 14
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	< 80	15 ± 6	< 70
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	< 43	17 ± 7	< 70
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	< 36	18,1 ± 3,4	30 ± 10
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	< 38	34 ± 6	98 ± 20
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	< 60	17 ± 7	< 44
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	< 33	41 ± 6	70 ± 14
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	< 34	11,6 ± 3,4	34 ± 15
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	< 41	54 ± 9	< 110
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	101 ± 19	55 ± 7	84 ± 15
ST 14 ID	Isère	Veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	96 ± 22	78 ± 10	108 ± 20
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	< 14	6,7 ± 2,4	< 25
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	< 18	9,9 ± 2,3	< 27
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	< 44	24,4 ± 4,6	46 ± 14
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	< 25	12,8 ± 2,7	< 31
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	< 27	15,3 ± 2,9	24 ± 9
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	< 26	10,6 ± 2,6	< 32
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	< 32	36 ± 5	49 ± 11
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	< 29	17,3 ± 3,5	< 22

6.1.3. Potassium 40

L'activité du potassium 40 est supérieure aux limites de détection dans 20 cas sur 26, avec des valeurs comprises entre **256 et 1 390 Bq/kg sec.**

TP 2 / Activité massique de l'actinium 228, du plomb 212, du potassium 40 et du béryllium 7 dans les plantes aquatiques prélevées par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Ac228 (Bq/kg sec) / second comptage	Pb212 (Bq/kg sec) / second comptage	K40 (Bq/kg sec) / second comptage	Be7(Bq/kg sec) / second comptage
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	< 13	< 9	1 010 ± 180	47 ± 14
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	< 25	< 10	< 600	82 ± 20
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	20 ± 5	16,8 ± 3,0	530 ± 80	64 ± 13
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	29 ± 6	24,7 ± 3,3	1 080 ± 120	63 ± 9
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	52 ± 8	32,3 ± 4,3	256 ± 41	214 ± 28
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	21 ± 6	7,4 ± 2	410 ± 70	23 ± 8
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	< 47	< 18	< 800	< 50
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	< 8	< 2,9	< 250	162 ± 23
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	< 24	< 9	< 220	233 ± 40
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	< 27	< 8	< 800	44 ± 15
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	24 ± 6	6,8 ± 1,5	730 ± 90	25 ± 6
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	40 ± 9	22,0 ± 3,5	790 ± 100	62 ± 12
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	< 39	< 11	1 230 ± 170	43 ± 13
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	48 ± 9	14,7 ± 2,3	860 ± 100	68 ± 10
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	15 ± 7	7,5 ± 2,0	700 ± 90	45 ± 10
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	66 ± 13	24,0 ± 4,5	< 300	157 ± 25
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	60 ± 9	29,8 ± 3,9	420 ± 60	125 ± 17
ST 14 ID	Isère	Veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	136 ± 18	45 ± 6	450 ± 60	236 ± 31
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	< 3,5	< 2,5	510 ± 80	29 ± 8
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	11,7 ± 4,2	3,4 ± 1,0	890 ± 100	25 ± 5
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	25 ± 7	16,8 ± 2,8	490 ± 70	65 ± 11
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	13,2 ± 4,6	6,8 ± 1,4	790 ± 90	31 ± 6
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	17,3 ± 4,8	6,1 ± 1,3	590 ± 70	33 ± 6
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	10,5 ± 4,4	5,3 ± 1,3	930 ± 110	26 ± 6
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	40 ± 8	13,8 ± 2,2	700 ± 90	58 ± 10
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	22 ± 6	4,2 ± 1,2	1 390 ± 160	25 ± 6

6.1.4. Béryllium 7

Le béryllium 7 est un radionucléide naturel produit par interaction du rayonnement cosmique avec les atomes de l'air dans la haute atmosphère.

Il est détecté dans 25 des 26 échantillons.

Son activité est comprise entre **23 et 236 Bq/kg sec.**

On remarque que les valeurs supérieures à 100 Bq/kg sec sont mesurées dans les fontinales et plantes du genre fontinalis.

6.2. Radionucléides « artificiels » dans les plantes

6.2.1. Iode 131

Les résultats concernant le dosage de l'iode 131 sont reportés dans le tableau TP 3 page 50 et la carte page 52 .

L'iode 131 n'est pas détecté à la station ST1 (Rhône amont), ni dans l'Ain (P2, contrôle effectué sur fontinales et une espèce voisine) ou la Saône en amont de Lyon (ST5, contrôle effectué sur myriophylle et potamogeton pectiné). Le résultat en ST1 doit être interprété avec prudence car il n'a été possible d'échantillonner dans ce secteur que des végétaux de type cresson.

L'iode 131 est détecté dans tous les autres échantillons collectés dans le **Rhône** (sauf P4D) au niveau des stations :

- P1 (**2,1 Bq/kg frais**), dans le Rhône en aval de la confluence avec le Fier (Annecy).
- ST2 RD, ST3, ST4 (**0,45 à 0,8 Bq/kg frais**) dans le secteur Superphénix / Bugey. La détection de l'iode 131 en amont de Superphénix suggère un impact principalement d'origine « médecine nucléaire ».
- P4 G (10,4 Bq/kg frais) et ST6 (**20,9 Bq/kg frais**), en **aval de Lyon** (impact très probable des activités de médecine nucléaire). La station ST 6 est située en aval des rejets de 2 stations de traitement des eaux de l'agglomération Lyonnaise (Pierre Bénite et Saint-Fons).
- De ST7 à ST12, dans tous les échantillons collectés dans le Rhône, de Vienne à l'aval du Tricastin. Les activités sont de l'ordre de **1 à 3 Bq/kg frais**.

Dans l'**Isère**, l'iode 131 est détecté dans les 3 stations suivantes :

- ST4 I en amont du CEA Grenoble et de la station de traitement des eaux usées de l'agglomération grenobloise située à Fontanil Cornillon (2,1 Bq/kg frais).
- ST4 ID en **aval de Grenoble** et de la station de traitement de l'agglomération (**46 Bq/kg frais**).
- ST13 à Pont d'Isère avant confluence avec le Rhône (6,2 Bq/kg frais).

On notera que l'iode 131 n'est pas détecté dans le Drac en amont de Grenoble (< 0,3 Bq/kg frais).

TP 3 / Activité massique de l'iode 131 dans les plantes aquatiques prélevées en 2007 (Bq/kg frais)

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Iode 131 (Bq/kg frais)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	< 0,20
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	2,1 +/- 0,7
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	0,80 +/- 0,31
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	0,72 +/- 0,20
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	0,45 +/- 0,20
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	< 0,14
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	< 0,13
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	< 0,14
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	< 0,38
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	< 0,20
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	10,4 +/- 1,5
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	20,9 +/- 3,0
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	2,5 +/- 0,5
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	3,0 +/- 0,5
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	1,5 +/- 0,6
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	2,1 +/- 0,6
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	< 0,30
ST 14 ID	Isère	veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	46,0 +/- 5,0
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	6,2 +/- 1,3
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	1,7 +/- 0,5
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	1,8 +/- 0,4
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	1,4 +/- 0,3
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	1,8 +/- 0,3
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	2,9 +/- 0,9
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	2,4 +/- 0,5
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	0,9 +/- 0,4

Expression des résultats en Bq/kg sec

Dans le tableau TP 4 page 53 sont reportées les activités massiques en iode 131 exprimées en Bq/kg frais puis en Bq/kg sec, calculées en tenant compte du taux de matières sèches (TMS) des plantes analysées fraîches.

La dernière colonne comporte les activités mesurées sur les plantes après dessiccation et exprimées en Bq/kg sec.

On observe la bonne cohérence des résultats obtenus sur plantes fraîches et après dessiccation.

Comparaison avec les résultats de juillet 2000

Pour mémoire est rappelé le constat de l'étude CRIIRAD de Juillet 2000 [CRIIRAD 2000] portant sur les plantes aquatiques du Rhône, de Vienne à l'aval de la centrale de Saint-Alban.

*« Avec une activité comprise entre 11 et 85,5 Bq/kg sec, l'activité moyenne de l'iode 131 dans les potamots pectinés, depuis l'aval de Lyon, jusqu'à l'aval du CNPE de Saint-Alban est de **47,7 Bq/kg sec** (écart-type de 42 %). La période physique de l'iode 131 étant de 8 jours, sa présence est le signe de rejets liquides récents et probablement chroniques. »*

Dans le cadre de la campagne de Juin à septembre 2007 on observe, sur ce tronçon du Rhône, depuis Lyon jusqu'à l'aval de Saint-Alban, une activité massique en iode 131 de **16,7 Bq/kg sec** (potamots pectinés, aval St Alban) à **307 Bq/kg sec** (myriophylle amont Givors).

