

Foyer Henri Barbusse
38150 ROUSSILLON

Association
Information
Rhodanienne
Energie



Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité

RAPPORT CRIIRAD N°04-20 V1

Etude préliminaire de l'impact des rejets de tritium et carbone 14 du CNPE de Saint-Alban

Etude réalisée par le laboratoire de la CRIIRAD à la demande de l'association AIRE,

avec le soutien financier du Conseil Régional Rhône-Alpes, du Conseil Général de l'Isère et des municipalités de Salaise sur Sanne (38), Roussillon (38), Péage de Roussillon (38), Condrieu (69), Saint-Maurice l'Exil (38) et Saint-Appolinard (42)

Missions de terrain : mai à septembre 2003

Date de rédaction : 19 avril 2004

Responsable d'étude : Bruno CHAREYRON, ingénieur en physique nucléaire,
Responsable de la mission de terrain : Christian COURBON, technicien spécialisé,

Conditionnement des échantillons : Jocelyne Ribouët, préparatrice

Analyses par spectrométrie gamma : Stéphane Patrigeon, technicien mesure physique

LABORATOIRE DE LA CRIIRAD

471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence

☎ 04 75 41 82 50

☎ 04 75 81 26 48

www.criirad.org

contact@criirad.org

SOMMAIRE

<u>1. RAPPEL DES PRECEDENTES ETUDES CRIIRAD / AIRE</u>	3
1.1. RADIOACTIVITE DU MILIEU AQUATIQUE DE SURFACE (RHONE)	3
1.2. RADIOACTIVITE DU MILIEU TERRESTRE	3
<u>2. NECESSITE D'ETUDIER LA CONTAMINATION EN TRITIUM ET CARBONE 14.</u>	4
<u>3. OBJECTIFS DE L'ETUDE 2003</u>	5
3.1. REMARQUES METHODOLOGIQUES	5
3.2. REALISATION DE LA CAMPAGNE DE MESURE CRIIRAD	5
3.3. ETUDE CRITIQUE DES DONNEES OFFICIELLES	6
3.4. PARTENAIRES FINANCIERS	6
<u>4. METHODOLOGIE ADOPTEE</u>	7
4.1. CHOIX DES VEGETAUX TERRESTRES	7
4.1.1. CHOIX DES VEGETAUX	7
4.1.2. CHOIX DES STATIONS POUR LES VEGETAUX	8
4.1.3. CONTROLES COMPLEMENTAIRES SUR LES CERISES	8
4.2. REALISATION DES DOSAGES DE TRITIUM ET CARBONE14	9
4.3. ECHANTILLONNAGES PERMETTANT D'EXAMINER LES VARIATIONS TEMPORELLES	10
<u>5. RAPPELS CONCERNANT LES REJETS DE TRITIUM ET CARBONE 14</u>	10
5.1. PRODUCTION DES RADIONUCLEIDES	10
5.2. ORIGINE DES REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT	11
5.3. EVALUATION DES REJETS DE TRITIUM ET CARBONE 14 PAR EDF	12
5.3.1. LE TRITIUM	13
5.3.2. LE CARBONE 14	16
<u>6. ACTIVITE DU TRITIUM DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE</u>	19
6.1. ESTIMATION DU BRUIT DE FOND	19
6.1.1. LE TRITIUM D'ORIGINE NATURELLE	19
6.1.2. DES APPORTS MASSIFS DE TRITIUM ARTIFICIEL.	19
6.2. LE TRITIUM DANS LE MILIEU TERRESTRE A SAINT-ALBAN	21
6.2.1. LE TRITIUM ORGANIQUEMENT LIE	21
6.2.2. LE TRITIUM LIBRE	24
6.3. LE TRITIUM DANS LES EAUX DE PLUIE	29
6.3.1. MESURES CRIIRAD	29
6.3.2. INSUFFISANCE DES CONTROLES DE L'IPSN	30
6.3.3. INSUFFISANCE DES CONTROLES EDF	30

7. ACTIVITE DU CARBONE 14 DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE	31
7.1. ACTIVITE « NATURELLE » DU CARBONE 14	31
7.2. LE CARBONE 14 DANS LE MILIEU TERRESTRE A SAINT-ALBAN	32
7.2.1. ESTIMATION DU BRUIT DE FOND REGIONAL	32
7.2.2. MISE EN EVIDENCE D'UN IMPACT A PROXIMITE DU CNPE	32
7.2.3. INSUFFISANCE DES CAMPAGNES DE MESURES DE L'IPSN (BILAN DECENNAL)	34
7.2.4. INSUFFISANCE DES SUIVIS ANNUELS EFFECTUES PAR L'IPSN	34
7.2.5. INSUFFISANCE DES CONTROLES EFFECTUES PAR EDF	35
8. OBSERVATIONS PRELIMINAIRES CONCERNANT LE MILIEU AQUATIQUE	36
8.1. TRITIUM	37
8.1.1. ETUDE CRIIRAD	37
8.1.2. MESURES IPSN DE 1995-1997	37
8.2. LE CARBONE 14	38
8.2.1. ETUDE CRIIRAD	38
8.2.2. MESURES IPSN DE 1995-1997	39
8.3. RADIONUCLEIDES EMETTEURS GAMMA	40
8.3.1. ETUDE CRIIRAD	40
9. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	41
9.1. CONCLUSIONS	41
9.1.1. IMPORTANCE DU TRITIUM ET DU CARBONE 14	41
9.1.2. LACUNES CONCERNANT L'AUTO SURVEILLANCE D' EDF	41
9.1.3. LACUNES CONCERNANT LES SUIVIS RADIOECOLOGIQUES EFFECTUES PAR L'IPSN	42
9.1.4. REALISATION D'UNE ETUDE INDEPENDANTE	43
9.1.5. IMPACT DES REJETS DE TRITIUM ET CARBONE 14 MIS EN EVIDENCE PAR LA CRIIRAD	43
9.1.6. INCERTITUDES SUR LES CONSEQUENCES SANITAIRES DE L'INCORPORATION DU TRITIUM ET DU CARBONE 14	45
9.1.7. EXIGER UNE DIMINUTION DES REJETS RADIOACTIFS	45
9.2. RECOMMANDATIONS	46

1. RAPPEL DES PRECEDENTES ETUDES CRIIRAD / AIRE

Depuis 1992, l'association AIRE (Association pour l'Information Rhodanienne sur l'Energie), basée à Roussillon, effectue un suivi de l'impact des rejets radioactifs de la centrale nucléaire de Saint-Alban. Ces études ont été confiées au laboratoire de la CRIIRAD.

Les centrales électronucléaires sont autorisées à rejeter dans l'atmosphère et dans les fleuves ou milieux côtiers des éléments radioactifs. Dans le cas de la centrale de Saint-Alban, de nouvelles autorisations de rejet ont été promulguées par l'Arrêté du 29 décembre 2000.

1.1. Radioactivité du milieu aquatique de surface (Rhône)

Les études réalisées par le laboratoire de la CRIIRAD en 1993, 1997 et 2000 portaient sur le contrôle des radionucléides émetteurs gamma dans les sédiments et plantes aquatiques du Rhône (impact des rejets liquides).

Ces études ont confirmé le marquage du milieu aquatique par des radionucléides artificiels issus de la centrale. Elles ont par ailleurs permis de faire 2 découvertes spécifiques. L'étude de 2000, soutenue par le Conseil Général de l'Isère et des communes riveraines de la centrale a permis de démontrer en effet :

- la contamination du fleuve par de l'iode 131 de l'aval de Lyon à l'aval de Saint Alban (impact probable des activités médicales),
- la contamination des sédiments par de l'uranium et ses descendants au droit du site chimique des Roches de Condrieu (impact des rejets anciens du site chimique).

1.2. Radioactivité du milieu terrestre

Une étude préliminaire, financée par l'association AIRE a été conduite par le laboratoire de la CRIIRAD en 1995.

Elle a consisté à prélever 7 échantillons de mousses terrestres dans l'environnement proche de la centrale et à rechercher les radionucléides artificiels et naturels émetteurs gamma.

Cette étude a mis en évidence la présence de 2 radionucléides artificiels émetteurs gamma (césium 137 et 134). Ces radionucléides sont rejetés dans l'atmosphère par la centrale, mais la contamination mise en évidence provenait probablement majoritairement des retombées de Tchernobyl en mai 1986 et du reliquat des retombées des essais militaires atmosphériques des années 50 et 60.

2. NECESSITE D'ETUDIER LA CONTAMINATION EN TRITIUM ET CARBONE 14.

Compte tenu des contraintes budgétaires, les précédentes études conduites par le laboratoire de la CRIIRAD au voisinage du CNPE de Saint-Alban n'avaient porté que sur les radionucléides détectables par spectrométrie gamma comme le césium 137, le cobalt 60 ou l'iode 131.

La spectrométrie gamma permet en effet, à travers une seule analyse relativement peu onéreuse de détecter des dizaines de radionucléides artificiels ou naturels. Elle est donc recommandée pour effectuer un premier niveau de contrôle environnemental.

Mais la plus grande part des radionucléides rejetés dans l'atmosphère ou dans le Rhône par le CNPE ne sont pas détectables par spectrométrie gamma.

Il s'agit du tritium et du carbone 14, émetteurs de rayonnement bêta, qui sont respectivement en première et seconde position pour les rejets liquides et atmosphériques (après les gaz rares).

L'impact des rejets de ces 2 radionucléides devait donc être suivi avec attention compte tenu par ailleurs :

1. De leur persistance dans l'environnement. La période physique du **tritium est de 12,3 ans**, celle du **carbone 14 de 5 730 ans**. La période physique est le temps au bout duquel la radioactivité est diminuée de moitié du fait de la désintégration du radionucléide.
2. De leur **grande mobilité dans l'environnement**. Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène. Il est rapidement transformé en eau tritiée (un ou deux atomes d'hydrogène non radioactif sont remplacés dans la molécule d'eau par un ou deux atomes d'hydrogène radioactif). Le tritium (à travers le cycle de l'eau) et le carbone 14 (à travers celui du carbone) intègrent rapidement toute la sphère environnementale. Ces radionucléides sont donc susceptibles de contaminer toute la chaîne alimentaire.
3. De leur **accumulation dans les êtres vivants**. Via l'air que nous respirons et la chaîne alimentaire, l'hydrogène et le carbone radioactifs peuvent être intimement incorporés à nos cellules, voire même aux molécules d'ADN qui les constituent.

Le laboratoire de la CRIIRAD a réalisé en 1997-1998 une étude de référence sur l'activité en tritium des eaux souterraines de la région Rhône-Alpes (une centaine de points de contrôle).

Cette étude a pu être conduite grâce au soutien financier du Conseil Régional Rhône-Alpes et de la Communauté de Communes de Grenoble. Elle ne portait cependant pas sur le contrôle spécifique de l'impact des rejets en tritium à proximité immédiate des installations nucléaires, mais sur les réserves en eau potable à l'échelle régionale. C'est pourquoi une campagne de mesure spécifique était nécessaire à proximité du CNPE de Saint-Alban.

Une étude indépendante de l'exploitant était d'autant plus utile que la CRIIRAD et AIRE avaient dénoncé en fin d'année 1998, lors de l'enquête publique sur le renouvellement des autorisations de rejets du CNPE de Saint-Alban, l'absence de résultats de mesures de tritium et de carbone 14 dans l'environnement. Il manquait en particulier dans le dossier fourni par EDF les résultats des trente analyses de tritium confiées à l'IPSN, alors que ce radionucléide représentait 99,99 % des rejets liquides et environ 40 % des rejets atmosphériques.

3. OBJECTIFS DE L'ETUDE 2003

3.1. Remarques méthodologiques

La détermination de l'impact des rejets de tritium et carbone 14 par une centrale nucléaire est une opération très complexe compte tenu des paramètres suivants :

1. Du tritium et du carbone 14 se trouvent naturellement dans l'environnement. L'impact effectif des rejets du CNPE de Saint-Alban peut donc être masqué par les niveaux naturels d'une part, mais aussi par d'autres impacts anthropiques comme les rejets d'autres installations nucléaires de la vallée du Rhône ou le reliquat des retombées des essais nucléaires des années 50-60. La mise en évidence de l'impact imputable à la centrale nécessite donc a priori de très nombreux prélèvements, tenant compte de la dispersion effective des rejets dans l'espace,
2. Les rejets étant à la fois chroniques et discontinus, la période d'échantillonnage introduit une variable supplémentaire. Le taux d'incorporation du tritium dans les végétaux dépend en outre de leur activité biologique (conditions météorologiques, cycle de croissance),
3. Le choix des bioindicateurs et des denrées à contrôler est également une source supplémentaire de variations en fonction du métabolisme propre des plantes et des modes de culture (arrosage artificiel ou non des cultures).

La CRIIRAD et l'association AIRE ont donc proposé de lancer en 2003 une étude portant uniquement sur l'impact des rejets atmosphériques de tritium sur le milieu terrestre, mais en un nombre de stations suffisant pour pouvoir cartographier précisément l'amplitude de la zone sous influence des rejets du CNPE.

3.2. Réalisation de la campagne de mesure CRIIRAD

Le plan d'échantillonnage initial prévoyait que soient collectés 3 types de végétaux différents (un bio indicateur persistant, du raisin ou du vin, et une espèce de type fruit ou légume) en 10 stations sélectionnées à partir d'une logique de type : 4 points cardinaux proches du CNPE, 4 points cardinaux plus lointains, et 2 références très lointaines.

A l'issue d'une mission de repérage effectuée par le technicien CRIIRAD le **26 mai 2003**, il s'est avéré extrêmement difficile de pouvoir collecter le même type de denrée ou de végétal en 10 stations, y compris pour le vin et raisin.

Par ailleurs il n'a pas été possible de déceler un bio indicateur persistant (conifère) ou semi-persistant disponible en 10 stations. C'est pourtant la manière la plus prometteuse pour mettre en évidence le marquage de l'environnement par des rejets atmosphériques tritiés. La collecte des mousses terrestres telles que celles utilisées par la CRIIRAD lors de l'étude de 1995 ne pouvait être retenue car il aurait été nécessaire de faire porter l'analyse sur les pousses de l'année en cours uniquement afin de ne pas mélanger le marquage imputable aux rejets actuels du CNPE avec le reliquat de retombées anciennes. Il aurait fallu disposer d'une grande quantité de matière pour obtenir in fine une sensibilité de détection satisfaisante.

Nous avons alors estimé préférable de modifier la stratégie initiale comme suit :

- limiter le nombre de stations à 3 pour le bioindicateur, les raisins, les fruits et les légumes,
- ajouter au dosage du tritium libre et du tritium organiquement lié, la mesure du carbone 14,
- effectuer un suivi de l'activité du tritium dans les eaux de pluie au voisinage du CNPE.

En outre, ont été réalisés quelques contrôles préliminaires de l'activité en tritium et carbone 14 dans le milieu aquatique (cf [paragraphe 8](#)).

3.3. Etude critique des données officielles

Outre la réalisation de contrôles indépendants dans l'environnement, l'étude CRIIRAD comportait une analyse critique préliminaire des données officielles existantes.

A cette fin les données concernant le tritium et le carbone 14 ont été demandées au CNPE de Saint-Alban par courrier en date du 14 août 2003.

Compte tenu de l'insuffisance des documents reçus (1 tableau), une réunion de travail a été organisée, le **7 novembre 2003**, au CNPE de Saint-Alban, en présence du chef de mission environnement radioprotection, du directeur délégué, de l'ingénieur environnement et du responsable de la communication.

Dans ce cadre, le responsable du laboratoire de la CRIIRAD a pu recueillir un certain nombre de précisions et demander d'autres documents qui ont été adressés au laboratoire le **29 décembre 2003**. Ces documents ont été utilisés dans le cadre de la présente étude. L'étude approfondie de ces documents nécessiterait cependant d'autres réunions techniques, plus approfondies et un travail de vérification qui sort du cadre de la présente étude.

Compte tenu de l'ensemble des difficultés méthodologiques, la présente étude constitue donc un programme préliminaire visant à déterminer si l'impact des rejets de tritium et carbone 14 du CNPE de Saint-Alban est effectivement indétectable comme le suggèrent les mesures officielles et dans le cas contraire à donner des éléments techniques en vue d'orienter des recherches ultérieures.

3.4. Partenaires financiers

L'étude a pu être réalisée grâce à la participation financière du Conseil Général de l'Isère, du Conseil Régional Rhône-Alpes, des municipalités de Salaise suranne (38), Roussillon (38), Péage de Roussillon (38), Condrieu (69), Saint-Maurice l'Exil (38) et Saint-Appolinard (42), et au soutien des sympathisants de l'association AIRE.

4. METHODOLOGIE ADOPTÉE

4.1. Choix des végétaux terrestres

4.1.1. Choix des végétaux

Suite à l'examen des données officielles disponibles, à une recherche bibliographique préliminaire, et à des repérages de terrain, la CRIIRAD a proposé de mesurer l'activité du tritium et du carbone 14 dans :

- Un bio indicateur atmosphérique (**feuilles de peuplier**).
- Des éléments de la chaîne alimentaire (**raisins, pommes et pommes de terre**) représentatifs des pratiques agricoles locales. Il s'agit là de vérifier les teneurs en radionucléides dans des productions réellement consommées par l'homme.

Le raisin a été préféré au vin dans la mesure où la collecte des raisins sur pied, directement par le technicien CRIIRAD, permettait de garantir la provenance exacte des échantillons, ce que n'aurait pas permis la collecte du vin. Par ailleurs, l'étude conduite par le laboratoire de la CRIIRAD en 2002-2003 pour Greenpeace autour du site nucléaire de Marcoule avait montré que l'activité du tritium dans le raisin et le vin était comparable.

Les échantillonnages ont été effectués les **3 et 4 septembre 2003** par un technicien du laboratoire de la CRIIRAD.

Les principaux points de collecte figurent sur les cartes en [annexe](#).

Note : des **mousses terrestres** (*Grimias*) ont également été prélevées le **4 septembre 2003** à Saint-Pierre de Bœuf au Sud du CNPE et en environnement lointain à Saint-Maurice sur Dargoire. Il s'agissait d'examiner l'intérêt de ce type de bioindicateur pour des travaux ultérieurs portant sur le tritium organiquement lié et le carbone 14. En outre un dosage par spectrométrie gamma a été réalisé au laboratoire de la CRIIRAD¹ afin d'effectuer un suivi de la contamination en césium 137 par rapport à l'étude de 1995 et de vérifier la contamination éventuelle par les radionucléides artificiels émetteurs gamma rejetés par le CNPE de Saint-Alban². Ces résultats sont reportés en [annexe](#).

¹ Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par le Ministère de la Santé pour la mesure des radionucléides émetteurs gamma dans l'environnement et la chaîne alimentaire.

² Les analyses ont mis en évidence un seul radionucléide artificiel émetteur gamma, le césium 137, avec une activité de 300 Bq/kg sec dans l'environnement lointain et 250 Bq/kg sec dans l'environnement proche. Ces valeurs sont dans la fourchette de celles obtenues par la CRIIRAD dans le cadre de l'étude d'octobre 1995 portant sur 7 mousses terrestres (207 à 662 Bq/kg sec).

4.1.2. Choix des stations pour les végétaux

Dans le secteur de Saint-Alban les vents dominants sont d'orientation nord sud et dans une moindre mesure sud nord. (cf rose des vents en [annexe 5](#)).

L'impact maximal des rejets atmosphériques de la centrale était donc à rechercher dans cet axe. En théorie, l'impact maximal devait être recherché au sud, sous les vents dominants. Mais dans la mesure où les vents porteurs de pluie proviennent préférentiellement du sud, le secteur nord constituait également une zone sensible.

S'agissant de l'influence de la distance à la centrale, l'impact est en théorie plus marqué à proximité. C'est ce qui ressort des modélisations de dispersion théorique utilisées par EDF. Ce point a pu être confirmé par des études scientifiques spécifiques à l'étranger. A titre d'exemple, une équipe de scientifiques Coréens a montré que la contamination en tritium au voisinage d'une centrale électronucléaire décroît exponentiellement avec la distance.

