

Rapport N° 08-167  
Rapport Final Version V1

**ETUDE DOCUMENTAIRE « IMPACT SUR  
L'ENVIRONNEMENT DE L'ACTIVITE DU CENTRE  
DE CADARACHE »**

**Etude effectuée par le laboratoire de la CRIIRAD  
Pour la CLI de Cadarache**

Date des missions de terrain : 1 au 3 octobre 2008, 5 au 6 mars 2009.

Transmission du rapport préliminaire (version V0) à la CLI : 24 décembre 2008.

Transmission du rapport final (version V1) à la CLI : 2 avril 2009.

Responsable d'étude : **Bruno CHAREYRON**, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire de la CRIIRAD.

Participation à la mission de terrain : **Christian COURBON**, technicien spécialisé

Assistance secrétariat : **Jocelyne RIBOUËT**, assistante de laboratoire.

**LABORATOIRE DE LA CRIIRAD**  
471, Avenue Victor Hugo, 26000 Valence  
☎ 04 75 41 82 50      📠 04 75 81 26 48  
<http://www.criirad.org>    [laboratoire@criirad.org](mailto:laboratoire@criirad.org)

# SOMMAIRE

<b><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUCTION, OBJECTIFS, METHODOLOGIE.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
1.1	GENERALITES SUR LE CENTRE DE CADARACHE .....	3
1.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	5
1.3	METHODE DE TRAVAIL.....	5
1.4	MOYENS MIS EN OEUVRE .....	7
1.5	INVENTAIRE DES SOURCES D'INFORMATIONS EXPLOITEES .....	7
1.6	ORGANISATION DU RAPPORT.....	9
<b><u>2</u></b>	<b><u>EXPOSITION EXTERNE.....</u></b>	<b><u>10</u></b>
2.1	GENERALITES.....	10
2.2	RESULTATS DU CEA .....	10
2.2.1	MESURES ANCIENNES .....	10
2.2.2	DISPOSITIF DE SURVEILLANCE ACTUEL .....	11
2.3	RECOMMANDATIONS .....	15
<b><u>3</u></b>	<b><u>REJET DE TRITIUM A L'ATMOSPHERE.....</u></b>	<b><u>20</u></b>
3.1	GENERALITES.....	20
3.2	EVALUATION DES REJETS ATMOSPHERIQUES PAR LE CEA.....	20
3.3	RECOMMANDATIONS .....	24
3.4	IMPACT DES REJETS ATMOSPHERIQUES DE TRITIUM .....	27
3.4.1	AIR AMBIANT .....	27
3.4.2	TRITIUM DANS LES EAUX DE PLUIE .....	30
3.4.3	INSUFFISANCES DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE TRITIUM.....	31
<b><u>4</u></b>	<b><u>REJET DE GAZ RARES A L'ATMOSPHERE.....</u></b>	<b><u>34</u></b>
4.1	GENERALITES.....	34
4.2	EVALUATION DES REJETS ATMOSPHERIQUES PAR LE CEA.....	34
4.3	RECOMMANDATIONS .....	39
4.4	IMPACT DES REJETS ATMOSPHERIQUES DE GAZ RARES.....	40
4.4.1	MESURES CEA DANS L' AIR AMBIANT .....	40
4.4.2	COMMENTAIRES .....	41
<b><u>5</u></b>	<b><u>LA QUESTION DU RADON 222.....</u></b>	<b><u>43</u></b>
5.1	GENERALITES SUR LE RADON « NATUREL ».....	43
5.2	SURVEILLANCE DU RADON « ANTHROPIQUE » .....	44
<b><u>6</u></b>	<b><u>REJET DE CARBONE 14 A L'ATMOSPHERE.....</u></b>	<b><u>47</u></b>
6.1	GENERALITES.....	47
6.2	EVALUATION DES REJETS ATMOSPHERIQUES PAR LE CEA.....	47

<b>6.3</b>	<b>RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>50</b>
<b>6.4</b>	<b>IMPACT DES REJETS ATMOSPHERIQUES DE CARBONE 14.....</b>	<b>50</b>
6.4.1	MESURES CEA DANS L’AIR AMBIANT .....	50
6.4.2	AUTRES MESURES CEA DANS L’ENVIRONNEMENT.....	51
6.4.3	COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS .....	51
<b>7</b>	<b><u>SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES.....</u></b>	<b>53</b>
<b>7.1</b>	<b>LES SOURCES DE CONTAMINATION .....</b>	<b>53</b>
<b>7.2</b>	<b>SITUATION EN 2007 .....</b>	<b>55</b>
<b>7.3</b>	<b>DONNEES HISTORIQUES.....</b>	<b>59</b>
<b>7.4</b>	<b>RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b><u>LE MILIEU AQUATIQUE DE SURFACE .....</u></b>	<b>64</b>
<b>8.1</b>	<b>GESTION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS .....</b>	<b>64</b>
<b>8.2</b>	<b>GESTION DES EFFLUENTS SANITAIRES.....</b>	<b>65</b>
<b>8.3</b>	<b>GESTION DES EFFLUENTS CONTAMINES ET REJET EN DURANCE.....</b>	<b>66</b>
8.3.1	ORGANISATION DES REJETS EN DURANCE .....	66
8.3.2	GESTION DES DISTILLATS DE LA STE .....	67
8.3.3	AUTORISATIONS DE REJETS ET REJETS EFFECTIFS .....	68
8.3.4	REJETS ANTERIEURS .....	69
8.3.5	VARIABILITE DANS LE TEMPS DES REJETS LIQUIDES .....	70
8.3.6	BOUES DES BASSINS DE REJET.....	71
8.3.7	RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES EAUX DE LA DURANCE .....	71
8.3.8	RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES SEDIMENTS .....	76
8.3.9	RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES PLANTES AQUATIQUES .....	78
8.3.10	RESULTATS DE LA SURVEILLANCE DES POISSONS.....	81
<b>8.4</b>	<b>EAUX DE RUISSELLEMENT .....</b>	<b>84</b>

# 1 Introduction, objectifs, méthodologie

## 1.1 Généralités sur le centre de Cadarache

### Localisation

Le site de Cadarache créé le 14 octobre **1959** est l'un des 9 Centres de recherche du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA). C'est l'un des plus importants centres de recherche et développement dans le domaine de l'énergie nucléaire (fission et fusion)

Le centre d'une superficie de 1 600 hectares, dont 900 clôturés, est implanté sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance dans les Bouches-du-Rhône. Il est également situé en proximité de trois autres départements (Alpes-de-Haute-Provence, Var et Vaucluse). Il emploie 6 000 personnes dont :

- Environ 2 100 salariés CEA,
- Environ 1 000 salariés d'entreprises implantées (AREVA, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire)
- Environ 2 200 salariés d'entreprises extérieures et 400 collaborateurs venant d'organismes de recherche français et étrangers, universitaires et doctorants,
- Environ 300 salariés ITER.

### Types d'installations

Le centre regroupe actuellement :

- 19 installations nucléaires de base (INB) dont 16 exploitées par le CEA, 2 dont l'exploitant technique opérationnel est AREVA-NC et une INBS (Installation Nucléaire de Base Secrète) dont l'exploitant technique opérationnel est AREVA-TA.
- 38 installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) dont 29 « à caractère nucléaire ».

Le [tableau T1](#) ci-après présente une liste des INB civiles du centre. La couleur bleue est utilisée pour les installations hébergeant un réacteur nucléaire.

## T1 / liste des INB du centre de Cadarache

Nom INB	Type	Code INB
Pegase Cascad	Réacteur Pegase arrêté en 1975, depuis 1980 entreposage combustible irradié sous eau / Cascad : entreposage à sec depuis 1990 de combustibles irradiés	INB 22
CABRI et SCARABEE	Cabri : réacteur piscine à eau légère (Pmax = 25 Mwt) pour études de sûreté. A l'arrêt pour remplacement boucle sodium par boucle à eau	INB 24
RAPSODIE+LDAC	Réacteur neutrons rapides arrêté en 1983 / Découpe de combustibles / Destruction sodium actif / Démantèlement en cours	INB 25
ATPu / AREVA	Fabrication combustible MOX	INB 32
STEDS	Station de Traitement effluents actifs et déchets solides	INB 37
MASURCA	Réacteur (maquette critique 5 KW) / physique des RNR / à l'arrêt pour rénovation	INB 39
HARMONIE	Réacteur 2KW / étude matériaux RNR / Arrêt 1995 / Démantelé en 2007	INB 41
EOLE MINERVE	Eole maquette critique 10 KW (étude cœur à eau) / Minerve réacteur 100 W études neutronique	INB 42-95
ATUe	Atelier Traitement de l'Uranium Enrichi (UF6 vers Uox) / Arrêt 1995, démantèlement en cours	INB 52
MCMF	Magasin central matière fissile / entreposage U et Pu non irradié	INB 53
LPC / AREVA	Purification chimique associé ATPu	INB 54
LECA	Examen combustibles actifs	INB 55 LECA
STAR	Reconditionnement combustible irradié sans emploi (UNGG, RNR, EL, etc.)	INB 55 STAR
Entreposage	Entreposage déchets radioactifs solides : FA (bâtiment), MA (alvéoles bétonnées), TFA + zone des 5 tranchées / sera remplacé par CEDRA	INB 56
PHEBUS	Réacteur piscine (Pmax = 38 Mwt), étude fusion du cœur	INB 92
IRCA	Irradiateur Co 60 et boucles essai, déclassé en 2006, désormais ICPE TOTEM	(INB 121)
LEFCA	Fabrications expérimentales de combustibles avancés (U, Pu, Am, Np)	INB 123
CHICADE	RetD traitement déchets radioactifs liquides ou solides	INB 156
CEDRA	Traitement et entreposage de déchets radioactifs FA MA (mai 2006)	INB 164

## 1.2 Objectifs de l'étude

Par lettre de commande en date du **12 décembre 2007**, la CLI de Cadarache a commandé au laboratoire de la CRIIRAD une étude consistant à effectuer une analyse critique de la documentation concernant l'impact sur l'environnement et la santé de l'activité du Centre de Cadarache depuis sa création. Cette commande faisait suite à la proposition CRIIRAD du 30 août 2007 en réponse au cahier des charges de la consultation N° CL070628 de la CLI de Cadarache transmise le 26 juin 2007.

Plus précisément il s'agissait de conduire une étude bibliographique de la documentation suivante mise à disposition par le CEA-Cadarache :

- Point zéro établi à la création du centre,
- Données relatives aux rejets et aux incidents depuis le début de l'activité du Centre,
- Données relatives à la surveillance de l'environnement sur les périodes jugées sensibles et/ou opportunes par le prestataire.

## 1.3 Méthode de travail

Le dimensionnement proposé par la CRIIRAD dans sa proposition a tenu compte d'un équilibre entre d'une part la nécessité de proposer une enveloppe budgétaire accessible et de respecter le délai de remise du rapport préliminaire à fin décembre 2008 et d'autre part de disposer d'un volume de travail suffisant pour prendre en compte la complexité du dossier eu égard au nombre et à la variété des installations, à la période temporelle retenue, et au nombre de questionnements techniques retenus pour le cahier des charges.

S'il est bien prévu dans le cadre de la présente proposition de traiter toutes les questions abordées dans le cahier des charges, la priorité sera donnée à l'examen du dispositif de **surveillance actuel**.

Une étude très approfondie des rejets et incidents du passé nécessiterait en effet la constitution de groupes de travail du type GRNC (La Hague) qui a regroupé 40 experts pendant plusieurs années.

La méthodologie proposée par la CRIIRAD pour réaliser cette analyse critique et conformément au cahier des charges a consisté à analyser la documentation fournie initialement par l'exploitant (point zéro, rapports environnements annuels).

Ensuite a été rédigée à l'attention du CEA une série de questions complémentaires, comportant une liste de documents complémentaires (copie des registres règlementaires de déclaration de rejet et de surveillance de l'environnement, descriptif des activités effectuées au sein de chaque INB, données de synthèse relatives aux rejets et aux incidents depuis le début de l'activité du centre).

Une réunion de travail a eu lieu du **1 au 3 octobre 2008** à Cadarache avec les experts du CEA et les représentants de la CLI pour approfondissement de certaines questions complémentaires et visite générale du site.

Le présent rapport comporte, conformément au cahier des charges :

- Une présentation des moyens mis en œuvre pour la réalisation de l'étude
- Un inventaire des sources d'information exploitées
- Une présentation de la méthode suivie pour l'analyse des dossiers
- Une analyse et une évaluation des dossiers listés au cahier des charges
- Des recommandations pour l'amélioration du dispositif actuel de surveillance de l'environnement

La méthode de travail a été adaptée en cours d'étude comme indiqué par courrier adressé par la CRIIRAD à la CLI le 17 novembre 2008 (reproduit en Annexe 4.)

Il a été convenu que la CRIIRAD rédige un premier rapport (version V0) qui porte sur l'analyse de la documentation listée au paragraphe 1.5 ci-dessous (documents reçus à la CRIIRAD avant fin novembre 2008).

Ce rapport a ensuite été complété à l'issue d'une seconde mission de la CRIIRAD à Cadarache ( 5 et 6 mars 2009), au cours de laquelle, le CEA a apporté des précisions aux questions récapitulées par la CRIIRAD dans un Mail du 26 janvier 2009.

Le rapport comporte pour chaque voie d'exposition (externe, vecteur air, vecteur eau) une synthèse des données disponibles, la rédaction de recommandations ou de questions complémentaires à l'attention du CEA, pour les points le nécessitant.

### Limites de l'étude

Il est important de rappeler 2 limites importantes à la présente étude :

1 / Les données communiquées par le CEA concernent uniquement les **INB civiles** du centre.

Les données concernant l'impact radiologique du fonctionnement de l'**INBS** et des **29 ICPE** à « caractère nucléaire » n'est donc pas traité de manière spécifique en ce qui concerne les rejets. Par contre les données de surveillance de l'environnement portent sur l'impact global du Centre.

2 / Le CEA n'a pas autorisé la CRIIRAD à effectuer des mesures sur le site de Cadarache.

Les mesures radiométriques n'ont pu être effectuées qu'à l'extérieur des clôtures. La CRIIRAD a ainsi réalisé des mesures radiométriques ponctuelles dans l'environnement du site nucléaire.

Même si la commande de la CLI porte sur une **étude documentaire**, il est évident que la réalisation de mesures ponctuelles in situ aurait rendu plus pertinente l'analyse des documents.

De la même manière, la CRIIRAD regrette de n'avoir pu visiter un certain nombre de sites pour lesquels elle avait formulé une demande (cf. Annexe 4 : laboratoire d'analyse radiologique du CEA, station de traitement des effluents, chantier de reprise des tranchées).

La CRIIRAD a pu cependant **visiter les installations** listées ci-après : le laboratoire LECA-STAR, l'INB Rotonde, les INB affectées à l'entreposage de déchets radioactifs (INB 56 et CEDRA), la zone des bassins avant rejet en Durance, la station de surveillance de la radioactivité atmosphérique située à Saint Paul-lez-Durance, etc...

La CRIIRAD tient à remercier les équipes du CEA pour leur disponibilité lors des missions du 1 au 3 octobre 2008 et 5 au 6 mars 2009 et pour la transmission des documents demandés.

## 1.4 Moyens mis en oeuvre

L'expertise a été effectuée principalement et coordonnée par M. Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire et responsable du laboratoire de la CRIIRAD. Il dispose d'une expérience de plus de 15 ans dans le domaine de la radioécologie et des études d'impact de sites nucléaires.

Il s'est appuyé en tant que de besoin sur les compétences spécifiques d'autres professionnels de la CRIIRAD, en particulier :

- Mme Corinne Castanier, directrice de la CRIIRAD pour les questions réglementaires et dosimétriques,
- M Julien Syren, ingénieur géologue, titulaire de l'attestation de personne compétente en radioprotection, responsable du service radon,
- M Christian Courbon, technicien spécialisé, titulaire de l'attestation de personne compétente en radioprotection, chargé des missions de mesures et échantillonnages sur le terrain et responsable du service « balises de surveillance de la radioactivité atmosphérique » de la CRIIRAD.
- M. Stéphane Patrigeon, technicien métrologue, titulaire de l'attestation de personne compétente en radioprotection, chargé des analyses par scintillation liquide et spectrométrie gamma au laboratoire de la CRIIRAD.

Une première mission de repérage a été effectuée dans l'environnement du site par M. Chareyron le **19 mai 2008** (examen de la topographie, des principaux repères cartographiques : cours d'eau, villages, etc..).

Une seconde mission sur site a été effectuée par messieurs B Chareyron et C Courbon du **1 au 3 octobre 2008**. Le compte rendu de mission est reproduit en Annexe 3.

Une troisième mission sur site a été effectuée par M. Chareyron du **5 au 6 mars 2009**. Le compte rendu de mission est reproduit en Annexe 8.

Les radiamètres utilisés par la CRIIRAD lors de ces missions pour la réalisation de mesures à l'extérieur du site sont présentés en Annexe 5.

## 1.5 Inventaire des sources d'informations exploitées

Les différents documents consultés sont listés ci-dessous et codifiés par un chiffre entre crochets. Dans la suite du rapport la mention [2, p4] fait référence par exemple au document [2] de la liste ci-dessous , page 4.

### Point zéro radiologique

[3] Radioactivité de l'environnement en amont et en aval de Cadarache / Fascicule 1 : Base de données Radioactivité des eaux de janvier 1961 à novembre 1963. – Raymond Paulin

[4] Radioactivité de l'environnement en amont et en aval de Cadarache / Fascicule 2 : Exploitation de la base de données Radioactivité des eaux de janvier 1961 à novembre 1963. – moyennes mensuelles trimestrielles et annuelles - Raymond Paulin

[5] Radioactivité de l'environnement en amont et en aval de Cadarache / Fascicule 3 : Point zéro radioactif : air-eau de janvier 1961 à novembre 1963. – Annexes - Raymond Paulin

[6] Radioactivité de l'environnement en amont et en aval de Cadarache / Fascicule 3B : Point zéro radioactif : eau de janvier 1961 à novembre 1963. – Partie 1 – Chapitres 1 et 2 - Raymond Paulin.

**Documents de synthèse « grand public »**

[1] Comité Scientifique de l'ANCLI- Avis sur le document « Historique et état radiologique du site CEA de Cadarache et de son environnement ».

[2] Historique et état radiologique du site CEA de Cadarache et de son environnement (52 pages). Ce document comporte une liste de points de vigilance c'est-à-dire de secteurs à l'intérieur du périmètre du site au niveau desquels des contaminations (sol, eau) ont été mises en évidence.

[8] Rapport Public Annuel – Bilans relatifs aux rejets gazeux et liquides des installations nucléaires de base civiles – Année **2006** (75 pages).

[8 bis] Rapport Public Annuel– Bilans relatifs aux rejets gazeux et liquides des installations nucléaires de base civiles – Année **2007** (68 pages).

[9] Rapport transparence et Sécurité Nucléaire **2006**, Tome 1, CEA Cadarache et Tome 2, AREVA NC, Etablissement de Cadarache.

[10] Note du CHSCT du CEA Cadarache du 28 juin 2007 sur rapport TSN 2006.

[11] Note du CHSCT de AREVA NC établissement de Cadarache du 26 juin 2007 sur rapport TSN 2006.

[18] Rapport transparence et Sécurité Nucléaire **2007**, Tome 1, CEA Cadarache.

[19] Rapport transparence et Sécurité Nucléaire **2007**, Tome 2, INB 32 et 54, AREVA NC, Etablissement de Cadarache.

**Documents techniques**

[7] **Arrêté du 5 avril 2006** autorisant le Commissariat à l'énergie atomique à poursuivre la consommation d'eau, les transferts et rejets d'effluents liquides ainsi que les rejets d'effluents gazeux pour l'exploitation des installations nucléaires de base civiles du site de Cadarache.

[12] Rapports annuels « Environnement » du centre de Cadarache du 2eme semestre 1961 à 2006.

Selon les années il peut s'agir de rapports trimestriels, semestriels ou annuels.

[13] Etat radiologique du centre – fiches par installation (55 pages)

Ce document compilé par le CEA à la demande de la CRIIRAD présente pour chaque INB civile les activités, les déchets générés et la « liste des événements radiologiques significatifs qui ont pu ou auraient pu avoir un impact sur l'environnement ».

[14] Incidents de 1993 à 2005 : lettres de déclaration d'incidents adressées par le CEA Cadarache à la DSIN ou la DGSNR. (12 incidents)

[15] Historique des méthodes de calculs des bilans des rejets liquides et gazeux du CEA de Cadarache – SPR, 31 janvier 2002.

[16 / année / RG] SCPRI / CEN Cadarache – registre réglementaire des rejets gazeux (années 1979 à 2006)

[16 / année / RL] SCPRI / CEN Cadarache – registre réglementaire des rejets liquides (années 1979 à 2006)

[16 / année / ME] SCPRI / CEN Cadarache – registre réglementaire des étalonnages des appareils de mesure et des résultats des mesures d'environnement (années 1979 à 2006)

[17] Registres « rejets gaz », « rejets liquides » et « environnement » SCPRI avril-mai-juin 1986

[20] Département d'Etudes des Combustibles , STAR et LECA (plaquette de présentation).

[21] Bilan des opérations de transferts à la station d'épuration des effluents industriels du centre et des rejets liquides et gazeux au milieu naturel – courrier du CEA Cadarache à l'ASN – données de mai et juin 2008.

[22] Conséquences radiologiques des rejets radioactifs du CEA de Cadarache – étude de 2005 (15 pages)

[23] Bilan des transports radioactifs à partir de Cadarache en 2007 – rédaction novembre 2008 (1 page) et mise à jour de février 2009.

[24] Cartographie iso-dose héliportée du rayonnement gamma sur le centre de Cadarache / Etude de 2001 / Transmission à la CRIIRAD en février 2009.

[25] Réponses aux questions soulevées par la CLI de Cadarache suite à la lecture du rapport CRIIRAD N°08-167 V0.

## 1.6 Organisation du rapport

Les questions de radioprotection nécessitent le recours à des concepts et à une terminologie bien spécifiques. Afin que le texte du présent rapport soit accessible au lecteur non spécialisé nous avons regroupé en [Annexe 1](#) un certain nombre de notions générales sur la radioactivité et la radioprotection.

Le rapport est organisé autour de thèmes principaux listés ci-dessous

1 / L'exposition externe ajoutée

2 / Les rejets radioactifs atmosphériques et leur impact. Sont traitées plus particulièrement la question des rejets de tritium, gaz rares, radon et carbone 14 compte tenu des activités rejetées et/ou des lacunes relevées dans le plan de surveillance.