Flux d'iode 131 liés à la médecine nucléaire (données de 1999)

Pour mémoire est rappelé le constat de l'étude CRIIRAD de Juillet 2000 portant sur les plantes aquatiques du Rhône, de Vienne à l'aval de la centrale de Saint-Alban :

« La présence d'iode 131 en amont du CNPE de Saint-Alban, et l'absence de gradient significatif amont / aval montre que l'impact des rejets liquides d'iode 131 de la centrale (de 20 MBq à 340 MBq par an, selon les années, de 1985 à 1996) est masqué par un terme source situé plus en amont.

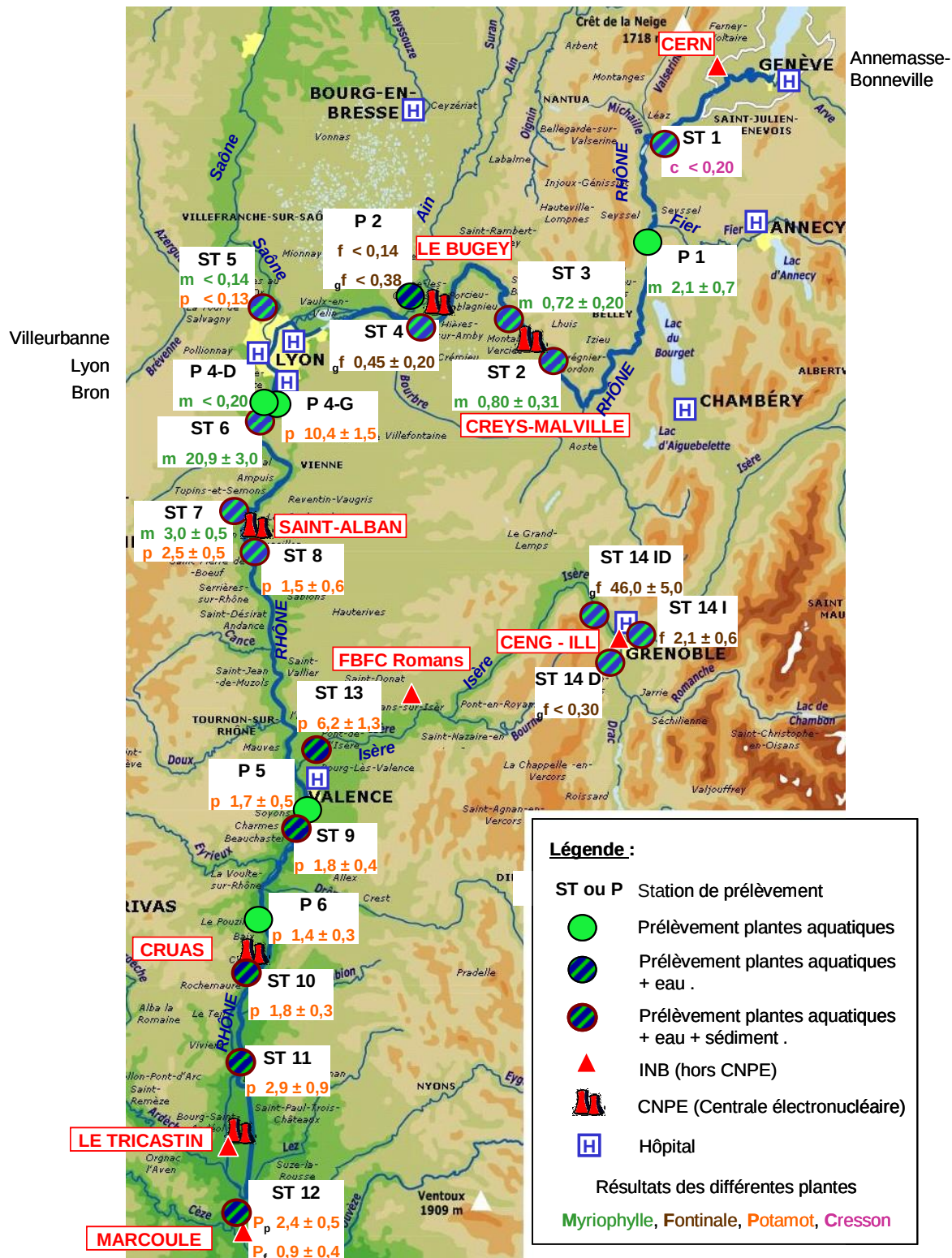
En comparant les résultats des mesures des différentes campagnes on constate que les activités en iode 131 mesurées en juillet 2000 sont, en 3 stations sur 4, supérieures à celles de 1997.

Les facteurs de concentration typiques de l'iode 131 dans les algues marines sont de l'ordre de 1 000 Bq/kg frais par Bq/l dans l'eau. Pour des plantes présentant une activité massique en iode 131 de 48 Bq/kg sec, soit environ 5 Bq/kg frais, on peut donc évaluer l'activité volumique moyenne de l'eau à 5 mBq/l. Les algues marines présentent une capacité de concentration de l'iode a priori supérieure aux plantes aquatiques de type potamot pectiné. On peut donc supposer que pour des potamots pectinés, une contamination chronique à 5 Bq/kg frais correspond à une activité volumique de l'eau de quelques dizaines de mBq/l.

L'origine de l'iode 131 situé en amont du CNPE de Saint-Alban et d'une partie de celui mesuré en aval de la centrale peut être à rechercher dans les activités de médecine nucléaire (rejets directs des services ou rejet diffus liés aux patients de retour à domicile).

Quatre des six établissements hospitaliers de la région lyonnaise susceptibles d'utiliser de l'iode 131 en radiodiagnostic et radiothérapie ont répondu au questionnaire CRIIRAD.

L'activité totale administrée à des patients qui ne sont pas admis en chambre plombée était en 1999 de 98 300 millions de becquerels.

Contrôles radiologiques I_{131} (Bq/Kg frais) dans les plantes aquatiques en 2007

TP 4 / Activité massique de l'iode 131 dans les plantes aquatiques prélevées en 2007 (Bq/kg frais et Bq/kg sec)

Comptage effectué sur plantes fraîches							
Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Iode 131 (Bq/kg frais)	TMS %	I 131 Bq/kg sec calculé = Bq/kg frais / TMS	Iode 131 (Bq/kg sec) / second comptage
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	< 0,20	7,8%	< 2,6	< 50
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	2,1 +/- 0,7	7,5%	28,0 ± 9,3	< 39
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	0,80 +/- 0,31	7,2%	11,1 ± 4,3	< 19
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	0,72 +/- 0,20	8,7%	8,3 ± 2,3	< 10
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	0,45 +/- 0,20	18,8%	2,4 ± 1,1	< 18
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	< 0,14	9,5%	< 1,5	< 50
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	< 0,13	12,0%	< 1,1	< 42
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	< 0,14	18,2%	< 0,8	< 31
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	< 0,38	22,0%	< 1,7	< 26
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	< 0,20	6,7%	< 3,0	< 60
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	10,4 +/- 1,5	11,1%	93,7 ± 13,5	117 ± 21
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	20,9 +/- 3,0	6,8%	307 ± 44	580 ± 280
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	2,5 +/- 0,5	8,8%	28,4 ± 5,7	< 44
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	3,0 +/- 0,5	6,7%	44,9 ± 7,2	46 ± 9
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	1,5 +/- 0,6	9,0%	16,7 ± 6,7	< 8
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	2,1 +/- 0,6	19,6%	10,7 ± 3,1	< 8
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	< 0,30	22,5%	< 1,3	< 4,1
ST 14 ID	Isère	Veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	46,0 +/- 5,0	22,6%	204 ± 22	213 ± 25
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	6,2 +/- 1,3	12,1%	51,2 ± 10,7	60 ± 14
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	1,7 +/- 0,5	10,5%	16,2 ± 4,8	< 19
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	1,8 +/- 0,4	9,2%	20,0 ± 4,5	< 33
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	1,4 +/- 0,3	8,0%	17,9 ± 3,6	< 30
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	1,8 +/- 0,3	10,4%	16,9 ± 3,0	26 ± 12
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	2,9 +/- 0,9	10,9%	26,6 ± 8,3	28 ± 10
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	2,4 +/- 0,5	9,0%	26,7 ± 5,6	22 ± 8
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	0,9 +/- 0,4	7,2%	12,6 ± 5,3	< 10

Sachant que, en moyenne, 84 % de l'activité est éliminée dans les urines des 5 premiers jours on peut estimer que le rejet direct par les hôpitaux et le rejet diffus par le patient de retour à domicile est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par an. En effet, ces urines radioactives ne sont pas collectées dans des cuves de décroissance comme le sont en général celles issues des patients durant leur hospitalisation en chambres plombées »

En 1999, le Centre de Médecine Nucléaire de l'Hôpital Neuro-Cardio de Lyon a administré 1 146 000 millions de becquerels d'iode 131 à 321 patients admis en chambres plombées. A leur sortie de chambre, soit quelques jours après l'administration de l'iode 131, ces patients continuent à excréter de l'iode 131 qui, via les urines, va rejoindre les dispositifs de collecte des eaux usées.