Ces considérations ont permis de retenir a priori les 3 stations suivantes :

- Le secteur de **Saint-Alban** et Jassoux (Chavanay) dans l'environnement proche au nord du CNPE, entre 1,4 et 3,5 kilomètres,
- Le secteur de **Saint-Pierre de Bœuf**, St Maurice l'Exil, Le Biez dans l'environnement proche au sud du CNPE, entre 1,1 et 4 kilomètres,
- Une station dans l'environnement lointain à **Saint-Maurice sur Dargoire** à environ 22 km au Nord-Ouest du CNPE.

Cette station « environnement lointain » ne peut être considérée comme une référence absolue hors de tout impact du CNPE de Saint-Alban ou des autres installations nucléaires de la région. Elle constitue cependant une référence relative pour comparaison. Une étude approfondie nécessiterait en effet d'intégrer dans le plan d'échantillonnage plusieurs stations de référence, ce qui est d'autant plus pertinent, dans la vallée du Rhône, que la densité des installations susceptibles de rejeter du tritium y est importante.

4.1.3. Contrôles complémentaires sur les cerises

Lors de la mission de repérage du **26 mai 2003**, compte tenu de la saison, des **cerises** ont été également prélevées à La Garde, Limony et Sablons, respectivement à 2, 6 et 10 kilomètres dans l'axe des vents dominants au sud du CNPE. Il s'agissait de vérifier la diminution du marquage radiologique en fonction de l'éloignement.

Pour l'environnement lointain, des cerises ont été collectées le 2 juin 2003 à Etoile-sur-Rhône dans la Drôme à environ 63 km au sud sud-est du CNPE de Saint-Alban. Les mesures ont porté sur le tritium libre, le tritium organiquement lié et le carbone 14.

4.2. Réalisation des dosages de tritium et carbone¹⁴

L'activité du **tritium libre** associé à l'eau des végétaux (sauf bioindicateurs) a été mesurée au laboratoire de la CRIIRAD³ après extraction des jus et distillation. La mesure a été effectuée sur compteur à scintillation liquide très bas bruit de fond de type Packard 2770 équipé d'un cristal de BGO. Les résultats exprimés en Becquerel par litre d'eau distillée (Bq/l), sont reportés en [annexe 1](#). La limite de détection obtenue au cours d'un comptage de 500 minutes fractionné en 5 cycles est typiquement de 2 à 3 Bq/l.

Compte tenu de la rapidité des échanges entre le végétal vivant et son environnement (air et eau), l'activité du tritium libre renseigne sur la contamination du milieu dans les heures qui précèdent l'exposition. Dans le cas de végétaux soumis à des rejets chroniques constants sur l'année, cette mesure est satisfaisante. Mais dans la mesure où les rejets d'une centrale nucléaire ne sont pas constants dans le temps ([cf chapitre 5.3 ci-dessous](#)), il est très important de mesurer également l'activité du **tritium organiquement lié** (OBT : Organically Bound Tritium).

L'OBT est la fraction du tritium qui est métabolisée par le végétal et fixée aux molécules constitutives de la matière organique. La mesure de ce paramètre présente un double intérêt :

- Obtenir une meilleure représentativité temporelle par l'effet intégrateur de la mesure,
- Avoir une vision plus complète de l'impact sanitaire, la toxicité du tritium organiquement lié étant nettement plus importante que celle du tritium libre.

Ces mesures ont été confiées à un laboratoire spécialisé qui dispose des techniques d'extraction de la fraction organique. Il s'agit du laboratoire privé RCD (RadioCarbon Dating) situé à Oxon en Angleterre. Le dosage du **carbone 14** a également été confié à ce laboratoire.

Un échantillonnage des végétaux a été adressé par la CRIIRAD à RCD. Environ 300 grammes de matière ont été desséchés en étuve à 105 °C jusqu'à élimination complète de l'eau libre. Puis 12 à 15 grammes du résidu sec ont été traités dans un dispositif à combustion haute pression afin de convertir la matière en CO₂ et H₂O. Quatre millilitres de l'eau de combustion ont été utilisés pour détermination de l'activité du tritium au moyen d'un compteur à scintillation liquide de type Quantulus-Wallac. Les résultats exprimés en Bq/l d'eau de combustion et Bq/kg de matière végétale sont reportés dans les tableaux [en annexe 2](#). La limite de détection pour le tritium est de 2 à 2,5 Bq/l d'eau de combustion, soit typiquement 0,15 Bq/kg frais.

La conversion ultérieure du CO₂ en benzène a permis de déterminer par comptage au moyen du Quantulus l'activité spécifique du carbone 14. Les résultats exprimés en Bq/kg de carbone stable sont reportés dans les tableaux [en annexe 3](#). La précision est de l'ordre de 1%.

³ Le laboratoire de la CRIIRAD est agréé par le Ministère de la Santé pour la mesure du tritium dans les eaux.

4.3. Echantillonnages permettant d'examiner les variations temporelles

Des **feuilles de peuplier** ont été prélevées à Saint-Pierre de Bœuf le **26 mai 2003**. Il s'agissait de comparer les résultats des mesures de carbone 14 et de tritium organiquement lié avec ceux du prélèvement effectué le **4 septembre 2003** sur le même site. Cette comparaison avait pour objet d'examiner la variabilité temporelle et de vérifier en particulier l'accumulation du tritium organiquement lié au cours de la croissance du végétal.

Des mesures ponctuelles ont été effectuées dans les **eaux de pluie, du 16 juin au 30 septembre 2003**, en 2 stations proches du CNPE, à environ 2 km au Nord et au Sud et en référence lointaine à Valence (Drôme), à environ 60 km au sud du CNPE de Saint-Alban et 40 km au nord du CNPE de Cruas.

Les stations figurent sur la [carte C1 en annexe 4](#).

La mesure de l'activité en tritium a été effectuée par scintillation liquide sur eau brute au laboratoire de la CRIIRAD. La limite de détection est de l'ordre de 2 Bq/l.

5. RAPPELS CONCERNANT LES REJETS DE TRITIUM ET CARBONE 14

5.1. Production des radionucléides

Les réactions nucléaires qui ont lieu au sein du combustible constitué d'uranium et / ou d'un mélange de plutonium et d'uranium (MOX), donnent naissance au sein des crayons à des radionucléides artificiels appelés **produits de fission**. Ceux qui sont sous forme gazeuse comme certains gaz rares (isotopes du krypton et du xénon) ou les isotopes de l'iode (iode 131) diffusent à travers les gaines des crayons et se retrouvent dans l'eau du circuit primaire. D'autres produits de fission métalliques relativement solubles (par exemple, le césium 137) parviennent également à traverser la gaine. En cas de rupture de gaine ou de porosité anormale des gaines, le taux de transfert de ces radionucléides dans l'eau du circuit primaire va augmenter et l'uranium et le plutonium contenus dans le combustible pourraient également se retrouver dans le circuit primaire. Dans tous les cas, les ruptures de gaines vont conduire à une augmentation de la contamination du circuit primaire et par conséquent des rejets radioactifs liquides et gazeux.

De plus, les neutrons produits lors de la fission de l'uranium sont très pénétrants. Ils interagissent avec tous les matériaux présents dans la cuve du réacteur et ces collisions (activation neutronique) engendrent des substances radioactives appelées **produits d'activation**. Ainsi une partie des atomes non radioactifs de bore et lithium (ajoutés à l'eau), d'oxygène et azote (dissous dans l'eau), de nickel et de cobalt (contenu dans les aciers), d'argent (recouvrant les grappes de commande), se transforment en éléments radioactifs, respectivement : tritium (hydrogène radioactif), carbone 14 (isotope radioactif du carbone), cobalt 58, nickel 63, cobalt 60, argent 110^m (liste non exhaustive).

Selon EDF, dans les réacteurs REP (Réacteur à Eau Pressurisée), la production de **tritium** dans l'eau du circuit primaire est essentiellement due à **l'action des neutrons sur le bore 10 (à 86 %) et**

sur le lithium 6 (à 14 %). Le tritium produit par fission ternaire au sein du combustible lui-même resterait confiné dans les crayons des assemblages.

Selon EDF, le **carbone 14** est produit par **activation de l'oxygène 17** contenu dans l'eau du circuit primaire.

Pour ces deux produits d'activation, le taux de production et donc de rejets va être très fortement lié au flux de neutrons et donc a priori à l'énergie produite par la centrale.

5.2. Origine des rejets dans l'environnement

Tous ces éléments radioactifs artificiels qui contaminent l'eau du circuit primaire se retrouveront de façon plus ou moins significative dans les effluents liquides et gazeux de la centrale.

En effet, le fonctionnement de l'installation impose d'effectuer des mouvements d'eau (par exemple pour agir sur le taux de bore dissous qui permet de contrôler la réaction nucléaire), des purges de circuits, la collecte de fuites, etc...

Par ailleurs, lors du rechargement en combustible neuf, la cuve est ouverte. Les effluents gazeux et liquides sont traités avant rejet (par exemple, filtres pour retenir les poussières radioactives, résines échangeuses d'ions pour les liquides), mais la rétention des radionucléides n'a pas une efficacité absolue.

Même en fonctionnement normal, une centrale électronucléaire rejette donc des éléments radioactifs dans l'atmosphère et dans les fleuves. Elle dispose d'autorisations de rejet fixant les limites annuelles à ne pas dépasser.

Même si des progrès significatifs ont été effectués par EDF depuis 10 ans, sur l'ensemble du parc, afin de limiter les rejets radioactifs, **certain éléments sont difficiles à piéger avant rejet, il s'agit en particulier des gaz rares, du tritium et du carbone 14.**

Pour ces éléments, il n'y a pas eu a priori de forte réduction des rejets.

5.3. Evaluation des rejets de tritium et carbone 14 par EDF

Nous avons reproduit dans les tableaux suivants les rejets, déclarés par le CNPE de Saint-Alban en 2001 et 2002 :

Tableau T1 : rejets de radionucléides dans l'atmosphère / CNPE de Saint-Alban / 2001-2002

	Année 2001 (GBq)	Année 2002 (GBq)	Part du radionucléide	Limite réglementaire	% limite annuelle
Gaz rares	9 400	2 700	46,0%	45 000	6,0%
Tritium	4 600	2 800	47,7%	5 000	56,0%
Carbone 14	non mesuré	373	6,4%	1400	26,6%
Iodes	non mesuré	0,062	0,0011%	0,8	7,8%
autres radioéléments	0,087	0,033	0,0006%	0,8	4,1%
Total		5 873	100,0%		
Part du C14 et tritium			54,0%		

Tableau T2 : rejets de radionucléides dans le Rhône / CNPE de Saint-Alban / 2001-2002

	Année 2001 (GBq)	Année 2002 (GBq)	Part du radionucléide	Limite réglementaire	% limite annuelle
Tritium	56 100	53 300	99,98%	60 000	88,8%
Carbone 14	8,36	11,02	0,021%	400	2,8%
autres radioéléments	0,8	1,05	0,00197%	25,0	4,2%
Iodes	0,0073	0,0249	0,000047%	0,1	24,9%
Total		53 312	100,0%		
Part du C14 et tritium			99,998%		

On constate que le tritium et le carbone 14 représentaient :

- **54 % des rejets à l'atmosphère en 2002 et,**
- **plus de 99,99 % des rejets liquides en 2001 et 2002.**

Cette répartition ne peut être généralisée dans la mesure où il y a eu un arrêt sur chaque tranche en 2002 et aucun en 2001.

5.3.1. Le tritium

Avant les nouvelles autorisations de rejet promulguées par l'Arrêté du 29 décembre 2000, il n'existait pas de limite annuelle spécifique de rejets gazeux pour le tritium. La limite portait sur l'ensemble des gaz (limite de 1 650 TBq soit 1 650 000 GBq).

La limite pour les rejets liquides de tritium était de 80 TBq soit 80 000 GBq.

Les limites annuelles de rejets de tritium sont désormais de :

- **5 000 GBq pour les rejets gazeux** (le tritium est en 2^{ème} position derrière les gaz rares : 45 000 GBq. Il est nettement prépondérant par rapport aux iodes : 0,8 GBq et aux autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma : 0,8 GBq),
- **60 000 GBq pour les rejets liquides** (le tritium représente l'essentiel des rejets radioactifs liquides. Il est nettement prépondérant par rapport au carbone 14 : 400 GBq, aux iodes : 0,1 GBq et aux autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma : 25 GBq).

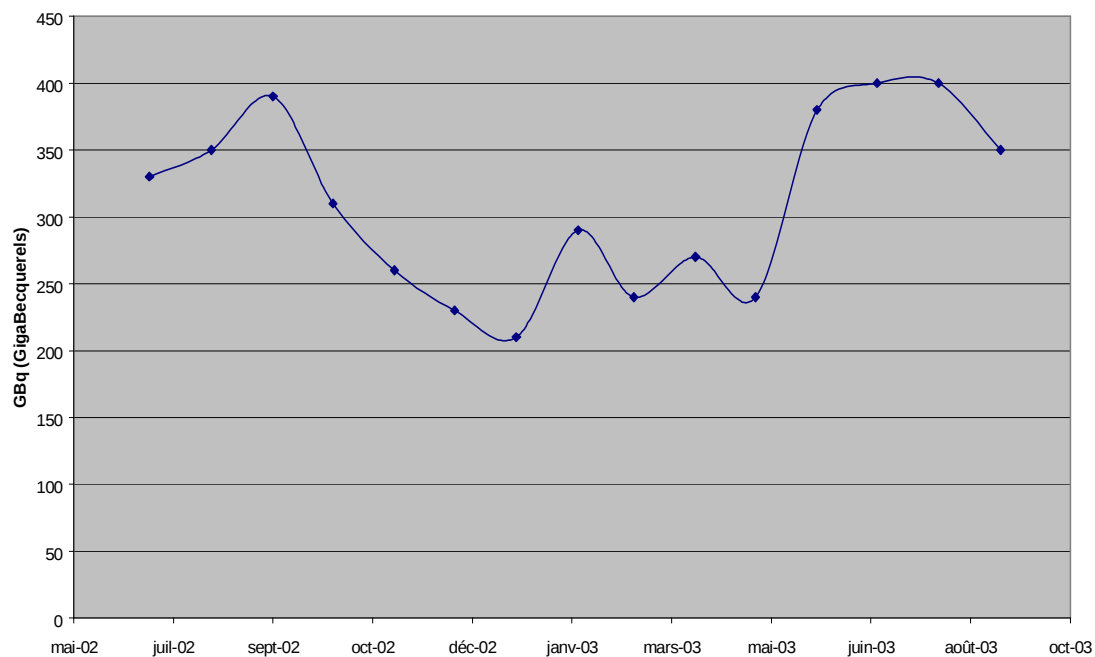
Les mesures reportées dans le tableau ci-dessous montrent la variabilité temporelle des rejets de tritium.

En effet, sur la période juillet 2002 à septembre 2003, **les rejets mensuels de tritium liquide enregistrent une variation d'un facteur 6,5 et les rejets mensuels de tritium gazeux d'un facteur proche de 2.**

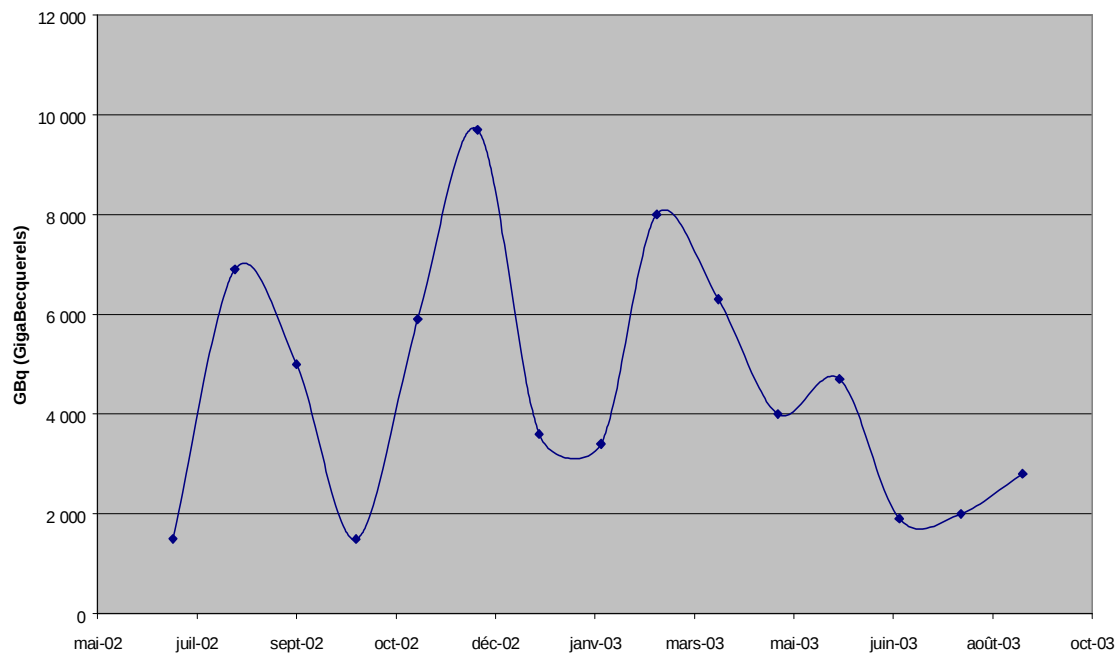
Rejets de tritium (GBq) mesurés par EDF St-Alban

	Rejets liquides	Rejets gazeux
juil-02	1 500	330
août-02	6 900	350
sept-02	5 000	390
oct-02	1 490	310
nov-02	5 900	260
déc-02	9 700	230
janv-03	3 600	210
févr-03	3 400	290
mars-03	8 000	240
avr-03	6 300	270
mai-03	4 000	240
juin-03	4 700	380
juil-03	1 900	400
août-03	2 000	400
sept-03	2 800	350
Moyenne	4 479	310
Ecart-type (%)	55,6	21,4
Ratio max / min	6,5	1,9
Total moyen 12 mois	53 752	3 720
Limite annuelle	60 000	5 000

Rejets gazeux de tritium mesurés par EDF St-Alban



Rejets liquides de tritium mesurés par EDF St-Alban



Il existe des doutes importants concernant la fiabilité des méthodes de mesure mises en œuvre par EDF pour quantifier les rejets de tritium.

5.3.1.1. Remarques sur les rejets de tritium atmosphérique

S'agissant des rejets atmosphériques, le tritium est désormais mesuré en continu à la cheminée du BAN (Bâtiment des Auxiliaires Nucléaires). Il s'agit là d'un **rejet permanent**, dit « permanent REP » lié à la ventilation continue de l'air de l'îlot nucléaire pour le maintenir en dépression. La présence de tritium serait due entre autre au dégazage de l'eau des piscines de stockage des combustibles usés qui est de même nature que celle du circuit primaire.

En outre, le tritium est mesuré par échantillonnage avant chaque vidange des réservoirs de stockage tampon (**rejets concertés**). Le réservoir BR (Bâtiment Réacteur) qui collecte les fuites est vidangé environ une fois par mois selon EDF. Les rejets « permanents REP » sont de plusieurs ordres de grandeur supérieurs aux rejets concertés.

Dans le dossier soumis à enquête publique par le CNPE de Cattenom en septembre 2003, EDF précisait que de nouveaux systèmes de prélèvement seraient installés à la cheminée et permettraient d'effectuer des prélèvements plus représentatifs des rejets de tritium. *« Les essais réalisés à la centrale de Cattenom ont montré une sous-estimation d'environ 60% des rejets actuels ».*

Lors d'une réunion de travail à Saint-Alban en novembre 2003, nous avons interrogé les représentants de la centrale pour vérifier si les problèmes de métrologie étaient, à Saint-Alban, du même ordre que ceux de Cattenom.