3 / La surveillance des eaux souterraines.

4 / La surveillance du milieu aquatique de surface (impact des rejets radioactifs liquides en Durance et suivi des eaux de ruissellement).

La surveillance du milieu terrestre et de la chaîne alimentaire est commentée au sein des thèmes 2 à 4.

L'analyse des documents a été effectuée par thème (par exemple rejets de carbone 14, contrôle des eaux souterraines, impact sur les plantes aquatiques).

Pour chaque thème sont analysés les résultats de surveillance actuelle du CEA (années 2006 ou 2007) car les données analytiques sont en général plus nombreuses et les sensibilités de mesure plus fines.

Un aperçu sur la surveillance historique et les évolutions au cours du temps est également présenté.

Pour le volet historique, il a été effectué un examen par sondage à partir des rapports environnement de 1961 puis tous les 10 ans (1971, 1981, 1991, 2001). Les registres environnement mensuels ont été consultés ponctuellement pour vérifier des points spécifiques non détaillés dans les rapports annuels.

Des recommandations sont formulées à la fin de chaque paragraphe.

Un document synthétique distinct du présent rapport reprendra les principales recommandations pour l'amélioration du plan de surveillance radiologique et présentera un résumé de l'étude accessible au public.

## 2 Exposition externe

### 2.1 Généralités

Dans l'environnement d'une installation nucléaire, les riverains sont susceptibles d'être exposés à des rayonnements provenant :

- Des matières radioactives ou déchets radioactifs entreposées à l'intérieur du site nucléaire. Cet impact va être sensible le plus souvent à proximité de la zone de la clôture concernée par cet entreposage.
- De l'irradiation induite par la présence dans l'atmosphère de substances radioactives imputables à des rejets atmosphériques contrôlés ou accidentels. Cette composante peut être très ponctuelle.
- De l'irradiation induite par le dépôt au sol de radionucléides rejetés par l'installation par voie atmosphérique ou liquide (contamination des sédiments et terres des berges).
- De l'irradiation induite par le transport de matières radioactives.

Cette exposition peut être imputable à plusieurs types de rayonnements pénétrants (bêta) ou très pénétrants (gamma et neutrons).

L'exposition externe s'exprime par la mesure d'un débit de dose exprimé en microSieverts par heure ( $\mu\text{Sv/h}$ ) ou en nanoSievert par heure ( $\text{nSv/h}$ ). La correspondance est la suivante :  $100 \text{ nSv/h} = 0,1 \mu\text{Sv/h}$ .

Lorsque les radiations en cause sont des rayonnements gamma les 2 unités (Sievert et Gray) se confondent ( $100 \text{ nSv/h} = 100 \text{ nGy/h}$ ).

L'exposition annuelle cumulée peut être calculée à partir des mesures de débit de dose en multipliant ces résultats par le temps passé en chaque lieu. On obtient alors des microSieverts par an.

### 2.2 Résultats du CEA

#### 2.2.1 Mesures anciennes

Dans les années 70 et 80, des mesures de débit de dose gamma étaient effectuées lors de campagnes autoportées. A titre d'exemple, les résultats de l'année 1981 sont détaillés ci-dessous.

- A l'intérieur du site il s'agissait de mesures hebdomadaires suivant un parcours jalonné de 54 points fixes.

Le rapport de 1981 par exemple fait état de relevés hebdomadaires très hétérogènes selon les stations (de 9 à  $1\,300 \mu\text{rad/h}$  soit  $0,09$  à  $13 \mu\text{Sv/h}$ ).

La station N°27 à l'intérieur du site est celle qui présente les valeurs les plus élevées avec une variation temporelle assez significative. Sur l'année 1981 les valeurs hebdomadaires sont comprises entre 105 et  $1\,300 \mu\text{rad/h}$  à la station N°27 située<sup>1</sup> près d'un bâtiment dénommé « stockage matières de base ».

Les points situés à l'intérieur du Centre au niveau des **clôtures** (N°2 à N°17) présentent des valeurs comprises entre 9 et  $21 \mu\text{rad/h}$  soit de  $0,09$  à  **$0,21 \mu\text{Sv/h}$** .

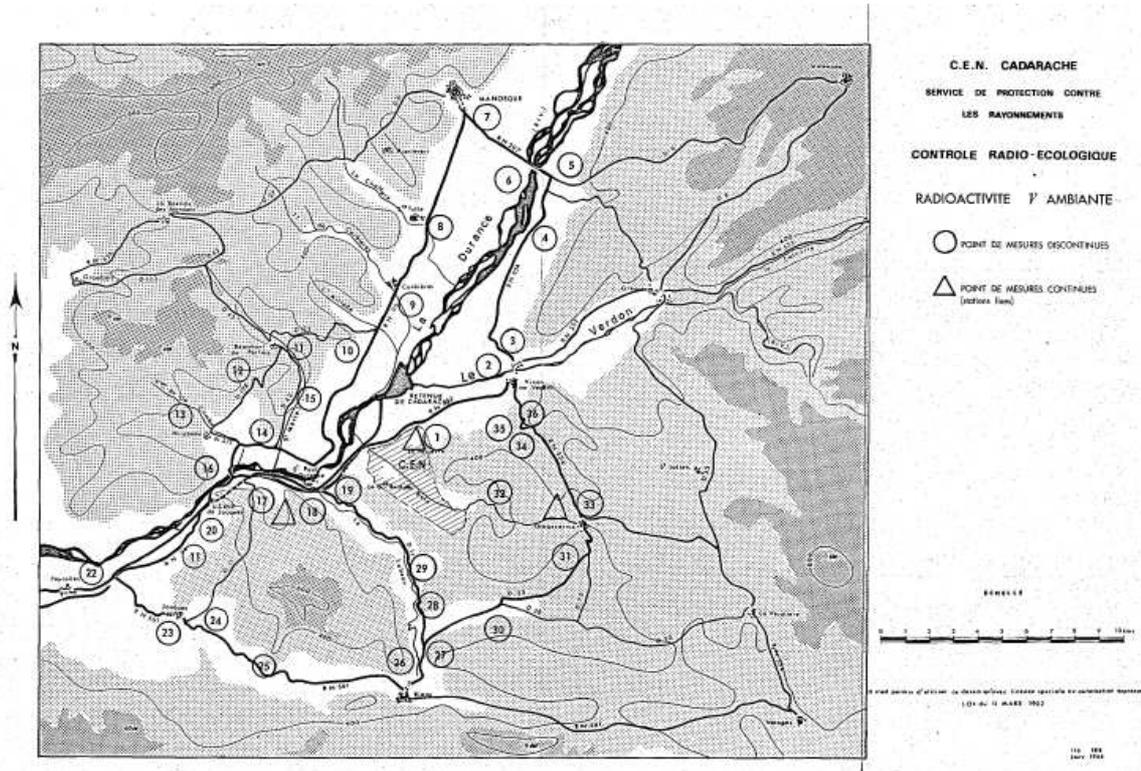
- A l'extérieur du site « des véhicules, équipés d'un scintillomètre de grande sensibilité, relevaient l'irradiation gamma ambiante au long d'un parcours couvrant les environs du site » [12-1981].

<sup>1</sup> Selon carte du rapport de 1985. La carte ne figure pas dans le rapport de 1981.

Le rapport de 1981 fait état de relevés trimestriels. Les résultats obtenus en 39 points étaient relativement homogènes (9 à 12  $\mu\text{rad}/\text{h}$  soit 0,09 à 0,12  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ). Des résultats comparables figurent dans le rapport de 1985.

Comme le montre la carte de localisation des 39 points à l'extérieur du centre leur distance par rapport à ce dernier était en règle générale beaucoup trop importante pour pouvoir mettre en évidence un impact radiamétrique direct de ce dernier.

### Carte CEA de 1981 / Contrôle trimestriel de la radioactivité gamma ambiante dans l'environnement du centre de Cadarache



En ce qui concerne l'influence de la catastrophe de Tchernobyl sur ces relevés, les rapports annuels transmis par le CEA ne comportent pas pour l'année 1986 le volume « environnement de centre » mais seulement le volume « intérieur du centre ». Ce document fait apparaître un triplement du débit de dose gamma ambiant durant la première semaine de mai 1986.

### 2.2.2 Dispositif de surveillance actuel

A Cadarache, l'exposition externe liée au rayonnement gamma fait actuellement l'objet de mesures au moyen de 2 dispositifs complémentaires :

- Des mesures en continu effectuées en 5 stations dans les villages (Saint-Paul-Les-Durance, et Ginasservis) et sur le site nucléaire (Grande Bastide, Verrerie, Cabri).
- Des mesures intégrées effectuées aux moyens de dosimètres passifs implantés en vingt points de la clôture du centre et relevés chaque mois ou chaque trimestre.

## Mesures en continu

Les valeurs relevées par le CEA en 2006 [8, p28] sont reproduites ci-dessous.

**Tableau 32 : Doses ambiantes maximales et moyennes (en nGy/h) mesurées sur les stations de Ginasservis, Saint Paul-Lez-Durance, la Grande Bastide, la Verrerie et de Cabri.**

Station de surveillance de l'environnement	VALEUR MAXIMALE en 2006 (nGy/h)	VALEUR MOYENNE en 2006 (nGy/h)
GINASSERVIS	200	74
S <sup>1</sup> -PAUL-LEZ-DURANCE	226	79
GRANDE BASTIDE	98	70
VERRERIE	129	75
CABRI	134	75

On constate que les valeurs moyennes annuelles sont très proches pour les 5 stations et de l'ordre de 70 à 79 nGy/h (**0,07 à 0,08 µSv/h**). Ces résultats correspondent effectivement au niveau naturel de rayonnement gamma attendu dans la région.

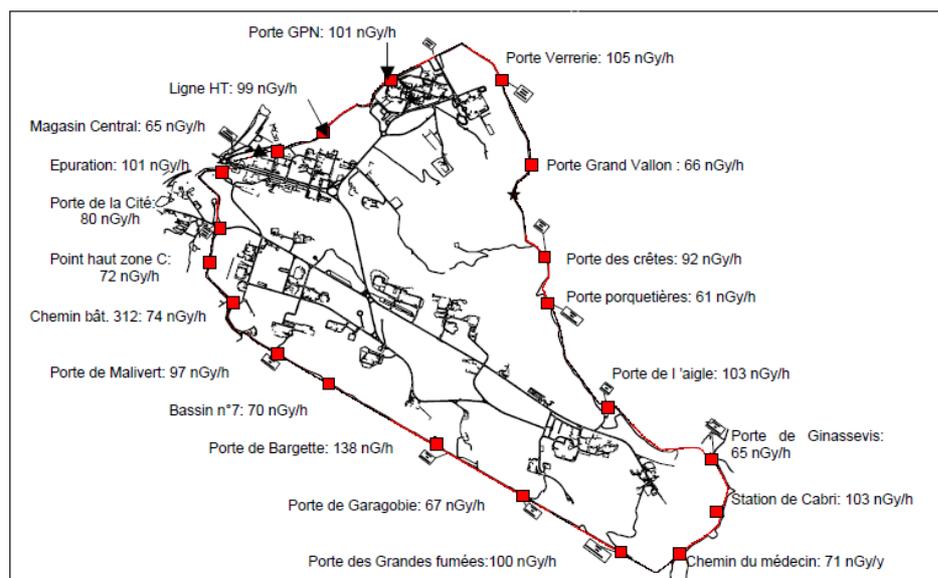
Le CEA note [8, p28] que « *la valeur moyenne en France du total de l'exposition due aux rayonnements d'origine tellurique et d'origine cosmique est de 97 nGy/h* » (soit 0,097 µSv/h).

Il serait intéressant d'expliquer les valeurs maximales instantanées 3 à 4 fois supérieures aux valeurs moyennes à Saint-Paul-Lez-Durance et Ginasservis alors que l'écart n'est que 2 et moins pour les 3 autres stations. En réponse à cette question, le CEA a indiqué en octobre 2008 à la CRIIRAD que cette différence provient d'un pas d'échantillonnage avant transmission des données différent selon les stations.

## Mesures intégrées

La carte du CEA où figurent les valeurs de débit de dose mesurées à la clôture en 2006 [8, p29] est reproduite ci-dessous. Le CEA a confirmé lors de la réunion du 5 mars 2009 qu'il s'agit des valeurs brutes sans soustraction du bruit de fond enregistré par le dosimètre témoin<sup>2</sup>.

**Carte CEA année 2006 / débit de dose moyen à la clôture**



<sup>2</sup> Ce dosimètre est conservé dans un château de plomb à Cadarache et pourrait servir à détecter par exemple une exposition anormalement élevée imputable aux conditions de transport du lot de dosimètres à l'aller ou au retour.

On observe une certaine variabilité des mesures selon les stations avec une fourchette comprise entre 61nGy/h (porte porquetières) et 138 nGy/h (porte de Bargette), soit un facteur supérieur 2.

Le débit de dose annuel moyen à la porte de Bargette est presque 2 fois supérieur au niveau enregistré par le CEA dans l'environnement lointain (75 nGy/h à Manosque). Un tel écart est très significatif et mérite une explication.

Le commentaire que donne le CEA dans le rapport public annuel 2006 [8, p29] ne relève pas ces différences et n'y apporte aucune interprétation. Le texte est dupliqué ci-dessous :

Les valeurs mesurées en différé en clôture du site sont en accord avec celles mesurées en continu au niveau des stations de surveillance de l'environnement.

Les valeurs de dosimétrie ambiante mesurée en clôture de site en 2006 sont identiques à la valeur moyenne relevée les cinq dernières années.

Un commentaire identique figure dans le rapport public annuel 2007 [8 bis, p25].

Ce type de commentaire laisse penser au lecteur que le niveau de radiation à la clôture du site est normal et ne témoigne d'aucun impact. Cela ne correspond pas à la réalité.

S'agissant de la porte de Bargette, le niveau de radiation gamma, près de 2 fois supérieur à la normale, est bien lié à l'impact du site nucléaire et plus précisément au rayonnement induit par les déchets radioactifs entreposés dans les bâtiments et alvéoles bétonnées de l'INB 56.

Ceci est clairement indiqué dans le rapport technique « Bilan annuel 2006 des rejets radioactifs » [12-2006, p36] dont un extrait est dupliqué ci-dessous :

Comparaison entre le débit de dose moyen en nGy/h depuis 1998 et l'année 2006 (Chemin de ronde)

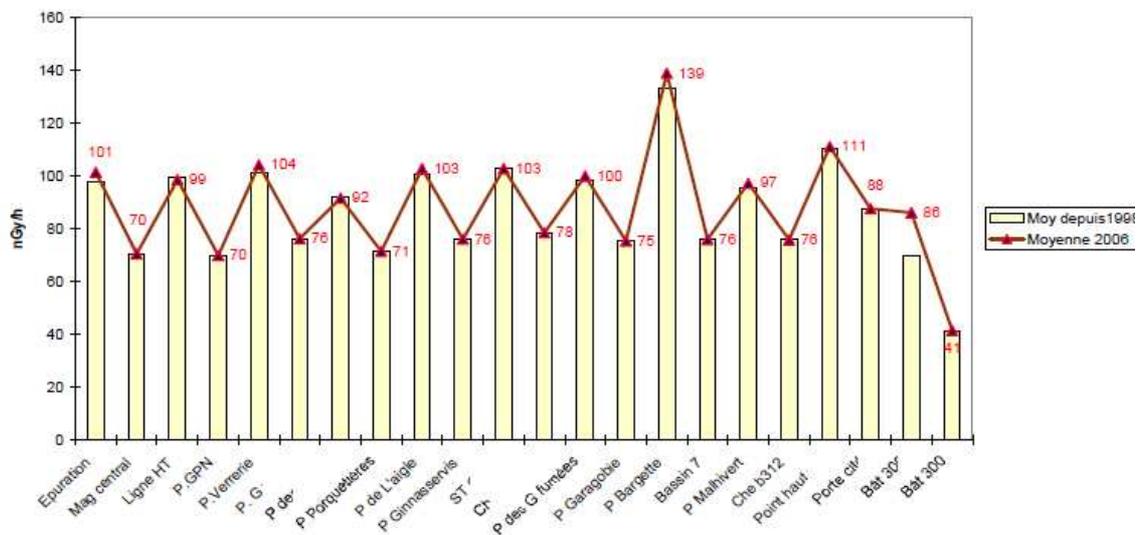


Figure 29 : Valeurs annuelles moyennes de dosimétrie ambiante (en nGy/h) mesurées en clôture de site pour 2006, comparées aux valeurs moyennes depuis 1998.

Les valeurs mesurées en différé en clôture du site sont en accord avec celles mesurées en continu au niveau des stations de surveillance de l'environnement.

La valeur moyenne mesurée à la porte de Bargette (139 nGy/h) est supérieure à la moyenne générale (90 ± 19nGy/h). Elle s'explique par la présence à proximité d'un entreposage de déchets radioactifs (INB 56), qui a donc pu influencer la mesure.

Les valeurs de dosimétrie ambiante mesurée en clôture de site en 2006 sont identiques à la valeur moyenne relevée les cinq dernières années.

Ce document montre que les mesures moyennes annuelles de débit de dose gamma ambiant à la clôture du centre sont relativement stables dans le temps sur la période 1998-2006 à l'exception de l'avant dernière station et que la porte de Bargette présente un niveau de radiation nettement supérieur aux autres secteurs.

Dans le cadre de la mission de terrain d'octobre 2008 la CRIIRAD a réalisé des mesures radiométriques en présence du CEA à l'extérieur de la clôture au niveau de la porte de Bargette.

L'impact radiométrique de l'installation INB 56 (entreposage de déchets radioactifs) est effectivement sensible<sup>3</sup> :

A / latéralement.

Le niveau de radiation gamma augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de l'INB 56. L'excès est déjà sensible à l'intérieur de la voiture circulant sur la route goudronnée extérieure puisque l'on passe de 30-40 c/s DG5 à 50-70 c/s DG5 lorsque l'on a un visuel sur les bâtiments de l'INB 56 à une distance de plus de 100 mètres.

A pied, les niveaux radiométriques enregistrés sont plus élevés (disparition d'un léger effet protecteur par les parois du véhicule). Au milieu de la chaussée goudronnée on mesure **90-100 c/s** et les valeurs vont progressivement s'accroître au fur et à mesure de l'approche de la clôture pour atteindre **250 c/s**.

B / longitudinalement

Le long de la clôture, sur l'ensemble du parcours effectué (plus de 200 mètres), on mesure un flux de rayonnement gamma environ **2 à 6 fois supérieur au bruit de fond naturel (200 à 380 c/s)**.

Le débit de dose mesuré au moyen d'un compteur proportionnel compensé en énergie (cf Annexe 5) est de 134 nGy/h (valeur comparable à la moyenne indiquée par le CEA de 135 nGy/h en moyenne annuelle 2007). Par manque de temps nous n'avons pu cependant longer la clôture jusqu'à atteindre le dosimètre fixe du CEA. Les comparaisons ne sont donc pas effectuées strictement au même endroit.

Ces mesures permettent de confirmer que les rayonnements émis par les déchets radioactifs entreposés à l'INB 56 sont bien à l'origine d'une augmentation du niveau de radiation gamma à l'extérieur de la clôture du site (facteur 2 à 6) sur plusieurs centaines de mètres le long de la clôture et plus de 100 mètres latéralement.

### Impact dosimétrique au droit de l'INB 56

Le secteur concerné au droit de l'INB 56 est certes un terrain privé appartenant au CEA, mais il est situé à l'extérieur de la clôture du site. Le secteur est accessible au public (promeneurs, chasseurs).

Une estimation dosimétrique est proposée dans le tableau ci-dessous :

Débit de dose moyen annuel 2006 à la porte de Bargette (CEA)	Niveau naturel 2006 à Manosque (CEA)	Exposition horaire ajoutée	Exposition annuelle pour 100 heures	Exposition annuelle pour 1600 heures	Exposition annuelle pour 8760 heures
nGy/h	nGy/h	µSv/h	µSv/an	µSv/an	µSv/an
138	75	0,063	6,3	101	552

Pour une fréquentation très modérée des abords du site, par exemple une heure et demie par an, l'impact dosimétrique lié à la seule exposition externe (0,09 µSv) est déjà supérieur à la dose annuelle calculée par le CEA pour évaluer l'impact radiologique des rejets liquides et gazeux du site de Cadarache (INB civiles) en 2007.

Cette valeur que le CEA estime établie selon des hypothèses majorantes est en effet calculée pour le groupe critique à « 0,077 µSv par an pour un adulte situé à Saint-Paul-Lez-Durance, après 50 ans de fonctionnement des INB du Centre » [18, p27].

Deux heures de présence à la clôture au droit de l'INB 56 (entreposage) induisent en fait une dose supérieure à l'impact « majorant » calculé par le CEA pour évaluer les conséquences des rejets radioactifs.

<sup>3</sup> Mesures effectuées à 1 mètre de hauteur au moyen d'un scintillomètre DG5 décrit en Annexe 5. Résultats exprimés en coups par seconde (c/s).

.Une fréquentation plus régulière des abords (100 heures par an) conduirait à une exposition annuelle ajoutée de **6,3 microSieverts** soit une valeur 80 fois supérieure à l'impact calculé par le CEA pour les rejets.

Il faudra donc veiller à ce que le secteur reste à taux de fréquentation faible car l'impact pourrait ne pas être négligeable en fonction du temps de présence effectif. Ceci passe aussi par une information des riverains et de ce point de vue l'information donnée par le CEA dans les documents grand public n'est pas satisfaisante.

Ainsi le rapport Transparence et Sécurité Nucléaire 2007 [18, page 26-27] fait état de mesures de l'exposition externe mais n'indique pas clairement qu'il y a un impact du site en proximité de certaines portions de la clôture.

Le CEA a confirmé lors de la réunion du 5 mars 2009 que le public a accès à la zone proche de la clôture bien qu'elle soit sur un terrain lui appartenant.

Il s'agit essentiellement des chasseurs. Le CEA considère une exposition potentielle de 2 heures (chasseur posté), 2 fois par semaine et 10 semaines dans l'année. Cela représente une durée d'exposition de 40 heures et une exposition ajoutée de **3 microSieverts par an**. Cette valeur est 39 fois supérieure à la dose annuelle calculée par le CEA pour évaluer l'impact radiologique des rejets liquides et gazeux du site de Cadarache (INB civiles) en 2007.