Bien entendu l'analyse fine de ces transferts nécessiterait la conduite d'une étude spécifique. Le problème de la contamination chronique du milieu aquatique en aval des villes dotées de services de médecine nucléaire a été démontré par le laboratoire de la CRIIRAD lors d'études antérieures réalisées en aval de la ville de Toulouse (étude réalisée pour l'ARPE et la CGE) d'une part et dans le bassin Seine-Normandie (étude réalisée pour l'Agence de Bassin Seine-Normandie). »

Les mesures de 2007 confirment la contamination chronique des plantes aquatiques du Rhône et de l'Isère par l'iode 131 et l'impact lié aux activités de médecine nucléaire, en particulier en aval des stations de traitement des eaux usées des agglomérations de **Grenoble** et **Lyon**.

Cet impact masque celui lié aux rejets d'iode 131 effectués par les centrales nucléaires car leurs rejets sont inférieurs de plusieurs ordres de grandeur aux flux liés aux pratiques de médecine nucléaire.

6.2.2. Technétium 99^m

Les résultats concernant le dosage du technétium 99^m sont reportés dans le tableau TP 5 page suivante.

L'activité massique de cet isotope émetteur gamma à très courte période physique (6 heures) est inférieure à la limite de détection dans les 20 échantillons de plantes aquatiques contrôlés dans de bonnes conditions (< 2,1 Bq/kg frais à < 13,3 Bq/kg frais).

Dans 4 cas en effet, les comptages n'ont pas pu être organisés dans des délais assez courts et la limite de détection est très élevée (< 1 200 à < 20 000 Bq/kg frais).

On remarque en particulier que le technétium 99^m n'est détecté ni en aval de Lyon, ni en aval de Grenoble où les plantes aquatiques présentent portant les plus fortes accumulations en iode 131. Ceci s'explique par la très courte période du Tc 99^m (6 heures) par rapport à celle de l'iode 131 (8 jours).

Le traitement des eaux usées présente très certainement, ne serait ce que du fait de la durée de traitement, une efficacité beaucoup plus importante sur le Tc 99^m que sur l'iode 131.

TP 5 / Activité massique du technétium 99^m dans les plantes aquatiques prélevées en 2007

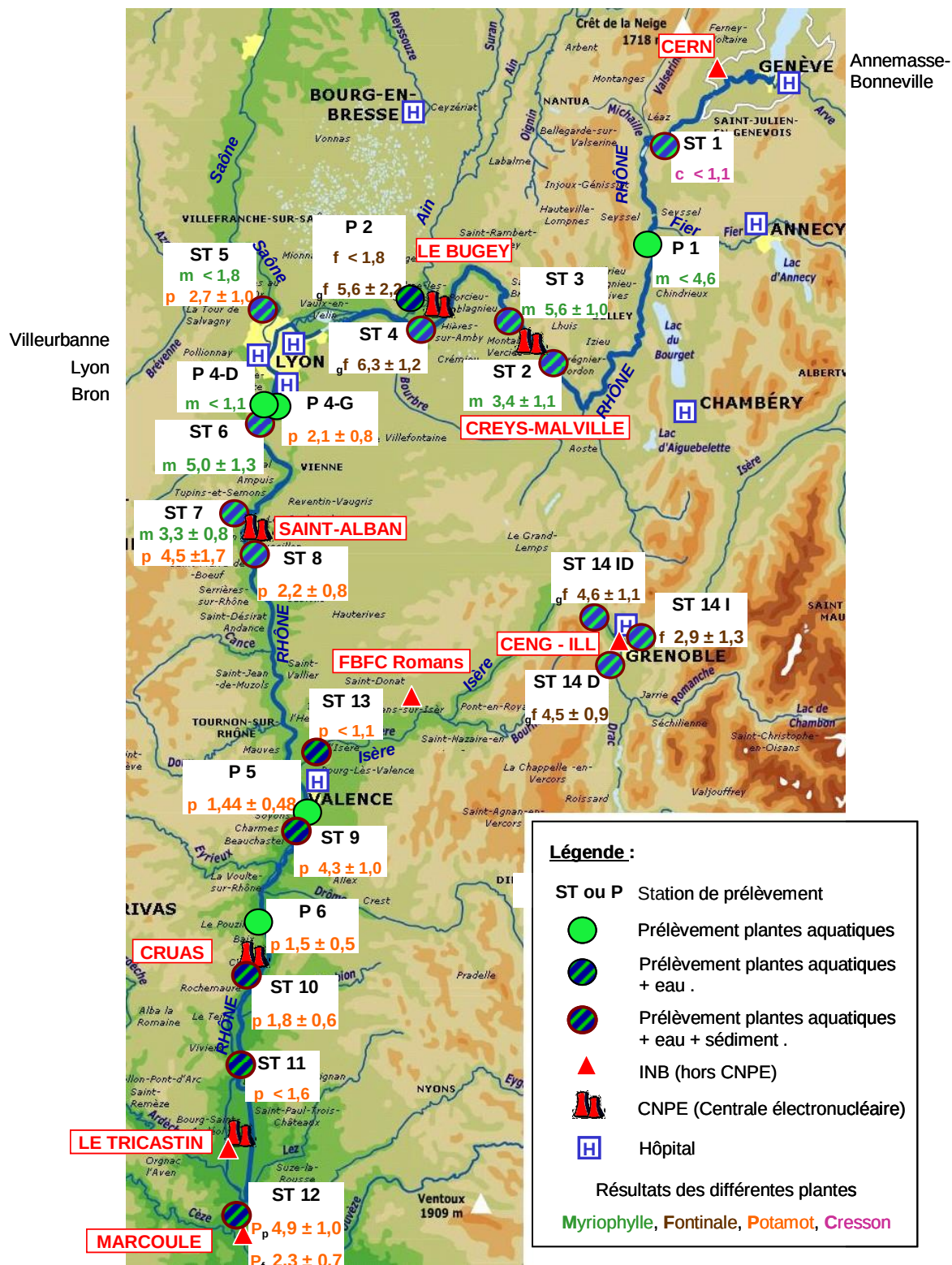
Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Code échantillon	Tc 99m (Bq/kg frais)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	150907A7	< 19 600
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	150907A10	< 10 800
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	150907A4	Non mesuré
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	150907A1	< 13,3
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	120907A1	< 2,1
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	130907A4	< 6,5
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	130907A5	< 2,3
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	120907A5	< 5,7
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	120907A6	< 7,8
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	130907A8	< 4,8
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	130907A9	< 4,6
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	130907A1	< 5,6
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	190707A1	< 4,0
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	190707A2	< 4,4
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	100707A1	< 3,7
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	181007A4	< 7,5
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	181007A7	< 9,0
ST 14 ID	Isère	Veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	181007A1	< 6,3
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	091007A1	< 7,6
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	020707A1	< 1 806
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	020707A4	< 1 216
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	290607A4	< 4,0
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	290607A3	< 7,6
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	280607A5	< 5,6
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	280607A6	< 5,6
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	280607A7	Non mesuré

6.2.3. Césium 137

Les résultats concernant le dosage du césium 137 dans les plantes aquatiques (après dessiccation) sont reportés dans le tableau TP 6 ci-dessous et la carte page suivante.

TP 6 / Activité massique du césium 137 dans les plantes aquatiques

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Code échantillon	Cs 137 (Bq/kg sec)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	150907A7	< 1,10
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	150907A10	< 4,60
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	150907A4	3,40 ± 1,10
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	150907A1	5,60 ± 1,00
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	120907A1	6,30 ± 1,20
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	130907A4	2,70 ± 1,00
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	130907A5	< 1,80
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	120907A5	< 0,34
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	120907A6	5,60 ± 2,20
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	130907A8	< 1,10
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	130907A9	2,10 ± 0,80
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	130907A1	5,00 ± 1,30
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	190707A1	4,50 ± 1,70
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	190707A2	3,30 ± 0,80
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	100707A1	2,20 ± 0,80
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	181007A4	2,90 ± 1,30
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	181007A7	4,50 ± 0,90
ST 14 ID	Isère	veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	181007A1	4,60 ± 1,10
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	091007A1	< 1,10
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	020707A1	1,44 ± 0,48
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	020707A4	4,30 ± 1,00
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	290607A4	1,50 ± 0,50
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	290607A3	1,80 ± 0,60
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	280607A5	< 1,60
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	280607A6	4,90 ± 1,00
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	280607A7	2,30 ± 0,70

Contrôles radiologiques Cs₁₃₇ (Bq/Kg sec) dans les plantes aquatiques en 2007

Le césium 137, qui est détecté systématiquement dans les sédiments, n'est mis en évidence que dans 19 des 26 plantes aquatiques prélevées. Les activités sont comprises entre **1,4 et 6,3 Bq/kg sec**. Compte tenu des marges d'incertitudes relativement élevées on peut conclure à une contamination relativement homogène.

Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 5.2.1 page 36 pour l'interprétation de l'origine du césium 137.

Pour mémoire est rappelé le constat de l'étude CRIIRAD de Juillet 2000 [CRIIRAD 2000] portant sur les plantes aquatiques du Rhône de Vienne à l'aval de la centrale de Saint-Alban.

« En amont de la centrale électronucléaire de Saint-Alban, l'activité du césium 137 en juillet 2000 était systématiquement inférieure au seuil de détection ($< 1,5$ à $< 3,5$ Bq/kg sec). En 1997, le césium 137 était détecté dans les potamots en amont de la centrale (2,2 à 6,1 Bq/kg sec).

En aval de la centrale du césium 137 était mis en évidence en juillet 2000 dans les 3 échantillons : de 1,9 à 7,6 Bq/kg sec. Ces résultats mettaient en évidence l'impact des rejets liquides de la centrale électronucléaire de Saint-Alban (de 40 MBq à 589 MBq par an selon les années de 1985 à 1996). »

Comparaisons amont aval des centrales

En 2007, la comparaison des activités en césium 137 mesurées par la CRIIRAD en amont et en aval des différentes INB n'indique un écart significatif que pour les potamots prélevés en aval du **Tricastin**. On mesure en effet dans les potamots pectinés 4,9 +/- 1,0 Bq/kg sec en aval alors que l'activité est inférieure à la limite de détection en amont ($< 1,6$ Bq/kg sec).

Les mêmes constatations ont été faites dans le cadre d'une campagne de mesures effectuée en juillet 2010 par la CRIIRAD [CRIIRAD 2010] : Cs 137 $< 0,48$ Bq/Kg sec en amont du Tricastin et 2,0 +/- 0,7 Bq/Kg sec en aval dans les potamots pectinés du canal de Donzère.

L'activité du césium 137 mesurée en 2007 dans les potamots pectinés en aval du Tricastin (4,9 +/- 1,0 Bq/kg sec) est cependant comparable à celle mesurée en amont de Cruas, à Charmes-sur-Rhône (4,3 +/- 1,0 Bq/kg sec).

Il est donc difficile de statuer sur l'origine exacte du césium 137 détecté.

Les rapports de suivi radioécologique effectués par l'IRSN pour EDF en 2007 indiquent, dans les myriophylles et les potamots pectinés, des activités massiques en césium 137 comprises entre 1,0 et 1,7 Bq/kg sec en amont et aval des centrales de Superphénix, Bugey, Cruas et Tricastin, sans différences réellement significatives entre l'amont et l'aval.

Ces différentes campagnes de mesure suggèrent que l'impact des rejets de césium 137 des centrales électronucléaires est masqué par la contamination globale.

Deux autres radionucléides artificiels émetteurs gamma sont détectés très ponctuellement, il s'agit du cobalt 58 et de l'argent 110^m.

6.2.4. Cobalt 60

L'activité du cobalt 60 est restée inférieure²⁶ aux limites de détection dans tous les échantillons de plantes aquatiques analysés en 2007 ($< 0,16$ à $< 1,3$ Bq/kg sec).

6.2.5. Cobalt 58

Le cobalt 58 est détecté en 2 stations :

- ST4 **aval Bugey** ($0,69 \pm 0,24$ Bq/kg frais et $< 2,1$ Bq/kg sec).
- ST10 **aval Cruas** (traces inférieures à la limite de détection de $0,08$ Bq/kg frais pour le comptage sur matière fraîche, mais confirmation sur le comptage long après dessiccation : $1,5 \pm 0,7$ Bq/kg sec).

Comme indiqué dans le tableau TR 6 page 17, les CNPE de la vallée du Rhône rejettent des dizaines voire des centaines de MBq de **cobalt 58** par an dans le fleuve.

En 2006 les rejets de cobalt 58 étaient, par ordre croissant, de 108 MBq (EDF Tricastin), 232 MBq (Bugey), $287,7$ MBq (Saint-Alban) et $326,6$ MBq (Cruas).

Les rapports de suivi radioécologique effectués par l'IRSN pour EDF en 2007 indiquent dans les myriophylles et les potamots pectinés, des activités massiques en cobalt 58 inférieures aux limites de détection ($< 0,6$ à < 2 Bq/kg sec) en amont et aval des centrales de Superphénix, Bugey, et Tricastin. En 2007, le cobalt 58 est par contre détecté par l'IRSN dans les plantes aquatiques en aval de Cruas ($1,4$ Bq/kg sec).

Pour mémoire est rappelé le constat de l'étude CRIIRAD de Juillet 2000 [CRIIRAD 2000] portant sur les plantes aquatiques du Rhône de Vienne à l'aval de la centrale de Saint-Alban.

*« On détecte des traces de cobalt 58 dans un seul échantillon, au point S8 en aval immédiat du CNPE de Saint-Alban (**4,1 Bq/kg sec**). Dans tous les autres échantillons, son activité est inférieure au seuil de détection ($< 1,1$ à $< 3,1$ Bq/kg sec).*

Le cobalt 58 est un produit d'activation émetteur bêta gamma de période physique égale à 70,9 jours présent dans les rejets liquides de la centrale (rejet de cobalt 58 compris entre 720 MBq et $95\,000$ MBq par an selon les années de 1985 à 1996).

Lors des campagnes de mesure de 1993 et 1997 le cobalt 58 n'a jamais été détecté dans les potamots en amont du CNPE de Saint-Alban. Son activité en aval au point S8 en juillet 2000 est inférieure à celle mesurée en 1997 (on mesurait de $8,1$ à $23,5$ Bq/kg sec en aval proche). »

6.2.6. Argent 110^m

L'argent 110^m n'est détecté qu'à la station ST4 en **aval du Bugey** ($0,54 \pm 0,21$ Bq/kg frais). Le résultat est confirmé sur le comptage long après dessiccation ($3,2 \pm 0,8$ Bq/kg sec).

En ce qui concerne l'argent 110^m, pour l'année 2006, les rejets du CNPE du Bugey ($1\,120$ MBq) étaient nettement supérieurs à ceux de Saint-Alban ($31,27$ MBq), EDF Tricastin (92 MBq) et Cruas ($316,8$ MBq). En 2007, les rejets d'argent 110^m du CNPE du Bugey étaient de 736 MBq.

²⁶ Les rapports de suivi radioécologique effectués par l'IRSN pour EDF en 2007 indiquent, dans les myriophylles et les potamots pectinés, des activités massiques en cobalt 60 inférieures aux limites de détection ($< 0,4$ à $< 0,6$ Bq/kg sec) en amont et aval des centrales de Superphénix, Bugey, et Tricastin. Le cobalt 60 est par contre détecté dans un des échantillons de plantes aquatiques en aval de Cruas ($0,3$ Bq/kg sec).

Les rapports de suivi radioécologique effectués par l'IRSN pour EDF en 2007 indiquent, dans les myriophylles et les potamots pectinés, des activités massiques en argent 110^m inférieures aux limites de détection (< 0,6 à < 1,0 Bq/kg sec) en amont et aval des centrales de Superphénix, Bugey, Cruas et Tricastin.

6.3. Tritium organiquement lié (OBT)

Objectif

Le tritium étant de l'hydrogène radioactif, il se retrouve rapidement associé aux molécules d'eau (constituées de 2 atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène).

On peut donc le retrouver sous forme de tritium libre dans les végétaux. Une partie des atomes de tritium peut également être métabolisée par les végétaux et être ainsi incorporée à la matière organique. Le tritium organiquement lié étant par définition moins facilement échangé par la plante, il peut renseigner sur des contaminations plus anciennes que ne le permet la seule mesure de l'activité du tritium libre.

Les résultats concernant le dosage du tritium organiquement lié sur 20 des 26 plantes aquatiques sont reportés dans le tableau TP-7 page suivante et la carte page 64.

Pour effectuer des comparaisons entre les stations, il est pertinent d'utiliser les concentrations en tritium dans l'eau issue de la combustion des végétaux et exprimées en Bq/l d'eau de combustion.

Situation en amont des installations nucléaires

Le tritium organiquement lié est détecté dans les plantes échantillonnées dans la **Saône (9,1 Bq/l)**, mais son activité reste inférieure aux limites de détection dans l'Ain (< 3,0 Bq/l) et dans le Drac et l'Isère en amont du CEA de Grenoble (< 3,0 Bq/l).