L'ingénieur environnement nous a expliqué qu'auparavant effectivement, les rejets de tritium à la cheminée étaient estimés à Saint-Alban, comme sur tout le parc, à partir d'un échantillonnage ponctuel durant 5 heures chaque semaine. Désormais est implanté un barboteur dont l'eau est collectée chaque jour puis fait l'objet d'un comptage global hebdomadaire. Cette nouvelle méthode est plus fiable (meilleur piégeage du tritium dans le barboteur). **Les nouveaux résultats seraient alors de 40 à 60 % supérieurs aux anciennes évaluations.** Cette augmentation très forte des rejets de tritium déclarés est passée inaperçue des riverains puisque auparavant les rejets de tritium atmosphérique n'étaient pas déclarés spécifiquement mais intégrés au rejet global gaz. Il serait utile de vérifier tout de même de façon indépendante, la fiabilité de ces nouvelles évaluations.

Il convient de rappeler enfin que **du tritium est également rejeté, a priori, de façon diffuse et non comptabilisée** par EDF, au niveau du circuit secondaire (puisque les Générateurs de Vapeurs ne sont pas parfaitement étanches), des événements de certains réservoirs et du système de refroidissement de l'eau des piscines de stockage du combustible usé.

L'arrêté du 29 décembre 2000 précise que l'activité volumique ajoutée **dans l'air au niveau du sol**, calculée après dispersion des effluents gazeux radioactifs, ne doit pas dépasser en moyenne hebdomadaire, la limite de **50 Bq/m³ pour le tritium** (la limite est de 450 Bq/m³ pour les gaz rares).

5.3.1.2. Remarques sur les rejets liquides de tritium

S'agissant des rejets de **tritium sous forme liquide**, les mesures sont effectuées par EDF avant vidange des réservoirs dits : T et S. Un contrôle est effectué également dans les eaux des réservoirs EX (Exhaure de la salle des machines). L'arrêté du 29 décembre 2000 précise que les eaux stockées dans les réservoirs Ex peuvent être rejetées dans les eaux de refroidissement des tranches 1 et 2, à la condition que leur activité soit inférieure à 400 Bq/l pour le tritium.

L'arrêté du 29 décembre 2000 précise que l'activité volumique théorique ajoutée, calculée après dilution dans les eaux réceptrices (Le Rhône), est au maximum, en valeur moyenne quotidienne, de **80 Bq/l pour le tritium**.

5.3.2. Le carbone 14

Selon EDF, le carbone 14 serait rejeté sous forme de gaz **méthane à 80 % et de gaz CO₂ à 20%**.

Avant les nouvelles autorisations de rejet promulguées par l'Arrêté du 29 décembre 2000, **la mesure spécifique du carbone 14 dans les effluents radioactifs liquides et gazeux n'était pas effectuée par EDF** et il n'existait pas de limite spécifique pour les rejets de carbone 14. Ce dernier était en effet a priori intégré aux rejets gaz d'une part et liquides hors tritium d'autre part.

Cette lacune dénoncée par la CRIIRAD depuis plusieurs années était d'autant plus critiquable que les mesures d'activité bêta globale effectuées par EDF sur les effluents avant rejet ne rendaient que très partiellement compte de l'activité effective du carbone 14 (sous-estimation estimée à un facteur 5).

L'arrêté du 29 décembre 2000 a comblé cette lacune en fixant des limites spécifiques de rejet pour le carbone 14. **La population riveraine du CNPE n'est donc informée de l'existence de ces rejets que depuis l'année 2001, soit plus de 15 ans après le couplage au réseau de la tranche Saint-Alban 1 en août 1985.**

Les limites annuelles de rejets en carbone 14 sont de :

- **1 400 GBq pour les rejets gazeux** (le carbone 14 est en 3^{ème} position derrière les gaz rares : 45 000 GBq et le tritium : 5 000 GBq. Il est nettement prépondérant par rapport aux iodes : 0,8 GBq et aux autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma : 0,8 GBq),
- **400 GBq pour les rejets liquides** (le carbone 14 est en seconde position après le tritium : 60 000 GBq. Il est nettement prépondérant par rapport aux iodes : 0,1 GBq et aux autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma : 25 GBq).

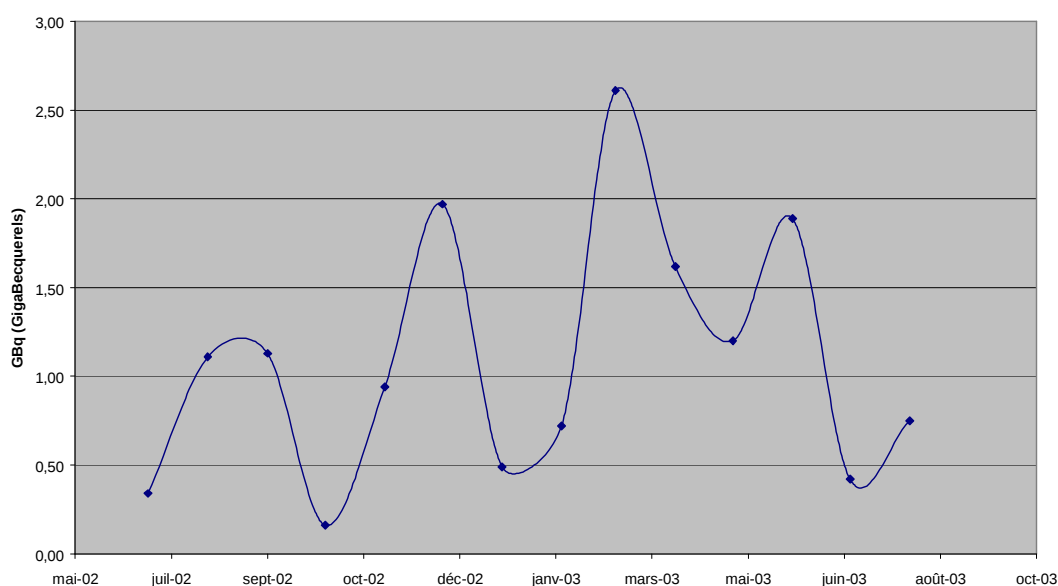
Les mesures reportées dans le tableau ci-dessous montrent la forte variabilité temporelle des rejets. En effet, sur la période juillet 2002 à août 2003, les rejets mensuels de carbone 14 liquides enregistrent une variation d'un facteur 16,3 et les rejets trimestriels de carbone 14 gazeux d'un facteur proche de 34.

Rejets de carbone 14 (GBq) mesurés par EDF St-Alban

	Rejets liquides	Rejets gazeux
juil-02	0,34	215
août-02	1,11	
sept-02	1,13	57,04
oct-02	0,16	
nov-02	0,94	
déc-02	1,97	42,73
janv-03	0,49	
févr-03	0,72	
mars-03	2,61	
avr-03	1,62	6,34
mai-03	1,20	
juin-03	1,89	
juil-03	0,42	56,24
août-03	0,75	
sept-03		

Moyenne	1,10	75,47
Ecart-type (%)	64,6	106,9
Ratio max / min	16,3	33,9
Total moyen 12 mois	13,2	301,9
Limite annuelle	400	1 400

Rejets liquides de carbone 14 mesurés par EDF St-Alban



Il convient de souligner que, s'agissant des rejets atmosphériques, l'activité du carbone 14 est estimée à partir d'une seule mesure trimestrielle effectuée sur un prélèvement en continu (pour les rejets continus). **On peut s'interroger sur la fiabilité et la représentativité de cette méthode.**

L'arrêté du 29 décembre 2000 précise en son article 11-II, que l'activité volumique ajoutée dans l'air au niveau du sol, calculée après dispersion des effluents gazeux radioactifs, ne doit pas dépasser en moyenne hebdomadaire, la limite de **0,005 Bq/m³** pour les produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma (autres que tritium, gaz rares, iodes). Le carbone 14 qui est un produit d'activation émetteur bêta devrait être inclus dans cette liste. Mais l'arrêté précise en son article 11-III, que « *L'activité volumique en **carbone 14** dans l'air au niveau du sol, calculée après dispersion des effluents gazeux radioactifs, ne doit pas dépasser **1 Bq/m³** en moyenne trimestrielle ... Cette valeur d'activité volumique prend en compte l'activité due au carbone 14 d'origine naturelle* ».

S'agissant des rejets liquides, EDF mesure l'activité du carbone 14 dans les réservoirs T et S avant rejet, mais contrairement à ce qui est exigé pour les autres radionucléides, le rejet peut être réalisé sans que le résultat d'analyse soit connu car il s'agit d'un contrôle a posteriori. Ceci est probablement lié à la difficulté de mesure de l'activité du carbone 14.

L'arrêté du 29 décembre 2000 précise que l'activité volumique théorique ajoutée, calculée après dilution dans les eaux réceptrices (le Rhône), est au maximum, en valeur moyenne quotidienne, de **0,7 Bq/l** pour les produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma (autres que tritium et iodes). Cette limite s'applique donc a priori au carbone 14.

6. ACTIVITE DU TRITIUM DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

6.1. Estimation du bruit de fond

6.1.1. Le tritium d'origine naturelle

Le tritium est produit pour l'essentiel par interaction des neutrons cosmiques sur les atomes d'oxygène et d'azote de l'atmosphère. Isotope radioactif de l'hydrogène, le tritium a un comportement chimique identique à cet élément. Il peut donc être facilement incorporé dans la vapeur d'eau atmosphérique et suivre ensuite le cycle de l'eau, les transferts s'effectuant par les précipitations ou par échange de phase à l'interface sol/air.

La période radioactive du tritium — 12,3 ans — est suffisamment longue pour permettre les transferts aux différents compartiments de la biosphère. Un équilibre séculaire s'est établi entre les apports atmosphériques et la décroissance radiologique du tritium. Avant tout apport lié aux activités humaines, la teneur en tritium des eaux de pluie et des eaux souterraines était nettement inférieure au becquerel par litre (Bq/l).

6.1.2. Des apports massifs de tritium artificiel.

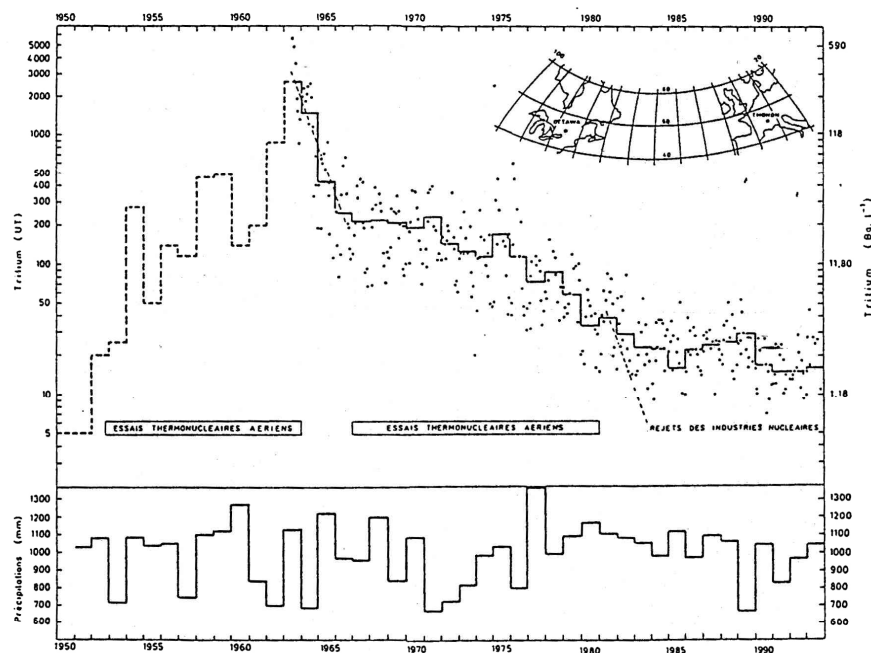
L'équilibre naturel a été rompu au milieu du XXème siècle du fait du développement des applications civiles et militaires du nucléaire. D'importantes quantités de tritium ont été produites par le fonctionnement des réacteurs nucléaires ou lors des explosions atomiques. Diverses réactions nucléaires conduisent en effet à la formation d'hydrogène radioactif : la fission ternaire des noyaux lourds et l'activation de noyaux légers.

Les essais nucléaires, et surtout thermonucléaires, qui ont débuté à Alamogordo en 1945 et se sont poursuivis dans l'atmosphère jusqu'en 1981 ont considérablement augmenté les quantités de tritium présentes dans l'environnement : on estime que le stock de tritium a été multiplié par 200 entre 1953 et 1981. La contamination de l'eau de pluie a pu atteindre plusieurs centaines de becquerels de tritium par litre (cf graphique ci-après).

Depuis lors, les activités ont diminué du fait de la dilution induite par le renouvellement de l'eau et de la décroissance physique du tritium (si l'on considère que 3 périodes se sont écoulées, l'activité du tritium injecté dans l'environnement par les explosions militaires a été divisée par 8).

La mise en service des réacteurs nucléaires a également conduit à la formation et au rejet de grandes quantités de tritium : près de 450 réacteurs électronucléaires sont actuellement en fonctionnement, sans compter les centres de recherche, les stockages de déchets tritiés, les réacteurs de propulsion, etc. Alors que l'amélioration du traitement des effluents radioactifs a permis une réduction très sensible des rejets atmosphériques et liquides, les rejets de tritium restent élevés du fait des difficultés de piégeage de cet isotope de l'hydrogène.

Evolution de l'activité du tritium dans les eaux de pluie à Thonon (P. Olive).



Graphique 1 : Teneurs en tritium mensuelles(●) et annuelles(-) dans les précipitations à Thonon de 1963 à 1993 ainsi que les hauteurs annuelles des précipitations [P. Olive et al, 1996].

À ces deux sources principales, il faut ajouter le développement des applications médicales (in vitro) et industrielles utilisant les propriétés du tritium (marquage de molécules, industrie horlogère, etc.).

Les quantités de tritium susceptibles d'être rejetées dans l'environnement sont très inférieures mais les installations concernées sont plus nombreuses, plus difficiles à contrôler et le tritium est le plus souvent utilisé sous sa forme la plus toxique (associé à des molécules organiques).

A partir de l'étude statistique à grande échelle réalisée par le professeur Olive⁴ du laboratoire de Thonon-les-Bains, les valeurs typiques de l'activité volumique du tritium dans les eaux souterraines au début des années 90 pouvaient être classées en trois catégories :

- Teneur inférieure à 0,24 Bq/l : eau ancienne, provenant d'aquifères profonds non touchés par les essais nucléaires.
- Teneur comprise entre 0,24 et 4,7 Bq/l : eau récente portant le marquage des essais nucléaires, plus ou moins mélangées avec des eaux anciennes.
- Teneur supérieure à 4,7 Bq/l : eau vraisemblablement contaminée par des rejets industriels ou d'installations nucléaires.

⁴ Olive et al, 1996 : Estimation pratique de «l'âge» des eaux souterraines en Europe par le tritium. Rev. Sci. Eau 4 523-533.

L'activité en tritium des eaux de pluie étant actuellement le plus souvent **inférieure à 2 Bq/l** (mesures effectuées par la CRIIRAD à Valence dans la Drôme), on peut considérer qu'en l'absence d'impact par des installations nucléaires l'activité du tritium dans les eaux de surface ou dans l'eau libre des végétaux devrait être a priori inférieure à 2 Bq/l.

6.2. Le tritium dans le milieu terrestre à Saint-Alban

Les mesures de tritium effectuées dans le milieu terrestre dans le cadre de la présente étude figurent dans le tableau [en annexe 1](#).

6.2.1. Le tritium organiquement lié

6.2.1.1. Estimation du bruit de fond régional (OBT)

L'activité du tritium organiquement lié (OBT) dans les bioindicateurs (mousses terrestres et feuilles de peupliers d'Etoile sur Rhône) et les 4 échantillons de la chaîne alimentaire (pommes de terres, pommes, raisin et cerises) prélevés par la CRIIRAD dans l'environnement lointain du CNPE de Saint-Alban en 2003 est comprise entre

- le non mesurable : la limite de détection étant comprise entre < 2 Bq/l (cerises) et $< 2,5$ Bq/l d'eau de combustion (pommes et raisins) et,
- 2,7 Bq/l (mousses terrestres) à 2,9 Bq/l (feuilles de peuplier et pommes de terre).

Ces valeurs sont comparables aux estimations du bruit de fond global.

On observe par contre sur les feuilles de peuplier prélevées en référence le 4 septembre 2003 à Saint-Maurice sur Dargoire une activité sensiblement supérieure à la valeur obtenue sur les feuilles de peuplier prélevées le 2 juin 2003 à Etoile sur Rhône (4,9 et 2,9 Bq/l) respectivement.

Cet écart de 1,7 est du même ordre de grandeur que celui observé sur les feuilles de peuplier de Saint-Pierre de Bœuf le 4 septembre 2003 par rapport à la mesure antérieure du 26 mai 2003 (7,6 et 4,2 Bq/l respectivement). Ces variations temporelles confirment que l'on ne peut strictement comparer des valeurs que si les végétaux sont collectés à la même période.

Nous ne discuterons donc de l'impact des rejets du CNPE de Saint-Alban qu'à travers des comparaisons de végétaux de la même espèce prélevés si possible à moins de 48 heures d'intervalle.

6.2.1.2. Mise en évidence d'un impact (OBT), à proximité du CNPE

Dans l'environnement proche du CNPE de Saint-Alban, le tritium organiquement lié à une valeur inférieure aux limites de détection pour les pommes de terre prélevées à Saint-Pierre de Bœuf à 2,1 km au sud de la centrale ($< 2,5$ Bq/l d'eau de combustion) et les cerises prélevées à environ 2 et 6 km au sud (< 2 Bq/l).

Pour tous les autres échantillons, les valeurs obtenues dans l'environnement proche (quelques kilomètres) sont supérieures aux limites de détection et sensiblement supérieures à celles obtenues dans les végétaux de l'environnement lointain.

Cet écart n'est cependant pas significatif compte tenu des marges d'incertitudes, pour :

- Les pommes de terre à 2,7 km au nord (3,8 Bq/l contre 2,9 Bq/l à la station lointaine),
- Les mousses terrestres à 2,7 km au sud (3,1 Bq/l contre 2,7 Bq/l à la station lointaine).

Cet écart est significatif pour :

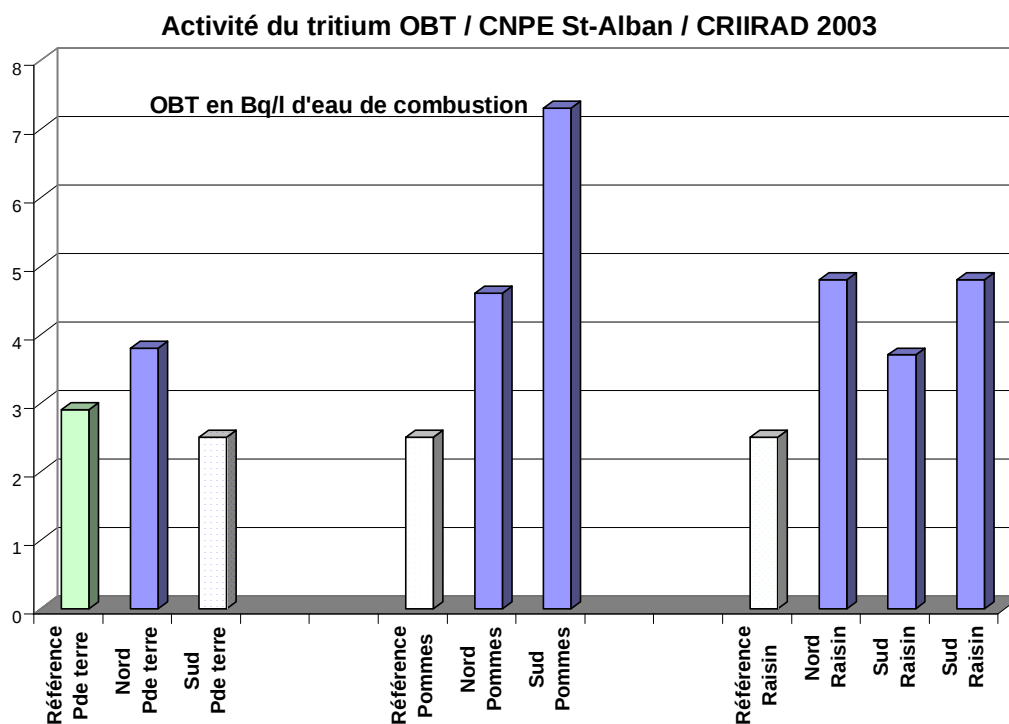
- Les **pommes** à 3,5 km au nord (4,6 Bq/l) et environ 1,6 km au sud (7,3 Bq/l). Cet écart est significatif compte tenu de l'absence de tritium dans les pommes de la station lointaine ($< 2,5$ Bq/l),
- Les **raisins** à 1,4 km au nord (4,8 Bq/l) et 1,1 et 4 km au sud (3,7 et 4,8 Bq/l). Cet écart est significatif compte tenu de l'absence de tritium dans les raisins de la station lointaine ($< 2,5$ Bq/l),
- Les **feuilles de peuplier** à 2,3 km au nord (5,6 Bq/l) et 2,6 km au sud (7,6 Bq/l). Pour les peupliers au sud du CNPE, ces valeurs sont significativement supérieures, compte tenu des marges d'incertitude à celle mesurée à la station lointaine (4,9 Bq/l),

Les résultats les plus significatifs sont présentés dans les histogrammes ci-dessous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de détection, la barre de résultat figure en blanc.