## 2.3 Recommandations

### Mesures en continu

Il serait utile que le CEA détermine pour chacune des 5 stations de mesure un niveau seuil au-delà duquel l'augmentation des résultats instantanés entraînerait une recherche des causes de cette évolution et leur explicitation dans le rapport environnement. Ce niveau seuil devrait être fixé au niveau le plus bas possible tenant compte des fluctuations du bruit de fond naturel.

### Inventaire des autres secteurs sous influence et cartographie radiométrique

Le service de radioprotection du CEA nous a indiqué, lors de la mission du 1 au 3 octobre 2008, que le secteur de la porte de Bargette est le point de la clôture qui présente les valeurs moyennes de débit de dose les plus élevées actuellement, comme d'ailleurs par le passé.

Lors des discussions d'octobre 2008, les représentants du CEA n'ont pas fourni d'information permettant de connaître la stratégie retenue pour définir la localisation exacte des dosimètres de clôture. Ont-ils été positionnés au hasard le long de la clôture pour couvrir de façon relativement homogène tout le périmètre ? Ont-ils été positionnés en fonction du niveau de rayonnement gamma ?

Des relevés systématiques sont nécessaires pour établir la liste des autres secteurs de la clôture au droit desquels l'impact radiométrique du site est sensible à l'heure actuelle.

S'agissant de la dosimétrie en clôture du site, le CEA notait par exemple dans le rapport environnement 2001 [12-2001, p15] que les valeurs moyennes mesurées au point haut zone C étaient « supérieures à la moyenne générale » du fait des « cuves de stockage des effluents de l'INB 37 ». Le débit de dose moyen annuel était en ce point de 111 nGy/h en 2001. Il est de 72 nGy/h en 2006.

La CRIIRAD a recommandé dans son rapport préliminaire :

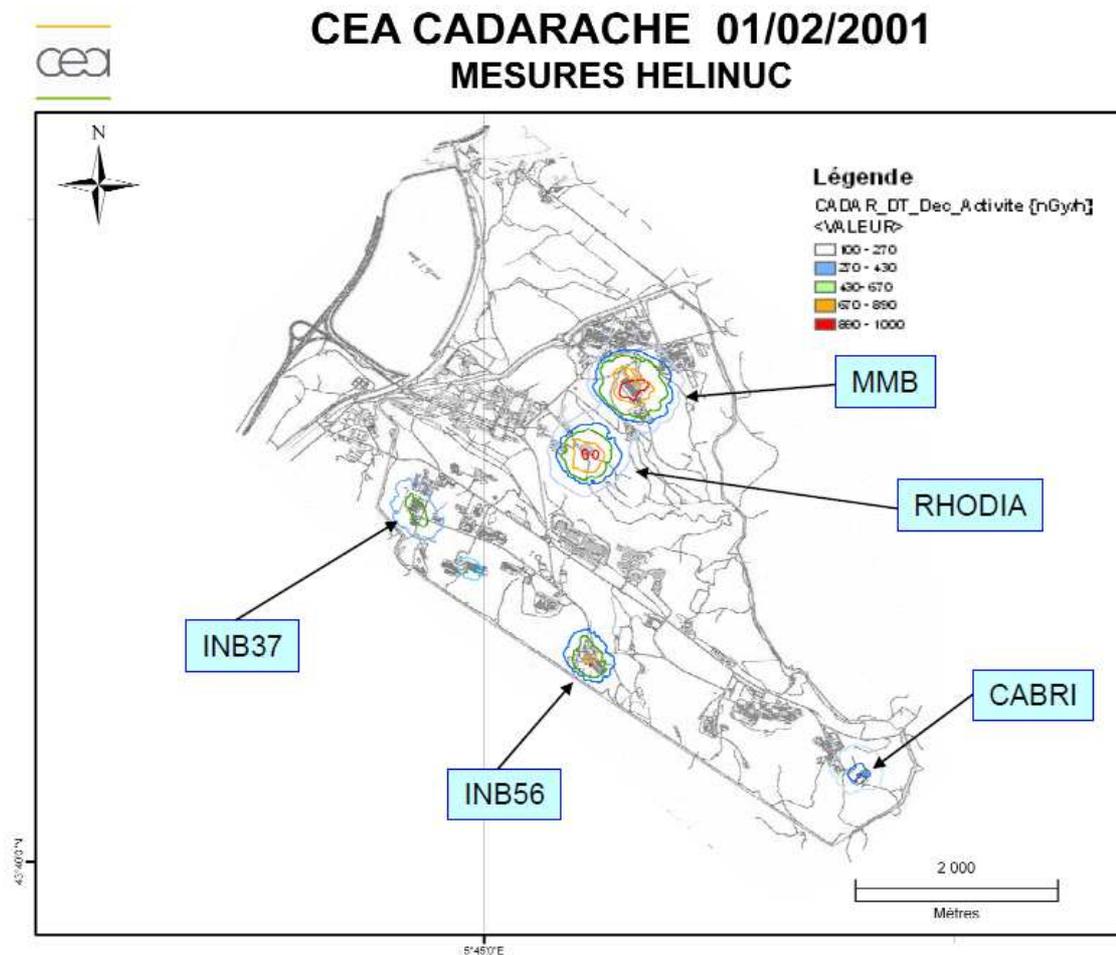
- que le CEA dresse une **liste des points de la clôture** au droit desquels le niveau de rayonnement est supérieur au bruit de fond naturel et que cette information soit portée à la connaissance des riverains afin de limiter leur séjour dans ces secteurs (principe d'optimisation de la protection).
- que soit rendue publique la **cartographie radiométrique héliportée** réalisée par le CEA au dessus du site de Cadarache et que soit vérifié le positionnement des dosimètres de clôture par rapport à cette cartographie.

S'agissant de la première recommandation, le CEA a précisé ultérieurement [25, p3] : « Fourniture de la liste des points de la clôture où le niveau de rayonnement est supérieur au Bruit de fond ambiant. Ces points sont visibles dans les rapports environnement annuels qui ont été déjà fournis à la CLI ».

Cette remarque du CEA n'apporte pas d'éléments nouveaux. En effet, la question posée est de savoir si les capteurs positionnés à la clôture par le CEA - et dont les résultats sont effectivement publiés dans les rapports environnement annuels - sont bien représentatifs de tous les secteurs pour lesquels le débit de dose à la clôture est nettement supérieur au niveau naturel.

Lors des discussions d'octobre 2008 et mars 2009 le CEA a indiqué que la méthode retenue pour l'implantation des capteurs n'était pas a priori basée sur une volonté de vérifier l'exposition sur les zones les plus sensibles mais qu'elle résultait plutôt d'une démarche visant à couvrir de façon homogène le périmètre clôt. Il n'est donc pas possible d'exclure que des zones de la clôture puissent présenter des débits de dose moyens annuels supérieurs aux valeurs publiées par le CEA.

S'agissant de la seconde recommandation, le CEA a transmis à la CLI en février 2009, la **cartographie héliportée** de 2001 [24]. Un extrait est reproduit ci-dessous.



Ce document donne le débit de dose mesuré par hélicoptère à **40 mètres de hauteur** au voisinage des INB du site.

Ces valeurs doivent être interprétées en gardant à l'esprit que le débit de dose réel subit au voisinage de l'installation est susceptible d'être nettement plus important que la valeur mesurée à 40 mètres car le niveau de radiation augmente avec la proximité de la source.

A l'inverse, le débit de dose réellement subit au niveau du sol pour une personne située latéralement à une installation est susceptible d'être inférieur à la valeur mesurée « au dessus » car, comme l'a souligné le CEA le 5 mars 2009, les protections biologiques sont dimensionnées pour protéger sur les côtés et pas forcément sur le dessus.

En ce qui concerne les clôtures, la cartographie héliportée de 2001 confirme en tout cas que - le jour du contrôle - les 2 secteurs pour lesquels l'exposition externe imputable au site était la plus élevée étaient le voisinage de l'**INB 56** (entreposage de déchets radioactifs solides) et dans une moindre mesure de l'**INB 37** (STEDS avec cuves d'effluents radioactifs). Ceci est cohérent avec les résultats des mesures mensuelles.

Pour aller plus loin, il serait utile de revenir sur le choix des valeurs représentées sur la carte. Le CEA considère [24, p4] « que le bruit de fond d'origine naturelle sur le centre de Cadarache se situe entre 90 et 100 nGy/h. En conséquence, pour s'affranchir du bruit de fond, les valeurs situées en dessous de 100 nGy/h ne sont pas représentées ».

Dans la mesure où le bruit de fond au niveau du sol est susceptible de descendre entre 60 et 80 nGy/h à Cadarache, et compte tenu du fait que la composante tellurique à 40 mètres de hauteur va être inférieure à celle mesurée au sol, la CRIIRAD recommande que le CEA **édite une version** de cette carte héliportée avec prise en compte des gammes : 60 à 80 nGy/h, 80 à 100 nGy/h, 100 à 150 nGy/h, 150 à 270 nGy/h. Cela permettra de vérifier si d'autres zones de la clôture sont à examiner de plus près.

S'agissant de l'exposition externe à l'intérieur du site de Cadarache, la cartographie héliportée fait ressortir clairement l'impact des INB 37 (effluents liquides), INB 56, **LECA-STAR** (combustibles usés en cellules), **CABRI**, mais surtout le magasin **MMB** (entreposage de Matières Brutes dont uranium et thorium) et l'entreposage **RHODIA**. Il est utile de remarquer que les impacts les plus élevés sont liés à l'entreposage des matières uranifères et thorifères et pas aux activités nucléaires de l'aval du cycle. Ceci est lié en partie au fait que les matières radioactives d'origine naturelle ne sont pas gérées avec le même niveau de protection que d'autres activités nucléaires.

Lors de l'établissement de la cartographie héliportée l'acquisition porte aussi sur des spectres gamma (de 40 keV à 2 800 keV). Leur traitement permet de repérer un certain nombre de radionucléides à condition que leur désintégration s'accompagne de l'émission de rayonnements gamma. En commentaire à la cartographie héliportée, le CEA a produit le tableau ci-dessous [24, p6] :

On constate que 5 zones se détachent du bruit de fond

*Tableau 1 : explication des différentes émissions constatées*

Zone	Activité	Radionucléides prépondérants
ICPE MMB	Entreposage de matières brutes	Uranium 238, Thorium 232
ICPE RHODIA	Entreposage de résidus d'extraction des terres rares	Uranium 238, Thorium 232
INB24 CABRI	Réacteur de recherche	Uranium 238, Césium 137, Cobalt 60
INB56	Entreposage de déchets	Uranium 238, Thorium 232, Césium 137, Cobalt 60, Argent 110m
INB37	Entreposage de déchets ; traitement des effluents	Uranium 238, Césium 137, Cobalt 60

Ces spectres de radionucléides correspondent aux activités des installations

Lors des discussions du 5 mars 2009, la CRIIRAD a demandé des précisions sur la détection de l'**uranium 238** au niveau du site CABRI. Ces précisions pourront être apportées ultérieurement.

### Type de radiation contrôlé

Qu'il s'agisse des mesures en continu au niveau des 5 stations ou des 20 dosimètres passifs situés aux clôtures de l'installation, seuls les **rayonnements gamma** sont enregistrés.

Il serait utile de vérifier la pertinence du contrôle d'autres types de radiations : rayonnements **bêta** (liés par exemple aux rejets de gaz rares à l'atmosphère) et rayonnements **neutroniques**. En effet, pour certaines matières radioactives (uranium enrichi, plutonium, combustibles usés) le rayonnement neutronique est loin d'être négligeable.

La CRIIRAD a par exemple mesuré en juillet 1998, près de Lyon, à une distance de 3,5 à 4 mètres d'un wagon transportant des combustibles irradiés en provenance de la centrale du Bugey, un débit de dose gamma de 17  $\mu\text{Sv/h}$  (valeur 170 fois supérieure au niveau naturel) et un débit de dose neutrons de 6,8  $\mu\text{Sv/h}$ . Une évaluation de l'exposition des riverains de la voie ferrée qui ne porterait que sur la radiation gamma sous-estimerait la dose de 30 %.

Lors de la discussion du 5 mars 2009, le CEA a confirmé qu'il n'estimait pas pertinent de réaliser une mesure neutronique à la clôture. Le CEA indique [25, p3] :

*« Les rayonnements neutroniques sont bien identifiés dans certaines installations et arrêtés par les protections mises en œuvre. Il n'y a pas lieu de mesurer les neutrons à l'extérieur de la clôture. Toutefois il est possible de réaliser des mesures ponctuelles à des fins de vérification ».*

La CRIIRAD a rappelé que, s'agissant par exemple de l'INB CABRI, certaines expérimentations avaient conduit ponctuellement à la mise en place de zones interdites d'accès dans l'environnement des installations du fait justement du flux neutronique élevé.

### Prise en compte de l'impact du transport de matières radioactives

La réglementation portant sur le transport des matières radioactives autorise un certain niveau de radiation à proximité des containers et véhicules associés au transport.

Les niveaux de radiation autorisés sont très élevés par rapport aux limites sanitaires maximales annuelles applicables aux personnes du public, alors que les véhicules circulent effectivement dans le domaine public : jusqu'à **2 000  $\mu\text{Sv/h}$  au contact** des parois du véhicule et **100  $\mu\text{Sv/h}$  à 2 mètres** soit des valeurs respectivement 20 000 et 1 000 fois supérieures au niveau naturel.

Le potentiel d'exposition n'est pas négligeable pour le public.

Par exemple rester garé **1 minute** à côté d'un véhicule qui engendre un débit de dose de 100  $\mu\text{Sv/h}$  représente une exposition de **1,6 microSieverts**. Cette valeur est plus de 20 fois supérieure à la dose annuelle calculée par le CEA pour évaluer l'impact radiologique des rejets liquides et gazeux du site de Cadarache (INB civiles) en 2007. Cette valeur est en effet estimée à « 0,077  $\mu\text{Sv}$  par an pour un adulte situé à Saint-Paul-Lez-Durance, après 50 ans de fonctionnement des INB du Centre » [18, p27].

C'est afin d'estimer l'importance de cette voie exposition que la CRIIRAD a demandé au CEA un bilan des transports de matières radioactives entrant et sortant du site de Cadarache.

Le CEA a transmis un premier bilan auquel a été ajouté ensuite le flux de véhicules concernant AREVA NC et AREVA NP.

Ce bilan est pour l'année 2007 de :

- 441 transports entrant dont 84 transports de gammatrons (radiographies de soudures) et 7 transports de scintigraphes,
- 602 transports sortant (pour 500 en 2006) dont 482 concernent le CEA et correspondent à 1 129 colis de matières radioactives.

Le flux de véhicules susceptibles de conduire à une exposition en champ proche a donc été de **1 043 véhicules en 2007**.

Une personne qui se retrouverait 2 fois dans l'année garée pendant 30 minutes à 2 mètres de véhicules dont le débit de dose est de 100  $\mu\text{Sv/h}$  pourrait recevoir une **dose cumulée de 100 microSieverts par an**. Des scénarii plus pessimistes pourraient même conduire à un dépassement de la dose maximale annuelle admissible de 1 000 microSieverts par an.

Dans le cadre de la mission d'octobre 2008, la CRIIRAD a pu constater par exemple sur le parking à l'entrée du site de Cadarache, le stationnement d'un camion transportant des matières radioactives (classe 7) et présentant au contact un niveau de radiation gamma de 8 000 c/s (scintillomètre DG5) soit une valeur plus de 80 fois supérieure au niveau naturel.

La CRIIRAD a recommandé dans le rapport préliminaire que le CEA transmette à la CLI les résultats des mesures systématiques de débit de dose effectuées en champ proche des véhicules de transport de matières radioactives ainsi qu'une évaluation de l'impact dosimétrique du transport sur les riverains du centre.

En effet, le système de mesure actuel de l'exposition externe n'est pas adapté pour l'évaluation de cet impact. Les dosimètres de clôture ne sont pas situés en proximité des voies de circulation et aires de stationnement. C'est également le cas des stations de mesure en continu du débit de dose gamma ambiant (par exemple la station de Saint-Paul-lez-Durance).

Il serait utile que le CEA fournisse des précisions sur les voies de circulation empruntées par ces véhicules et les secteurs où ils sont susceptibles de stationner.

Lors des réunions de travail du 1 au 3 octobre 2008, le CEA a indiqué que ces informations ne pouvaient être fournies pour des raisons de sécurité.

La problématique du transport a été abordée à nouveau lors de la réunion du 5 mars 2009.

Le représentant du CEA a apporté en séance les informations complémentaires suivantes :

*« Bilan des transports de colis nucléaires entrant et sortant du site depuis 1959 : Depuis plus de 5 ans le nombre de transports sortant est de l'ordre de 500 pour le CEA et de l'ordre de 100 pour AREVA. Le nombre de transports entrants est équivalent. »*

*« Relevés des débits de doses mesurés à un mètre des véhicules de transport de colis nucléaires : Ces relevés sont établis pour chaque transport, mais l'information n'est pas disponible de façon synthétique et compilée. A titre indicatif, une estimation de dose pour les personnes du public les plus exposées a été faite : Le CEA a réalisé un calcul en considérant les hypothèses suivantes : 90% des transports à 5  $\mu\text{Sv/h}$  et 10 % à 100  $\mu\text{Sv/h}$  sur un temps d'exposition de 10 secondes (cas hypothétique d'un péagiste) pour 500 transports (étant donné que les entrées se font sur péage automatique). Le résultat est de 20  $\mu\text{Sv}$  pour le péagiste dans un cas très pessimiste (la distance de 2 m n'est pas vraie durant 10 s). Si on considère qu'il faut 5 personnes pour occuper un poste, le résultat final par personne est de 5  $\mu\text{Sv/an}$ . »*

La CRIIRAD considère que cette estimation devra être affinée à l'avenir, en demandant au CEA de recueillir les données des mesures effectuées par le SPR pour les véhicules sortant du site.

En effet les valeurs utilisées ci-dessus par le CEA ne sont pas issues de statistiques documentées mais d'estimations effectuées en interrogeant les personnels du SPR.

Par ailleurs une durée d'exposition de 10 secondes n'est pas une valeur « pessimiste ». Plusieurs catégories de personnels professionnels ou « grand public » sont susceptibles d'être exposées pendant des durées de plusieurs dizaines de minutes (par exemple lors d'un embouteillage) voire plusieurs heures<sup>4</sup> à proximité des véhicules.

La CRIIRAD recommande que la CLI diffuse aux riverains une information les invitant à ne pas stationner inutilement à proximité de véhicules transportant des matières radioactives, ces véhicules étant facilement reconnaissables au moyen de l'affichage réglementaire (trèfle radioactif) sur les parois des véhicules.

<sup>4</sup> Voir note CRIIRAD N°07-104 d'août 2007 sur [www.criirad.org](http://www.criirad.org)

### 3 Rejet de tritium à l'atmosphère

#### 3.1 Généralités

Le tritium est un radionucléide émetteur bêta de basse énergie et de période physique égale à 12,3 ans. Il est présent naturellement dans l'environnement.

Les réactions de fission nucléaire et certaines réactions d'activation neutronique conduisent à la production de tritium artificiel. Le tritium étant un isotope radioactif de l'hydrogène (le plus petit atome existant) il est très difficile à confiner et est le plus souvent rejeté intégralement aux cheminées des INB.

Dans l'environnement, le tritium se retrouve assez rapidement sous forme de vapeur d'eau H<sub>2</sub>O tritiée : risques d'inhalation et d'ingestion et transfert par la peau.

Dans l'environnement une partie du tritium est métabolisée par les plantes et rejoint la chaîne alimentaire sous une forme plus radiotoxique que l'eau tritiée : l'OBT : Organically Bound Tritium.

#### 3.2 Evaluation des rejets atmosphériques par le CEA

##### Limites réglementaires

L'arrêté de rejet de 1978 fixait une limite annuelle de rejet globale (555 000 GBq) pour la somme des rejets de gaz et tritium.

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 a créé des catégories plus spécifiques (gaz rares radioactifs, tritium, carbone 14) et fixé des limites par INB.

S'agissant du tritium, la somme des limites de rejet pour l'ensemble des INB de Cadarache est de **17 578 GBq/an pour les INB civiles** et 45 GBq/an pour l'INBS.

A titre de comparaison sont listées dans le tableau T1 ci-dessous les limites de rejets de tritium à l'atmosphère d'autres sites nucléaires en France :

**T1 / Autorisations de rejet annuel de tritium à l'atmosphère de sites nucléaires en France**

Site	Type d'installation	Tritium (GBq)
Saint-Laurent	Centrale électronucléaire 2 REP 900 MW, 2 UNGG arrêtés	4 000
Gravelines	Centrale électronucléaire 6 fois 900 MW	12 000
Cadarache	Recherche (INB civiles)	17 578
Cadarache	INBS	45
ILL Grenoble	Réacteur de recherche 58,3 MWt (eau lourde)	75 000
Superphénix	Phase de démantèlement réacteur neutrons rapides	100 000
La Hague	Usine retraitement AREVA	150 000
Saclay	Recherche	560 000
CEA Valduc	Nucléaire militaire	1 850 000
CEA Buyères le Chatel	Nucléaire militaire	1 850 000
Marcoule	Nucléaire militaire	10 000 000

On remarque qu'en ce qui concerne le tritium, le Centre de Cadarache dispose d'autorisations de rejets supérieures à celle de la plus grande centrale électronucléaire française (Gravelines).

Comme indiqué dans le tableau ci-dessous l'essentiel des autorisations du centre de Cadarache provient de l'**INB 55** (7 000 GBq/an) et de **CEDRA** (10 000 GBq/an) qui ne sont pas des réacteurs.

En ce qui concerne les réacteurs de Cadarache, les autorisations de rejets de tritium les plus importantes sont celles de **Masurca** (370 GBq/an) et **Cabri** (200 GBq/an) dont les puissances thermiques sont respectivement de 5 KW et 25 MW.

Par comparaison à la centrale de Gravelines dont la puissance thermique est de l'ordre de 16 200 MW, le ratio autorisation de rejet de tritium / puissance thermique de Cabri et Masurca est respectivement 11 fois et 100 000 fois supérieur (valeur arrondie) à celui de Gravelines.

### Année 2007

Le CEA effectue des mesures de l'activité du tritium au niveau des cheminées (barboteur) d'un certain nombre d'installations dont la liste est précisée par l'arrêté.