Dans le **Rhône**, le tritium n'est pas détecté à la station ST1 en amont du défilé de l'Ecluse (< 3,0 Bq/l), mais il l'est plus en aval (P1), au niveau du barrage de Motz, en amont de Superphénix (**15,8 Bq/l**).

Pour ces 2 stations (Saône et Rhône en amont de Superphénix), il est vraisemblable qu'il s'agit d'un impact lié à des activités industrielles sans rapport direct avec l'industrie nucléaire.

Dans un rapport de 2005 [LSCE 05], le LSCE indique que les teneurs en tritium organiquement lié mesurées par l'IRSN entre 1985 et 1995 et par le LSCE en 2002 et 2003 en amont et en aval de Superphénix sont « *très supérieures à celles de l'eau du Rhône sur la période où les données existent (1980-2003) et au pic de tritium des essais nucléaires de 1963 enregistré dans les pluies. Elles impliquent une source de tritium étrangère à la centrale, suspectée d'être de fines particules de matériaux tritiés entrant dans la composition des peintures luminescentes utilisées pour l'industrie horlogère suisse* ». Cette hypothèse serait confirmée par le fait que les sédiments prélevés par le LSCE à Chancy (frontière franco-suisse) en 2004 « *portent également ce marquage en tritium* ».

On notera à ce propos que l'IRSN mesurait toujours en mars 2007 dans les sédiments prélevés en amont de Superphénix une activité en tritium organiquement lié de 230 000 Bq/l d'eau de combustion soit 5 300 Bq/kg sec (l'activité en aval étant 40 fois plus faible).

Le livre blanc sur le tritium publié par l'ASN en 2010 indique également (page 61) qu'à l'échelle du territoire français : « *quant aux sédiments les plus marqués, ils ont été prélevés dans le haut Rhône, en amont du site nucléaire de Creys-Malville et on peut supposer que les valeurs mesurées sont liées à l'utilisation de tritium dans des industries ne faisant pas partie du cycle du combustible nucléaire (peintures luminescentes pour montres, panneaux de signalisation* ».

L'hypothèse de l'impact d'activités liées à l'**industrie horlogère** est plausible, mais des études complémentaires seraient nécessaires pour en apporter la démonstration définitive.

TP 7 / Activité massique du tritium organiquement lié dans les plantes aquatiques prélevées par la CRIIRAD en 2007

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Tritium : Bq/l (eau de combustion)	Tritium : OBT (Bq/kg sec)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	< 3,0	< 1,4
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	15,8 +/- 0,8	6,2 +/- 0,4
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	NM	NM
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	29,4 +/- 1,7	8,0 +/- 0,6
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	35,1 +/- 1,8	13,0 +/- 0,9
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	9,1 +/- 0,8	2,8 +/- 0,3
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	NM	NM
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	< 3,0	< 1,1
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	NM	NM
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	NM	NM
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	8,3 +/- 0,7	3,5 +/- 0,3
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	NM	NM
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	6,5 +/- 0,6	2,9 +/- 0,3
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	17,6 +/- 0,8	5,9 +/- 0,4
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	8,9 +/- 0,7	2,8 +/- 0,3
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	< 3,0	< 1,2
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	< 3,0	< 1,3
ST 14 ID	Isère	Veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	< 3,0	< 1,2
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	< 3,0	< 1,3
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	7,6 +/- 0,6	3,2 +/- 0,3
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	17,0 +/- 0,8	6,2 +/- 0,4
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	8,5 +/- 0,7	3,3 +/- 0,3
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	11,7 +/- 0,8	4,0 +/- 0,3
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	7,5 +/- 0,6	3,3 +/- 0,4
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	109 +/- 3,6	37,4 +/- 2,2
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	NM	NM

Impact des installations nucléaires

Dans l'**Isère**, l'activité du tritium organiquement lié dans les plantes aquatiques est inférieure aux limites de détection, tant à Veurey (ST14 ID, < 3,0 Bq/l), en aval des rejets du CEA de Grenoble et du réacteur de l'ILL, qu'en aval de Romans (ST13 : <3,0 Bq/l).

Ceci n'est pas surprenant compte tenu du fait que les rejets de tritium du CEA Grenoble et de l'ILL en 2007 (respectivement 6,79 E-4 TBq et 0,53 TBq) sont nettement inférieurs à ceux des centrales électronucléaires de la vallée du Rhône (les CNPE de Bugey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin ont rejeté en 2007 entre 35,5 et 54 TBq de tritium dans le Rhône).

Dans le **Rhône**, le tritium organiquement lié est systématiquement détecté dans les plantes aquatiques, à partir de l'amont de Superphénix (P1). Son activité est comprise entre **6,5 Bq/l** (potamot pectiné en amont de Saint-Alban) et **109 Bq/l** (potamot pectiné en aval du Tricastin).

On observe à la station St Alban amont (ST7) que l'activité du tritium organiquement lié est 3 fois plus élevée dans les myriophylles (17,6 Bq/l) que dans les potamots pectinés (6,5 Bq/l). Cette différence illustre l'importance de ne réaliser des comparaisons que pour des spécimens de même type.

La comparaison des activités du tritium organiquement lié sur les plantes aquatiques prélevées en amont et en aval des principales INB implantées sur le cours du Rhône est commentée ci-dessous.

- **Superphénix** : le ratio aval / amont est²⁷ de **1,86** sur la même espèce (myriophylle) ce qui suggère un impact du site nucléaire en cours de démantèlement. La centrale a rejeté **3,99 GBq** de tritium dans le Rhône en 2007.
- **Bugey** : le ratio aval / amont est proche de 1 (**1,19**) et porte sur 2 plantes d'espèces différentes (myriophylle en amont et de type fontinalis en aval). Il est difficile de se prononcer²⁸ sur l'impact du CNPE. La centrale a rejeté **48,8 TBq** de tritium dans le Rhône en 2007.
- **Saint-Alban** : le ratio aval / amont est de **1,37** sur la même espèce (potamot pectiné) ce qui suggère un impact²⁹ du CNPE. La centrale a rejeté **54 TBq** de tritium dans le Rhône en 2007.
- **Cruas** : le ratio aval / amont est proche de **1,38** sur la même espèce (potamot pectiné) ce qui suggère un impact³⁰ du CNPE. La centrale a rejeté **35,5 TBq** de tritium dans le Rhône en 2007.

²⁷ Les mesures de tritium organiquement lié effectuées par l'IRSN en août 2007, sur des myriophylles, donnent 8,1 Bq/l d'eau de combustion en amont de Superphénix et 16,7 Bq/l en aval soit un ratio de 2,06 (l'activité du tritium libre est inférieure aux limites de détection : < 2 Bq/l).

²⁸ Dans le cadre des suivis réalisés annuellement pour le CNPE du Bugey, l'IRSN n'effectue pas de mesure du tritium organiquement lié. Il réalise par contre le dosage du tritium libre dans des mousses aquatiques ou des myriophylles. L'activité du tritium libre est inférieure à la limite de détection dans les myriophylles prélevées en juillet 2007 en amont et en aval du CNPE du Bugey (< 2 Bq/l).

²⁹ Dans le cadre des suivis réalisés annuellement pour le CNPE de Saint-Alban sur le milieu aquatique, l'IRSN n'effectue pas de mesure du tritium organiquement lié. Sur la période 2000 à 2004, il a réalisé par contre le dosage du tritium libre sur un couple amont-aval de mousses aquatiques. En 2005, il s'agit de plantes aquatiques (cératophylles) et de poissons. En 2005, l'activité du tritium libre est plus élevée dans les plantes aquatiques en amont de Saint-Alban (13 +/- 2 Bq/l) qu'en aval (2,6 +/- 0,8 Bq/l). Dans les poissons, elle est sensiblement supérieure en aval (4,6 +/- 0,9 Bq/l) par rapport à l'amont (3,6 +/- 0,8 Bq/l), mais les résultats sont comparables, aux marges d'incertitude près.

³⁰ Dans le cadre des suivis réalisés annuellement pour le CNPE de Cruas sur le milieu aquatique, l'IRSN n'effectue pas de mesure du tritium organiquement lié. Sur la période 2000 à 2006, il a réalisé par contre le dosage du tritium libre sur un couple amont-aval de mousses aquatiques. En 2007, il s'agit de plantes aquatiques (potamot pectiné) et, en 2008 et 2009, de poissons. En 2008 et 2009, l'activité du tritium libre est environ deux fois plus élevée dans les poissons prélevés en aval.

Légende :

ST ou P	Station de prélèvement
	Prélèvement plantes aquatiques
	Prélèvement plantes aquatiques + eau
	Prélèvement plantes aquatiques + eau + sédiment
	INB (hors CNPE)
	CNPE (Centrale électronucléaire)
	Hôpital

Résultats des différentes planctons : Myriophylle, Fontinale, Potamot, C...