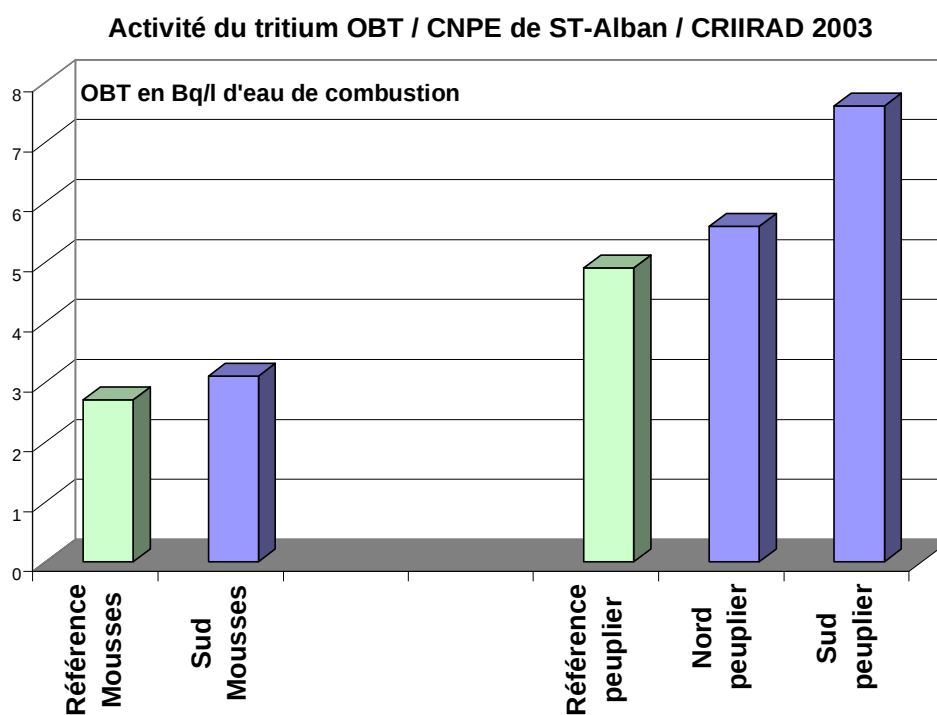
L'examen global de l'ensemble des résultats suggère un impact des rejets de tritium de la centrale.

Cet impact est difficile à mettre en évidence compte tenu de l'ensemble des variables à prendre en considération, mais il est significatif pour les pommes (nord et sud), les raisins (nord et sud) et les feuilles de peuplier (sud). L'impact est plus marqué au sud pour les pommes et les feuilles de peupliers.

OBT dans les pommes de terre, pommes et raisins



OBT dans les mousses et feuilles de peuplier



6.2.2. Le tritium libre

Les résultats des mesures effectuées par la CRIIRAD⁵ sur le tritium libre dans les jus extraits des pommes de terre, pommes, raisins et cerises⁶ sont reproduits [en annexe 1](#).

Pour les **potatoes**, le tritium libre est détecté dans les 3 stations à des valeurs comprises entre 2,4 Bq/l (nord) et 4,4 Bq/l (environnement lointain). Ces résultats sont comparables compte tenu des marges d'incertitude. Aucun impact n'est donc mis en évidence sur les potatoes de terre, résultat cohérent avec les mesures de tritium organiquement lié. Il convient de noter que dans les 3 cas, les potatoes de terre ont été récoltées par les producteurs plusieurs semaines avant échantillonnage. Dans ces conditions, l'activité du tritium libre et dans une moindre mesure du tritium organiquement lié est susceptible de modifications par échange avec la vapeur d'eau dans les zones de stockage.

Pour les **potatoes**, les résultats concernant tritium libre et tritium organiquement lié sont cohérents. Valeurs inférieures à la limite de détection pour la station environnement lointain, valeur mesurable à la station nord et impact très significatif à la station sud à Saint-Pierre de Bœuf (valeur supérieure à 3 fois la limite de détection).

Pour les **raisins**, les résultats concernant tritium libre et tritium organiquement lié sont cohérents : valeurs inférieures à la limite de détection pour la station environnement lointain, valeurs mesurables au niveau des stations nord et sud. Compte tenu des marges d'incertitude, l'impact est plus significatif pour le tritium organiquement lié que pour le tritium libre.

Pour les **cerises**, l'activité du tritium libre est inférieure à la limite de détection de 2 Bq/l tant à la station environnement lointain que dans les 2 stations au sud au delà de 5 km (6 et 10 km). Elle est par contre significative à la station sud proche, à 2 km du CNPE (4,9 Bq/l). Ce résultat peut surprendre car le tritium organiquement lié n'était pas détecté dans cet échantillon. Ce fait pourrait s'expliquer par un apport ponctuel et récent de tritium atmosphérique, lié aux pluies ayant précédé de quelques jours la cueillette du 26 mai 2003. Un apport significatif de tritium par les pluies a pu être mis en évidence à titre d'essai en analysant l'eau de pluie stagnant dans une flaque de ce secteur. L'activité du tritium libre dans cette flaque était de 25,8 Bq/l soit une valeur 13 fois supérieure au bruit de fond.

Compte tenu du très court délai entre les pluies et la collecte, un apport récent de tritium a eu moins de temps pour être métabolisé et transformé en tritium organiquement lié. Par ailleurs, du fait de leur croissance rapide, les cerises ont une période d'intégration plus limitée que d'autres végétaux. Ceci illustre la variabilité introduite par le choix des espèces végétales dans ce type d'étude d'impact.

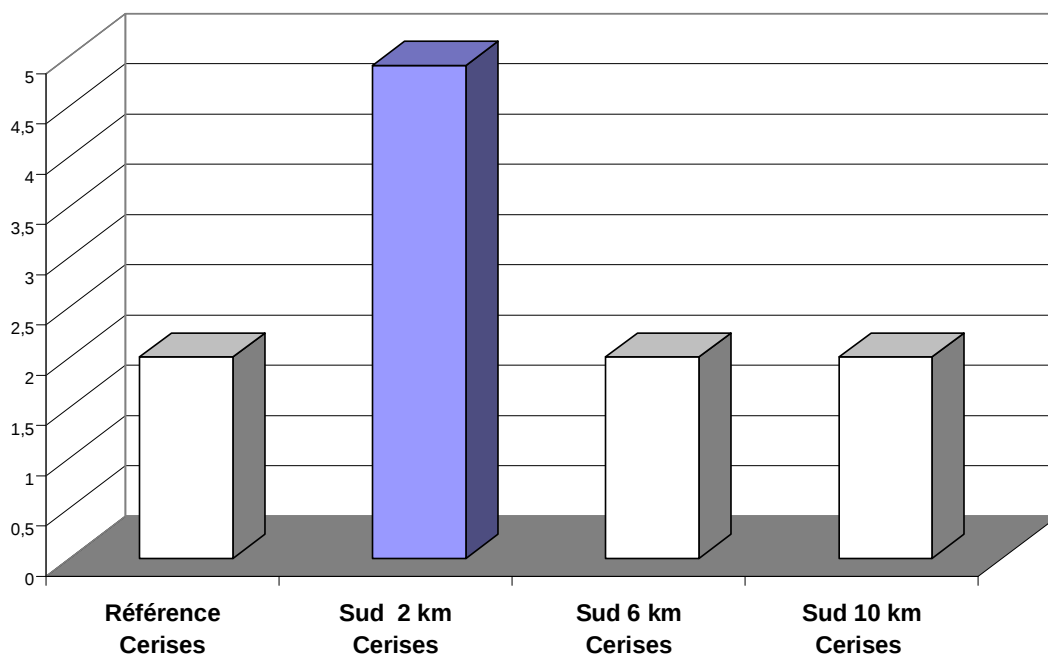
⁵ Afin de vérifier la qualité des mesures, une intercomparaison a été effectuée entre les laboratoires CRIIRAD et RCD sur l'échantillon de potatoes de terre et l'échantillon de pommes collectées au sud du CNPE. Les résultats sont en bon accord compte tenu des marges d'incertitudes.

⁶ Sont également reportés dans ce tableau des mesures effectuées sur du jus de pomme prélevé à Sablons à 10 km au sud du CNPE le 26 mai 2003 et des fraises prélevées à Limony, à 6 km au sud du CNPE, le même jour.

Les résultats concernant les cerises sont représentés graphiquement ci-dessous. Lorsque les valeurs sont inférieures à la limite de détection, la barre de résultat figure en blanc.

Tritium libre dans les cerises

Activité du tritium libre dans les cerises (Bq/l)



Ces divers résultats et la complexité de leur interprétation montrent l'extrême difficulté que représente sur le plan méthodologique la réalisation d'une étude sur l'impact des rejets de tritium d'une centrale sur l'environnement.

Des études approfondies nécessitent en effet que des mesures de tritium libre et de tritium organiquement lié soient effectuées sur des échantillonnages de plusieurs types de végétaux (fruits, légumes feuilles, légumes racines, végétaux arrosés par l'homme et non arrosés), collectés plusieurs fois dans l'année (en fonction de l'évolution des rejets du CNPE, des données pluviométriques et des saisons) et simultanément en un grand nombre de stations (plus d'une dizaine).

6.2.2.1. Insuffisance des campagnes de mesure de l'IPSN (bilan décennal).

Dans le cadre d'une campagne de mesures effectuée en juin et octobre 1997, l'IPSN a mesuré, pour EDF, l'activité du tritium organiquement lié (OBT), dans 12 échantillons : cerises à Limony, fourrage sec et fromage de chèvre à Bessey et La Chaise à l'ouest du CNPE, mousses terrestres à Limony (sud) et la Chapelle de Surieu (est), salades à Limony (sud, 2 saisons) et Tourdan (est sud-est) et vin rouge à Limony (sud) et Les Collonges (ouest).

Cette étude publiée en 1999 a été transmise à la CRIIRAD par le CNPE de Saint-Alban le 29 décembre 2003.

Les valeurs mesurées par l'IPSN peuvent être classées en 3 groupes :

- Valeur inférieure à la limite de détection dans 1 cas ($< 1,21$ Bq/l, fromage de chèvre à la Chaize),
- Valeurs comprises entre 3,1 et 4,84 Bq/l pour 7 échantillons : les 2 vins, la salade prélevée à Limony en octobre, le fromage de chèvre de Bessey, les 2 fourrages et les cerises,
- Valeurs comprises entre 13,1 et 16,7 Bq/l pour 4 échantillons : les salades de Limony et Tourdan (juin) et les 2 mousses terrestres (octobre).

L'IPSN précisait, en s'appuyant sur un rapport de l'AIEA de 1992, que les activités en tritium dans les précipitations étaient en France, au début des années 90, comprises entre 2 et 4 Bq/l. L'Institut considérait que *« Les échantillons de fromage, de fourrage et de fruits présentent des activités en tritium comprises entre 1 et 5 Bq/l d'eau de combustion avec une incertitude de l'ordre de 0,2 Bq/l. Ces activités reflètent l'activité de la vapeur d'eau atmosphérique »*.

En réalité ces mesures ne permettent pas de quantifier l'impact des rejets de tritium du CNPE du fait des limitations suivantes :

- les cerises ont été prélevées à Limony soit a priori à 6 km au sud de la centrale (il aurait été préférable de réaliser un échantillonnage plus proche). L'absence de références pour les cerises, rend de plus difficile l'interprétation de leur activité en tritium,
- les vins « sous influence » ont également été prélevés à Limony, à 6 km au sud,
- les fourrages et fromages de chèvre ont été échantillonnés à l'ouest du CNPE, donc a priori hors influence des vents dominants. Ces échantillons ne sont donc pas représentatifs des secteurs à fort impact potentiel.

Quelques résultats méritent un commentaire particulier.

On notera en premier lieu l'écart entre d'une part les **teneurs élevées en tritium dans les salades collectées en juin 1997 à Tourdan (13,1 Bq/l) et à Limony au sud du CNPE (14,1 Bq/l)** et d'autre part la plus faible valeur mesurée dans les salades de Limony en octobre (4,6 Bq/l). L'IPSN considère que cet écart peut être la *« conséquence de phénomènes d'échanges dans la haute atmosphère, responsables à la fin du printemps de l'enrichissement en tritium de la vapeur atmosphérique »*. L'IPSN note également que *« Les échantillons de juin sont également marqués, quoique faiblement, qu'ils proviennent ou non d'une zone sous influence directe des rejets du CNPE »*. Le village de Tourdan est en effet relativement éloigné du CNPE vers l'est (secteur de Beaurepaire), mais pour conclure définitivement à l'absence d'impact du CNPE il faudrait approfondir l'étude (suivi du tritium dans les eaux de pluie, étude de la rose des vents et des rejets tritiés du CNPE dans la période précédant les prélèvements, etc.).

D'autres résultats de l'IPSN auraient mérité des études complémentaires. Il s'agit des **teneurs élevées en tritium dans les mousses terrestres** prélevées en octobre 1997 à Limony (16,7 Bq/l) et la Chapelle de Surieu à l'est du CNPE (16,4 Bq/l).

L'IPSN note⁷ : « Ces niveaux sont significativement supérieures aux activités moyennes atmosphériques quelque soit le site de prélèvement qu'ils soient dans la zone influencée ou en dehors de l'influence du CNPE). ».

Il est discutable d'affirmer que le village de la Chapelle de Surieu est en dehors de l'influence, il serait plus exact de préciser : de « l'influence directe ». Ce village n'est en effet que 2 fois plus distant de la centrale (par rapport à Limony) et bien que situé à l'est, il peut être sous influence lors des épisodes de vent d'ouest.

L'IPSN ajoute « Ces végétaux à croissance pluriannuelle et intégrateur des radionucléides sur de plus longues périodes que les salades ne présentent cependant pas des activités sortant du cadre de la variation naturelle des activités de la vapeur atmosphérique ».

Cette conclusion n'étant pas étayée dans le rapport de l'IPSN, il n'est en fait pas possible de conclure à un impact, ni à l'absence d'impact.

Ces difficultés d'interprétation montrent combien il est indispensable pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques tritiés d'une centrale nucléaire de disposer d'un plan d'échantillonnage très conséquent. Au lieu de mettre en œuvre un tel plan dans les années suivantes, l'IPSN réduit au contraire son dispositif de contrôle comme nous le détaillerons ci-dessous.

L'IPSN conclut ainsi l'étude de 1995-1997 par : « Les échantillons prélevés dans le domaine terrestre ne présentent pas des activités en tritium significativement différentes de celles des apports atmosphériques naturels ».

Les limitations méthodologiques de l'étude de l'IPSN expliquent probablement en partie son incapacité à mettre en évidence l'impact des rejets tritiés du CNPE. En effet :

- les échantillons étudiés ne sont pas systématiquement associés à une référence (cas des cerises),
- lorsque des échantillons sont collectés à distance du CNPE, l'IPSN ne rappelle pas qu'il s'agit de secteurs qui peuvent subir une influence certes indirecte mais non nulle, et que ces stations sont par ailleurs soumises aux rejets d'autres installations nucléaires de la région,
- enfin, aucun des échantillons n'est collecté en zone d'influence directe proche : les fromages et fourrages sont collectés à l'ouest, les cerises, mousses terrestres, salades et vins, à Limony soit à environ 6 km au sud du CNPE.

6.2.2.2. Insuffisance des campagnes de suivi annuel effectuées par l'IPSN

Les études de suivi radioécologique annuel conduites par l'IPSN en 2000 et 2001 à Saint-Alban pour EDF, et transmises à la CRIIRAD par EDF le 29 décembre 2003, ne comblent pas les lacunes de l'étude de 1995-1997. Au contraire, puisque seules 2 mesures de tritium libre sont effectuées chaque année dans le milieu terrestre au voisinage du CNPE de Saint-Alban :

- Lait de vache à Bessey (20 juillet 2000 : non mesuré, 17 juillet 2001 : 3,61 Bq/l),
- Eau douce de Péage de Roussillon (21 mars 2000 : 1,46 Bq/l, 19 mars 2001 : 1,56 Bq/l).

⁷ Les fautes d'orthographe relevées dans le texte IPSN sont reproduites.

Un tel programme est totalement insuffisant pour apprécier l'impact des rejets atmosphériques tritiés du CNPE de Saint-Alban compte tenu de l'absence de références et de la localisation des sites de prélèvement en dehors du secteur le plus exposé a priori.

On notera cependant, que bien que le site de Bessey ne soit pas a priori le plus exposé par les rejets de Saint-Alban (secteur ouest), **l'activité du lait de vache prélevé en juillet 2000 y est pourtant la plus élevée parmi les 19 mesures réalisées cette année là par l'IPSN dans le lait à proximité des centrales nucléaires françaises**. Douze mesures sont inférieures à la limite de détection de 1,15 à 1,38 Bq/l, 7 sont supérieures : de 1,5 Bq/l près du CNPE de Flamanville à **3,61 Bq/l près du CNPE du Saint-Alban**.

L'IPSN note : « *En dehors de toute influence d'effluents tritiés, l'activité en tritium dans le lait est inférieure à 1 Bq/l (septembre 1997 à Civaux, avant la divergence (< 0,98 Bq/l)).../...Si il existe [souligné par nous], le marquage des effluents tritiés sur le lait est faible. Les plus fortes concentration se trouve dans la vallée du Rhône. La forte concentration d'installations est à l'origine de cela* ».

6.2.2.3. Insuffisance des contrôles effectués régulièrement par EDF

EDF n'effectue pas de mesure de l'activité en tritium dans les végétaux.

En effet, s'agissant du suivi de l'impact des rejets tritiés à l'atmosphère, EDF n'effectue, dans le cadre du suivi réglementaire, que 2 types de mesures :

- Une mesure mensuelle de l'activité du tritium dans les eaux de pluie sous les vents dominants. S'agissant du contrôle des eaux de pluie tel que réalisé par EDF, nous expliquerons au paragraphe ci-dessous en quoi il est inadapté.
- Une mesure hebdomadaire sur un échantillonnage en continu dans l'air ambiant sous les vents dominants. Cette dernière mesure a été imposée récemment par l'arrêté du 29 décembre 2000.

Le CNPE de Saint-Alban a transmis à la CRIIRAD, par courrier en date du 28 octobre 2003, les résultats de ces mesures de l'activité en tritium dans l'atmosphère sur la période de juillet 2002 à septembre 2003.

Les valeurs mensuelles sont systématiquement inférieures à la limite de détection (< 2,1 à < 7,6 Bq/m³).

Afin d'interpréter ces résultats, nous avons demandé au CNPE de Saint-Alban de transmettre à la CRIIRAD les registres réglementaires de rejets des années 2002 et 2003 (ce qui a été fait par envoi du 29 décembre 2003).