Nous avons regroupé dans le tableau T2 ci-dessous les rejets de tritium à l'atmosphère déclarés par le CEA en 2007, les autorisations de rejet annuel imposées par l'arrêté interministériel du 5 avril 2006 pour chaque installation et des remarques issues de la consultation des registres détaillés de mai et juin 2008 [21]. Les réacteurs nucléaires figurent en bleu.

**T2 / rejets annuels de tritium à l'atmosphère mesurés par le CEA Cadarache en 2007**

Nom INB	Code INB	Autorisation (GBq)	Rejet Annuel 2007 en GBq	Type de surveillance (1)	Remarques : rejets de mai-juin 2008
Pegase Cascad	INB 22	VA	Inconnu (Non mesuré sur E27)*	E27 H	Mai 2008 = 0,57 GBq / Juin 2008 = 0,7 GBq
CABRI et SCARABEE	INB 24	200	8,2	E34 M	Stabilité
RAPSODIE+LDAC	INB 25	VA	Inconnu (Non mesuré sur E75)*	E75 H	Juin 2008 = 0 ?? Alors qu'avis d'incident : 0,238 GBq en juin et juillet 2008
ATPu / AREVA	INB 32			-	A priori non retenu dans le spectre
STEDS	INB 37	3	0,751	E10 H / E66 M	Augmentation : 1,96 GBq à fin juin 2008
MASURCA	INB 39	370	1,46E-02	E36 M	
HARMONIE	INB 41	-	Démantelé		
EOLE MINERVE	INB 42-95	VA	Inconnu (Non mesuré sur E31)*	E31 H	Pas de résultat en mai et juin 2008 en E31
ATUe	INB 52			-	A priori non retenu dans le spectre
MCMF	INB 53				Mai 2008 ? / Juin 2008 tritium non renseigné
LPC / AREVA	INB 54				A priori non retenu dans le spectre
LECA	INB 55 LECA	4000	0,282	E22 M	Augmentation probable 2008 / 2007
STAR	INB 55 STAR	3000	1,71	E64 M	Augmentation probable 2008 / 2007
Entreposage	INB 56	5,1	0,202	E41 et E67 M	
PHEBUS	INB 92	VA	Inconnu (Non mesuré sur E43)*	E43 H	Mai 2008 = 0,36 GBq
IRCA	(INB 121)				
LEFCA	INB 123			-	A priori non retenu dans le spectre
CHICADE	INB 156	VA	Inconnu (Non mesuré sur E56)*	E56 H	Non mesuré en Juin 2008
CEDRA	INB 164	10 000	0,897	Incomplet (Non mesuré sur E79 M car émissaire non construit)*	mai 2008 E77 (?) / juin 2008 E77= 0,0705 GBq

Total (GBq)

17 578,1

12,1

\* Métrologie différée au 25/4/08 selon arrêté interministériel  
VA = vérification d'absence  
(1) N° de l'émissaire et mesure sur échantillon heb domadaire (H) ou mensuel (M)

Compte tenu de l'absence de mesures au niveau de certains émissaires l'estimation des rejets de tritium (12,1 GBq) est partielle. En 2007, les installations qui ont le plus contribué aux rejets de tritium sont les INB 24 (Cabri) et INB 55 (STAR). A noter en outre les rejets des entreposages (INB 56 et CEDRA) et de la STEDS (INB 37).

### Période 1996-2006

Les résultats de la période 1996 à 2006 sont reportés dans le tableau T3 ci-dessous à partir des valeurs relevées dans les rapports correspondants (bi-mensuels à annuels selon les années). Il faut garder à l'esprit qu'il s'agit de résultats partiels, certains émissaires n'étant pas contrôlés.

### T3 / rejets annuels de tritium à l'atmosphère mesurés par le CEA Cadarache de 1996 à 2006

Année	H3 (GBq)	Commentaire CEA
2006	27	
2005	57,2	
2004	132	Rejets INB 24 en fev / rejets INB 39 en mai-juin-juillet
2003	220	Rejets INB 39 déclarés depuis février 2003 / rejets INB 24 et 39 en janv-mai-oct
2002	249	incident INB 24 les 29 et 30 août
2001	72	rejet INB 24 en janv-fev-avr / rejet INB 55 en mai
2000	468	
1999	475	rejet SURA (INB 24) en novembre
1998	407	
1997	25	
1996	122	

Sur la période 1996 à 2005 les rejets annuels de tritium déclarés par le CEA étaient compris entre 25 GBq (en 1997) et 475 GBq (en 1999) soit **une variation d'un facteur 19**.

Cette forte variabilité est liée au fonctionnement des installations. La réalisation d'expérimentations sur des réacteurs de recherche (INB 24 : CABRI-SURA<sup>5</sup>, INB 39 : MASURCA) ou l'examen destructif de combustibles irradiés (INB 55 : LECA-STAR) peuvent conduire à certaines périodes à des rejets plus importants.

Le caractère discontinu des rejets atmosphériques de tritium est une caractéristique d'un site comme celui de Cadarache par comparaison au fonctionnement de réacteurs électronucléaires.

Sur la base des mesures CEA de 1996 à 2005 (25 à 475 GBq) on peut considérer que les rejets de tritium atmosphérique déclarés par le site de Cadarache sont actuellement nettement inférieurs à ceux d'une centrale électronucléaire (par exemple les rejets annuels de tritium atmosphérique du CNPE de Saint-Alban sont typiquement de l'ordre de 2 000 à 3 000 GBq par an).

Mais la situation est susceptible de fortes évolutions compte tenu des autorisations de rejet de l'INB 55 (LECA-STAR) : 7 000 GBq/an et de celle de CEDRA : 10 000 GBq/an.

### Période antérieure

Nous ne disposons pas de données sur les rejets de tritium antérieurs à 1979.

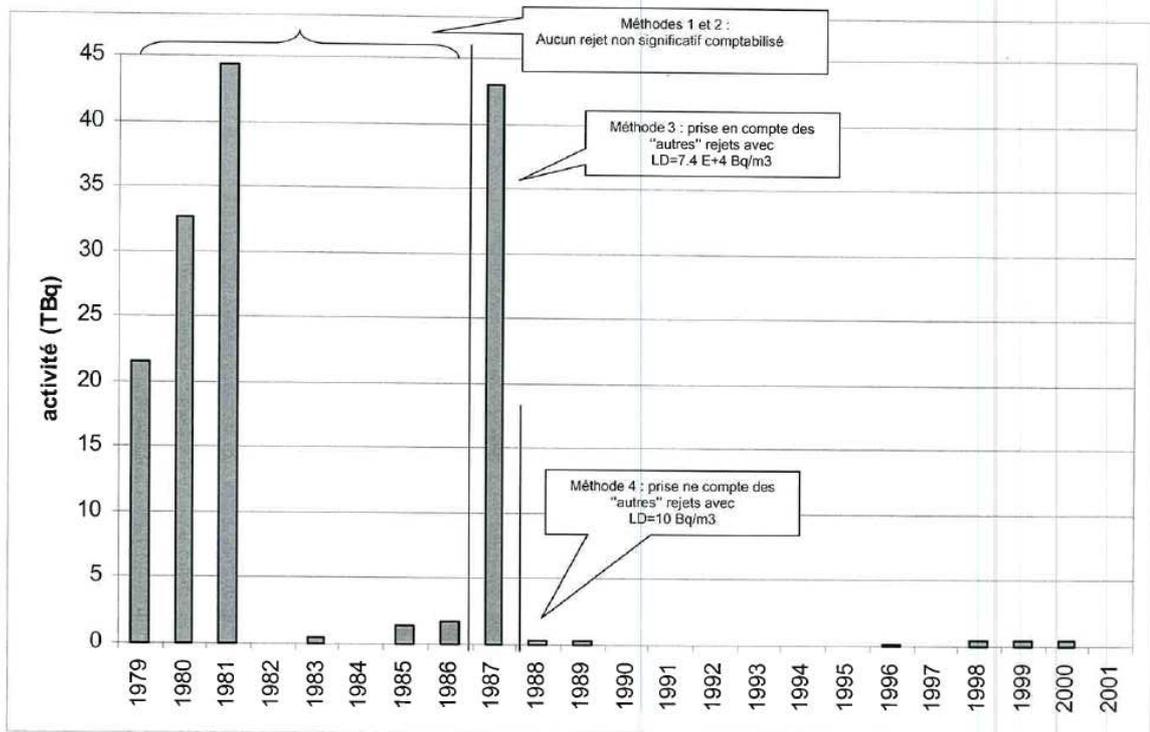
L'historique des rejets de tritium atmosphérique établi par le CEA [15] montre qu'il y a eu à Cadarache des **rejets nettement plus importants (20 000 à presque 45 000 GBq/an) entre 1979 et 1981**, soit des valeurs plus de 90 fois supérieures au maximum de la période 1996-2006. Ces rejets étaient dûs à l'émissaire E21 nommé ACEREN<sup>6</sup> (bâtiment 326) arrêté en novembre 1982.

<sup>5</sup> Lors de la réunion du 5 mars 2009, le CEA a confirmé qu'en 1999 l'étanchéité du circuit d'hélium de CABRI a été améliorée (brides remplacées par des soudures).

<sup>6</sup> Lors de la réunion du 5 mars 2009, le CEA a précisé qu'il s'agissait d'une installation dédiée à de la recherche sur le traitement et le conditionnement d'effluents et déchets (liquides et solides) en provenance par exemple d'EDF ou de la Hague.

Le graphique établi par le CEA est reproduit ci-dessous (1 TBq = 1 000 GBq).

Rejets de tritium à l'atmosphère / CEA Cadarache de 1979 à 2001



Dans l'interprétation des valeurs de rejet déclarées il faut garder à l'esprit comme indiqué par le CEA sur le graphique ci-dessus que les règles de comptabilisation ont changé.

De **1979 à 1986** seuls les rejets significatifs étaient pris en compte pour le calcul des activités de tritium rejetées par le Centre, soit uniquement les situations où du tritium était réellement mesuré aux cheminées.

A la demande du SCPRI, à partir de 1987 les rejets « non significatifs » ont été ajoutés au bilan. La limite de mesure des chambres d'ionisation utilisées à l'époque était relativement élevée (74 000 Bq/m<sup>3</sup>).

Le produit de cette activité volumique par les volumes d'air rejeté a conduit alors à un gonflement « artificiel » des rejets déclarés en 1987. A partir de **1988** l'utilisation de méthodes de mesure du tritium plus sensibles a permis de descendre à une limite de détection de 10 Bq/m<sup>3</sup>. Depuis cette date cependant il faut se rappeler que les rejets de tritium déclarés sont la somme de rejets réels mesurés et de rejets majorés (limites de détection).

Les anciennes méthodes de comptabilisation sous-évaluaient les rejets.

Les nouvelles méthodes sont plus satisfaisantes du point de vue de la radioprotection (majoration).

Il est important cependant de conserver dans les documents de synthèse une information différenciée entre les rejets réels issus de mesures et la composante issue du produit de limites de détection par un volume de rejet.

### 3.3 Recommandations

#### Exhaustivité du terme source

Manifestement les estimations annuelles de rejet de tritium fournies par le CEA sont incomplètes.

En effet, des installations conduisent ou ont conduit à des rejets de tritium alors que la quantification de ces rejets n'était pas opérationnelle.

Par exemple pour l'INB 39 (réacteur Masurca), le rejet de tritium n'est déclaré à la DGSNR que depuis février **2003**. Compte tenu d'un rejet effectif en 2007 (0,0146 GBq), alors que le réacteur est à l'arrêt pour rénovation et étant donné le niveau de l'autorisation de rejet fixée par l'arrêté du 5 avril 2006 ( 370 GBq), il est étonnant que les rejets de tritium de ce réacteur n'aient pas été mesurés dès sa mise en fonctionnement (réacteur autorisé en décembre **1966** [13, p19]).

Pour d'autres installations (INB 22-E27, INB 25-E75, INB 42-95-E31, INB 92-E43, INB 156-E56) il n'existe toujours pas de limite de rejet mais une simple demande de **vérification d'absence** sur certains émissaires notés Ei, alors que les premières mesures réalisées à partir de mai 2008 sur 3 d'entre elles ont indiqué un **rejet effectif de tritium**. Dans ces conditions on ne comprend pas pourquoi l'exploitant et les autorités n'ont pas anticipé le fait que l'installation allait rejeter du tritium.

Ainsi :

- **INB 22 (entreposage de combustibles) :**

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 demande une vérification d'absence pour le tritium. Le CEA avait jusqu'au 25 avril 2008 pour mettre en place le dispositif de mesure. Les mesures réalisées à partir de mai 2008 ont indiqué un rejet (0,57 GBq), comme celles de juin **2008** (0,7 GBq). Il paraît logique de considérer qu'un entreposage de combustibles irradiés est susceptible de rejeter du tritium par diffusion à travers les gaines dont l'étanchéité n'est pas absolue.

- **INB 25 (Rapsodie – LDAC) :**

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 demande une vérification d'absence pour le tritium. Le CEA avait jusqu'au 25 avril 2008 pour mettre en place le dispositif de mesure. Selon le document [21] les mesures réalisées en juin 2008 ont donné un rejet de tritium nul. Pourtant, le 26 août 2008, le CEA a déclaré à l'ASN un évènement significatif concernant des rejets non autorisés de l'installation Rapsodie. Le rejet a été évalué à 0,238 GBq en juin et juillet **2008**. Selon l'ASN : « *Le rejet est lié à une nouvelle expérimentation au sein de l'INB 25, dont le risque de rejet incidentel n'avait pas été pris en compte par l'exploitant, malgré son identification par le service de protection contre les rayonnements ionisants du site. Par ailleurs, la manipulation réalisée par les expérimentateurs n'était pas conforme à celle autorisée par le directeur du centre* ».

- **INB 92 (PHEBUS) :**

Depuis le dernier essai réalisé en 2004, des travaux d'assainissement et de démantèlement des circuits expérimentaux sont en cours. L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 demande une vérification d'absence pour le tritium sur l'émissaire E43. Le CEA avait jusqu'au 25 avril 2008 pour mettre en place le dispositif de mesure. Les mesures réalisées en mai 2008 [21] ont montré la présence de tritium (14 Bq/m<sup>3</sup>) avec un rejet estimé à 0,36 GBq. Cette situation a fait l'objet d'une déclaration d'évènement significatif pour l'environnement le 28 juillet 2008.

Pour 2 des 5 installations pour lesquelles est demandée une vérification d'absence, les documents consultés (jusqu'à juin 2008) n'apportent pas de réponse quant à la réalité ou non de rejets de tritium. Ainsi :

- **INB 42-95 (Eole et Minerve) :** l'arrêté interministériel du 5 avril 2006 demande une vérification d'absence pour le tritium. Le CEA avait jusqu'au 25 avril 2008 pour mettre en place le dispositif de mesure sur l'émissaire E31. Le document [21] ne mentionne pas la réalisation de mesures en mai et juin **2008**.

- **INB 156 (CHICADE)** : cette installation a été créée en mars 1993. L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 demande une vérification d'absence pour le tritium. Le CEA avait jusqu'au 25 avril 2008 pour mettre en place le dispositif de mesure sur l'émissaire E56. Cette installation est a priori susceptible de rejeter du tritium de part la nature des opérations : recherches sur les procédés de traitement de déchets liquides aqueux, incinération de déchets solides et liquides, procédés de décontamination des matériaux, enrobage de déchets FA/MA, analyse destructive de colis de déchets, etc..[13, p43]. Ses effluents liquides sont d'ailleurs contaminés par le tritium (par exemple transfert de 2,15 GBq en 1999 entre CHICADE et la STEDS [14]). Le document [21] ne mentionne pas la réalisation de mesures en juin **2008**.

En ce qui concerne l'INB 164 (CEDRA), l'arrêté du 5 avril 2006 liste 3 émissaires (E77, E78 et E79). La mesure du tritium sur échantillon mensuel est requise pour l'émissaire E79.

Or le document [21] indique pour le mois de juin 2008 : « émissaire non construit » et indique un rejet à l'émissaire E77 en juin 2008 (0,0705 GBq) alors que l'arrêté ne prescrit pas de surveillance tritium sur cet émissaire.

Lors de la visite de l'installation CEDRA le 6 mars 2009, le CEA nous a précisé que les rejets de tritium à l'émissaire E77 en juin 2008 (bâtiment N°376 d'entreposage de déchets Mi) étaient corrélés à un flux plus important de déchets en provenance de l'INB 37 (Station de Traitement des Effluents Liquides).

Cette situation n'est pas satisfaisante. La CRIIRAD recommande que le CEA explicite comment il détermine qu'une installation (ou un émissaire donné) est susceptible ou non de rejeter du tritium. En effet, pour une même INB, certains **émissaires** font l'objet d'une surveillance tritium, d'autres non [7].

Le CEA a précisé lors de la réunion du 5 mars 2009 qu'il allait déposer prochainement une demande de **révision des limites de rejet** avec consultation publique au cours du second trimestre 2009.

Il s'agit de tenir compte du retour d'expérience des 2 années écoulées.

- Par exemple pour l'INB Pégase, des rejets significatifs de tritium ont été enregistrés alors que l'arrêté de 2006 ne prévoyait qu'une vérification d'absence. Le CEA a précisé que lorsque le tritium est présent dans le terme source mais que les évaluations théoriques suggèrent que le niveau de rejet sera inférieur aux limites de détection, il n'est prévu qu'une vérification d'absence. Dans la mesure où les rejets effectifs ont été supérieurs aux prévisions, le CEA demandera dans le nouvel arrêté une **autorisation de rejet pour Pégase**.
- Pour l'**INB 37**, les rejets de tritium à l'émissaire de l'évaporateur ont été plus élevés que prévu en particulier du fait du traitement de déchets provenant de l'ILL de Grenoble. Le CEA envisage de faire passer de **3 GBq à 45 GBq** la demande de rejet de tritium atmosphérique pour cette installation.
- Pour l'INB **Masurca** l'autorisation de rejet devrait être abaissée du fait du retrait d'une cible tritiée. A l'inverse il faudra intégrer les rejets des installations en construction comme par exemple **le RJH**.
- Pour l'INB **PHEBUS**, l'origine des rejets de tritium enregistrés en 2008 (alors que l'arrêté de 2006 prévoit une vérification d'absence) est toujours en cours d'examen.

D'une façon générale, ces constatations suggèrent que les évaluations initiales des rejets tritiés ne sont pas conservatoires. La CRIIRAD recommande que la définition des termes sources et l'évaluation des rejets soient clairement explicitées.

### Estimation des rejets diffus

Une autre problématique est celle de l'évaluation des rejets diffus de tritium. En effet, compte tenu de sa très forte mobilité, le tritium est susceptible de diffuser à travers tous les types de matériaux (terre, métal, plastique). Ainsi tout échantillon solide ou liquide contaminé par du tritium est susceptible<sup>7</sup> de conduire à des relâchements dans l'environnement.

En réponse à cette question le CEA considère (E-mail du 28 novembre 2008) que « *il est très peu probable que de tels rejets existent car toutes les installations émettrices de tritium sont équipées de ventilations contrôlées* ».

Il serait souhaitable que le CEA transmette à la CLI des éléments de démonstration de cette affirmation (voir par exemple le cas de CHICADE évoqué ci-dessus).

En effet, il n'est pas certain que tous les matériaux d'où il émane du tritium soient soumis à une ventilation contrôlée (sols contaminés, liquides contaminés à l'air libre comme dans les bassins). De plus, en cas de ventilation effective, il n'est pas certain que le tritium soit mesuré au niveau des extractions d'air.

Le CEA a reconnu par exemple [25, p1] que « *pour les tranchées, le bâtiment situé sur la tranchée en chantier est équipé d'un émissaire muni d'une mesure du tritium* ». Mais que « *Sur les autres tranchées, recouvertes de terre, les rejets diffus ne sont pas mesurés* ».

De même, la visite du 6 mars 2009 a confirmé que la question des rejets diffus n'était pas assez documentée. Par exemple, au niveau des fosses de l'INB 56, il n'y a pas de surveillance spécifique tritium alors que cette surveillance sera mise en œuvre lors des opérations de transfert des matériaux entreposés vers le nouveau site d'entreposage.

### Fiabilité des mesures

Sur le plan technique la mesure en continu des rejets de tritium en conditions industrielles n'est pas une opération aisée. La technique mise en œuvre par le CEA consiste à utiliser des barboteurs. La limite de détection imposée par l'arrêté du 5 avril 2006 est de **20 Bq/m<sup>3</sup>**.

Dans le cas de la centrale nucléaire de CATTENOM, EDF précisait en 2003 que de nouveaux systèmes de prélèvement seront installés à la cheminée et permettront d'effectuer des prélèvements plus représentatifs. « *Les essais réalisés à la centrale de Cattenom ont montré une sous-estimation d'environ 60% des rejets actuels.* ».

Dans son rapport préliminaire, la CRIIRAD recommandait que le CEA précise qu'elle est la marge d'incertitude sur l'évaluation des rejets de tritium à Cadarache.

Le CEA a simplement indiqué en complément [25, p4] que sa limite de détection pour le tritium dans l'eau est de 6 Bq/l. Cette indication est utile pour apprécier la sensibilité des mesures mais n'apporte pas de précision sur leur fiabilité.

Lors de la réunion du 5 mars 2009, le CEA a précisé que sur certaines installations, les barboteurs à un seul bouteillon ont été remplacés par des barboteurs réfrigérés à 4 bouteillons. En été, en effet, l'eau du bouteillon était soumise à évaporation et pouvait disparaître totalement dans certains cas (d'où l'intérêt de la réfrigération).

De plus l'usage de 4 bouteillons permet d'améliorer le piégeage des différentes formes de tritium. Les bouteillons 1 et 2 servent à recueillir le tritium sous forme de vapeur d'eau tritiée. Ensuite l'air subit une oxydation (four) avant barbotage dans les bouteillons 3 et 4 (piégeage du gaz). Dans chaque cas, l'analyse des bouteillons 2 et 4 permet de vérifier l'efficacité du piégeage du tritium respectivement dans les bouteillons 1 et 3. Le CEA a indiqué que la fraction piégée dans le second bouteillon est de l'ordre de quelques %.

La métrologie des rejets de tritium à l'atmosphère est donc en nette amélioration à la fois en terme d'abaissement des limites de détection (remplacement des chambres d'ionisation par des barboteurs au début des années 80) et de fiabilité.

<sup>7</sup> Par exemple pour les déchets radioactifs tritiés, le centre de stockage de l'ANDRA à Soulaines ( CSA) met en œuvre une limite de 2 Bq/g/jour pour le taux de dégagement maximal des colis de déchets. Pour une tonne de déchets cela représente une émanation diffuse de 2 millions de becquerels par jour.