Villeurbanne
Lyon
Bron

A noter, le fait que l'on observe en amont plus lointain de Cruas, à la station ST9 (Charmes sur Rhône) une activité en tritium lié dans les potamots (17,0 Bq/l) supérieure à celle mesurée en aval de Cruas dans la même espèce (11,7 Bq/l). Ce résultat pose question et mériterait des investigations complémentaires pour vérifier s'il peut exister un terme source particulier dans le secteur ou s'il s'agit de la variabilité imputable à l'échantillonnage (influence par exemple de l'âge des colonies de plantes).

Tricastin : pour la même espèce (potamot pectiné), on mesure **14,5** fois plus de tritium organiquement lié en aval du site nucléaire, à Saint-Étienne des Sorts (109 Bq/l) qu'en amont à Donzère (7,5 Bq/l). La centrale EDF du Tricastin a rejeté **38,2 TBq** de tritium dans le Rhône en 2007 et les installations d'AREVA au Tricastin : 2,17 TBq .

Ces rejets ne paraissent pas de nature à expliquer le niveau d'accumulation de tritium dans les potamots pectinés recueillis en aval. Ce constat mérite des recherches complémentaires.

Le rapport annuel environnement 2008 du CNPE du Tricastin que nous avons pu consulter au Conseil Général de la Drôme donne les résultats de dosage du tritium libre effectué par l'IRSN de 2000 à 2006 sur des mousses aquatiques et en 2007³¹ sur des potamots pectinés. Le ratio aval-amont est parfois inférieur à l'unité, parfois supérieur (facteur 4,2 en 2001). L'activité maximale du tritium libre mesurée entre 2000 et 2007 est de 18 Bq/l sur des mousses aquatiques prélevées en 2004 en aval du site nucléaire.

Ces résultats ne permettent pas d'expliquer les niveaux élevés de tritium organiquement lié mesurés en 2007 à Saint-Étienne des Sorts.

Des études complémentaires sont nécessaires pour conclure.

On pourrait s'interroger par exemple sur l'impact possible des rejets de tritium à l'atmosphère effectués par le site nucléaire de Marcoule situé entre 6 et 7 km plus au sud.

L'INBS (Installation Nucléaire de Base Secrète) de Marcoule a rejeté en effet en 2007, dans l'atmosphère, 370 TBq³² de tritium soit 13 fois plus que toutes les centrales électronucléaires EDF implantées en France (27,3 TBq³³).

³¹ Le CNPE du Tricastin nous a communiqué des extraits des rapports de suivi radioécologique réalisés à sa demande par l'IRSN de 2008 à 2009. Dans le cadre de ces suivis, l'IRSN ne mesure pas le tritium organiquement lié mais dose le tritium libre dans les poissons prélevés en amont et en aval du site du Tricastin. Malheureusement les résultats concernant le tritium n'ont pas été joints par EDF.

³² Données communiquées à la CRIIRAD par la CLI de Marcoule le 13 janvier 2011.

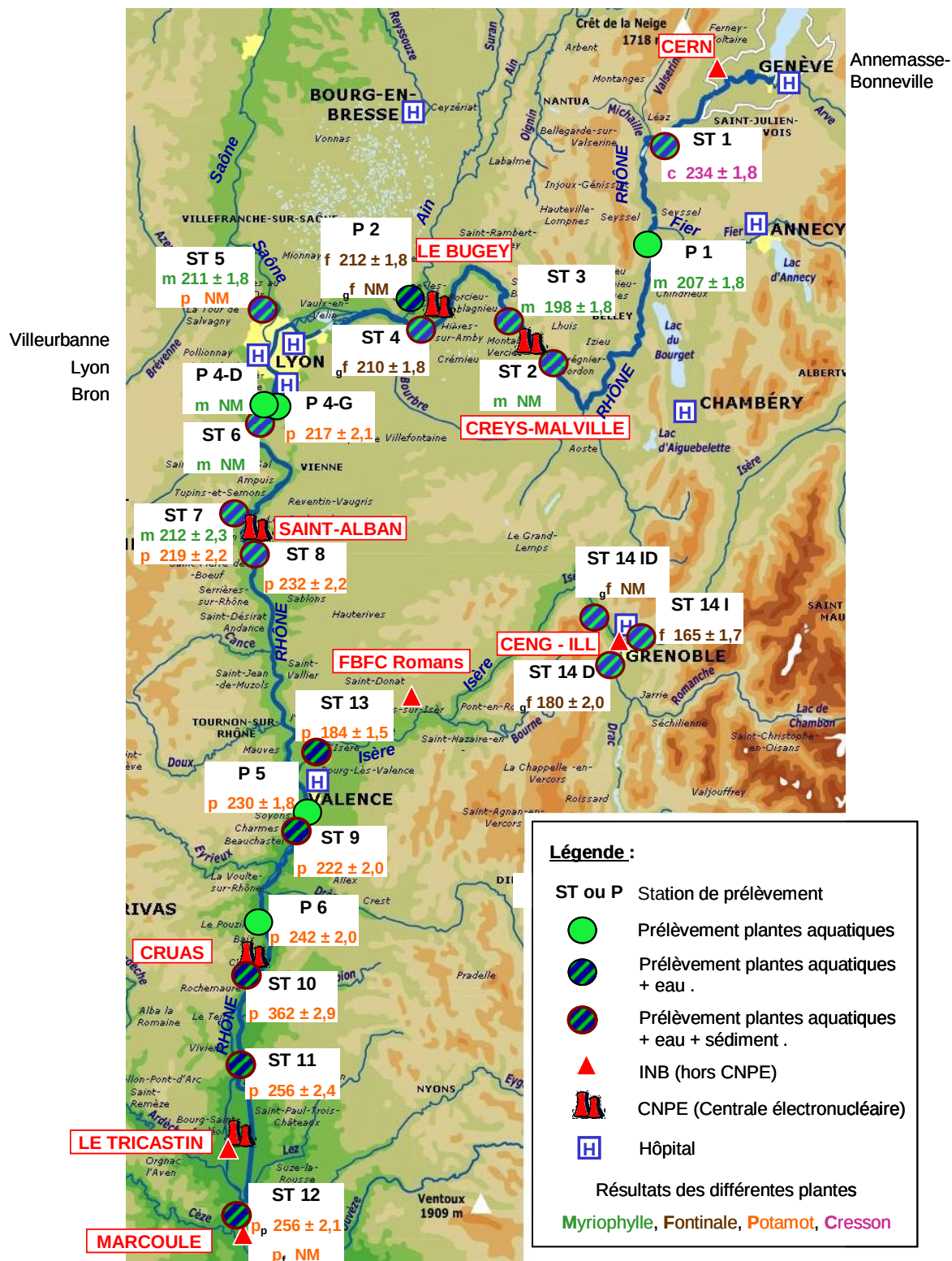
³³ Valeur citée dans le livre blanc sur le tritium publié en 2010 (page 49).

6.4. Carbone 14

Les résultats concernant le dosage du carbone 14 sont reportés dans le tableau TP 8 ci-dessous et la carte page suivante.