Dans ces registres, EDF mentionne pour chaque semaine, les mesures de l'activité des rejets atmosphériques tritiés (rejets permanents de chacune des 2 cheminées), la direction du vent et l'estimation théorique de l'activité volumique du tritium dans l'air ambiant après dispersion. Sur la période transmise (1 janvier au 30 novembre 2003), la moyenne de ces résultats est de 0,12 Bq/m³ et le maximum de 0,28 Bq/m³.

Il est alors impossible que cet impact soit mesuré par EDF puisque la limite de détection du dispositif de mesure ($< 2,1$ à $< 7,6$ Bq/m³) est 7,5 à 27 fois supérieure à l'impact théorique maximal calculé par EDF.

6.3. Le tritium dans les eaux de pluie

6.3.1. Mesures CRIIRAD

Les eaux de pluie ont été collectées à périodicité hebdomadaire du 16 juin au 14 juillet 2003 et bi-hebdomadaire du 15 juillet au 30 septembre 2003 au moyen de pluviomètres installés en 2 stations situées à environ 2 km au Nord et au sud du CNPE, respectivement à Saint-Alban et St Maurice l'Exil. L'emplacement des stations figure sur la carte C1 en [annexe 4](#).

Le transfert du liquide recueilli par les pluviomètres dans des flacons fournis par la CRIIRAD ayant été effectué par des habitants volontaires, les échantillonnages ont été fonction de leur disponibilité. Ainsi, du fait des congés, il n'y a pas eu d'échantillonnages en août à la station nord.

Les mesures de l'activité du tritium dans les eaux brutes sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Mesures de tritium dans les eaux de pluie / CRIIRAD

DATE	LIEU DE PRELEVEMENT	
	Tritium (Bq/l) dans les eaux de pluie	
	STATION A 2 km Nord	STATION B 2 km Sud
	St-Alban	St Maurice l'Exil
16/06/03 au 23/06/03	Pas de pluie	Pas de pluie
23/06/03 au 30/06/03	3,9 ± 1,5	2,3 ± 1,4
30/06/03 au 07/07/03	< 2,0	< 2,0
07/07/03 au 14/07/03	Pas de pluie	Pas de pluie
14/07/03 au 28/07/03	< 2,0	< 2,0
28/07/03 au 15/08/03	Non prélevé	< 2,0
15/08/03 au 31/08/03	Non prélevé	< 2,0
03-04/09/03 au 15/09/03	4,6 ± 1,4	< 2,0
16/09/03 au 30/09/03	5,5 ± 1,4	< 2,0

L'activité du tritium au voisinage du CNPE de Saint-Alban est supérieure à la limite de détection de 2 Bq/l pendant la dernière semaine de juin au niveau des 2 stations (2,3 et 3,9 Bq/l) et de façon plus significative durant les 2 quinzaines de septembre (uniquement à la station nord : 4,6 et 5,5 Bq/l).

Ces résultats peuvent être comparés à ceux obtenus par la CRIIRAD au niveau du pluviomètre installé à Valence dans la Drôme. Sur les différents échantillonnages effectués en juillet et août 2003, l'activité du tritium dans les eaux de pluie est restée inférieure à la limite de détection (< 2 Bq/l).

Une activité très faible, en limite des capacités de détection a été mise en évidence à Valence sur l'échantillon du 8 au 22 septembre 2003 ($2,7 \pm 1,4$ Bq/l). Le site de Valence ne constitue pas bien entendu une référence absolue d'un niveau « naturel », dans la mesure où il est situé dans la vallée du Rhône à environ 60 kilomètres au sud du CNPE de Saint-Alban et 40 kilomètres au nord du CNPE de Cruas, mais il est représentatif d'un environnement lointain (bruit de fond régional).

La détection de valeurs supérieures à Saint-Alban par rapport à Valence, et l'écart entre les stations nord et sud à Saint-Alban en septembre 2003 suggère que le tritium détecté au nord n'est pas lié à une source globale, mais locale. L'analyse de la rose des vents en septembre ne permet pas d'affiner l'interprétation compte tenu de sa complexité. Les données reportées par EDF dans les registres réglementaires mentionnent la direction du vent dominant par semaine. Ainsi durant les 4 semaines de septembre les directions dominantes ont été successivement : vent du nord (360° à $17,1\%$ et 340° à $26,7\%$), puis vent du sud (160° à 30% et 160° à $24,6\%$). Pour interpréter finement les données il conviendrait de disposer des répartitions des vents porteurs de pluie. Sachant que dans la vallée du Rhône, les vents porteurs de pluie sont préférentiellement en provenance du sud, il est donc logique d'observer un marquage plus important des eaux de pluie au nord du CNPE.

Cette campagne préliminaire suggère donc un impact des rejets tritiés du CNPE de Saint-Alban dans son environnement proche. Elle montre que la réalisation d'un travail approfondi nécessiterait d'effectuer un suivi sur une année (afin d'intégrer tous les épisodes pluvieux), en un nombre plus important de stations (2 au nord, 2 au sud, une est, une ouest, et au moins 2 références lointaines). L'interprétation des résultats nécessiterait de disposer de données météorologiques détaillées.

6.3.2. Insuffisance des contrôles de l'IPSN

Dans le cadre du bilan décennal de 1995 (complété en 1997), et des suivis annuels 2000 et 2001, l'IPSN n'a effectué **aucune mesure de tritium dans les eaux de pluie**.

6.3.3. Insuffisance des contrôles EDF

Dans le cadre du suivi réglementaire, EDF réalise une mesure mensuelle de l'activité du tritium dans les eaux de pluie sous les vents dominants, mais **la limite de détection est beaucoup trop élevée** pour pouvoir déceler l'impact. Ce dernier est en effet a priori de l'ordre de quelques becquerels par litre (sur la base de l'étude préliminaire CRIIRAD), alors que la limite de détection EDF est de l'ordre de 35 à 43 Bq/l (valeurs de juillet 2002 à septembre 2003). Il serait par ailleurs nécessaire qu'EDF dispose de 2 stations de contrôle, sous les vents dominants (donc au sud) et sous les vents dominants porteurs de pluie (donc au nord).

7. ACTIVITE DU CARBONE 14 DANS L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

7.1. Activité « naturelle » du carbone 14

Dans l'atmosphère, la teneur en carbone 14 du gaz carbonique en un lieu donné et à un moment donné dépend de nombreux paramètres.

Du carbone 14 est produit de façon naturelle et continue dans la haute atmosphère par l'action des rayonnements cosmiques sur l'azote 14. L'activité « naturelle » en carbone 14 du gaz carbonique de l'atmosphère est a priori constante et était estimée à **226 Bq/kg de carbone avant l'ère industrielle**.

Les activités humaines ont fortement modifié cet équilibre :

- L'utilisation des combustibles fossiles a rejeté du gaz carbonique à faible teneur en carbone 14 conduisant à diminuer par dilution l'activité moyenne du gaz carbonique atmosphérique.
- A l'inverse, les rejets de carbone 14 depuis le début de l'ère nucléaire (explosions nucléaires atmosphériques, rejets des centrales électronucléaires et usines de retraitement du combustible usé) ont conduit à partir des années 50 à une forte augmentation de l'activité du carbone 14 dans l'atmosphère.

L'activité spécifique du carbone 14 dans les végétaux terrestres et aquatiques étant en équilibre avec celle du gaz carbonique atmosphérique, elle a suivi les mêmes tendances.

Ainsi, dans l'hémisphère nord, l'activité spécifique du carbone 14 dans les cernes des arbres est passée de **220-230 Bq/kg de carbone au début des années 50** à des niveaux supérieurs à **700 Bq/kg de carbone dans les années 70 et au début des années 80**. L'essentiel de cette augmentation, jusqu'au milieu des années 60 est due à l'impact des essais nucléaires atmosphériques.

Actuellement, il est difficile d'estimer précisément le bruit de fond ambiant. G.T. Cook a estimé ce bruit de fond à $247,6 \pm 1,0$ Bq/kg de carbone pour l'environnement marin sur les côtes anglaises en 1995. D'autres auteurs donnent des estimations allant de **250 à 260 Bq/kg de carbone** pour le bruit de fond actuel dans l'environnement terrestre et marin.

7.2. Le carbone 14 dans le milieu terrestre à Saint-Alban

Les mesures de carbone 14 effectuées dans le milieu terrestre dans le cadre de la présente étude figurent en [annexe 2](#).

7.2.1. Estimation du bruit de fond régional

L'activité du carbone 14 dans les bioindicateurs (mousses terrestres et feuilles de peupliers) et les 4 échantillons de la chaîne alimentaire (pommes de terres, pommes, raisin et cerises) prélevés par la CRIIRAD dans l'environnement lointain du CNPE de Saint-Alban en 2003 est comprise entre **242 et 251 Bq/kg de carbone**. Ces valeurs sont comparables aux estimations du bruit de fond global.

7.2.2. Mise en évidence d'un impact à proximité du CNPE

Dans l'environnement proche du CNPE de Saint-Alban (1,1 à 4 km), on observe des valeurs comparables au bruit de fond global pour les cerises (249 Bq/kg C).

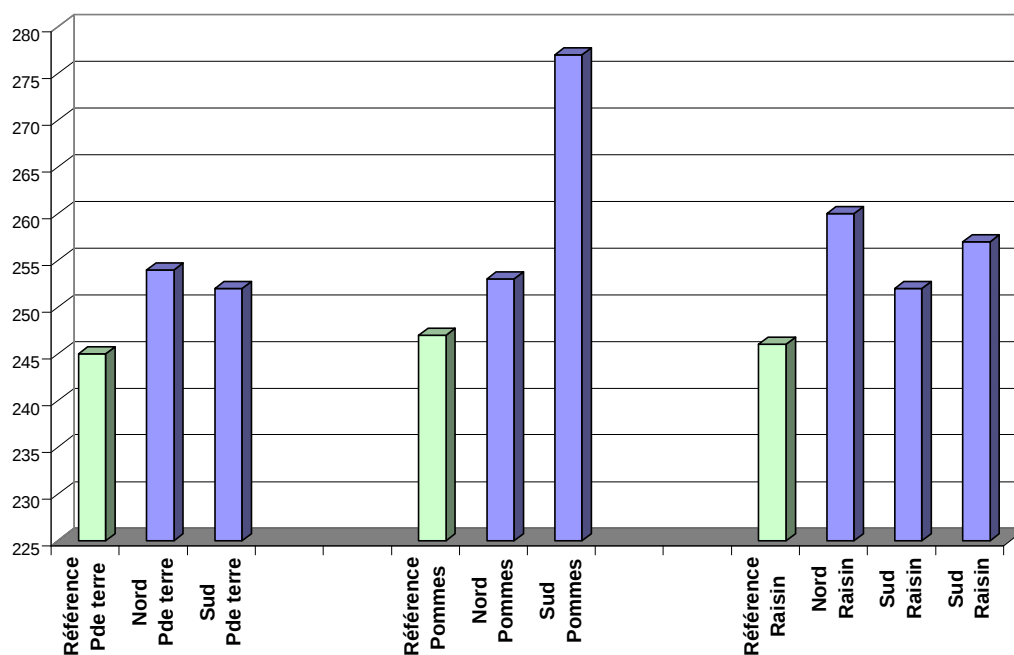
Par contre, pour tous les autres végétaux étudiés, on mesure des valeurs sensiblement supérieures à la fourchette haute du bruit de fond global (soit 251 Bq/kg) :

- pommes de terre au nord (254 Bq/kg C) et au sud (252 Bq/kg C),
- pommes au nord (253 Bq/kg C) et au sud (277 Bq/kg C),
- raisins au nord (260 Bq/kg C) et au sud (252 et 257 Bq/kg C),
- mousses terrestres au sud (256 Bq/kg C),
- feuilles de peuplier au nord (262 Bq/kg C) et au sud (253 et 254 Bq/kg C),

Les principaux résultats sont présentés dans les histogrammes ci-dessous :

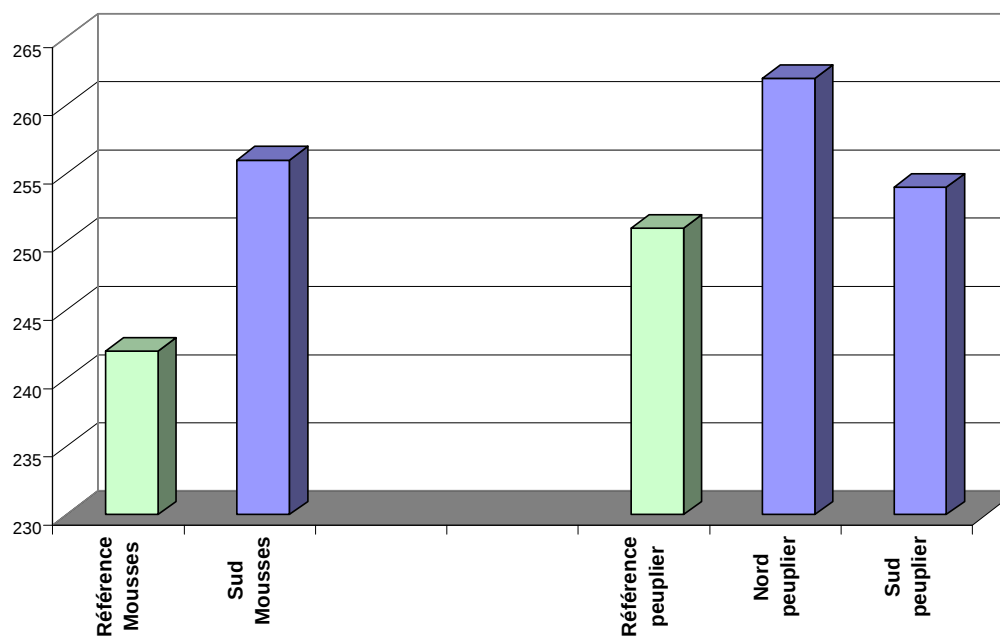
Carbone 14 dans les aliments

Activité du carbone 14 en Bq/kg C / CNPE St-Alban / Etude CRIIRAD 2003



Carbone 14 dans les bioindicateurs terrestres

Activité du carbone 14 en Bq/kg C / CNPE de St-Alban / Etude CRIIRAD 2003



L'examen global de l'ensemble de ces résultats suggère un impact des rejets de carbone 14 de la centrale.

Pour chaque type de végétal (sauf les cerises), la comparaison des résultats obtenus dans l'environnement proche du CNPE à celui de la station en environnement lointain montre un impact (de l'ordre de quelques pour cents et jusqu'à 12 % pour les pommes prélevées au sud).

Cet impact est significatif, c'est-à-dire supérieur aux marges d'incertitude pour les pommes de terre au nord et au sud, les pommes au sud, les raisins au nord et au sud, les mousses terrestres au sud, les feuilles de peuplier au nord.

7.2.3. Insuffisance des campagnes de mesures de l'IPSN (bilan décennal)

Dans le cadre d'une campagne de mesures effectuée en juin 1995 et octobre 1997, l'IPSN a mesuré pour EDF l'activité spécifique du carbone 14 dans un échantillon de salades, 3 mousses terrestres et 2 échantillons de fromage de chèvre.

Cette étude publiée en 1999 a été transmise à la CRIIRAD par le CNPE de Saint-Alban le 29 décembre 2003.

Les valeurs mesurées sont comprises entre 243 Bq/kg C (mousses terrestres à l'est du CNPE) et 258 Bq/kg C (salades au sud à Limony et fromage de chèvre à l'ouest au Bessey).

L'IPSN conclut que les activités mesurées « sont toutes de l'ordre de 250+/-6 Bq/kg C. Ces activités sont en équilibre avec celles du CO2 atmosphérique. Ces résultats ne permettent donc pas de mettre en évidence un marquage des rejets gazeux dans l'atmosphère du CNPE sur les écosystèmes terrestres ».

Les limitations méthodologiques de l'étude de l'IPSN expliquent probablement en partie qu'elle ne puisse mettre en évidence l'impact des rejets de carbone 14 du CNPE. En effet, les échantillons étudiés ne sont pas systématiquement associés à une référence (cas des salades et fromages) et la localisation de certains des échantillons n'est pas a priori en zone de forte influence (fromages à l'ouest).

7.2.4. Insuffisance des suivis annuels effectués par l'IPSN

Les études de suivi radioécologique annuel conduites par l'IPSN en 2000 et 2001 à Saint-Alban pour EDF, et transmises à la CRIIRAD par EDF le 29 décembre 2003, n'apportent pas d'améliorations puisque **aucune mesure de carbone 14 n'est effectuée.**

7.2.5. Insuffisance des contrôles effectués par EDF

Suite à une demande en date du 14 août 2003, le CNPE de Saint-Alban a transmis à la CRIIRAD un tableau mentionnant les mesures de carbone 14 qu'il effectue dans les effluents gazeux (mesure trimestrielle) et l'environnement.

Ce tableau confirme qu'EDF ne réalise aucune mesure de carbone 14 dans la chaîne alimentaire.

Depuis le début de l'année 2002, des mesures de carbone 14 sont effectuées sous le vent du CNPE, dans l'air, à la station AS1. En fait il s'agit de contrôles effectués sur du lierre. Une mesure est effectuée chaque trimestre (juillet 2002, septembre 2002, décembre 2002, avril 2003, juillet 2003).

Les résultats exprimés curieusement en Bq/m^3 sont systématiquement inférieurs à la limite de détection ($< 1 \text{ Bq/m}^3$). Il semble qu'EDF contrôle l'activité du lierre et la convertit en équivalent dans l'air ambiant.

Lors d'une réunion de travail le 7 novembre 2003 au CNPE de Saint-Alban, le responsable du laboratoire de la CRIIRAD a demandé des précisions sur cette méthode de contrôle et en particulier les résultats effectifs de la mesure de l'activité spécifique du carbone 14 dans le **lierre** (en Bq/kg C).

En effet, ce paramètre est forcément mesuré pour être ensuite converti en activité équivalente dans l'air. Cette mesure en Bq/kg C , permettrait de déterminer l'impact réel des rejets d'autant que l'échantillonnage étant trimestriel, il serait possible d'effectuer un suivi.

Les responsables de la centrale ont expliqué que cette méthode de surveillance avait été proposée par l'IRSN. Les échantillons de lierre sont simplement envoyés par EDF à un laboratoire extérieur et EDF n'a pas connaissance de la méthodologie détaillée de mesure et des résultats intermédiaires.

En l'absence de ces données intermédiaires, la méthode de suivi du lierre ne peut être en mesure de mettre en évidence l'impact des rejets chroniques de carbone 14. Ces carences méthodologiques sont d'autant plus regrettables que les données existent forcément au niveau du laboratoire qui effectue les contrôles.

Le fait que l'IRSN aie proposé cette méthodologie pose question. Dans tous les cas, les justifications méthodologiques devront être demandées aux autorités. En effet,

- **Même une augmentation plus de 100 fois supérieure à la normale ne serait pas détectée.**
- **L'inhalation toute l'année d'un air contaminé à hauteur de 1 Bq/m^3 de carbone 14 pourrait conduire à une exposition non négligeable (plusieurs dizaines de microSieverts).**

8. OBSERVATIONS PRELIMINAIRES CONCERNANT LE MILIEU AQUATIQUE

Il convient de rappeler en préalable, que dans le cadre de la présente étude, le laboratoire de la CRIIRAD n'avait pas pour objectif de procéder à une étude radioécologique visant à étudier l'impact des rejets liquides du CNPE de Saint-Alban.

Dans la mesure cependant où, lors des suivis antérieurs concernant le milieu aquatique, la CRIIRAD n'avait effectué aucune mesure de tritium et carbone 14, nous avons souhaité profiter de la présence du technicien CRIIRAD dans le secteur de Saint-Alban pour réaliser un pointage préliminaire.

A titre exploratoire, des contrôles limités ont ainsi été effectués sur une carpe et des plantes aquatiques.

La **carpe** de 2,2 Kg et 46 centimètres de longueur a été pêchée le **8 octobre 2003** par un pêcheur amateur dans la zone de rejets du CNPE (voir [carte C1 en annexe 4](#)).

Des **plantes aquatiques** (*Potamogeton fluitans*) ont été prélevées par le technicien CRIIRAD le **15 octobre 2003** en amont et en aval des rejets liquides du CNPE, respectivement aux points kilométriques 45,5 et 49,1 (cf [carte C1 en annexe 4](#)).