Le CEA n'a cependant pas donné d'évaluation globale de la fiabilité de son dispositif de mesure. Dans le cas de CATTENOM par exemple, un expert de l'ASN, consulté par la CRIIRAD a indiqué que le positionnement inadéquat de la prise d'échantillon était une des raisons de l'inexactitude des évaluations de rejet.

### 3.4 Impact des rejets atmosphériques de tritium

Actuellement, la surveillance de l'impact des rejets atmosphériques de tritium porte sur le contrôle de l'air ambiant et des précipitations. Ces contrôles ne sont effectués que **depuis 1999**.

#### 3.4.1 Air ambiant

La mesure de l'activité volumique du tritium (Bq/m<sup>3</sup>) dans l'air ambiant (barboteur) a été effectuée à partir de 1999 en 3 stations sur échantillon hebdomadaire (stations proches des sources à Grande Bastide, Verrerie et Cabri).

A partir de 2006 a été ajoutée une mesure sur échantillon mensuel dans l'environnement proche à Saint-Paul-lez-Durance.

Les résultats des années 1999 à 2006 sont reproduits en Annexe 7 (duplication des rapports environnement correspondants) et une sélection figure pages suivantes.

Sur la période **1999 à 2004**, des activités volumiques en tritium supérieures aux limites de détection sont mentionnées chaque année pour la station **CABRI**. Pour les stations Grande Bastide et Verrerie c'est le cas également en 1999, 2002, 2003 et 2004.

Mesures hebdomadaires de tritium en 1999

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )	
	moyenne 1999	maximum 1999
GRANDE BASTIDE	< 0.22	0.60
VERRERIE	< 0.22	0.62
CABRI	< 0.22	5.4

Le maximum mesuré sur la station de CABRI coïncide avec le rejet de tritium de l'installation SURA déjà mentionné au chapitre 2.2 et située à proximité de la station. Des barboteurs mis en place à la cheminée de l'installation vont être exploités et déclarés à l'OPRI au premier trimestre 2000.

Par contre, aucune activité ne dépasse les limites de détection en **2005 et 2006**, mais on remarquera que les limites de détection sont nettement supérieures à celles des années antérieures.

En **2007** [8bis, p22] des activités supérieures aux limites de détection ont été enregistrées dans 2 % des cas aux stations CABRI et Grande Bastide et 4 % des cas aux stations Verrerie et Saint-Paul-lez-Durance.

Il n'est pas possible d'interpréter finement ces résultats et de déterminer si la détection de tritium provient ou non des rejets du centre. Il faudrait disposer pour cela des résultats plus détaillés comportant les valeurs maximales et pas seulement comme dans le rapport annuel 2007 la moyenne annuelle des mesures sous forme d'un résultat inférieur à une limite de détection (< 0,76 Bq/m<sup>3</sup> à <1,01 Bq/m<sup>3</sup> selon les stations).

Une analyse fine des registres environnement et des rejets serait également nécessaire pour approfondir cette question.

#### Mesures hebdomadaires de tritium en 2005

Tableau 11. Activité du tritium (en Bq/m<sup>3</sup>) mesurée en 2005 sur les stations de la Grande Bastide, la Verrerie et de Cabri

Station de surveillance de l'environnement	Activité Tritium (Bq / m <sup>3</sup> )	
	Maximum 2005	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	< 0,79	0%
VERRERIE	< 0,79	0%
CABRI	< 0,80	0%

#### Mesures hebdomadaires de tritium en 2006

Tableau 28 : Activité du tritium (en Bq/m<sup>3</sup>) mesurée en 2006 sur les stations de la Grande Bastide, de la Verrerie, de Cabri et de Saint-Paul-lez-Durance.

Station de surveillance de l'environnement	Activité Tritium (Bq / m <sup>3</sup> )	
	2006	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	< 1,28	0%
VERRERIE	< 0,94	0%
CABRI	< 1,00	0%
S <sup>T</sup> -PAUL-LEZ-DURANCE	< 0,86	0%

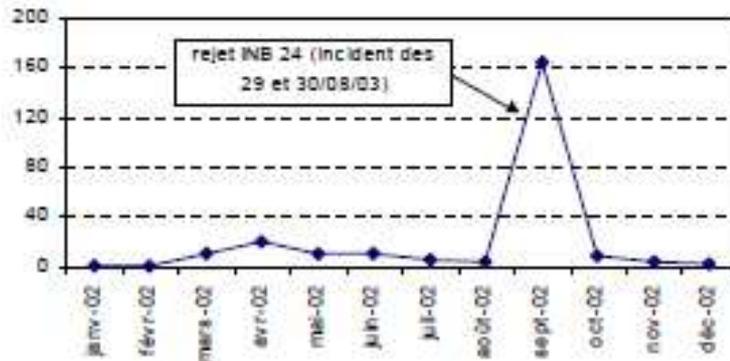
#### Incident d'août 2002

Cet incident est détaillé à titre d'exemple. D'autres situations de rejets ponctuels, parfois plus élevés, mériteraient d'être analysées également.

A partir des descriptifs d'incidents fournis par le CEA pour la période 1993-2005 [14], nous avons retenu pour la problématique tritium, l'incident intervenu le 29 août 2002 sur l'INB 24 (réacteur CABRI-SURA) au cours duquel le CEA estime que le rejet à la cheminée a été de 10<sup>11</sup> Bq soit 100 GBq.

Le rapport environnement 2002 [12-2002] fait état d'un rejet incidentel sur 2 jours (29 et 30 août 2002) portant finalement à **169 GBq** le rejet déclaré pour le mois de septembre (voir graphique ci-dessous). Le rejet est décomposé dans le registre réglementaire de septembre 2002 en un rejet continu de 39 GBq et un rejet exceptionnel de 130 GBq.

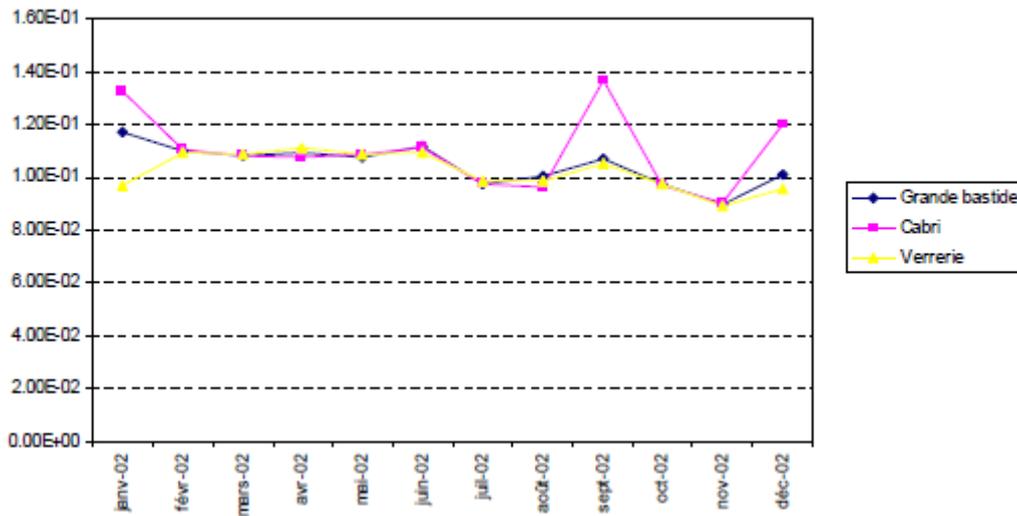
Rejets tritium (GBq)



Il est intéressant de vérifier si le dispositif de surveillance de l'environnement a détecté l'impact d'un tel rejet de tritium atmosphérique effectué sur 2 jours (il représente plus de 10 fois le rejet annuel déclaré par le CEA en 2007)

Nous avons reproduit ci-dessous le tableau de résultat et le graphique des moyennes mensuelles extraits du rapport annuel 2002 [12-2002].

Activité 3-H dans l'air (Bq/m3)



Mesures hebdomadaires de tritium en 2002

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )			Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
	moyenne 2002	minimum 2002	maximum 2002	
GRANDE BASTIDE	1.1 E-1	6.7 E-2	1.4 E-1	5.4 %
VERRERIE	1.0 E-1	8.9 E-2	1.3 E-1	2.5 %
CABRI	1.8 E-1	3.0 E-2	7.2 E-1	5.4 %

Ces documents font effectivement apparaître une augmentation de l'activité tritium dans l'air à la station CABRI (0,14 Bq/m<sup>3</sup> en septembre 2002) suite à l'incident.

L'activité volumique maximale **hebdomadaire** mesurée à la station Cabri a atteint **0,72 Bq/m<sup>3</sup>**.

Il serait intéressant de disposer des résultats détaillés pour vérifier si une augmentation a été détectée également sur la semaine au niveau des stations Grande Bastide et Verrerie (la présentation des valeurs mensuelles ne permet pas de conclure). Sur les registres règlementaires « environnement » du mois de septembre 2002 nous n'avons pas trouvé mention des mesures hebdomadaires de tritium dans l'air ambiant.

### Recommandations

Il est étonnant de constater que les méthodes de mesure pratiquées en 2002 permettaient de mesurer des activités en tritium dans l'air ambiant à des valeurs de 0,03 Bq/m<sup>3</sup> alors que les limites de détection en 2007 sont de l'ordre de 0,7 Bq/m<sup>3</sup> (mesures de juin 2008 selon [21]). Cela représente une baisse de sensibilité de détection d'un facteur supérieur à 10.

Avec les limites de détection actuelles l'impact de l'incident du 29-30 août 2002 ne serait probablement plus détecté. Il serait utile que le CEA explicite les raisons de cette diminution de ses capacités métrologiques.

La question des limites de détection a été abordée lors de la réunion du 5 mars 2009.

Le CEA a précisé que la limite de détection pour le tritium dans l'eau est de 6 Bq/l et ce depuis plusieurs années. Cela correspondrait à 0,2-0,3 Bq/m<sup>3</sup> d'air. Le résultat de 3<sup>E</sup>-2 Bq/m<sup>3</sup> (0,03 Bq/m<sup>3</sup>) pour le minimum à la station CABRI en 2002 serait en fait de 0,3 Bq/m<sup>3</sup>. A l'inverse l'expert du CEA a admis que les valeurs de 0,8 ou 1,3 Bq/m<sup>3</sup> publiées en 2006 étaient élevées.

Le CEA conclut [25, p4] : « *Pourquoi une baisse de sensibilité d'un facteur 10 pour la mesure du tritium?* ». « *Cette question provient de la comparaison de deux nombres dont l'un paraît entaché d'une erreur. La limite de détection du tritium dans l'eau est constante depuis plusieurs années.* »

La CRIIRAD recommande que le CEA corrige et re-edite les tableaux correspondants.

## 3.4.2 Tritium dans les eaux de pluie

### Mesures du CEA

La mesure de l'activité volumique du tritium (Bq/l) dans les précipitations est effectuée **depuis 1999** sur échantillons hebdomadaires.

Les résultats pour la période 1999 à 2006 sont reproduits en Annexe 6.

Les mesures effectuées initialement en 2 stations : Grande Bastide (mention Ginasservis ?? dans les tableaux) et Verrerie sont complétées par une troisième station à partir d'avril 2001 (Vinson sur Verdon) puis une 4<sup>ème</sup> à Saint-Paul-lez-Durance en 2006.

On note une évolution positive dans la sensibilité des méthodes de mesure.

Entre 1999 et 2001, la limite de détection était<sup>8</sup> de **10 Bq/l**.

Cette valeur est relativement élevée et ne permettrait pas de détecter certains apports de tritium artificiel imputables aux rejets des installations du Centre de Cadarache. En effet, l'activité « naturelle » en tritium des eaux de pluie est actuellement de l'ordre du Bq/l. Pour déceler un impact du site il convient d'abaisser la limite de détection à des valeurs de l'ordre de 2 Bq/l.

Entre 2002 et 2004, il semble que le CEA a abaissé ses limites de détection puisque des activités volumiques de l'ordre de **2,5 Bq/l à 6 Bq/l** sont enregistrées ponctuellement. La proportion de valeurs significatives passe à 4,2 % (la Verrerie 2002) voire 11 % (Vinson sur Verdon en 2003). La notion de valeur significative et de limite de détection mériterait cependant d'être précisée puisque le CEA note dans le rapport de 2003 : « *Les activités tritium significatives mesurées restent néanmoins inférieures à la limite de détection de la mesure (de l'ordre de 6 Bq/l)* ».

<sup>8</sup> Le tableau de l'année 1999 indique par erreur 10 Bq/m<sup>3</sup> alors qu'il s'agit probablement comme en 2000 et 2001 de 10 Bq/l.

A partir de 2005 d'ailleurs le taux de résultats significatifs est de 0% pour toutes les stations et les résultats indiqués en valeur moyenne annuelle sont de type : < 5,39 à < 5,65 Bq/l.

### Recommandations

Il serait souhaitable que le CEA mette en œuvre une limite de détection proche de l'activité « naturelle » en tritium attendue dans les eaux de pluie (de l'ordre du Bq/l) afin de permettre la détection effective d'un éventuel impact lié à ses rejets.

Lors des discussions du 5 mars 2009, le CEA a précisé que sa limite de détection était en routine de 6 à 7 Bq/l (1 heure de comptage sur Packard) et qu'il était difficile d'abaisser cette valeur sauf à mettre en œuvre des temps de comptage plus longs. Lorsque des résultats significatifs sont obtenus, le CEA reprend un comptage plus long (5 heures sur Quantulus) et descend à une limite de l'ordre de 1 à 2 Bq/l.

Le CEA estime qu'une limite de détection de l'ordre du Bq/l n'est cependant pas justifiée dans le cadre d'un plan de surveillance qui vise à vérifier l'absence d'anomalie.

La CRIIRAD considère que si l'objectif du plan de surveillance est de quantifier les apports liés aux rejets du site, il est nécessaire d'abaisser la limite de détection. Ceci pourrait être fait au moins sur une des stations de surveillance choisie en fonction de son exposition potentielle.

### 3.4.3 Insuffisances du programme de surveillance tritium

#### Programme historique

Comme indiqué sur le graphique des rejets de tritium 1979 à 2001, les rejets les plus importants ont eu lieu en **1981** avec un rejet annuel proche de **45 000 GBq** (nous n'avons pas de données sur la période antérieure à 1979).

Le rapport environnement de 1981 [12-1981] ne permet pas de conclure quant à l'impact des rejets atmosphériques de tritium sur l'environnement.

En effet la liste des échantillonnages et mesures du programme de surveillance ne fait apparaître **aucune mesure de tritium** :

- Air : activité bêta à vie longue des poussières en suspension (résultats quotidiens, mensuels et trimestriels) à la station Grande Bastide. Une spectrométrie gamma est effectuée en outre sur filtres hebdomadaires.
- Air : activité bêta à vie longue des retombées sèches recueillies sur papier adhésif (prélèvement hebdomadaire ou mensuel près de la station La Verrerie).
- Précipitations : activité bêta à vie longue sur eau de pluie collectée à la station de la Verrerie (mesure sur résidu sec et eau après filtration).
- Eaux de surface, eau de source, eau de citerne : mesure de l'activité bêta totale sur eau brute et eau filtrée. Sur certains échantillons dosage du césium 137, strontium 90 et uranium.
- Terre : mesure de l'activité bêta totale sur échantillons séchés et calcinés en 6 stations (analyse trimestrielle)
- Végétaux : mesure de l'activité bêta totale sur racines et parties aériennes (échantillons séchés et calcinés) en 6 stations (analyse trimestrielle)
- Feuilles de chênes verts : échantillonnage bimestriel selon onze lignes. Analyses par spectrométrie gamma sur matière sèche, puis calcination et analyse bêta totale.
- Autres végétaux (hors centre) : prélèvement tous les 18 mois de thym et chêne vert. Mesure de l'activité bêta totale après dessiccation et calcination.
- Chaîne alimentaire (hors centre) : prélèvement trimestriel de végétaux de consommation provenant de 4 fermes. Mesure de l'activité bêta globale et dosage du potassium 40, strontium 90 et césium 137

La méthodologie de contrôle décrite dans les rapports environnement de **1961, 1971 et 1991** souffre des mêmes lacunes. Il n'y est fait état d'aucune mesure de tritium dans l'environnement.

En ce qui concerne l'impact des rejets de tritium historiques il serait souhaitable que le CEA effectue une reconstitution historique des impacts dosimétriques. Cette reconstitution pourrait être validée par le dosage du tritium organiquement lié dans les cernes de croissance d'arbres choisis en fonction de la rose des vents.

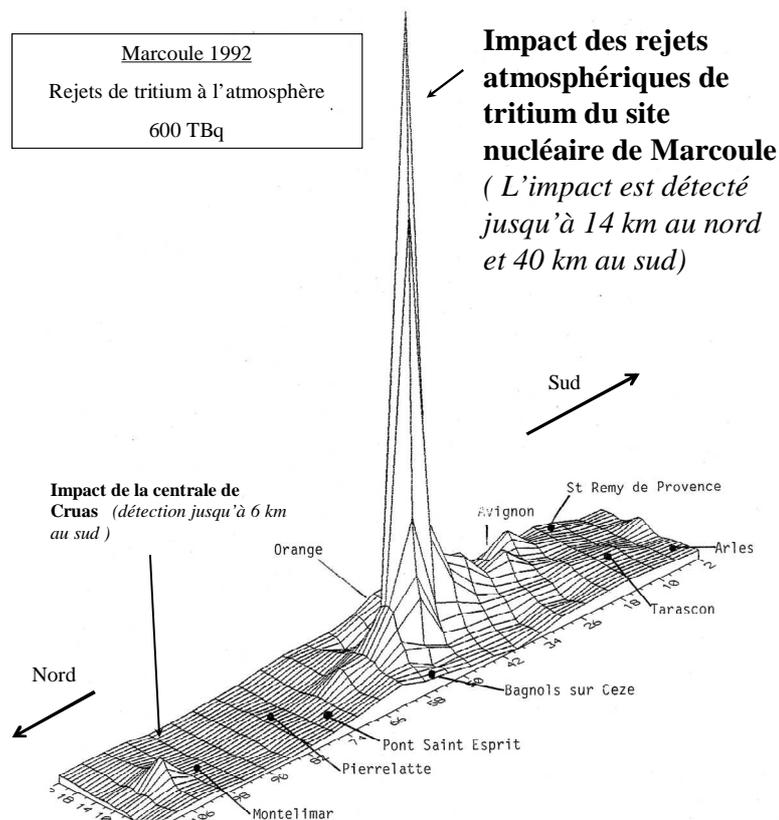
### Programme actuel

Comme indiqué plus haut la mesure du tritium dans l'air ambiant et les précipitations n'est intervenue qu'à partir de **1999**. Les **limites de détection** actuelles restent cependant trop élevées pour un suivi précis de l'impact des rejets de tritium à l'atmosphère.

En ce qui concerne la surveillance actuelle de l'impact des rejets atmosphériques de tritium il serait utile de prévoir le dosage du tritium libre et du tritium organiquement lié dans les végétaux (feuilles de chêne vert par exemple) afin d'établir une **cartographie** de l'impact.

On peut se reporter utilement à la cartographie reproduite ci-après à partir d'une étude de l'IPSN effectuée dans la vallée du Rhône entre Cruas et Marcoule.

### Cartographie du tritium dans les feuilles de chêne vert en vallée du Rhône (IPSN)



Tritium Organiquement lié dans les feuilles de chêne en 1991-1992 près de l'usine de retraitement de Marcoule

Etude IPSN (rapport SERE/95/022) – Aout 1995

Il est regrettable qu'aucune mesure de tritium ne soit effectuée à l'heure actuelle à Cadarache dans les prélèvements de sol, thym, lait de chèvre, viande de sanglier.

Cette lacune concernait également le milieu aquatique (flore aquatique, poissons) qui ne fait l'objet de mesures de tritium que depuis 2006 (poissons cf [25, p12]) ou 2007 (flore aquatique cf. [25, p11]).

Des mesures de tritium dans la chaîne alimentaire ne figurent qu'à partir du rapport environnement de l'année 2007. Il indique que le tritium est recherché dans les végétaux de consommation prélevés chaque trimestre dans des communes situées autour du Centre (Saint-Paul-lez-Durance, Vinon-sur-Verdon, Ginasservis et Peyrolles en Provence).

Quatre espèces de végétaux de type fruit, légume-feuille, légume fruit et légume-racine sont sélectionnées sur chaque lieu de prélèvement.

En 2007, l'activité du tritium libre est non significative ( $< 2,5$  à  $< 2,9$  Bq/kg) pour les catégories (fruit, légume-fruit, légume racine). Les résultats pour le groupe Légume feuille ne sont pas mentionnés.

Dans la mesure où il s'agit de prélèvements relativement espacés dans le temps (trimestre) il serait utile de rechercher également le **tritium organiquement lié**.

En effet le tritium libre est très rapidement en équilibre avec le tritium présent dans l'environnement. L'impact d'un rejet ponctuel anormalement élevé de tritium intervenu par exemple entre 2 prélèvements a peu de chances d'être identifié à partir de la mesure du tritium libre. Du fait du caractère « intégrateur » du tritium organiquement lié, ce paramètre permettrait un meilleur suivi.

Il serait par ailleurs utile d'effectuer une surveillance spécifique de l'éventuelle contamination atmosphérique en tritium à **proximité des bassins de rejets** (voir chapitres suivants), en particulier lors des campagnes de rejet de distillats contaminés par du tritium (risque de transfert à l'atmosphère par évaporation). Le contrôle pourrait porter sur la végétation terrestre (thym, feuilles de chêne).

Après avoir pris connaissance de ces remarques, le CEA a apporté les compléments suivants [25, p4-5] :

- Mise en place de mesures de tritium organique dans les végétaux et reconstitution de l'impact des rejets : « *L'analyse du tritium organiquement lié (TOL) a débuté en 2007 après une phase de mise au point de la technique d'analyse. Il n'y a donc pas eu d'analyses en 2007 sur le TOL. Des résultats seront publiés sur les végétaux de consommation pour l'année 2008 dans les bilans à venir (fin du premier semestre 2009). Exemple 2008 sur blettes (légumes feuille) : TOL  $< 0,3$  Bq/Kg frais, H-2 eau libre  $< 3$  Bq/Kg frais.* »
- Cartographie du centre (interne et externe) concernant l'impact du tritium et cartographie spécifique tritium près des bassins de stockage avant rejet dans la Durance : « *Le tritium n'a été détecté que dans certaines eaux souterraines et cela a été communiqué à la CLI, notamment dans le rapport sur l'état radiologique du site.* »
- Mise en place d'une surveillance autour des bassins si il y a une contamination mesurable et permanente des végétaux. « *Une telle surveillance n'est pas prévue et ne paraît pas justifiée. Les lots de distillats contenant du tritium ne sont rejetés que 1 ou 2 fois dans l'année et ne sont présents dans les bassins que pour de faibles durées.* »

La CRIIRAD maintient les recommandations concernant la réalisation de campagnes spécifiques de mesure de l'activité du tritium libre et tritium organiquement lié dans des bioindicateurs terrestres sous forme de cartographie, en tenant compte à la fois des termes sources connus, des termes sources supposés, et de stations « témoins ».