TP 8 / Activité massique du carbone 14 dans les plantes aquatiques

Station	Cours d'eau	Emplacement (site nucléaire proche)	Espèce	Carbone 14 (Bq/kg carbone)	Carbone 14 (Bq/kg sec)
ST 1	Rhône	Aval CERN et aval Genève	Cardamine (cresson)	234 +/- 1,8	77,9 +/- 3,94
P1	Rhône	Aval confluence Fier amont Superphénix	Myriophylle	207 +/- 1,8	72,9 +/- 3,70
ST 2	Rhône	Amont centrale Superphénix	Myriophylle	NM	NM
ST 3	Rhône	Aval centrale Superphénix et amont CNPE Bugey	Myriophylle	198 +/- 1,8	49,3 +/- 2,51
ST 4	Rhône	Aval CNPE Bugey	Genre Fontinalis	210 +/- 1,8	58,7 +/- 2,98
ST 5	Saône	Amont Lyon	Myriophylle	211 +/- 1,8	51,6 +/- 2,62
ST 5	Saône	Amont Lyon	Potamot Pectiné	NM	NM
P 2	Ain	Rivière Ain	Fontinales	212 +/- 1,8	61,0 +/- 3,09
P 2	Ain	Rivière Ain	Genre Fontinalis	NM	NM
P4-D	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	NM	NM
P4-G	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Potamot Pectiné	217 +/- 2,1	79,0 +/- 4,02
ST 6	Rhône	Aval Lyon / amont Givors	Myriophylle	NM	NM
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Potamot Pectiné	219 +/- 2,2	74,9 +/- 3,82
ST 7	Rhône	Amont CNPE Saint-Alban	Myriophylle	212 +/- 2,3	80,7 +/- 4,13
ST 8	Rhône	Aval CNPE Saint Alban	Potamot Pectiné	232 +/- 2,2	69,0 +/- 3,51
ST 14 I	Isère	Grenoble, Amont CENG	Fontinales	165 +/- 1,7	56,4 +/- 3,13
ST 14 D	Drac	Grenoble, Amont CENG	Genre Fontinalis	180 +/- 2,0	55,8 +/- 2,86
ST 14 ID	Isère	Veurey, Aval STEP, aval CENG	Genre Fontinalis	NM	NM
ST 13	Isère	Isère avant confluence Rhône	Potamot Pectiné	184 +/- 1,5	76,5 +/- 3,88
P5	Rhône	Valence / Amont STEP Valence	Potamot Pectiné	230 +/- 1,8	93,1 +/- 4,71
ST 9	Rhône	Charmes-sur-Rhône, Amont CNPE Cruas / Aval Valence	Potamot Pectiné	222 +/- 2,0	73,5 +/- 3,73
P6	Rhône	Amont CNPE Cruas / Le Pouzin	Potamot Pectiné	242 +/- 2,0	90,5 +/- 4,59
ST10	Rhône	Aval CNPE Cruas	Potamot Pectiné	362 +/- 2,9	107 +/- 5,42
ST 11	Rhône	Donzère, Amont CNPE Tricastin	Potamot Pectiné	256 +/- 2,4	97,0 +/- 4,93
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Pectiné	256 +/- 2,1	77,6 +/- 3,93
ST 12	Rhône	Aval CNPE Tricastin / Aval confluence canal Donzère	Potamot Fluitans	NM	NM

Contrôles radiologiques C_{14} (Bq/Kg carbone) dans les plantes aquatiques en 2007

Pour effectuer des comparaisons entre les stations, il est pertinent d'utiliser les concentrations en carbone 14 (radioactif) ramené à la masse totale de carbone dans les végétaux : Bq de carbone 14 par kilogramme de carbone total.

On observe, à la station St Alban amont (ST7) que l'activité du carbone 14 est légèrement différente dans les myriophylles (212 Bq/kg C) et les potamots pectinés (219 Bq/kg C). Cette différence illustre l'importance de ne réaliser des comparaisons que pour des spécimens de même type.

On observe une grande variabilité de l'activité spécifique du carbone 14 dans les plantes aquatiques, puisqu'elle est comprise entre **165 Bq/kg C dans l'Isère**, en amont de Grenoble et **362 Bq/kg C dans le Rhône**, en aval du CNPE de Cruas.

D'une façon générale, on observe que l'activité spécifique du carbone 14 est :

- Comprise entre 165 et 184 Bq/kg C dans le Drac et l'Isère,
- Comprise entre 211 et 212 Bq/kg C dans l'Ain et la Saône
- Comprise entre 198 et 362 Bq/kg C dans le Rhône.

Les niveaux bas détectés dans le Drac et l'Isère pourraient être dus à un apport de carbone ancien présentant une activité spécifique inférieure à celle mesurée actuellement dans l'atmosphère (il pourrait s'agir par exemple de l'impact de la fonte des glaces, des caractéristiques géologiques locales³⁴ ou de l'impact d'activités d'extraction ou de combustion de charbon, ou d'autres activités industrielles, etc..)

Pour le Rhône, on n'observe pas de variation significative amont aval au niveau de Superphénix (0,96 sur myriophylles), Bugey (1,06 mais sur des espèces différentes), et Tricastin (1,0 sur potamot pectiné).

On note une faible variation au niveau de Saint-Alban (1,06 sur potamot pectiné), et un **impact prononcé** au niveau du **CNPE de Cruas (1,5 sur potamot pectiné)**. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les rejets de carbone 14 du CNPE de Cruas en 2006 (73,6 GBq) et 2007 (46,6 GBq) sont nettement supérieurs à ceux de Saint-Alban (16,45 GBq et 18,5 GBq).

Il semble que cet impact soit encore détecté plus en aval, en amont du site nucléaire du Tricastin à Donzère (256 Bq/kg C) et, en aval de ce dernier, à Saint-Étienne des Sorts (256 Bq/kg C). Pour cette dernière station, il faut aussi prendre en compte l'impact des rejets de carbone 14 des installations nucléaires du Tricastin, à savoir la centrale électronucléaire (rejets non mesurés par EDF en 2007) et les installations AREVA (20,9 GBq de carbone 14 rejetés en 2007).

Il n'est pas possible de comparer les résultats obtenus dans le cadre de cette étude avec ceux de l'IRSN car le carbone 14 n'est habituellement pas mentionné dans les rapports de suivi radioécologique établis par l'IRSN pour EDF (Bugey 2007 à 2009, Saint-Alban 2005, Cruas 2009, Tricastin 2007).

Le site de Superphénix fait exception puisque l'IRSN a procédé au dosage du carbone 14 dans les échantillons prélevés en 2007³⁵. Les valeurs amont-aval sont de 192,3 / 196,7 Bq/kg C pour les sédiments, 210 / 210 Bq/kg C pour les myriophylles et 220 / 320 Bq/kg C pour les poissons. Ces résultats suggèrent un impact de la centrale en déconstruction en ce qui concerne les poissons.

³⁴Dans un cours d'eau qui traverse des terrains riches en carbonates (terrains calcaires) les plantes aquatiques vont s'approvisionner partiellement en carbone géologique dont la teneur en carbone 14 peut être nulle. Cet apport géologique va abaisser leur teneur en carbone 14 par rapport à la teneur atmosphérique qui est de l'ordre de 240 Bq/kg carbone.

³⁵ En 2008, les valeurs amont-aval sont de 198,7 / 208,0 Bq/kg C pour les sédiments, 200,7 / 200,7 Bq/kg C pour les myriophylles et 202,3 / 211,5 Bq/kg C pour les poissons.

7. CONCLUSION

Principaux constats

On observe toujours en 2007 une contamination chronique et généralisée de l'environnement aquatique par le **césium 137** (recherché dans les sédiments et végétaux aquatiques), le **strontium 90** et les isotopes 239 et 240 du **plutonium** (recherchés dans les sédiments). Il s'agit principalement de l'impact résiduel des retombées des essais nucléaires particulièrement intenses dans les années 50-60 et également, pour le césium 137, de la catastrophe de Tchernobyl en 1986.

Cette contamination, en l'absence d'autres apports (rejets de centrales ou d'installations nucléaires par exemple), est amenée à diminuer progressivement avec le temps (par décroissance naturelle et par les mécanismes de migration, dissolution, désorption et transport vers l'aval). La période physique du césium 137 et du strontium 90 est d'une trentaine d'années, celle du plutonium 239 de 24 100 ans.

En ce qui concerne le césium 137, cette contamination globale masque l'impact des rejets effectués par les installations nucléaires. Par rapport aux valeurs mesurées en amont, on note par exemple des activités sensiblement supérieures dans les sédiments en aval du **CNPE de Cruas** et dans les végétaux aquatiques en aval du site nucléaire du **Tricastin**, mais des études complémentaires seraient nécessaires pour confirmer les différences observées et statuer sur l'origine exacte de ce césium.

En ce qui concerne les marqueurs plus spécifiques des rejets des centrales électronucléaires, on détecte la présence de produits d'activation : **cobalt 58** (période 71 jours) dans les **végétaux aquatiques** en aval des CNPE de **Bugey et Cruas**, **cobalt 60** (période 5,27 ans) dans les **sédiments** en aval du CNPE de **Cruas**, et **argent 110^m** (période 250 jours) dans les végétaux aquatiques en aval du CNPE du **Bugey**. Ces contaminations sont très probablement liées aux rejets radioactifs liquides de ces centrales. Pour ces différentes substances, les rejets annuels par site sont de l'ordre de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions de becquerels (le CNPE du Bugey a rejeté 1 120 MBq d'argent 110^m dans le Rhône en 2006).

Les analyses effectuées en 2007 montrent que, globalement, la contamination de l'environnement (sédiments et végétaux aquatiques) par les radionucléides artificiels émetteurs gamma rejetés par les centrales électronucléaires comme césium 137, cobalt 58, cobalt 60, argent 110^m est en diminution par rapport aux décennies passées. L'étude ne montre pas de phénomène d'accumulation notable du **nickel 63** dans les sédiments. Il s'agit d'un produit d'activation émetteur bêta de longue période (100 ans) rejeté par les centrales électronucléaires (plusieurs dizaines à centaines de MBq par an). Il serait néanmoins utile de réaliser des contrôles en aval lointain, dans le bas-Rhône.