Ces échantillons ont fait l'objet d'un dosage du tritium organiquement lié et du carbone 14 (laboratoire RCD), ainsi que des radionucléides artificiels et naturels émetteurs gamma (laboratoire CRIIRAD, cf tableaux en [annexe](#)).

8.1. Tritium

8.1.1. Etude CRIIRAD

Les résultats des mesures portant sur le tritium organiquement lié dans les carpes et les plantes aquatiques sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Activité du tritium OBT dans le milieu aquatique				Tritium Organiquement Lié (OBT)	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/l d'eau	Bq/Kg sec
08/10/03	Carpe "cuir" (chair) L=46 cm, m=2,2 Kg	Zone des rejets	Rejets CNPE	17 ± 1	11 ± 1
15/10/03	Plantes aquatiques : <i>Potamo fluitans</i>	Rhône PK 45,5	Amont CNPE	74 ± 3	29 ± 2
15/10/03	Plantes aquatiques : <i>Potamo fluitans</i>	Rhône PK 49,1	Aval CNPE	77 ± 3	29 ± 2

Dans les **carpes**, l'activité du tritium organiquement lié est élevée (**17 Bq/l** d'eau de combustion).

Dans les **plantes aquatiques**, l'activité du tritium organiquement lié est également élevée (**74 à 77 Bq/l** d'eau de combustion). Les résultats obtenus en amont et en aval des rejets liquides de Saint-Alban sont comparables, compte tenu des marges d'incertitude. L'impact des rejets du CNPE est donc masqué par une source diffuse située en amont.

Ces contrôles préliminaires montrent qu'il serait utile de lancer une étude spécifique visant à déterminer l'origine du marquage en tritium du Rhône dans le secteur de Saint-Alban et de quantifier la part imputable aux rejets du CNPE de Saint-Alban.

8.1.2. Mesures IPSN de 1995-1997

Dans le cadre du bilan décennal de 1995-1997, l'IPSN a réalisé des mesures de l'activité en tritium organiquement lié dans 3 sédiments, 2 mousses aquatiques et 3 poissons dans le secteur de Saint-Alban. Ces résultats sont reportés [en annexe 6](#) ainsi que, pour comparaison, les mesures réalisées par l'IPSN au voisinage du CNPE de Cattenom.

L'IPSN concluait l'étude de 1995-1997 à Saint-Alban de la manière suivante : « *Tous les compartiments échantillonnés (sédiments, végétaux, animaux), présentent des activités en tritium dans l'eau de combustion supérieures à l'activité moyenne de référence de l'eau de pluie. Les poissons présentent des activités supérieures d'un ordre de grandeur, les végétaux de deux ordres de grandeur et les sédiments de trois ordres de grandeur. Ces tendances sont équivalentes que le*

point de prélèvement soit en amont ou en aval du point de rejet des effluents liquides faiblement radioactifs du CNPE ».

Les mesures effectuées par l'IPSN montrent effectivement que l'activité en tritium organiquement lié dans le Rhône, en amont du CNPE de Saint-Alban est très significative.

Par rapport à l'amont du CNPE de Cattenom, l'activité du tritium dans le Rhône est en effet d'un ordre de grandeur supérieure dans les poissons et de 2 ordres de grandeur supérieure dans les sédiments. L'influence du CNPE de Saint-Alban est donc forcément très difficile à discriminer.

Cependant on notera que l'activité du tritium organiquement lié dans les poissons et mousses aquatiques prélevées par l'IPSN est respectivement **1,4 et 1,7 fois supérieure à l'aval du CNPE de Saint-Alban par rapport à la station amont.**

Ces résultats montrent que, compte tenu de l'influence d'autres sources de tritium dans le Rhône, en amont du CNPE de Saint-Alban, son impact ne peut être précisément mis en évidence que dans le cadre de programmes d'échantillonnages de grande ampleur.

Les mesures réalisées par l'IPSN dans le milieu aquatique en 2000 et 2001 à Saint-Alban n'apportent aucun progrès méthodologique puisqu'au contraire, il ne s'agit plus que de contrôles sur le tritium libre et seulement dans un échantillon de mousses aquatiques en amont (amont de Vienne) et en aval du CNPE de Saint-Alban. Compte tenu de l'existence de sources de tritium en amont du CNPE de Saint-Alban et de la forte variabilité des teneurs en tritium libre (pas de caractère intégrateur), ces résultats ne sont pas interprétables.

8.2. Le carbone 14

8.2.1. Etude CRIIRAD

Les résultats des mesures portant sur le carbone 14 dans les carpes et les plantes aquatiques sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Activité du carbone 14 dans le milieu aquatique				carbone 14	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/Kg de Carbone	Ratio / Ref
08/10/03	Carpe "cuir" (chair) L=46 cm, m=2,2 Kg	Zone des rejets	Rejets CNPE	455 ± 4,6	
15/10/03	Plantes aquatiques : <i>Potamo fluitans</i>	Rhône PK 45,5	Amont CNPE	262 ± 2,6	
15/10/03	Plantes aquatiques : <i>Potamo fluitans</i>	Rhône PK 49,1	Aval CNPE	282 ± 2,8	1,08

Dans les **carpes**, l'activité du carbone 14 est presque 2 fois supérieure à la normale (**455 Bq/kg de carbone**).

Dans les **plantes aquatiques**, l'activité du carbone 14 est également supérieure au bruit de fond et la valeur mesurée en aval est significativement supérieure à celle obtenue en amont (**282 et 262 Bq/kg C**). La quantification précise de l'impact du CNPE nécessite donc que soit mis en œuvre un programme d'échantillonnage spécifique, avec plus d'une dizaine de stations.

8.2.2. Mesures IPSN de 1995-1997

Dans le cadre du bilan décennal de 1995-1997, l'IPSN a réalisé des mesures de l'activité du carbone 14 dans 2 mousses aquatiques, 2 séries de 2 phanérogames immergées et 2 poissons dans le secteur de Saint-Alban. Ces résultats sont reportés en [annexe 7](#), ainsi que, pour comparaison, les mesures réalisées par l'IPSN au voisinage du CNPE de Cattenom.

Les résultats de la campagne IPSN réalisée à Cattenom mettent en évidence une augmentation très significative de l'activité spécifique du carbone 14 à l'aval du CNPE par rapport à la station amont, dans les potamots : facteur 1,47 et les anguilles : facteur 3,3.

A Saint-Alban, la situation est beaucoup plus difficile à interpréter. En effet, l'activité spécifique du carbone 14 est supérieure au bruit de fond, en amont, dans les poissons (306 Bq/kg C) et les phanérogames échantillonnées en 1997 (379 Bq/kg C).

A Cattenom, par contre, les activités en amont étaient conformes au bruit de fond attendu (potamots : 223 Bq/kg C, anguilles : 213 Bq/kg C, chevesnes : 249 Bq/kg C).

Du fait de ce marquage dans le Rhône en amont de Saint-Alban et de l'insuffisance de l'échantillonnage de l'IPSN (2 stations seulement par compartiment étudié), il n'est pas possible de se prononcer sur l'impact des rejets de carbone 14 du CNPE de Saint-Alban. **L'IPSN précise d'ailleurs, que des études complémentaires seraient nécessaires.**

Pourtant, dans le cadre des suivis annuels 2000 et 2001 réalisés par l'IPSN à Saint-Alban, aucune mesure ne porte sur le carbone 14.

8.3. Radionucléides émetteurs gamma

8.3.1. Etude CRIIRAD

Les résultats des mesures portant sur les radionucléides émetteurs gamma dans les carpes et les plantes aquatiques sont reportés en [annexe 3](#).

Dans les carpes, aucun radionucléide artificiel émetteur gamma ne présente une activité supérieure aux limites de détection.

Dans les plantes aquatiques (potamots), un seul radionucléide artificiel émetteur gamma est détecté, il s'agit de l'iode 131.

L'activité en aval du CNPE est du même ordre de grandeur qu'en amont (respectivement 27,3+/-9,3 Bq/kg sec et 30,7+/-13,2 Bq/kg sec).

Ces résultats sont cohérents avec ceux de l'étude CRIIRAD effectuée en 2000 (respectivement 58,9 et 50,6 Bq/kg sec). Ils confirment que la principale source de contamination en iode 131 dans le Rhône, dans ce secteur, est à rechercher en amont du CNPE de Saint-Alban. Cette source diffuse (probablement d'origine hospitalière) masque l'impact du CNPE.

9. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

9.1. Conclusions

9.1.1. Importance du tritium et du carbone 14

Le CNPE de Saint-Alban rejette en fonctionnement normal de l'hydrogène radioactif (tritium) et du carbone radioactif (carbone 14).

En 2002, le tritium et le carbone 14 ont constitué :

- plus de 99,99 % des rejets radioactifs liquides et
- plus de 50 % des rejets radioactifs atmosphériques du CNPE de Saint-Alban.

Ces deux radionucléides méritent une attention particulière du fait de :

- leur longue période physique (12,3 ans pour le tritium et 5 730 ans pour le carbone 14),
- leur forte mobilité dans l'environnement à travers les cycles de l'eau et du carbone,
- leur grande bio disponibilité et leur capacité d'accumulation dans les végétaux et dans les structures les plus intimes de nos cellules (ADN),
- L'accumulation des études qui montrent que l'on a largement sous-estimé les effets sanitaires du tritium et en particulier du tritium organiquement lié.

Ils constituent a priori les principaux contributeurs à l'impact radiologique des rejets des centrales nucléaires sur l'environnement et la population locale à l'échelle locale et mondiale (dose collective).

9.1.2. Lacunes concernant l'auto surveillance d' EDF

Une amélioration très récente de l'évaluation et de la déclaration des rejets et qui reste à améliorer

Compte tenu de l'importance du tritium et du carbone C14, Il est particulièrement surprenant de constater les lacunes dans la connaissance des rejets :

- Le CNPE de Saint-Alban ne déclare les rejets de carbone 14 que depuis 2002 pour les rejets atmosphériques et 2001 pour les rejets liquides. La population riveraine du CNPE n'est donc informée de l'existence de ces rejets que depuis l'année 2001, soit plus de 15 ans après le couplage au réseau de la tranche Saint-Alban 1 en août 1985. De plus, s'agissant des rejets atmosphériques, les mesures réalisées par EDF ne portent que sur une seule mesure trimestrielle effectuée sur un prélèvement en continu.
- Avant 2001, les rejets atmosphériques de tritium étaient comptabilisés dans la catégorie « gaz » et non individualisés. Les nouvelles méthodes de mesure mises en place ont montré que les résultats antérieurs étaient sous-évalués de 40 à 60 %.
- Les rejets diffus ne sont pas comptabilisés.

Des lacunes concernant l'évaluation de l'impact par EDF

S'agissant des conséquences des rejets atmosphériques sur l'environnement et la population, les mesures mises en œuvre par EDF sont dans l'incapacité de quantifier l'impact des rejets chroniques :

- La limite de détection pour l'activité hebdomadaire moyenne du tritium dans l'air ambiant est 7,5 à 27 fois supérieure à la valeur théorique de l'impact,
- La limite de détection pour le tritium dans les eaux de pluie est très élevée et ne détecterait une contamination qu'au delà de 17 à 20 fois la normale.
- EDF n'effectue aucune mesure de l'activité du tritium dans les végétaux. Les mesures de l'activité bêta globale dans l'herbe et le lait sont totalement inadaptées pour déceler le tritium compte tenu de la très faible énergie des rayonnements bêta qu'il émet.
- Pour le carbone 14, EDF effectue un contrôle trimestriel sur du lierre. La méthodologie est très discutable et présente une limite de détection élevée (1 Bq/m^3), qui serait a priori incapable de détecter une élévation même plus de 100 fois supérieure au niveau normal. On doit d'ailleurs s'interroger sur la conformité de cette méthodologie par rapport aux prescriptions de l'arrêté du 29 décembre 2000 et sur les considérations qui ont prévalu pour fixer de telles limites dans l'arrêté. En effet, une exposition chronique à 1 Bq/m^3 pourrait représenter une exposition annuelle nettement supérieure au seuil du risque négligeable.
- Par ailleurs, EDF n'effectue aucun contrôle de l'activité en carbone 14 dans la chaîne alimentaire, mais seulement un contrôle de l'activité bêta globale dans le lait et l'herbe. Or de par la faible énergie de son rayonnement bêta, le carbone 14 ne peut être correctement détecté au moyen de cette méthode,

En réalité l'autocontrôle effectué par EDF n'est pas conçu pour permettre d'évaluer l'impact des rejets chroniques et ne serait adapté qu'en cas d'accident ou de rejets non maîtrisés.

9.1.3. Lacunes concernant les suivis radioécologiques effectués par l'IPSN

Outre les contrôles réglementaires qu'il effectue directement, le CNPE de Saint-Alban confie à l'IPSN la réalisation de suivis radioécologiques annuels et de bilans décennaux qui devraient a priori mettre en jeu des méthodes de contrôle plus performantes.

En réalité, les suivis annuels de 2000 et 2001 n'ont comporté aucune mesure de carbone 14 et seulement 2 mesures de tritium libre dans du lait et des eaux douces pour la partie terrestre. Du fait du faible nombre de stations, de leur localisation inadaptée et de l'absence de mesure du tritium organiquement lié, ces campagnes ne peuvent permettre une analyse correcte de l'impact.

Bien que le lait de vache collecté par l'IPSN provienne de l'ouest de Saint-Alban, c'est-à-dire d'un secteur qui n'est pas a priori soumis à l'impact le plus fort (contrairement aux secteurs sud et nord compte tenu de la rose des vents), il présente l'activité en tritium libre la plus élevée de tous les laits de vache collectés par l'IPSN au voisinage des centrales nucléaires françaises en 2001.

Même dans le cadre de campagnes de mesures comportant plus de mesures de tritium et de carbone 14 (cas du bilan décennal IPSN de 1995-1997), la conception du plan d'échantillonnage ne permet pas de déceler l'impact des rejets (absence de références systématiques, emplacement inadapté des stations de prélèvement).

Cet état de fait est probablement lié à l'organisation structurelle des organismes de contrôle. Ainsi l'IPSN devenu IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) est à la fois un organisme d'état chargé des expertises pour le compte de la DGSNR (Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la radioprotection) et en même temps il effectue des prestations rémunérées pour EDF. Lorsque la CRIIRAD a dénoncé cette situation, il lui a été répondu par l'administration qu'une charte d'éthique et un comité spécifique veilleraient au sein de l'IRSN à limiter les conflits d'intérêt. Des dossiers récents ont montré que la réalité est tout autre.

9.1.4. Réalisation d'une étude indépendante

Lors de l'enquête publique de 1998, AIRE et la CRIIRAD avaient dénoncé l'absence de mesures de tritium et carbone 14 dans le dossier et souhaitaient de ce fait effectuer une campagne de contrôle indépendante de l'exploitant.

L'étude CRIIRAD 2003 a pu être réalisée grâce à la participation financière du Conseil Général de l'Isère, du Conseil Régional Rhône-Alpes, des municipalités de Salaise sur Sanne (38), Roussillon (38), Péage de Roussillon (38), Condrieu (69), Saint-Maurice l'Exil (38) et Saint-Appolinard (42), et au soutien des sympathisants de l'association AIRE.

9.1.5. Impact des rejets de tritium et carbone 14 mis en évidence par la CRIIRAD

Dans le cadre de cette étude, le laboratoire de la CRIIRAD a effectué une campagne d'échantillonnage préliminaire portant sur l'activité du tritium libre et du carbone 14 dans des végétaux terrestres (pommes de terres, pommes, raisins, cerises et bioindicateurs) au voisinage du CNPE de Saint-Alban et des mesures de tritium dans les eaux de pluie. Il s'agissait d'examiner en priorité l'impact des rejets atmosphériques.

Qu'il s'agisse du tritium ou du carbone 14, l'impact peut être considéré comme significatif lorsque les valeurs mesurées dans l'environnement proche, c'est-à-dire au niveau des stations situées dans un rayon de 1 à 4 km au nord et au sud de la centrale, sont supérieures, compte tenu des marges d'incertitude, à celles mesurées dans l'environnement lointain (22 km au nord-ouest).

En ce qui concerne le tritium, cette campagne a ainsi permis de mettre en évidence une augmentation de l'activité du tritium organiquement lié dans

- les pommes (près de 2 fois plus au nord et environ 3 fois plus au sud),
- les raisins (près de 2 fois plus au nord et au sud),
- les feuilles de peuplier (près de 1,6 fois plus au sud).

L'impact est plus marqué au sud pour les pommes et les feuilles de peupliers.

Les mesures concernant le tritium libre conduisent aux mêmes conclusions et permettent en outre de constater un marquage dans les cerises au sud du CNPE (2 km) et les eaux de pluie.

S'agissant du carbone 14, on détecte un impact très faible mais significatif dans :

- les pommes de terre au nord et au sud,
- les pommes au sud,
- les raisins au nord et au sud,
- les mousses terrestres au sud,
- les feuilles de peuplier au nord.

Qu'il s'agisse du tritium ou du carbone 14, ces impacts sont difficiles à mettre en évidence compte tenu de l'ensemble des variables à prendre en considération (variations dans le temps, dans l'espace, selon les compartiments et les espèces étudiées).

Il n'était pas possible dans le cadre de cette étude préliminaire de prendre en compte toutes ces variables. C'est pourquoi ces recherches doivent être poursuivies, en particulier en ce qui concerne l'appréciation du bruit de fond régional.

En effet, l'appréciation de l'impact du CNPE de Saint-Alban a été faite par rapport aux niveaux de radioactivité rencontrés dans l'environnement lointain (22 km au nord-ouest). Mais cette station peut être elle-même sous influence de l'impact diffus des installations nucléaires de la vallée du Rhône, voire au delà.

L'impact ainsi détecté sur le milieu terrestre est faible, mais réel :

- pour le tritium, facteur 2 à 3,
- pour le carbone 14, quelques % à 12 % (pour les pommes au sud),

Les doses résultantes pour la population restent donc dans le domaine des très faibles doses. Mais il s'agit d'une exposition artificielle supplémentaire ajoutée par une pratique industrielle. Les principes de radioprotection requièrent que cette exposition soit justifiée et réduite au niveau le plus faible raisonnablement possible.

Ces exigences sont s'autant plus légitimes que ce marquage radiologique de l'environnement terrestre par le tritium et le carbone radioactif rejetés par la centrale est susceptible de concerner tous les compartiments de l'environnement. Les quelques contrôles effectués à titre exploratoire montrent que les activités du tritium et du carbone 14 sont également anormalement élevées dans le milieu aquatique (carpes et plantes aquatiques).

Il conviendra de déterminer l'origine de ce marquage dont une part provient de l'impact d'installations situées en amont du CNPE de Saint-Alban.

Des réponses précises doivent être apportées à ces questions.

9.1.6. Incertitudes sur les conséquences sanitaires de l'incorporation du tritium et du carbone 14

La radiotoxicité du tritium est totalement passée sous silence alors que de nombreux experts dénoncent la méconnaissance des effets d'une contamination chronique par ce radionucléide.

L'ouvrage « *2003 recommendations of the European Committee on Radiation Risk* » estime que la radiotoxicité du tritium est sous-estimée d'un facteur 10 à 30 (et celle du carbone 14 d'un facteur 5 à 20).

EDF indique souvent à tort dans les documents destinés au public que le tritium « *ne s'accumule pas dans les espèces vivantes* ». Ceci constitue une négation des études portant sur la transformation du tritium libre en tritium organiquement lié dans les cellules des végétaux et des animaux. Les problèmes spécifiques posés par des radionucléides comme le tritium et le carbone 14 sont dus au fait qu'en tant que constituants de base de la matière vivante, ces isotopes radioactifs de l'hydrogène et du carbone peuvent être intégrés à la molécule d'ADN elle-même par l'intermédiaire de ses précurseurs.