## 4 Rejet de gaz rares à l'atmosphère

### 4.1 Généralités

Les réactions de fission<sup>9</sup> qui interviennent au cœur des réacteurs nucléaires entraînent la production de gaz rares radioactifs principalement des isotopes du **krypton et du xénon**. Ces gaz, dont une partie diffuse à travers les gaines des combustibles, sont rejetés en fonctionnement normal par les réacteurs nucléaires.

De plus, en cas de destruction volontaire des combustibles (opérations effectuées par exemple dans l'INB 55 LECA-STAR) ou lors d'essais de fusion du cœur (PHEBUS), les gaz rares radioactifs de fission ne sont plus du tout confinés dans la gaine et peuvent être rejetés à l'atmosphère après des délais plus ou moins longs selon qu'il existe ou non, sur l'installation, un réservoir tampon (capacité). En effet les filtres Très Haute Efficacité utilisés sur certaines installations sont efficaces pour retenir la majorité des aérosols mais ne retiennent pas les gaz rares. Le délai de rejet a peu d'effet sur le krypton 85 (période 10,7 ans) mais peut en avoir pour des gaz rares à période plus courte (par exemple Xénon 133, T = 5,2 jours).

### 4.2 Evaluation des rejets atmosphériques par le CEA

#### Limites réglementaires

L'arrêté de rejet de 1978 fixait une limite annuelle de rejet globale (555 000 GBq) pour la somme des rejets de gaz et tritium.

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 a créé des catégories plus spécifiques (gaz rares radioactifs, tritium, carbone 14) et fixé des limites par INB.

S'agissant des gaz rares radioactifs, la somme des limites de rejet pour l'ensemble des INB de Cadarache est de **119 410 GBq/an** pour les INB civiles et 13 000 GBq/an pour l'INBS.

A titre de comparaison sont listées dans le tableau T5 ci-dessous les limites de rejets de gaz rares à l'atmosphère d'autres sites nucléaires en France classés par ordre croissant.

#### T5 / Autorisations de rejet annuel de gaz rares radioactifs à l'atmosphère de sites nucléaires en France

Site	Type d'installation	Gaz rares (GBq)	Tritium (GBq)	Ratio Gaz rare / tritium
ILL Grenoble	Réacteur de recherche 58,3 MWt (eau lourde)	10 000	75 000	0,13
Saint-Laurent	Centrale électronucléaire 2 REP 900 MW, 2 UNGG arrêtés	36 000	4 000	9
CEA Valduc	Nucléaire militaire	40 000	1 850 000	0,02
Gravelines	Centrale électronucléaire 6 fois 900 MW	108 000	12 000	9
Cadarache	Recherche (INB civiles)	119 410	17 578	7
	INBS	13 000	45	289
Saclay	Recherche	740 000	560 000	1
Marcoule	Nucléaire militaire	60 000 000	10 000 000	6
La Hague	Usine retraitement AREVA	470 000 000	150 000	3 133
Superphénix	Phase de démantèlement réacteur neutrons rapides	Non précisé	100 000	
CEA Buyères le Chatel	Nucléaire militaire	Non précisé	1 850 000	

<sup>9</sup> L'activation neutronique de l'air entraîne également la formation d'argon 41.

On remarque qu'en ce qui concerne les gaz rares, le Centre de Cadarache dispose d'autorisations de rejets supérieures à celle de la plus grande centrale électronucléaire française (Gravelines).

Comme indiqué dans le tableau ci-dessous l'essentiel des autorisations du centre de Cadarache provient de l'**INB 55** (93 000 GBq/an) et de **PHEBUS** (25 000 GBq/an).

En ce qui concerne le réacteur Phébus dont la puissance thermique est de 38 MW et par comparaison à la centrale de Gravelines dont la puissance thermique est de l'ordre de 16 200 MW, le ratio autorisation de rejet de gaz rares radioactifs / puissance thermique de Phébus est **98 fois** supérieur à celui de Gravelines.

### Année 2007

Le CEA effectue des mesures en continu et ou en différé de l'activité des gaz rares (chambres d'ionisation) au niveau des cheminées d'un certain nombre d'installations

Nous avons regroupé dans le tableau T6 ci-dessous les rejets de gaz rares radioactifs à l'atmosphère déclarés par le CEA en 2007, les autorisations de rejet annuel délivrées par l'arrêté interministériel du 5 avril 2006 pour chaque installation et des remarques issues de la consultation des registres détaillés de mai et juin 2008 [21], registres qui nous ont été fournis par le CEA en octobre 2008 lors de la réunion.

**T6 / rejets annuels de gaz rares à l'atmosphère mesurés par le CEA Cadarache en 2007**

Nom INB	Code INB	Autorisation (GBq)	Rejet Annuel 2007 en GBq	Surveillance en continu	Surveillance en différé(1)	Remarques mai-juin 2008
Pegase Cascad	INB 22	Pas d'autorisation, pourtant tritium détecté		E27 et E58		Pas de données
CABRI et SCARABEE	INB 24	1400	626	E34	E34 H	Mai 2008 = 59,9 GBq, Juin 2008 = 61,1 GBq (krypton 85)
RAPSODIE+LDAC	INB 25	Pas d'autorisation, pourtant tritium détecté				Pas de données
ATPu / AREVA	INB 32			-	-	A priori non retenu dans le spectre
STEDS	INB 37	Pas d'autorisation, pourtant tritium détecté		E10 et E66		Pas de données
MASURCA	INB 39	Pas d'autorisation, pourtant tritium détecté		E35 et E36		Pas de données
HARMONIE	INB 41	non mentionné TSN 2007		E33		Non mentionné
EOLE MINERVE	INB 42-95			E31		Pas de données
ATUe	INB 52			-	-	A priori non retenu dans le spectre
MCMF	INB 53					Mai 2008 ?, Juin 2008 : pas de données
LPC / AREVA	INB 54					A priori non retenu dans le spectre
LECA	INB 55 LECA	60 000	34,2	E22	E22 H	Mai 2008 = 36 GBq, Juin = 36,9 GBq (Kr 85), Xe 133=0
STAR	INB 55 STAR	33 000	5 230	E64	E64 H	Mai 2008 = 366 GBq, Juin = 398 GBq (Kr 85), Xe 133 = 0
Entreposage	INB 56	10	5700 **	E41	E41 H	
PHEBUS	INB 92	25 000	14 600	E43	en cas de rejet concerté	Mai 2008 = 1 160 GBq, Juin = 1 250 GBq (Kr 85), Xe 131m = 0
IRCA	(INB 121)			E28		Non mentionné
LEFCA	INB 123			-	-	Pas de données
CHICADE	INB 156	non mentionné TSN 2007		E56		mai 2008 ?, juin = pas de données
CEDRA	INB 164	Pas d'autorisation, pourtant tritium détecté				mai 2008 (?) / juin 2008 pas de données

Total (GBq) 119 410 26 190,2

\*\* En l'absence de combustibles contenant du krypton 85 les rejets de gaz sont nuls. La prise en compte de la limite de détection des appareils de mesure entraîne, par calcul, un dépassement de l'autorisation de rejet. L'ASN autorise la suppression de cette surveillance par lettre du 5 février 2008

(1) N° de l'émissaire et mesure sur échantillon heb domadaire (H) ou mensuel (M)

### Période 1996-2006

Les résultats de la période 1996 à 2006 sont reportés dans le tableau T7 ci-dessous à partir des valeurs relevées dans les rapports correspondants (bi-mensuels à annuels selon les années).

#### T7 / rejets annuels de gaz rares à l'atmosphère mesurés par le CEA Cadarache de 1996 à 2006

Année	Gaz (hors H3) en GBq	Commentaire *
2006	72 700	
2005	166 400	Incident PHEBUS 21 janv 2005, 10 GBq gaz rares
2004	166 000	
2003	166 000	
2002	162 000	
2001	150 000	
2000	151 000	Incident PHEBUS 11 oct 2000, 0,5 GBq de Kr et Xe
1999	152 000	
1998	166 000	Incident CABRI 4 août 1998, rejet de 0,78 GBq de Kr et Xe
1997	170 000	
1996	186 000	
Moyenne 1996-2005	163 540	*Commentaire effectué à partir de la note [14]
Ecart-type 1996-2005	7%	

Les rejets de gaz rares hors tritium déclarés par le CEA sont relativement constants sur la période **1996 à 2005** (de l'ordre de **163 000 GBq en moyenne annuelle**), mais selon le CEA, la majorité de l'activité déclarée correspond en réalité au produit du débit de ventilation par des valeurs d'activité volumique **non significatives**.

Le regroupement des rejets majorés (limites de détection) et des rejets réellement mesurés (rejets concertés et rejets déclarés) rend difficile l'interprétation des données.

Ainsi les incidents ayant conduit à des rejets effectifs de gaz rares en 1998, 2000 et 2005 sont-ils masqués, de même que les rejets réels concertés et/ou déclarés.

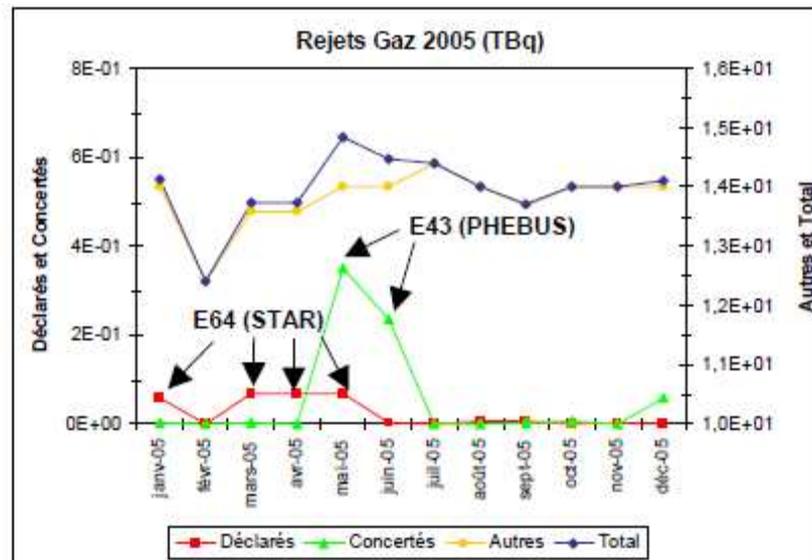
Cette problématique est clairement illustrée dans le rapport environnement 2005 du CEA. L'analyse détaillée que fait le CEA dans ce rapport, à propos de la réalité des rejets de gaz rares est très utile et il est regrettable qu'elle n'apparaisse pas dans les rapports antérieurs (2000 à 2004).

Nous reproduisons ci-après le texte et un graphique issus du rapport 2005 :

#### L'évolution de l'activité des rejets de gaz en 2005 (Figure 9) s'explique par :

- une activité essentiellement liée à l'évolution des volumes rejetés par les installations du CEA Cadarache au cours de l'année : en effet les activités volumiques mesurées étant non significatives, l'activité rejetée est le produit de la limite de détection (L.D.) par le volume rejeté ; cette méthode de calcul a été mise en pratique après accord de la DGSNR. La valeur d'activité du rejet ainsi obtenue est surévaluée. L'activité mensuelle ainsi calculée (rejets « Autres ») est de  $1,24 \cdot 10^4$  à  $1,40 \cdot 10^4$  GBq ( $1,38 \cdot 10^4$  GBq en moyenne), alors que la somme des activités des rejets identifiés (« Déclarés » et « Concertés ») varie entre  $4,6 \cdot 10^{-3}$  et  $4,2 \cdot 10^2$  GBq ( $4,2 \cdot 10^2$  GBq en moyenne) par mois.
- les rejets concertés de Kr-85 de l'émissaire E43 (PHEBUS) en mai et juin 2005 (avec 3 rejets de  $3,4 \cdot 10^{-1}$  TBq et 3 rejets de  $2,35 \cdot 10^{-1}$  TBq respectivement) et en moindre mesure les rejets déclarés de Kr-85 de l'émissaire E64 (STAR) en janvier, mars, avril et mai 2005 (avec  $6,0 \cdot 10^{-2}$ ,  $6,8 \cdot 10^{-2}$ ,  $6,9 \cdot 10^{-2}$  et  $6,9 \cdot 10^{-2}$  TBq) ont un impact sur la courbe des rejets gaz totaux (voir Figure 9).

En 2005, les rejets effectifs mensuels représentaient selon le CEA entre 0,0046 GBq et 420 GBq.



Le graphique ci-dessus permet de visualiser clairement la contribution des installations STAR et PHEBUS aux rejets de l'année 2005 et montre bien :

- Le caractère discontinu de ces rejets
- Que ces rejets réels sont masqués lorsque l'on présente l'ensemble des rejets (courbe bleue = rejets correspondant aux limites de détection + rejets effectifs).

A partir du second semestre 2006, la nouvelle méthodologie de déclaration des rejets de gaz rares devrait permettre d'avoir une vision plus précise de la situation.

Sur la base des mesures CEA de 2007 on constate que les rejets de gaz rares radioactifs à l'atmosphère du site de Cadarache (14 600 GBq pour PHEBUS, 5 230 GBq pour STAR) sont actuellement nettement supérieurs à ceux d'une centrale électronucléaire (par exemple les rejets annuels de gaz rares du CNPE de Saint-Alban sont typiquement de l'ordre de 1 000 à 3 000 GBq par an).

La réalisation d'expérimentations sur des réacteurs de recherche (INB 24 : CABRI, INB 92 : PHEBUS) ou l'examen destructif de combustibles irradiés (INB 55 : LECA-STAR) peuvent conduire à certaines périodes à des rejets importants.

### Période antérieure

Nous ne disposons pas de données sur les rejets de gaz rares **antérieurs à 1979**.

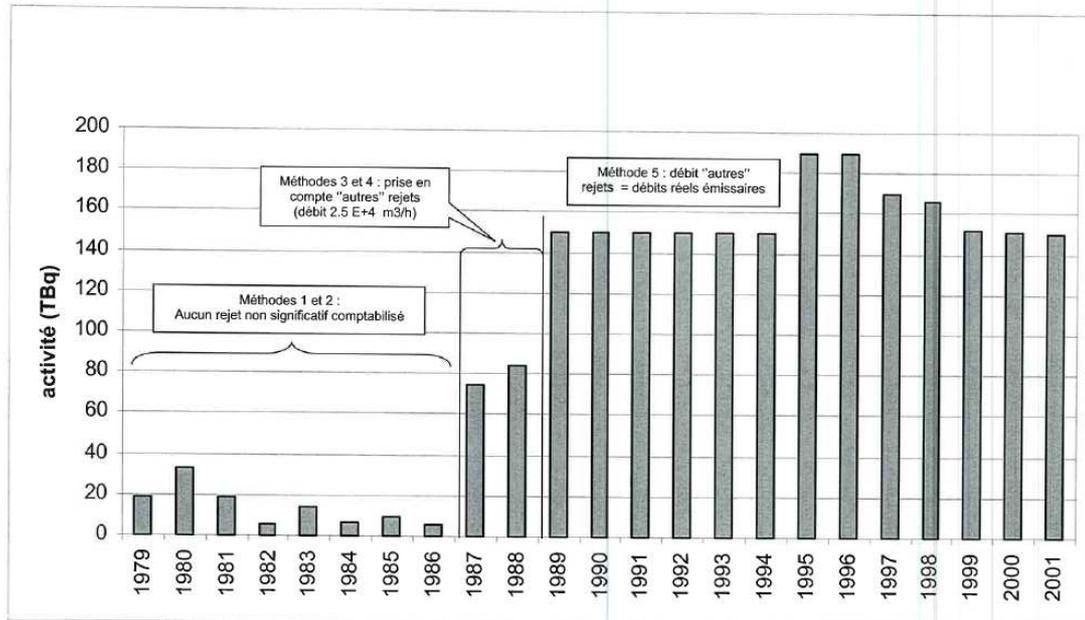
Le CEA a confirmé lors de la réunion du 5 mars 2009 qu'il ne disposait pas d'informations à ce sujet.

L'historique des rejets de gaz rares établi par le CEA [15] montre qu'il y a eu à Cadarache entre **1979 et 1981** des rejets effectifs de gaz rares à un niveau supérieur ou égal à **20 000 GBq/an** c'est-à-dire un niveau comparable aux rejets déclarés en 2007.

Le graphique établi par le CEA est reproduit ci-après.

## Rejets de gaz rares à l'atmosphère / CEA Cadarache de 1979 à 2001

ANNEXE 4 : REJETS GAZEUX – GAZ RARES



Dans l'interprétation des valeurs de rejet déclarées il faut garder à l'esprit comme indiqué par le CEA sur le graphique ci-dessus que les règles de comptabilisation ont changé.

De **1979 à 1986** seuls les rejets significatifs étaient pris en compte pour le calcul des activités de gaz rejetées par le Centre, c'est-à-dire les situations où ces gaz étaient réellement détectés aux cheminées. Ceci conduisait à sous estimer les rejets réels du fait de la non prise en compte de rejets effectifs mais inférieurs aux limites de détection des appareillages utilisés.

L'introduction à partir de **1987, puis 1989** de nouvelles méthodes de comptabilisation prenant en compte dans le bilan annuel, outre les rejets effectivement mesurés, des rejets majorés liés à la prise en compte des limites de détection, rend impossible l'interprétation fine des résultats, à moins d'examiner les registres détaillées de chaque émissaire de chaque installation.

En effet, à partir de 1987 les rejets non significatifs sont évalués pour un débit d'air de 25 000 m<sup>3</sup>/h quelle que soit la cheminée, puis à partir de 1989 le débit d'air pris en compte est celui réellement mesuré à la cheminée. Ceci a entraîné une augmentation de 60 % de la déclaration de rejet.

Le document CEA [15] précise que l'augmentation des rejets déclarés en 1995 est liée à la mise en service d'un émissaire de rejets gazeux sur l'INB 55 STAR, mais il ne précise pas s'il s'agit d'un rejet effectif.

## 4.3 Recommandations

### Métrologie des gaz rares

Dans le cadre de la réunion du 5 mars 2009, le CEA a précisé qu'en routine le laboratoire (LANSE) n'effectuait pas de mesure de gaz rares en différé (par exemple sur échantillon prélevé dans une capacité). Les rejets sont mesurés en continu<sup>10</sup> au niveau de chaque installation au moyen d'une chambre d'ionisation.

Il serait utile que le CEA décrive en détail la méthodologie de mesure des rejets de gaz rares, ainsi que les incertitudes et biais éventuels (discrimination entre divers types de gaz rares).

### Limite de détection

Lors de la visite du 6 mars 2009, la CRIIRAD a fait remarquer que le rejet annuel de l'INB 56 en 2007 était de 5 700 GBq pour une autorisation de rejet de 10 GBq.

*Le rapport annuel [8bis] précise que « les valeurs mentionnées correspondent à des valeurs d'activité calculées à partir d'une limite de détection trop élevée vis-à-vis de l'autorisation de rejet. Par ailleurs, ce radioélément était comptabilisé quand les piscines de l'INB 56 contenaient des combustibles susceptibles d'en dégager. A ce jour, aucun combustible n'est présent dans les piscines de l'installation ce qui rend improbable la présence de krypton. Ce point a fait l'objet d'une instruction auprès de l'ASN afin de mettre un terme à cette comptabilité administrative des rejets de krypton. Par lettre DEP-ASN Marseille 0129 du 5 février 2008, l'ASN autorisait la suppression de la surveillance. »*

Il serait utile que le CEA explicite comment un dispositif de surveillance a pu être mis en œuvre avec une limite de détection conduisant à ne pas pouvoir quantifier un rejet à un niveau 570 fois supérieur à l'autorisation annuelle.

### Exhaustivité du terme source et optimisation de la protection

Dans le cadre de la réunion du 5 mars 2009, la question de l'exhaustivité du terme source « gaz rares » a été évoquée.

La CRIIRAD a en particulier cherché à vérifier s'il était cohérent pour un certain nombre d'INB d'avoir une détection de tritium dans les rejets sans qu'il existe des autorisations de rejets de gaz rares (INB 22-Pegase, INB 25-Rapsodie-LDAC, INB 37-STEDS, INB 39-Masurca, CEDRA). En effet, pour de nombreuses installations (réacteurs ou opérations de retraitement) les rejets de ces deux types de radionucléides vont de pair.

Lorsque les 2 types de rejet n'étaient pas associés, des explications ont été avancées par le CEA, par exemple pour Rapsodie-LDAC : traitement de métaux contaminés par le tritium (mais pas par des gaz rares).

Afin de formaliser ces échanges la CRIIRAD recommande que les chefs des installations concernées fournissent à la CLI une documentation technique permettant d'explicitier l'origine exacte et la nature des rejets de gaz rares radioactifs des installations.

S'il s'agit de rejets ponctuels liés à des expérimentations spécifiques (a priori cas de Phébus et Cabri), ou à des campagnes de percement de crayons irradiés (LECA-STAR), la question de la rétention de ces gaz mérite d'être posée en application du principe d'optimisation de la protection.

Il serait utile de préciser en particulier l'origine des rejets élevés de gaz rares de PHEBUS en 2007 (14 600 GBq) alors qu'il n'y a pas d'expérimentation en cours

---

<sup>10</sup> Pour l'installation LECA-STAR par exemple, la mesure est donnée en équivalent krypton 85. Le dispositif fait l'objet d'un contrôle mensuel avec étalonnage tous les 5 ans au moyen d'une source de krypton 85.

## 4.4 Impact des rejets atmosphériques de gaz rares

### 4.4.1 Mesures CEA dans l'air ambiant

Une mesure en continu de l'activité volumique des gaz dans l'air ambiant est effectuée par le CEA depuis **2002**, en 3 stations situées sur le Centre (Cabri, Grande Bastide et la Verrerie).