L'impact le plus significatif imputable aux rejets radioactifs des centrales électronucléaires concerne le tritium et le carbone 14 qui représentent plus de 99,9 % des rejets radioactifs liquides. Les rejets de tritium sont de plusieurs dizaines de TBq (1 TBq = mille milliards de Bq) par centrale et plusieurs GBq à dizaines de GBq pour le carbone 14.

Le tritium organiquement lié est détecté systématiquement dans les plantes aquatiques du Rhône, à des niveaux supérieurs au bruit de fond attendu, à partir de l'amont Superphénix. L'activité la plus élevée concerne l'échantillon collecté dans la zone de Saint-Étienne des Sorts, en aval du site nucléaire du **Tricastin**. L'impact des rejets atmosphériques tritiés du site nucléaire de **Marcoule** situé plus au sud, ne peut être écarté.

L'activité spécifique du **carbone 14** dans les végétaux aquatiques, plutôt basse dans le Drac et l'Isère, est nettement plus élevée sur l'ensemble du cours du Rhône, en particulier à partir de l'aval du CNPE de **Cruas** (augmentation de 50 %).

L'activité du **tritium organiquement lié** (OBT) dans les végétaux aquatiques reste inférieure aux limites de détection dans l'Ain, l'Isère (y compris en aval des installations nucléaires de Grenoble) et le Rhône au niveau du défilé de l'Ecluse.

Le tritium est détecté par contre dans la Saône et dans le Rhône en amont de Superphénix. Ceci suggère un apport anthropique. Il pourrait être lié à des industries non nucléaires, comme par exemple **l'industrie horlogère** (utilisation de peintures radio luminescentes).

On observe une contamination chronique des végétaux aquatiques par de **l'iode 131** sur l'ensemble du secteur étudié et plus particulièrement dans le Rhône en aval de **Lyon** et dans l'Isère en aval de **Grenoble**. L'origine de cet iode 131 est à rechercher principalement dans les activités de **médecine nucléaire** qui mettent en jeu des centaines de GBq par an dans certains établissements.

Recommandations

A l'échelle globale, deux substances radioactives ressortent : l'iode 131, lié aux activités de médecine nucléaire et le tritium qui représente plus de 99 % de la radioactivité rejetée dans le Rhône par les centrales électronucléaires (et d'autres installations nucléaires).

En ce qui concerne **l'iode 131**, la CRIIRAD recommande de mettre en œuvre des actions auprès des services de médecine nucléaire, afin de déterminer s'il est possible d'améliorer la situation (réduction des doses, choix pour certaines applications d'autres radionucléides à période plus courte comme l'iode 123, amélioration de la collecte et du traitement des effluents liquides).

La réalisation d'une campagne d'information auprès des gestionnaires des stations d'épuration des eaux usées des agglomérations qui disposent de services de médecine nucléaire est également souhaitable car l'iode 131 présent dans les eaux en entrée de station se concentre dans les boues et les cendres issues de l'incinération de ces boues ce qui pose des problèmes spécifiques pour l'élimination des déchets solides.

En ce qui concerne le **tritium**, **EDF envisage d'augmenter les rejets liquides** dans le cadre de nouveaux programmes de gestion du combustible nucléaire dit HTC (Haut Taux de Combustion). Cette évolution est préoccupante compte tenu de la forte mobilité du tritium dans l'environnement et de son incorporation au cœur des organismes vivants (le tritium est en effet un isotope radioactif de l'hydrogène, constituant de base de la matière vivante et de l'ADN). Il est important de renforcer les dispositifs de surveillance de la contamination de l'environnement par cet élément afin en particulier d'objectiver l'impact et de disposer d'un outil permettant d'agir sur le niveau des autorisations de rejet. Il est également nécessaire de revoir les études d'impact en intégrant la notion d'impact cumulé sur l'ensemble du bassin versant.

D'une manière générale, les programmes de comptabilisation des rejets radioactifs liquides des centrales électronucléaires doivent être mis à niveau et harmonisés en particulier en ce qui concerne le contrôle des rejets de **carbone 14** et de **nickel 63**.

La CRIIRAD dénonce ces lacunes depuis plus de 20 ans et déplore qu'actuellement **EDF ne soit toujours pas en mesure de quantifier précisément ses rejets de carbone 14** au niveau de l'ensemble des CNPE. Cette situation est préoccupante dans la mesure où le carbone 14 intervient en seconde position dans les rejets radioactifs liquides. Il présente en outre une très longue période physique (5 730 ans), et constitue un composant de base de la matière vivante et de l'ADN de nos cellules.

D'une manière générale, l'ensemble des radionucléides rejetés devraient être déclarés individuellement et les résultats facilement accessibles par exemple au niveau du rapport annuel TSN de chaque installation nucléaire. Ce n'est pas le cas à l'heure actuelle.

En matière de transparence, EDF doit être incité par les autorités à effectuer et rendre publique une analyse sur les fortes disparités de rejets entre les différentes centrales pour certains radionucléides (argent 110^m par exemple) et déterminer s'il est possible de réduire les rejets.

En ce qui concerne la connaissance des impacts, les résultats des études spécifiques, le plus souvent annuelles, commandées par les exploitants doivent être plus facilement accessibles au public, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. Il en va de même pour les rapports annuels environnement préparés par chaque exploitant. Ces rapports devraient être systématiquement accessibles via internet.

A **l'échelle locale**, la présente étude soulève plusieurs interrogations pour lesquelles les autorités devraient lancer des investigations complémentaires :

- Présence de **tritium organiquement lié** dans la Saône et le Haut Rhône.
- Présence de **carbone 14** en excès dans les végétaux aquatiques en aval du CNPE de Cruas.
- Forte présence de **tritium organiquement lié** dans les végétaux aquatiques du Rhône en aval du site nucléaire du Tricastin et de la confluence avec le canal de Donzère.

Bibliographie

[SA 1] Chareyron B., Rapport CRIIRAD N°00-5, Contrôle de la radioactivité des sédiments et plantes aquatiques du Rhône, en amont et en aval du CNPE de Saint-Alban. Etude réalisée à la demande de l'association AIRE, avec le soutien financier du Conseil Général de l'Isère et de collectivités locales. Mai 2001.

[SN2] Chareyron B., Rapport CRIIRAD N°00-21, Faisabilité d'une étude approfondie visant à quantifier les rejets de radionucléides de l'Institut Jean Godinot et à étudier les moyens de les limiter. Etude réalisée à la demande de l'Agence de Bassin Seine-Normandie. Décembre 2000.

[SN1] Chareyron B., Rapport CRIIRAD N°00-15, Etude de l'impact des rejets d'effluents radioactifs liquides par les services de médecine nucléaire / secteur dépendant de l'Agence de Bassin Seine-Normandie. Septembre 2000.

[TL 1] Vignoles C., Roger S. « Étude diagnostic sur la présence de radioéléments dans le réseau d'eaux usées de la ville de Toulouse » - ARPE/CGE – octobre 1995. Analyses réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD et le laboratoire vétérinaire départemental du Tarn et Garonne.

[CRIIRAD 2000] Rapport d'étude N°00-05 / Contrôle de la radioactivité des sédiments et plantes aquatiques du Rhône, en amont et en aval du CNPE de Saint-Alban / Mai 2001 / B. Chareyron.

[CRIIRAD M1] Les Effluents radioactifs directs et diffus générés par les activités de médecine nucléaire et de Curiethérapie / B. Chareyron, publié dans : Actes du congrès : « Les effluents liquides des établissements de santé : Etat des lieux et perspectives de gestion / Chambéry le 26 et 27 novembre 2008.

[CRIIRAD 2009] Point zéro radiologique dans l'environnement du CERN avant démarrage du LHC / Phase 1 / Avril 2009 / B. Chareyron.

[CRIIRAD 2010] Note CRIIRAD N°10-135 / Résultats des analyses radiologiques et physico-chimiques réalisées dans le milieu aquatique de surface et les eaux souterraines dans l'environnement du site nucléaire du Tricastin en juillet 2010 / Novembre 2010 / B. Chareyron.

[FBFC 2007] Rapport Environnemental annuel FBFC Romans 2007 (INB 63 et INB 98) / AREVA FBFC CERCA

[IRSN 2004] Projet CAROL / Camargue Rhône Languedoc Rapport Final / Rapport DEI / SESURE n° 04-22, octobre 2004, C. Duffa, P. Renaud.

[IRSN 2007] Suivi Radioécologique de l'environnement terrestre et aquatique continental du site de Creys-Malville / Année 2007 / LERCM, Rapport DEI / SESURE n°2008-17, décembre 2008.

[LSCE 05] Centrale de Creys-Malville : Bilan Radioécologique de l'environnement terrestre et aquatique, année 2005 / Rapport DSM-LSCE 06-08 / Direction des Sciences de la Matière / Laboratoire des Sciences du Climat et de l'environnement.

Les ANNEXES sont reportées dans un document distinct