Ce processus est particulièrement sensible chez l'embryon. Plusieurs études sur les souris ont mis en évidence l'induction de cancers et d'effets héréditaires par les molécules tritiées organiques. L'OPRI (Office de Protection Contre les Rayonnements Ionisants) indiquait d'ailleurs dans son rapport annuel 1996 que « *S'agissant du tritium, l'attention de la communauté scientifique est focalisée sur les formes organiques dont certains auteurs établissent que leurs effets biologiques sont 1000 fois supérieurs à ceux de l'eau tritiée.* ». L'OPRI précisait que les études en cours avaient montré que « *le tritium introduit sous forme de molécules organiques peut avoir une efficacité biologique considérable et tout à fait inexplicée* ».

9.1.7. Exiger une diminution des rejets radioactifs

En l'absence d'informations fiables sur les rejets et leur impact, les populations ne disposent pas des outils leur permettant d'exiger qu'EDF diminue ses rejets de tritium et de carbone 14 jusqu'à atteindre un impact nul.

EDF a bien réalisé depuis une dizaine d'années, au niveau de l'ensemble du parc électronucléaire des efforts importants de baisse des rejets radioactifs. Ces efforts qui concernent surtout les rejets liquides d'émetteurs bêta gamma, n'ont pratiquement pas eu d'effet sur les rejets de tritium et carbone 14.

EDF explique que la production de tritium et de carbone 14 est proportionnelle à l'énergie produite. Ceci est vrai, mais des marges de progrès existent dans les domaines par exemple de la conception des centrales, de la gestion des combustibles et des modes de pilotage, ou encore, de la maîtrise des fuites afin de limiter à la fois la production de ces radionucléides et les rejets.

Il existe par ailleurs des moyens de piéger le tritium dans les effluents avant rejet, on notera par exemple que dans son rapport environnement 2000, la COGEMA Marcoule précise : « *En 2000, les rejets de tritium ont baissé de 15 % grâce à l'utilisation de tamis moléculaires qui piègent le tritium* ».

Il semble que les projets sur lesquels travaillent les ingénieurs d'EDF pourraient conduire au contraire à court terme à une augmentation des rejets de tritium. En effet, dans le cadre du dossier DARPE du CNPE de Cattenom soumis à enquête publique en septembre 2003, EDF a demandé des autorisations de rejets liquides de tritium plus importantes, de 160 000 GBq actuellement à 200 000 GBq dans le cas où serait adopté un nouveau mode de gestion dit HTC (combustibles à Haut Taux de Combustion), envisagé à partir des années 2006 à 2010.

9.2. Recommandations

L'importance de la mobilisation citoyenne et des contre-pouvoirs indépendants

Il convient de rappeler que les progrès effectués ces dernières années par EDF dans la comptabilisation de ses rejets et leur déclaration résultent de combats menés depuis plus de 10 ans par de nombreuses associations et élus. Mais de trop nombreuses lacunes persistent.

Compte tenu des quantités rejetées et des doutes qui pèsent quant à l'impact du tritium et du carbone 14 sur la faune, la flore et les êtres humains, la CRIIRAD recommande que les populations et leurs élus exigent d'EDF et des autorités des progrès significatifs dans :

- la réduction des rejets de tritium et carbone 14 du CNPE de Saint-Alban,
- la pertinence des méthodes mises en œuvre pour quantifier les rejets et leur impact tant environnemental que sanitaire,
- la qualité de l'information donnée aux populations.

A partir des constatations effectuées dans le cadre de cette étude et d'autres travaux effectués pour les CLI de Fessenheim et du Blayais, la CRIIRAD recommande aux élus, à la CLI et aux populations riveraines du CNPE de Saint-Alban qu'elles veillent à obtenir des progrès dans les domaines suivants :

- Une vérification approfondie de la fiabilité et de la représentativité des méthodes utilisées par EDF pour mesurer ses rejets de tritium et carbone 14 et une estimation de l'ordre de grandeur des rejets diffus,
- Des précisions sur la méthodologie de contrôle de l'activité du carbone 14 dans l'air à partir du lierre. La CRIIRAD va saisir les autorités à ce propos.
- Une adaptation du dispositif d'auto surveillance (abaissement de la limite de détection pour le tritium dans les eaux de pluie, réalisation du dosage du C14 et du tritium organiquement lié sur les végétaux et la chaîne alimentaire),
- Une vérification de la qualité des modèles de dispersion atmosphérique utilisés par EDF et des modèles d'estimation des doses à la population (prise en compte des phénomènes de bioaccumulation du tritium),
- Une analyse critique des marges de progrès dont dispose et pourrait disposer EDF pour limiter ses rejets de tritium et carbone 14,
- La réalisation de campagnes d'échantillonnage permettant de déterminer le bruit de fond en tritium et carbone 14 dans l'environnement terrestre à l'échelle régionale, et dans l'environnement aquatique à l'échelle du cours du Rhône (compte tenu du nombre de termes sources). S'agissant du milieu aquatique il serait utile de mesurer également l'activité du nickel 63 dont l'accumulation n'est contrôlée ni par EDF, ni par les autorités.
- La réalisation d'une campagne de mesure sur l'activité du tritium organiquement lié et du carbone 14 dans les cernes des arbres au voisinage du CNPE de Saint-Alban
- La réalisation de campagnes de mesure de l'activité des gaz rares dans l'air ambiant (paramètre calculé par EDF mais non mesuré).
- L'obtention par EDF et les autorités des critères qui seraient adoptés en cas de contamination de l'environnement local suite à un rejet non maîtrisé ou un accident. En effet, la réglementation Européenne fixe des valeurs limites élevées (1 250 Bq/kg pour le césium 137 par exemple) pour les denrées alimentaires. Ces limites ne portent ni sur le tritium, ni sur le carbone 14 et on peut se demander comment seraient indemnisés les producteurs locaux dans le cas où les denrées seraient contaminées à des niveaux inférieurs aux limites existantes mais cependant suffisants pour provoquer une mévente sur les produits.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des mesures de tritium libre (CRIIRAD) et tritium organiquement lié (RCD) dans les végétaux et bioindicateurs terrestres.

Annexe 2 : Résultats des mesures de carbone 14 (RCD) dans les végétaux et bioindicateurs terrestres.

Annexe 3 : Résultats des mesures par spectrométrie gamma (CRIIRAD).

Annexe 4 : Cartes de localisation des prélèvements CRIIRAD 2003 à Saint-Alban.

Annexe 5 : Rose des vents à Saint-Alban.

Annexe 6 : Résultats des mesures de tritium organiquement lié effectuées par l'IPSN en 1997, dans le milieu aquatique au voisinage des CNPE de Saint-Alban et Cattenom

Annexe 7 : Résultats des mesures de carbone 14 effectuées par l'IPSN en 1995-97, dans le milieu aquatique, au voisinage des CNPE de Saint-Alban et Cattenom

Annexe 1 : Résultats des mesures de tritium libre (CRIIRAD) et tritium organiquement lié (RCD) dans les végétaux et bioindicateurs terrestres.

				H3 libre (jus distillé) / labo CRIIRAD	Tritium libre (labo RCD)		Tritium Organiquement Lié (OBT) / labo RCD	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/l d'eau	Bq/l d'eau	Bq/Kg sec	Bq/l d'eau (1)	Bq/Kg frais

Tableau 1-A : Pommes de terre, pommes et raisins

04/09/03	Pommes de terre (Mona Lisa)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	4,4 ± 1,4	NM	NM	2,9 ± 0,9	0,2 ± 0,1
03/09/03	Pommes de terre (Mona Lisa)	Saint-Alban	Nord CNPE	2,4 ± 1,4	NM	NM	3,8 ± 0,9	0,2 ± 0,1
03/09/03	Pommes de terre (Mona Lisa)	Saint-Pierre de Boeuf	Sud CNPE	3,2 ± 1,4	2,9 ± 0,7	2,3 ± 0,6	< 2,5	< 0,25

04/09/03	Pommes (Golden)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	< 2	NM	NM	< 2,5	< 0,15
04/09/03	Pommes	Jassoux (Chavanay)	Nord CNPE	2,5 ± 1,3	NM	NM	4,6 ± 0,8	0,4 ± 0,1
03/09/03	Pommes (Golden)	Saint-Pierre de Boeuf	Sud CNPE	7,0 ± 1,5	7,8 ± 1,0	6,9 ± 0,9	7,3 ± 0,9	0,4 ± 0,1

04/09/03	Raisin (Syrah)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	< 2	NM	NM	< 2,5	< 0,15
03/09/03	Raisin	Saint-Alban	Nord CNPE	3,4 ± 1,4	NM	NM	4,8 ± 0,9	0,4 ± 0,1
03/09/03	Raisin (vigne abandonnée)	St Maurice L'Exil	Sud CNPE	NM	NM	NM	3,7 ± 0,9	0,3 ± 0,1
03/09/03	Raisin	Le Biez (Chezenas)	Sud CNPE	3,5 ± 1,4	NM	NM	4,8 ± 0,9	0,3 ± 0,1

(1) Eau de combustion

Annexe 1 (suite) : Résultats des mesures de tritium libre (CRIIRAD) et tritium organiquement lié (RCD) dans les végétaux et bioindicateurs terrestres.

				H3 libre (jus distillé) / labo CRIIRAD	Tritium libre (labo RCD)		Tritium Organiquement Lié (OBT) / labo RCD	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/l d'eau	Bq/l d'eau	Bq/Kg sec	Bq/l d'eau (1)	Bq/Kg sec
Tableau 1-B: Cerises et autres aliments								
02/06/03	Cerises (Napoléon)	Etoile sur Rhône (26)	Référence sud lointain	< 2	NM	NM	< 2	< 1,3
26/05/03	Cerises	La Garde	2 km Sud CNPE	4,9 ± 1,4	NM	NM	< 2	< 1,3
26/05/03	Cerises (Napoléon)	Limony	6 km Sud CNPE	< 2	NM	NM	< 2	< 1,3
26/05/03	Cerises (Napoléon)	Sablons	10 km Sud CNPE	< 2	NM	NM	NM	NM
26/05/03	Jus de pomme	Sablons	10 km Sud CNPE	< 2	NM	NM	NM	NM
26/05/03	Fraises	Limony	6 km Sud CNPE	< 2	NM	NM	NM	NM

(1) Eau de combustion

				H3 libre (jus distillé) / labo CRIIRAD	Tritium libre (labo RCD)		Tritium Organiquement Lié (OBT) / labo RCD	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/l d'eau	Bq/l d'eau	Bq/Kg sec	Bq/l d'eau (1)	Bq/Kg frais
Tableau 1-C : Bioindicateurs terrestres								
04/09/03	Mousses terrestres (Grimias)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	NM	NM	NM	2,7 ± 0,7	1,2 ± 0,3
04/09/03	Mousses terrestres (Grimias)	Saint-Pierre de Boeuf	Sud CNPE	NM	NM	NM	3,1 ± 0,8	1,4 ± 0,4
04/09/03	Feuilles de peupliers	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	NM	NM	NM	4,9 ± 0,8	2,6 ± 0,4
04/09/03	Feuilles de peupliers	Saint-Alban	Nord CNPE	NM	NM	NM	5,6 ± 0,8	2,7 ± 0,4
04/09/03	Feuilles de peupliers	Saint-Pierre de Boeuf (Nord Ile de la Platière)	2 km Sud CNPE	NM	NM	NM	7,6 ± 0,8	4,0 ± 0,5
02/06/03	Feuilles de peupliers	Etoile sur Rhône (26)	Référence Sud lointain	NM	NM	NM	2,9 ± 0,5	1,5 ± 0,3
26/05/03	Feuilles de peupliers	Saint-Pierre de Boeuf (Nord Ile de la Platière)	2 km Sud CNPE	NM	NM	NM	4,2 ± 0,6	2,3 ± 0,4

(1) Eau de combustion

Annexe 2 : Résultats des mesures de carbone 14 (RCD) dans les végétaux et bioindicateurs terrestres.

Tableau 2-A / Activité du carbone 14 dans la chaîne alimentaire

				carbone 14	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/Kg de Carbone	Ratio / Ref
04/09/03	Pommes de terre (Mona Lisa)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	245 ± 2,5	
03/09/03	Pommes de terre (Mona Lisa)	Saint-Alban	Nord CNPE	254 ± 2,6	1,04
03/09/03	Pommes de terre (Mona Lisa)	Saint-Pierre de Boeuf	Sud CNPE	252 ± 2,7	1,03
04/09/03	Pommes (Golden)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	247 ± 2,5	
04/09/03	Pommes ??	Jassoux (Chavanay)	Nord CNPE	253 ± 2,6	1,02
03/09/03	Pommes (Golden)	Saint-Pierre de Boeuf	Sud CNPE	277 ± 2,8	1,12
04/09/03	Raisin (Syrah)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	246 ± 2,6	
03/09/03	Raisin	Saint-Alban	Nord CNPE	260 ± 2,7	1,06
03/09/03	Raisin (Vigne abandonnée)	St Maurice L'Exil	Sud CNPE	252 ± 2,6	1,02
03/09/03	Raisin	Le Biez (Chezenas)	Sud CNPE	257 ± 2,6	1,04
02/06/03	Cerises (Napoléon)	Etoile sur Rhône (26)	Référence sud lointain	249 ± 2,7	
26/05/03	Cerises	La Garde	2 km Sud CNPE	249 ± 2,7	1,00
26/05/03	Cerises (Napoléon)	Limony	6 km Sud CNPE	246 ± 2,7	0,99

Tableau 2-B / Activité du carbone 14 dans les bioindicateurs ter.

				carbone 14	
Date de prélèvement	Nature	Lieu	Localisation	Bq/Kg de Carbone	Ratio / Ref
04/09/03	Mousses terrestres (Grimias)	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	242 ± 2,3	
04/09/03	Mousses terrestres (Grimias)	Saint-Pierre de Boeuf	Sud CNPE	256 ± 2,6	1,06
04/09/03	Feuilles de peupliers	Saint-Maurice sur Dargoire	Référence / Nord-ouest	251 ± 2,7	
04/09/03	Feuilles de peupliers	Saint-Alban	Nord CNPE	262 ± 3,0	1,04
04/09/03	Feuilles de peupliers	Saint-Pierre de Boeuf (Nord Ile de la Platière)	2 km Sud CNPE	254 ± 2,6	1,01
02/06/03	Feuilles de peupliers	Etoile sur Rhône (26)	Référence Sud lointain	246 ± 2,7	
26/05/03	Feuilles de peupliers	Saint-Pierre de Boeuf (Nord Ile de la Platière)	2 km Sud CNPE	253 ± 2,7	1,03

Annexe 3 : Résultats des mesures par spectrométrie gamma (CRIIRAD).

**RESULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMETRIE GAMMA
EFFECTUEES PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD
Mousses terrestres / Saint-Alban / septembre 2003**

Code CRIIRAD	050903A6	050903A5
Lieu de prélèvement	St Maurice sur Dargoire	St Pierre de Bœuf
Nature de l'échantillon	Grimmias	Grimmias
N°analyse	21006	20995
Géométrie	CNATpet	CNATpet
Etat F/S?	s	s
Masse analysée (g)	11.78	11.01
Temps de comptage (s)	54 780	31 176
TMS	28.06%	21.06%
Date de la mesure	20/11/03	13/11/03
Date de mi-échantillonnage	04/09/03	04/09/03

Naturels	Energie (KeV)	Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme	
-----------------	----------------------	--	--

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	< 231	< 195
Pb214	351,9	< 56	< 67
Bi214	609,3	< 54	< 97
Pb210*	46,5	1 536 ± 274	1 352 ± 280

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 69	< 97
-------------	--------------	------	------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	< 60	< 100
Pb212	238,6	< 22	< 44
Tl208	583,0	< 14	< 19

K40	1 460,8	< 494	< 425
Be7	477,6	277 ± 94	369 ± 142

Artificiels	Energie (KeV)		
Cs137	661,6	300 ± 45	250 ± 44
Cs134	604,7	< 5,1	< 7,2
Co58	810,8	< 11,1	< 15,3
Co60	1 332,5	< 4,5	< 6,3
Mn54	834,8	< 5,9	< 8,7
Sb125	427,9	< 14,5	< 21,2
I131	364,5	non mesuré	non mesuré
Ce144	133,5	< 31,7	< 43,5
Aq110m	657,7	< 6,4	< 9,1
Am241*	59,5	< 6,3	< 9,1
I129*	29,6	< 6,9	< 9,8
Ru106	621,9	< 54,3	< 84,4

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

RESULTATS DE L'ANALYSE EN SPECTROMETRIE GAMMA EFFECTUEE PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD SUR DES CARPES / SAINT-ALBAN / Octobre 2003

Activités exprimées en Becquerels par kilogramme sec (Bq/kg sec)

NATURE	Carpe cuir
Date de prélèvement	08/10/03
Lieu de prélèvement	Zone rejets CNPE de St Alban
N° d'analyse	C 20993
Date d'analyse	10/11/03
Temps de comptage (s)	141 400
Géométrie	Petri
Masse analysée (g)	46,78
Taux de matières sèches (%)	18,9%

Radioactivité naturelle

Chaîne de l' Uranium 238			
Thorium 234*	<	31	
Plomb 214	<	10	
Bismuth 214	<	10	
Plomb 210*	<	18	
Uranium 235	<	14	
Chaîne du Thorium 232			
Actinium 228	<	10	
Plomb 212	<	4	
Thallium 208	<	3	
Potassium 40	640	±	108
Beryllium 7	<	6	

Radioactivité artificielle

Césium 137	traces	<	4,8
Césium 134		<	0,8
Cobalt 58		<	1,1
Cobalt 60		<	0,8
Manganèse 54		<	0,9
Antimoine 125		<	2,2
Iode 131		<	13,6
Cérium 144		<	4,5
Argent 110m		<	0,9
Américium 241*		<	1,0
Iode 129*		<	1,1
Ruthénium 106		<	8,3

Légende :

± : marge d'incertitude

< : seuil de détection

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

**RESULTATS DES ANALYSES EN SPECTROMETRIE GAMMA
EFFECTUEES PAR LE LABORATOIRE DE LA CRIIRAD
SUR DES PLANTES AQUATIQUES / Saint-Alban / octobre 2003**

Code CRIIRAD	161003A1	161003A1	161003A2	161003A2
Code prélèvement	Point kilométrique 45.5	Point kilométrique 45.5	Point kilométrique 49.1	Point kilométrique 49.1
Lieu de prélèvement	Amont CNPE Saint Alban	Amont CNPE Saint Alban	Aval CNPE Saint Alban	Aval CNPE Saint Alban
Nature de l'échantillon	Potamogeton fluitans	Potamogeton fluitans	Potamogeton fluitans	Potamogeton fluitans
N° analyse	20959	20994	20961	20992
Géométrie	CNATmar	CNATpet	CNATmar	CNATpet
Etat F/S?	f	s	f	s
Masse analysée (g)	324.09	12.39	240.26	15.87
Temps de comptage (s)	30 229	86 390	54 800	31 150
TMS	5.21%	5.82%	7.93%	7.34%
Date de la mesure	16/10/03	12/11/03	16/10/03	10/11/03
Date d'échantillonnage	15/10/03	15/10/03	15/10/03	15/10/03

Naturels	Energie (KeV)
----------	---------------

Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec (Bq/kg sec)

Chaîne de l'uranium 238

Th234*	63,3	< 200	< 160	< 317	< 190
Pb214	351,9	< 70	< 57	< 50	< 49
Bi214	609,3	< 40	< 60	< 45	< 44
Pb210*	46,5	< 127	< 180	< 280	< 280

Chaîne de l'uranium 235

U235	163,4	< 85	< 51	< 57	< 65
------	-------	------	------	------	------

Chaîne du thorium 232

Ac228	911,2	< 77	< 78	< 110	< 130
Pb212	238,6	< 50	< 14	< 44	< 26
Tl208	583,0	< 20	< 9	< 7	< 17