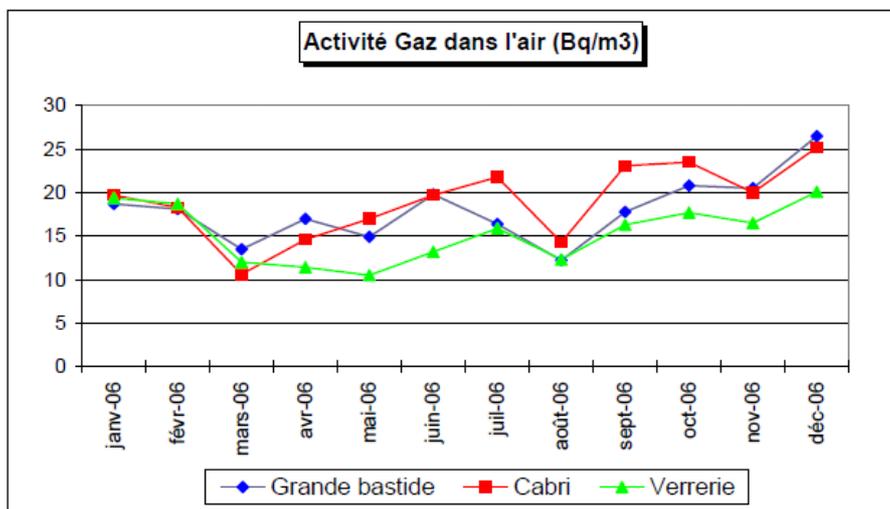
A titre indicatif les résultats et le graphique présentés par le CEA dans le rapport environnement 2006 [8-2006, p26 et 27] sont reproduits ci-dessous.

Des ordres de grandeurs comparables<sup>11</sup> ont été obtenus les autres années.

Le pas de temps des mesures étant de 10 minutes, nous supposons que les valeurs maximum données dans les tableaux correspondent au maximum de l'année sur 10 minutes.

Tableau 30 : Activité des gaz (en Bq/m<sup>3</sup> équivalent radon) mesurée en continu en 2006 sur les stations de la Grande Bastide, la Verrerie et de Cabri.

Station de surveillance de l'environnement	Activité en gaz (Bq/m <sup>3</sup> )		
	Moyenne 2006	Minimum 2006	Maximum 2006
GRANDE BASTIDE	18	12,2	26,5
VERRERIE	15,3	20,1	10,5
CABRI	19	10,6	25,2



Evolution mensuelle de l'activité des gaz (équivalent radon) mesurée en 2006 sur les stations de la Grande Bastide, de Cabri et de la Verrerie.

<sup>11</sup> A noter dans le tableau du rapport 2002, page 13 une erreur entre valeurs minimale et maximale pour la station CABRI. Les résultats sont inversés.

#### 4.4.2 Commentaires

Les mesures réalisées par le CEA au moyen de chambres différentielles sont ramenées en **équivalent radon**.

Ces résultats ne sont pas directement utilisables pour une analyse de l'impact des gaz rares artificiels rejetés par le centre. Il ne s'agit pas en effet de mesures spécifiques de l'activité des gaz rares artificiels de type krypton 85 rejetés par certaines installations du centre mais d'une mesure globale de l'activité des gaz dont le radon 222 naturel est le principal contributeur (voir ci-après le chapitre « la question du radon 222 »).

L'impact des rejets de gaz rares artificiels effectués par le Centre de Cadarache est alors masqué au sein du signal global de la radioactivité naturelle d'autant plus que le radon naturel émet des particules alpha fortement ionisantes (beaucoup plus par exemple que les émissions bêta-gamma du krypton 85).

La méthodologie de surveillance actuelle ne peut être utile que pour déceler un impact lié à un rejet massif conduisant alors à un pic d'activité nettement supérieur au bruit de fond lié au radon 222.

Un tel pic ne serait cependant détecté que sous réserve que le CEA publie les graphiques comportant les valeurs minimales, maximales et moyennes journalières et / ou envisage un traitement du signal susceptible de rendre compte de variations brutales (le pas d'acquisition est de 10 minutes).

On notera par exemple que les résultats publiés par le CEA dans le rapport environnement **2005** ne permettent pas de « déceler clairement » l'impact du rejet accidentel de 10 GBq de gaz rares par PHEBUS le 21 janvier 2005, ni l'impact des rejets concertés de krypton 85 effectués par PHEBUS en mai ( 3 rejets = **340 GBq**) et juin (3 rejets = **235 GBq**).

Tableau 12. Activité des gaz (en Bq/m<sup>3</sup>) mesurée en continu en 2005 sur les stations de la Grande Bastide, la Verrerie et de Cabri.

Station de surveillance de l'environnement	Activité gaz (Bq / m <sup>3</sup> )		
	Moyenne 2005	Minimum 2005	Maximum 2005
GRANDE BASTIDE	16,8	12,1	21,2
VERRERIE	17,2	11,1	23,0
CABRI	17,8	12,7	22,4

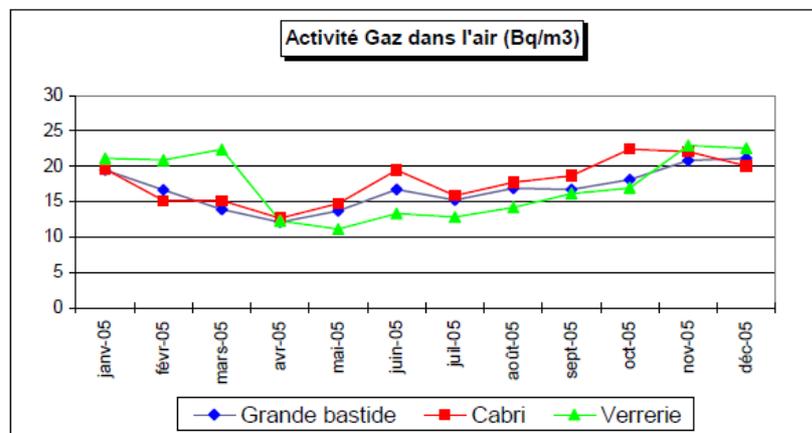


Figure 16. Evolution mensuelle de l'activité des gaz mesurées en 2005 sur les stations de surveillance de l'environnement.

En fait, le suivi rigoureux de l'impact des rejets « chroniques » de gaz rares artificiels nécessiterait le recours à des méthodes analytiques plus fines comme celle illustrée dans le graphique ci-dessous et qui rend compte de l'augmentation continue de la contamination en krypton 85 de l'air ambiant dans l'**hémisphère Nord**, du fait des rejets des installations nucléaires.

La concentration moyenne en **krypton 85** à la fin des années 1990 est ainsi **supérieure au Bq/m<sup>3</sup>**.

Mais cette contamination chronique moyenne ne peut être mise en évidence par le dispositif de surveillance utilisé par le CEA.

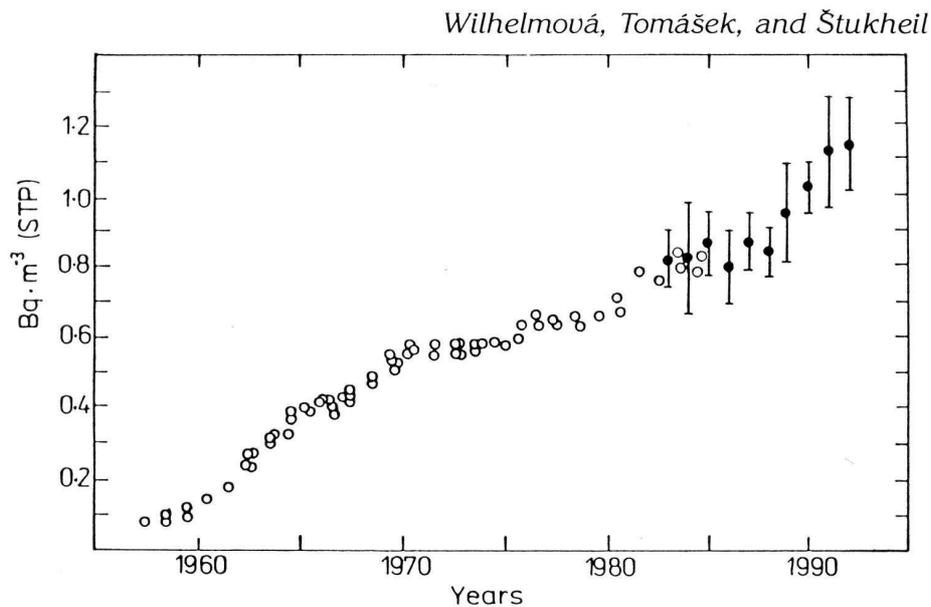


Fig. 3. Evolution of mean <sup>85</sup>Kr activity levels in the ground-layer atmosphere of middle latitudes of the Northern Hemisphere. ○—mean annual values derived from literary data; ●—mean annual values derived from our measurements.

**Source :** The Measurement of Low Concentrations of Kr 85 in Atmospheric Air Samples  
Ludmila Wilhelmová and col.  
Institute of Radiation Dosimetry / Prague

## 5 La question du radon 222

### 5.1 Généralités sur le radon « naturel »

Le radon 222 est un gaz radioactif omniprésent naturellement dans l'atmosphère. Sa concentration varie en fonction de différents paramètres :

- la teneur du sol en uranium 238 (radon 222) et thorium 232 (radon 220), très variable selon la nature du sol (plus importante par exemple dans les régions granitiques que dans les régions calcaires),
- la porosité du sol (qui favorise ou limite l'émanation du radon),
- les conditions météorologiques qui influent à la fois sur l'émission du radon et sur sa dispersion (vent, pression, température, pluie, neige, ...).

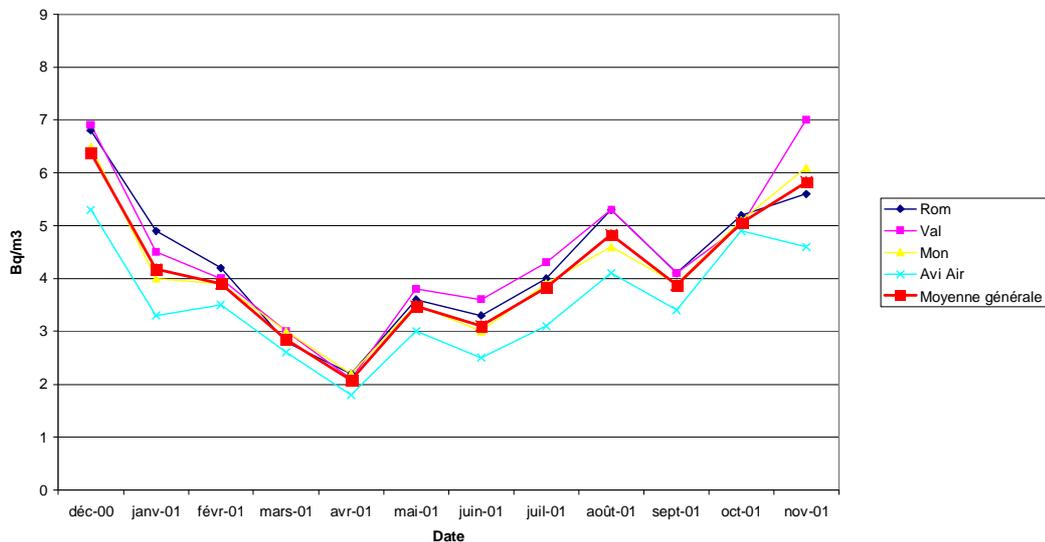
Elle varie généralement<sup>12</sup> de **quelques becquerels à quelques dizaines de becquerels par mètre cube** d'air, pour un climat tempéré continental.

A titre indicatif les résultats de mesures de l'activité volumique du radon 222 effectuées par la CRIIRAD dans l'air ambiant dans la vallée du Rhône sont reportés ci-dessous.

Ces graphiques illustrent les variations journalières (maxima en fin de nuit) et saisonnières (maxima en hiver) de la concentration en radon.

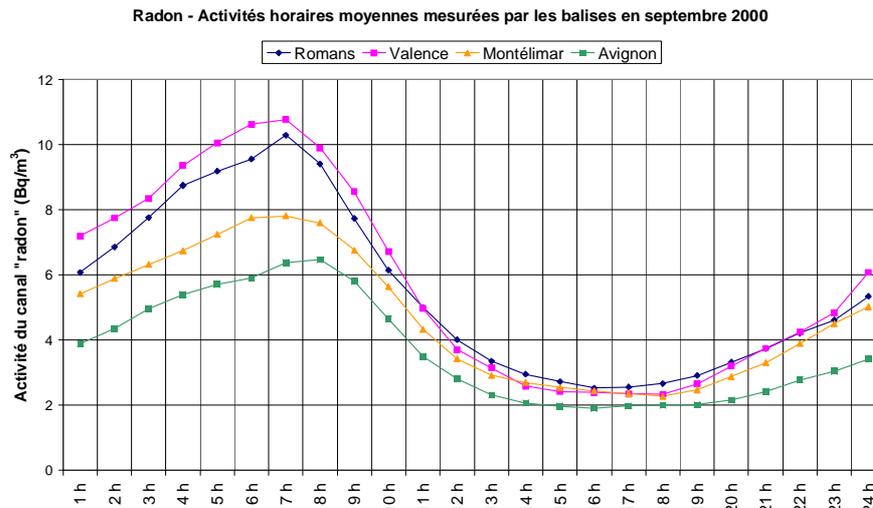
#### Variations de l'activité du radon 222 dans l'air extérieur en vallée du Rhône (source CRIIRAD)

Variation des moyennes mensuelles de l'activité volumique du radon mesurée par les balises atmosphériques de Romans, Valence, Montélimar et Avignon (2000 / 2001)



<sup>12</sup> Il existe quelques exceptions, comme les secteurs d'extraction d'uranium où les teneurs en radon dans l'air ambiant peuvent être de plusieurs centaines de becquerels par mètre cube voire au-delà

## Exemple de variations journalières de l'activité du radon 222 (source CRIIRAD)



## 5.2 Surveillance du radon « anthropique »

Certaines installations du Centre de Cadarache contiennent des matières radioactives qui présentent des concentrations élevées en **radium 226**. Or la désintégration de cet élément conduit à la production inexorable de gaz radioactif, le radon 222.

Il est donc légitime de s'interroger sur les « rejets » de radon 222 anthropique par le centre et sur leur impact sur l'environnement.

### Résultats du CEA

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 ne fixe pas d'autorisations de rejet pour le radon, mais il impose en son article 10 « *la mesure intégrée avec exploitation mensuelle des résultats, à l'aide de dosimètres spécifiques, de la concentration atmosphérique en radon en **au moins deux points situés sous le vent dominant et à proximité des installations d'entreposage de déchets*** ».

L'activité volumique du radon 222 dans l'air extérieur est effectivement mesurée par le CEA depuis **2007** en 2 stations proches des **INB 164 (CEDRA) et INB 56 (entreposage)**.

Le CEA a précisé le 5 mars 2009 qu'il a mis en place sous les vents dominants des balises Algade de mesure en continu afin d'avoir une meilleure réactivité que les mesures intégrées mensuelles.

Le rapport environnement 2007 [8bis, p23] indique que les activités moyennes annuelles sont respectivement de **10 et 18 Bq/m3** et les valeurs mensuelles comprises entre **6 et 28 Bq/m3**.

Le CEA considère<sup>13</sup> que « *Les activités volumiques constatées près des installations surveillées ne révèlent pas d'émanation consécutive à des éléments radifères, soit entreposés dans les bâtiments contrôlés, soit en tant qu'éléments composant le sol in situ. L'activité moyenne mesurée sur le site de Cadarache correspond bien à l'activité moyenne constatée dans les Bouches-du-Rhône (0 à 50 Bq/m3 ; source IRSN)* ».

<sup>13</sup> La CRIIRAD a signalé au CEA lors de la réunion du 5 mars 2009 qu'a priori l'étude IRSN mentionnée porte sur les concentrations en radon 222 à l'intérieur des bâtiments et non pas dans l'air extérieur. Ces différents types de mesures ne peuvent être comparés.

## Commentaires

Les résultats de la surveillance mentionnés par le CEA ne permettent pas de conclure quant à l'impact de radon anthropique. En effet :

1 / Le CEA n'indique pas si les 2 capteurs sont bien situés à proximité des installations qui présentent le plus fort potentiel d'émanation de radon eu égard à la quantité de radium 226 dans les déchets entreposés.

L'inventaire ANDRA de 2003 indique dans la fiche PRO 28 que des matières radifères sont présentes au niveau du Parc d'entreposage des déchets radioactifs (**INB 56**).

Il s'agit de paratonnerres, terres provenant de l'assainissement de l'usine Bayard (71 caissons de 21m<sup>3</sup> ou de 42 m<sup>3</sup>), déchets provenant de l'assainissement du site de la Roche-de-Rame contaminés en uranium naturel (29 fûts de 200 litres), sources scellées usagées collectées par l'ANDRA (41 coques béton de 1 800 litres). L'activité totale en radium 226 de ces déchets n'est pas spécifiée. La fiche ANDRA PRO19 indique également que sont présents sur le « Parc d'entreposage des déchets radioactifs » des résidus de traitement de minerais d'uranium provenant du Bouchet (sulfates de plomb radifères : 888 fûts mis en coques béton de 500 litres et 35 conteneurs béton de 5 m<sup>3</sup>). L'activité totale en radium 226 de ces déchets n'est pas spécifiée.

L'inventaire ANDRA indique en outre un entreposage de résidus de l'ancienne production de l'usine **Rhône-Poulenc à la Rochelle** (5 120 tonnes, activité massique 340 MBq/fût ; 25 180 fûts). L'activité totale en radium 226 est estimée à 8,6 TBq soit 8 600 milliards de Becquerels.

Compte tenu de la quantité de radium 226 de ces déchets entreposés au niveau des **ICPE 420 et 465** il convient que le CEA documente les taux d'émanation de radon à partir de ces 2 ICPE.

Le contrôle de l'émanation de thoron serait également souhaitable au niveau de l'**ICPE 411** qui entrepose selon la fiche ANDRA PRO28 des résidus de fabrication de pierres à briquet en provenance d'ORFLAMPLAST (25 fûts de 200 litres). L'activité en thorium 232 de ces déchets n'est pas spécifiée.

Le CEA a précisé le 5 mars 2009 que des mesures sont en réalité effectuées au niveau de ces installations ainsi qu'une vérification de l'activité du radon dans leur environnement proche sur stations fixes (fournies par le laboratoire Algade) avec mesure intégrée mensuelle.

S'agissant d'ICPE et non d'INB, les résultats ne sont pas regroupés avec ceux des INB.

La CRIIRAD recommande que ces résultats (évaluations du terme source et de l'impact) soient ajoutés au rapport environnement du site de Cadarache.

2 / Sur le plan méthodologique, afin d'interpréter les mesures de concentration en radon dans l'air ambiant à proximité de ces entreposages, il conviendrait de disposer de résultats de mesure du bruit de fond naturel en un nombre suffisant de stations de référence et de résultats de mesures d'exhalation de radon au plus près des déchets afin de vérifier le niveau d'étanchéité des « emballages ».

En ce qui concerne la seconde remarque, le document [21] qui présente les mesures détaillées de mai et juin 2008 pour chaque INB civile fait état de rejets diffus de radon au niveau des installations<sup>14</sup> :

- **INB 56 (entreposage) : rejet diffus : radon 222 = 78,8 GBq en mai 2008**, chiffre identique en juin 2008. Il s'agit en fait d'un rejet estimé et supposé constant.
- **INB 164 (CEDRA) : rejet diffus : radon 222 = 20 000 Bq en juin 2008** (résultat de mai non communiqué). Le document indique une estimation annuelle de **240 000 Bq de radon 222**. Il s'agit également d'un rejet estimé et supposé constant pour une activité constante en radium 226 entreposé.

Il serait utile que le CEA explicite en détail dans un document technique la méthodologie d'évaluation des rejets diffus de radon et intègre les résultats dans le rapport environnement.

<sup>14</sup> Ce document ne comportant par les ICPE, il n'y est pas fait état de mesures pour les autres entreposages de déchets radifères.

Des éléments préliminaires ont été fournis à la CRIIRAD oralement par le CEA (SPR) lors de la visite du 6 mars 2009 (CEDRA et INB 56).

Il en ressort qu'un taux d'émanation enveloppe a été évalué à partir de campagnes de mesure effectuées par l'ANDRA ou le CEA sur des lots de déchets radifères de caractéristiques connues. Il n'est pas possible de vérifier si ces campagnes sont réellement représentatives de tous les types de déchets radifères entreposés à Cadarache et si les résultats obtenus sont généralisables.

Lors de la visite du 6 mars 2009, un spécialiste du SPR a précisé que :

- dans le cas de **CEDRA**, le bâtiment dédié aux entreposages Fi (Faiblement Irradiant) contient des containers avec paratonnerres au radium 226 compactés et injectés de béton. Des mesures du taux d'émanation effectuées sur un échantillon de 16 colis ont permis d'établir un ratio entre activité en radium 226 contenue et quantité de radon dégazée. C'est ce ratio qui permet d'évaluer le rejet diffus mensuel. Les mesures de l'activité volumique du radon 222 effectuées ponctuellement dans le hangar FI (moniteurs Alphaguard ou Barasol) n'auraient pas indiqué de résultats supérieurs au bruit de fond.
- dans le cas de **l'INB 56**, des campagnes de mesure réalisées autour de l'installation ont montré une augmentation de l'activité du radon 222, de l'ordre d'un **facteur 2** par rapport au bruit de fond, à une cinquantaine de mètres.

S'agissant de l'INB 56, un impact d'un facteur 2, s'il est confirmé, viendrait contredire l'affirmation du rapport annuel 2007 du CEA selon laquelle il n'y a pas d'émanation de radon consécutive à l'entreposage d'éléments radifères.

3 / Sur le plan de la surveillance de l'impact, outre la mesure de l'activité volumique du radon 222 dans l'air extérieur, il sera nécessaire de vérifier l'accumulation au sol et sur la végétation du **plomb 210 et du polonium 210**, descendants à vie longue du radon 222 et particulièrement radiotoxiques par ingestion.

On notera que les mesures de radioactivité effectuées par le CEA sur les sols, feuilles de thym, fruits et légumes ne comportent pas ces paramètres (voir par exemple rapport environnement 2007 pages 32 et 33).