K40	1 460,8	< 1588	< 1574	< 1270	< 1597
Be7	477,6	< 53	< 32	< 34	< 43

Artificiels	Energie (KeV)
-------------	---------------

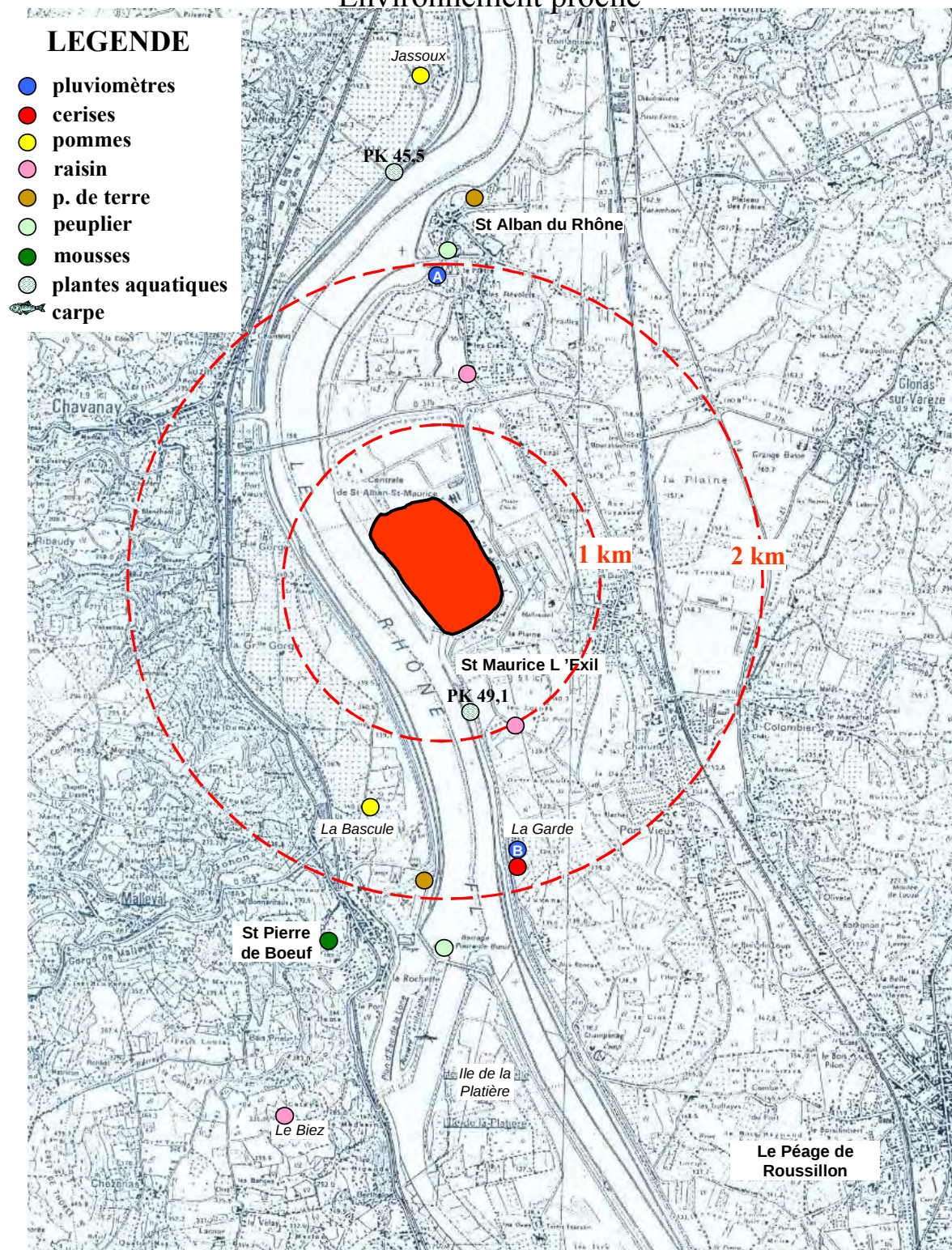
Résultats exprimés en Becquerel par kilogramme sec (Bq/kg sec)

Cs137	661,6	< 7,4	< 4,5	< 5,0	< 5,6
Cs134	604,7	< 6,2	< 3,9	< 3,7	< 4,6
Co58	810,8	< 6,7	< 5,2	< 4,4	< 6,6
Co60	1 332,5	< 5,7	< 3,7	< 4,3	< 5,1
Mn54	834,8	< 6,5	< 4,2	< 4,2	< 5,6
Sb125	427,9	< 16,9	< 10,7	< 11,1	< 14,2
I131	364,5	30,7 ± 13,2	< 40,1	27,3 ± 9,3	< 48,6
Ce144	133,5	< 34,9	< 20,6	< 23,0	< 27,7
Ag110m	657,7	< 6,3	< 4,3	< 3,9	< 5,7
Am241*	59,5	< 9,7	< 4,7	< 6,3	< 6,0
I129*	29,6	< 12,2	< 5,2	< 8,0	< 6,8
Ru106	621,9	< 59,6	< 38,7	< 38,6	< 49,7

* : S'agissant de raies gamma à basse énergie (<100 keV), les valeurs publiées constituent des valeurs par défaut, compte tenu des phénomènes d'autoatténuation possibles au sein de l'échantillon.

Annexe 4 : Cartes de localisation des prélèvements CRIIRAD 2003 à Saint-Alban.

Carte C 1: Campagne CRIIRAD 2003 / CNPE de St Alban /
Environnement proche

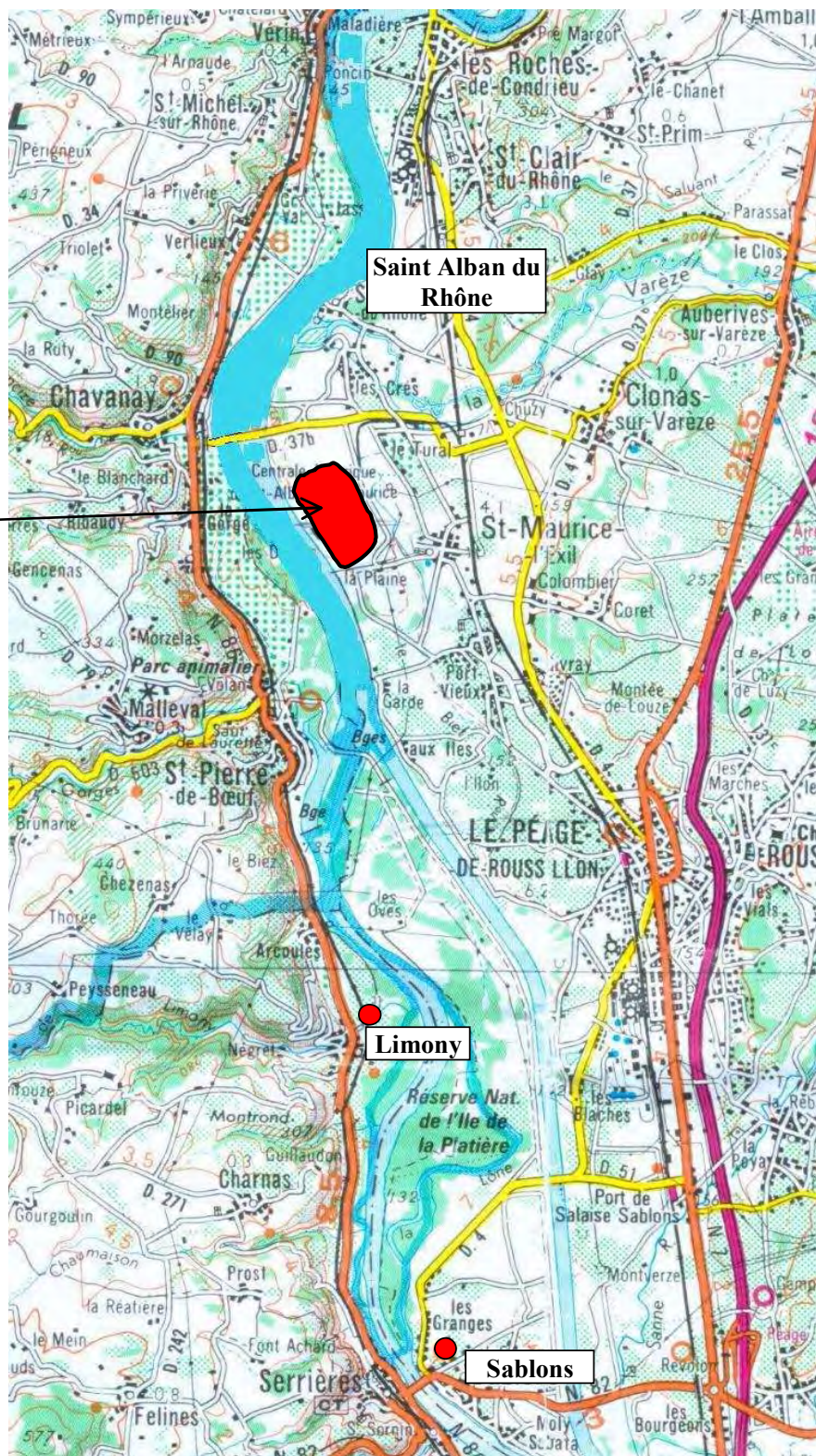


Carte C 2: Campagne CRIIRAD 2003 / CNPE de St Alban
/Cerises prélevées au delà de 4 km au sud

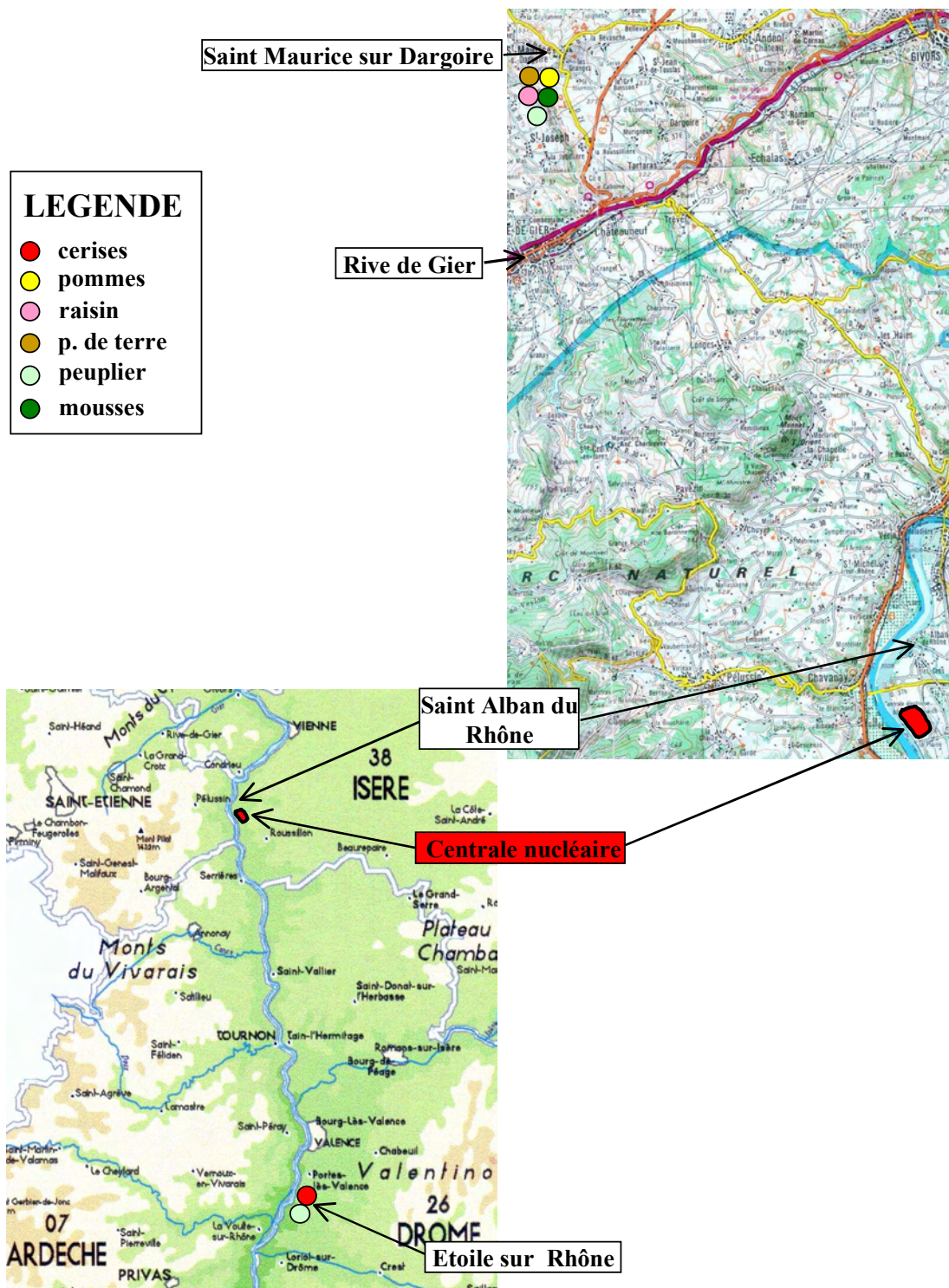
LEGENDE

● cerises

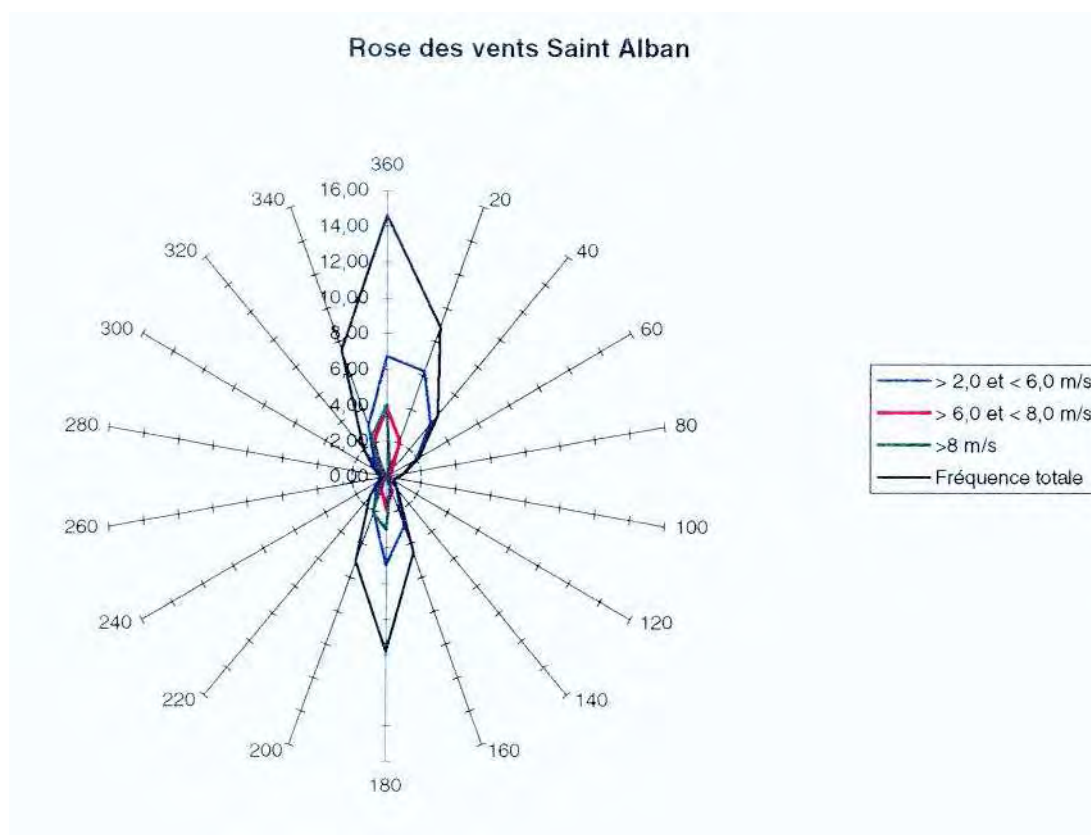
Centrale nucléaire



Carte C 3: Campagne CRIIRAD 2003 / CNPE de St Alban
/Stations environnement lointain



Annexe 5 : Rose des vents à Saint-Alban.



Annexe 6 : Résultats des mesures de tritium organiquement lié effectuées par l'IPSN en 1997, dans le milieu aquatique au voisinage des CNPE de Saint-Alban et Cattenom

Mesures de tritium réalisées par l'IPSN en 1997 dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban. comparaison avec les mesures effectuées à Cattenom

Milieu aquatique / IPSN 1997 : Environnement de Cattenom et Saint-Alban

Localisation	Lieu	Type	Date de prélèvement	Tritium organ (Bq/l)
--------------	------	------	---------------------	----------------------

Sédiments à Cattenom

3,5 km amont	Haute-Ham	Sédiments	01/07/97	15,42+/-0,43
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	Sédiments	01/07/97	23,14+/-0,61
13,5 km aval	barrage Apach	Sédiments	30/06/97	27,79+/-0,73

Sédiments à Saint-Alban

amont	Amont du garage ? De Vaugris	Sédiments	22/07/97	3 723+/-94
aval	ferme aux ronces	Sédiments	22/07/97	2 778+/-70
aval	Garage ? De l'écluse de Sablons	Sédiments	22/07/97	4 830+/-123

Plantes aquatiques à Cattenom

16 km amont	Uckange	Potamot	30/06/97	11,63+/-0,33
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	Myriophylle	01/07/97	22,78+/-0,60
13,5 km aval	barrage Apach	Potamot	30/06/97	11,29+/-0,32

Plantes aquatiques à Saint-Alban

amont	Amont usine de Vaugris	Mousse aquatique	19/08/97	230+/-6
aval	Aval usine-écluse de Sablons	Mousse aquatique	23/07/97	392+/-10

Poissons à Cattenom

16 km amont	Uckange	Anguille	30/06/97	3,79+/-0,18
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	Anguille	01/07/97	14,40+/-0,39
16 km amont	Uckange	muscle Chevesne	30/06/97	4,06+/-0,14
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	muscle Chevesne	01/07/97	20,44+/-0,53
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	muscle Brochet	01/07/97	non

Poissons à Saint-Alban

amont	Pont de Chavanay	Chevesne	22/07/97	24,7+/-0,7
aval	ferme aux Ronces	Chevesne	22/07/97	34,5+/-0,9
aval	canal de fuite de Sablons	Chevesne	22/07/97	17,8+/-0,5

Annexe 7 : Résultats des mesures de carbone 14 effectuées par l'IPSN en 1995-97, dans le milieu aquatique, au voisinage des CNPE de Saint-Alban et Cattenom

Mesures de carbone 14 réalisées par l'IPSN en 1995 -97 dans l'environnement du CNPE de Saint-Alban comparaison avec les mesures effectuées à Cattenom.

Localisation	Lieu	Type	Date de prélèvement	C14 Bq/kg C
--------------	------	------	---------------------	-------------

Site de Cattenom / IPSN 1997

ratio aval / amont

16 km amont	Uckange	Potamot	30/06/97	223,20+/-7,29	
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	Myriophylle	01/07/97	454,09+/-14,02	2,03
13,5 km aval	barrage Apach	Potamot	30/06/97	327,07+/-8,26	1,47

16 km amont	Uckange	Anquille	30/06/97	213+/-4	
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	Anquille	01/07/97	702+/-18	3,30

16 km amont	Uckange	muscle Chevesne	30/06/97	248,65+/-5,21	
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	muscle Chevesne	01/07/97		
1 km aval	aval barrage Koenigsmacker	muscle Brochet	01/07/97	339,98+/-7,83	1,37

Site de Saint-Alban / IPSN 1995-1997

Amont	Usine de Vaugris	Mousses aquatiques	19/08/97	251,76+/-6,38
Aval	Ecluse de Sablons	Mousses aquatiques	23/07/97	253,27+/-6,42

Amont	Usine de Vaugris	Phanérogames	21/06/95	230,17+/-0,83
Aval	Saint-Alban rejets	Phanérogames	20/06/95	235,33+/-0,83

Amont	Pont de Chavanay	Phanérogames	23/07/97	378,66+/-9,58
Aval	Ferme aux Ronces	Phanérogames	22/07/97	266,46+/-6,79

Amont	Pont de Chavanay	Chevesne	23/07/97	305,96+/-7,72
Aval	Ferme aux Ronces	Chevesne	23/07/97	309,01+/-7,83