Le CEA a précisé [25, p5] : « *Vérifications d'absence ou de présence dans le sol et sur la végétation du plomb 210 et du polonium 210 particulièrement radiotoxiques : Le plomb 210 se détecte par spectrométrie gamma. Sa valeur n'est pas reportée dans les tableaux car, d'une part il est d'origine naturelle, d'autre part il est presque systématiquement indétectable. Le polonium 210 n'est pas recherché car la détection du plomb 210 suffit pour estimer l'abondance des descendants du radon. Voir en annexe les tableaux complétés avec les valeurs de plomb 210* ».

Dans les nouveaux documents transmis [25], le CEA a effectivement fait figurer l'activité du plomb 210 dans les boues sanitaires de la station d'épuration (51,9 Bq/kg), les végétaux aquatiques de la campagne de 2007 (valeurs inférieures à la limite de détection de l'ordre de 2 à 5 Bq/kg frais) et les poissons de la campagne de 2006 (Barbeaux de : Manosque, Vinon sur Verdon et de l'exutoire).

On notera que le plomb 210 est détecté dans les filets de barbeaux à l'exutoire (4,6 Bq/Kg frais) et que les valeurs sont inférieures aux limites de détection pour les stations amont (< 2,4 et < 12 Bq/kg frais).

Afin de permettre l'interprétation de ces résultats, il est nécessaire que le CEA publie systématiquement les activités du plomb 210 issues des spectrométries gamma effectuées sur le milieu aquatique (dont les boues de curage des bassins de rejet) et bien sûr sur le milieu terrestre (sols, légumes, bioindicateurs).

Priorité doit être donnée aux échantillons « terrestres » collectés en champ proche de l'INB 56 ou des ICPE où sont entreposés des déchets radifères.

## 6 Rejet de carbone 14 à l'atmosphère

### 6.1 Généralités

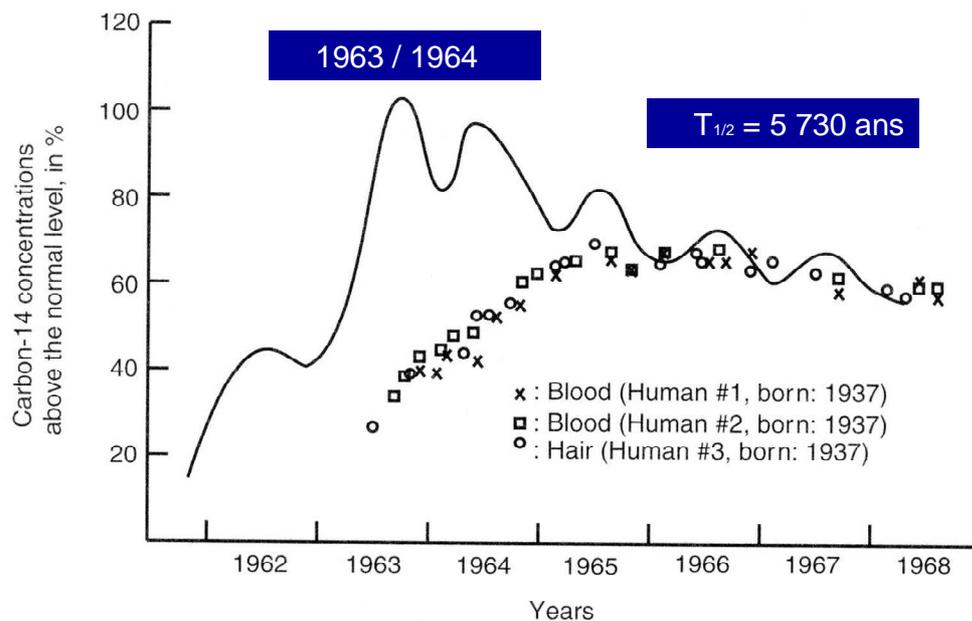
Le carbone 14 est un radionucléide émetteur bêta de période physique égale à **5 730 ans**. Il est présent naturellement dans l'environnement.

Les réactions d'activation neutronique conduisent à la production de carbone 14 artificiel au sein de certaines installations nucléaires ce qui conduit à des rejets radioactifs sous forme de monoxyde de carbone, gaz carbonique, etc.

Dans l'environnement, le carbone 14 se retrouve dans l'ensemble de la biosphère étant donné que le carbone est un constituant élémentaire de la matière vivante.

Les essais nucléaires atmosphériques particulièrement intenses dans les années 50-60 ont conduit à une contamination massive de l'environnement (et de l'être humain) par du carbone 14 artificiel comme l'illustre le graphique ci-dessous.

Teneur en Carbone 14 dans la Troposphère (8 à 10 km), et dans les cheveux et le sang humain en Scandinavie



### 6.2 Evaluation des rejets atmosphériques par le CEA

#### Limites réglementaires

L'arrêté de rejet de 1978 fixait une limite annuelle de rejet globale (555 000 GBq) pour la somme des rejets de gaz et tritium. La CRIIRAD a dénoncé depuis de nombreuses années le fait que la contribution du C14 gazeux (CO<sub>2</sub> par exemple) était totalement occultée par ce dispositif de surveillance des rejets gazeux.

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 a créé des catégories plus spécifiques (gaz rares radioactifs, tritium, carbone 14) et fixé des limites par INB.

S'agissant du carbone 14, la somme des limites de rejet pour l'ensemble des INB de Cadarache est de **90,1 GBq/an** pour les INB civiles et 17 GBq/an pour l'INBS.

A titre de comparaison sont listées dans le tableau T8 ci-dessous les limites de rejets de carbone 14 à l'atmosphère d'autres sites nucléaires en France classés par ordre croissant.

**T8 / Autorisations de rejet annuel de carbone 14 à l'atmosphère de sites nucléaires en France**

Site	Type d'installation	Carbone 14 (GBq)
Cadarache	Recherche (INB civiles)	90,1
Cadarache	INBS	17
Saint-Laurent	Centrale électronucléaire 2 REP 900 MW, 2 UNGG arrêtés	1 100
ILL Grenoble	Réacteur de recherche 58,3 MWt (eau lourde)	2 000
Gravelines	Centrale électronucléaire 6 fois 900 MW	3 300
Saclay	Recherche	5 200 (demande)
La Hague	Usine retraitement AREVA	28 000
CEA Valduc	Nucléaire militaire	Non précisé
Marcoule	Nucléaire militaire	Non précisé
Superphénix	Phase de démantèlement réacteur neutrons rapides	Non précisé
CEA Buyères le Chatel	Nucléaire militaire	Non précisé

On remarque qu'en ce qui concerne le carbone 14, le Centre de Cadarache dispose d'autorisations de rejets inférieures d'un ordre de grandeur à celles des centrales électronucléaires.

Comme indiqué dans le tableau ci-après l'essentiel des autorisations du centre de Cadarache pour les rejets de carbone 14 provient de l'**INB 55** (80 GBq/an) et de **CEDRA** (10 GBq/an lorsque sera mise en place l'unité d'incinération et/ou d'électro-décontamination).

**Année 2007**

Le CEA effectue des mesures en différé (mensuelles sur échantillonnage continu) de l'activité du carbone 14 au niveau des cheminées de **6 installations**.

Pour 2 d'entre elles il s'agit de procéder à une « vérification d'absence » avec une limite de détection fixée à **10 Bq/m<sup>3</sup>** par l'arrêté interministériel.

Nous avons regroupé dans le tableau T9 ci-après les rejets de carbone 14 à l'atmosphère déclarés par le CEA en 2007, les autorisations de rejet annuel imposées par l'arrêté interministériel du 5 avril 2006 pour chaque installation et des remarques issues de la consultation des registres détaillés de mai et juin 2008 [21].

Du fait de retard pris par le CEA pour la mise en place de ces mesures, les résultats pour l'INB 55 ne concernent qu'une partie de l'année. Pour les INB 24 et 156 les mesures n'ont pas encore commencé en 2007. Il s'agit donc de résultats partiels.

A noter une erreur d'un facteur 100 dans le rapport TSN 2007 [18, p25] qui fait état pour l'INB 55-LECA d'un rejet de  $3,11 \cdot 10^1$  GBq soit 31,1 GBq en 2007 alors qu'il s'agit selon le rapport CEA 2007 [8bis, p16] de  $3,11 \cdot 10^{-1}$  soit 0,311 GBq. Cette erreur a été confirmée par le CEA lors de la réunion du 5 mars 2009.

## T9 / rejets annuels de carbone 14 à l'atmosphère mesurés par le CEA Cadarache en 2007

Nom INB	Code INB	Autorisation (GBq)	Rejet Annuel 2007 en GBq	Type de surveillance (1)	Remarques mai-juin 2008
Pegase Cascad	INB 22	0,14 (lors de rejets concertés)	Pas de rejet concerté en 2007	E27 (en cas de rejet concerté)	Juin 2008, rejet concerté = 1,3 MBq
CABRI et SCARABEE	INB 24	VA	Attente de mise en service de la ventilation définitive	E34 M	
RAPSODIE+LDAC	INB 25				
ATPu / AREVA	INB 32				
STEDS	INB 37				
MASURCA	INB 39				
HARMONIE	INB 41	-	Démantelé		
EOLE MINERVE	INB 42-95				
ATUe	INB 52			-	
MCMF	INB 53				
LPC / AREVA	INB 54				
LECA	INB 55 LECA	45	0,311 (à partir d'avril)	E22 M	Mai 2008 = 0,317 GBq, juin = 0,355 GBq
STAR	INB 55 STAR	35	0,878 (à partir de juillet)	E64 M	Mai 2008 = 0,102 GBq, juin = 0,101 GBq
Entreposage	INB 56				Rejet diffus mai 2008 = juin = 10 000 Bq
PHEBUS	INB 92				
IRCA	(INB 121)				
LEFCA	INB 123			-	
CHICADE	INB 156	VA	Non mesuré (retard mise en oeuvre)	E56 M	Non mesuré en Juin 2008
CEDRA	INB 164	10	non mesuré car limite porte sur incinérateur et/ou unité d'électro-décontamination non construites	E79 M (émissaire non construit)	émissaire non construit

Total (GBq)

90,1 1,2

VA = vérification d'absence  
 (1) N° de l'émissaire et mesure sur échantillon hebdomadaire (H) ou mensuel (M)

Sur la base des mesures CEA de 2007 (partiels) on constate que les rejets de carbone 14 à l'atmosphère du site de Cadarache (1,2 GBq) sont actuellement nettement inférieurs à ceux d'une centrale électronucléaire (par exemple les rejets annuels de carbone 14 du CNPE de Saint-Alban sont typiquement de l'ordre de 200 à 400 GBq par an).

Ces résultats sont cependant encore partiels. La mise en place de la métrologie du carbone 14 au niveau de tous les émissaires listés par l'arrêté n'était pas encore finalisée à fin 2007. Il semble que ce soit encore le cas pour CHICADE en juin 2008.

### Période antérieure

Nous ne disposons pas de données sur les rejets de carbone 14 antérieurs à 2007.

## 6.3 Recommandations

### Exhaustivité du terme source

Il serait utile que pour chaque<sup>15</sup> installation le CEA explicite pourquoi le carbone 14 est ou n'est pas mesuré aux émissaires en fonction de son mode de production et de la gestion des effluents gazeux associés, pourquoi il s'agit selon les cas d'une vérification d'absence ou d'une mesure associée à une autorisation de rejet.

L'évaluation des rejets diffus devrait également être explicitée. On s'interroge par exemple sur l'existence de rejets diffus de carbone 14 au niveau de l'INB 56 (entreposage) alors qu'elle ne dispose pas d'autorisations de rejet.

### Optimisation de la protection

Il serait utile que le CEA explicite l'origine exacte des rejets de carbone 14 attendus pour ses installations, en particulier pour l'INB 55 (LECA-STAR) et CEDRA.

S'il s'agit de rejets ponctuels liés à des expérimentations spécifiques la question de la rétention de ce gaz mérite d'être posée en application du principe d'optimisation de la protection.

Dans la note [25, p5], le CEA n'apporte pas de précisions complémentaires. Il indique simplement pour l'origine du carbone 14 sur les installations LECA-STAR et CEDRA : « *Le carbone 14 accompagne les combustibles irradiés* ».

Lors de la visite du 6 mars 2009 sur l'installation CEDRA, le technicien du SPR a précisé que des campagnes de mesure de l'activité du carbone 14 dans l'air du bâtiment d'entreposage des déchets Faiblement Irradiants sont effectuées ponctuellement par barboteur. Les résultats correspondent selon lui au niveau naturel. De même les campagnes ponctuelles sur les rejets en cheminée du bâtiment d'entreposage des déchets Moyennement Irradiants (MI) donnent des résultats inférieurs aux limites de détection.

La CRIIRAD recommande que le CEA transmette à la CLI une documentation technique détaillée précisant pour chaque INB comment est évaluée l'absence ou la présence du carbone 14 dans le terme source et décrivant la stratégie d'évaluation des rejets de carbone 14.

## 6.4 Impact des rejets atmosphériques de carbone 14

### 6.4.1 Mesures CEA dans l'air ambiant

Une mesure de l'activité volumique du carbone 14 dans l'air ambiant est effectuée par le CEA depuis **2006**, sur échantillon mensuel issu d'un échantillonnage en continu par barboteur. La mesure est effectuée en 3 stations (Ginasservis, Saint-Paul-lez-Durance et la Verrerie).

A titre indicatif les résultats présentés par le CEA dans le rapport environnement 2006 [8-2006, p26] sont reproduits ci-dessous.

---

<sup>15</sup> Il serait utile par exemple que le CEA indique pourquoi il n'y a pas de recherche de C14 au niveau de la STEDS alors que cette installation traite des liquides contaminés par du carbone 14.

Tableau 18 : Activité du  $^{14}\text{C}$  (en  $\text{Bq/m}^3$ ) mesurée en 2006 sur les stations de la Verrerie, de Ginasservis et de St Paul-lez-Durance.

Station de surveillance de l'environnement	Activité en $^{14}\text{C}$ ( $\text{Bq/m}^3$ )	
	Moyenne 2006	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
VERRERIE	0,06	100%
GINASSERVIS	0,064	100%
S'-PAUL-LEZ-DURANCE	0,066	100%

Pour l'année 2007, le CEA fait état également de la détection de carbone 14 dans 100 % des prélèvements avec une activité moyenne de **0,055 à 0,066  $\text{Bq/m}^3$**  selon les stations.

#### 6.4.2 Autres mesures CEA dans l'environnement

Dans le cadre du programme de surveillance du milieu terrestre, le CEA effectue des contrôles sur les sols, le thym, les fruits et légumes, le lait de chèvre et le gibier .

S'agissant du milieu aquatique les contrôles portent sur l'eau, les sédiments, les végétaux aquatiques et les poissons.

Pour tous ces compartiments les mesures figurant dans le rapport environnement **2006** ne faisaient état **d'aucune détermination du carbone 14**.

Le dosage du carbone 14 n'apparaît que dans le rapport **2007** qui fait état.

- Des mesures effectuées en 2006 dans les poissons à Manosque (230  $\text{Bq/kg C}$  dans les filets et 250  $\text{Bq/kg C}$  dans les arêtes, mais aucune mesure n'est présentée pour les poissons prélevés à l'exutoire des rejets).
- Quant au milieu terrestre les activités mesurées sont de 237  $\text{Bq/kg C}$  (légume-racine), 244  $\text{Bq/kg C}$  (légume fruit) et 233 à 273  $\text{Bq/kg C}$  (légume fruit). Aucune mesure de carbone 14 n'est effectuée sur la catégorie légume feuille.

#### 6.4.3 Commentaires et recommandations

##### Positionnement des stations (air)

S'agissant de la mesure du carbone 14 dans l'**air ambiant**, Il serait utile que le CEA explicite le choix des 3 points de surveillance. Ce choix n'est pas cohérent avec celui des points de surveillance du tritium dans l'air ambiant.

Sur ce point le CEA a précisé ultérieurement [25, p5] :

*« Les trois stations de prélèvement en continu sur barboteurs ont été positionnées en fonction de la rose des vents (vents dominants) et des populations potentiellement exposées : St Paul, Verrerie, Ginasservis. Le tritium est suivi quant à lui sur 4 points vis-à-vis de la rose des vents également (St Paul, Verrerie et Cabri) avec un point supplémentaire à la Grande-Bastide »*

et [25, p2] :

*« Pourquoi les 3 points de surveillance du carbone 14 sont-ils différents de ceux du tritium ? : Deux points sont identiques, Saint-Paul et Verrerie, pour le troisième le tritium est mesuré à la station Cabri et le carbone 14 à Ginasservis. Ces deux stations sont sous les mêmes vents par rapport au centre. »*

##### Expression des résultats (air)

Les mesures réalisées par le CEA dans l'air ambiant ne sont pas directement utilisables pour une analyse fine de l'impact des rejets de carbone 14.

En effet, le carbone 14 est omniprésent dans notre environnement. La mise en évidence d'un apport de carbone 14 par le Centre nécessiterait d'exprimer les résultats en activité spécifique sous forme d'une teneur : Bq de carbone 14 par unité de masse de carbone stable.

Lors de la réunion du 5 mars 2009, le CEA a donné son accord et précisé que les résultats seraient également publiés en Bq C14 / g C avec mention de la valeur maximale du mois.

Ce type de surveillance est effectué depuis peu par le CEA (année 2007) sur les poissons et les fruits et légumes, mais les résultats reportés dans le rapport annuel ne permettent pas de conclure.

### Milieu aquatique

S'agissant des **poissons**, les mesures reportées dans le rapport environnement 2007 portaient uniquement sur les échantillons prélevés en **amont** hydraulique du rejet (Manosque).

Le CEA a remis un document complémentaire [25, p12] où figurent les mesures de carbone 14 (Bq/kg C) effectuées respectivement dans les filets et arêtes des barbeaux prélevés en 2006 à Manosque (231 et 245 Bq/kg C), Vinon-sur-Verdon (219 / 222 Bq/kg C) et à l'exutoire (245 / 218 Bq/kg C).

Il est nécessaire de disposer des marges d'incertitude pour interpréter les résultats.

Le CEA a également remis [25, p11] des résultats de dosage du carbone 14 en 2007 dans les **végétaux aquatiques**.

Seule est donnée l'activité des potamots prélevés en aval du rejet à Saint-Eucher (**260 Bq/kg C**). En l'absence de résultats pour les stations amont de Manosque et Vinon-sur-Verdon et compte tenu du fait que les plantes collectées aux 3 stations sont différentes, il n'est pas possible d'évaluer la contribution éventuelle des rejets du CEA.

### Milieu terrestre

S'agissant **des fruits et légumes**, les résultats publiés dans le rapport annuel 2007 semblent cohérents avec le bruit de fond attendu<sup>16</sup> avec une nuance pour certains échantillons de la catégorie légume-fruit (**273 Bq/kg C**). On déplore l'absence de mesure pour les légumes-feuille, catégorie pourtant particulièrement sensible aux retombées atmosphériques.

Lors de la réunion du 5 mars 2009, le CEA a précisé que cette mesure a été effectuée en 2008 sur des blettes avec un résultat de **257 Bq/kg C**. La localisation de l'échantillon n'a pu être précisée en séance.

Pour conclure quant à un impact ou non des rejets atmosphériques de carbone 14 du Centre de Cadarache, il serait utile d'établir une **cartographie** à partir par exemple de feuilles de **chênes verts** selon une campagne annuelle avec des échantillons choisis en fonction de la localisation par rapport aux émissaires de rejet.

Compte tenu de l'absence de mesures sur les rejets de carbone 14 des installations nucléaires de Cadarache avant 2007, dans un souci de reconstitution des impacts historiques, il serait utile également d'effectuer une campagne de mesure du carbone 14 dans les **anneaux de croissance** d'arbres de la même espèce prélevés en fonction de la rose des vents.

<sup>16</sup> En effet, dans l'hémisphère nord l'activité spécifique du carbone 14 dans les anneaux de croissance des arbres est passée d'environ 220 à 230 Bq/kg C au début des années 50 à des valeurs supérieures à 700 Bq/kg C dans les années 70 et le début des années 80. La majorité de cette contamination jusqu'au milieu des années 60 est imputable aux essais nucléaires atmosphériques. De nos jours, il est difficile d'estimer le « bruit de fond », on trouve selon les auteurs des valeurs autour de 240 à 260 Bq/kg C.

## 7 Surveillance des eaux souterraines

### 7.1 Les sources de contamination

Le fonctionnement du Centre de Cadarache a conduit à une contamination des sols tout au moins en certains secteurs à l'intérieur du périmètre du site. Cette contamination peut induire une contamination des eaux de ruissellement et des eaux souterraines.

Cette contamination peut être due à plusieurs types d'évènements.

Quelques exemples sont indiqués ci-après :

1 / Les **retombées** consécutives à la dispersion de matières radioactives dans l'air ambiant (rejets chroniques et incidents).

Par exemple, le rapport environnement de 1971 indique « *Une fuite d'UF6 mettant en jeu environ 150 grammes d'uranium total a été décelée, le 8 décembre, à la cheminée des ateliers d'uranium enrichi. Des contrôles de contamination atmosphérique, effectués à proximité du bâtiment, n'ont pas mis en évidence de contamination significative de l'air. Des contrôles de la végétation et du sol ont décelé, sous le vent de l'installation, des contaminations en uranium significatives, mais très faibles (au maximum, 16 picocuries par gramme<sup>17</sup> de matière sèche) sur des feuilles de chêne-vert, à l'intérieur du Centre. Les fortes précipitations qui se sont manifestées les jours suivants ont d'ailleurs fait disparaître ces traces* ».

2 / Les mauvaises conditions **d'entreposage de déchets radioactifs** (tranchées INB 56, ZEDI : Zone d'Entreposage des Déchets Inertes)

3 / Le **déversement de liquides** contaminés vers le réseau **d'eau pluviale**. (cf. ATUE)

4 / Les **fuites de liquides radioactifs** à l'intérieur des installations (CABRI, INB 37) ou entre les installations lors des opérations de transfert (fuites de tuyauteries).

Le rapport de synthèse établi par le CEA [2] liste ainsi un certain nombre de « Points de Vigilance » qui illustrent ces dysfonctionnements.

Nous avons regroupé les principales informations concernant ces « points de vigilance » dans les tableaux T10 et T11 ci-après, complétés par nos soins après consultation d'autres documents [18], et discussion avec le CEA lors de la mission sur site du 1 au 3 octobre 2008.

Note : Il sera nécessaire de disposer d'une carte détaillée de l'implantation de tous les piézomètres et des résultats complets des suivis pour valider la ligne « situation actuelle » de ces 2 tableaux. En effet, les résultats de suivi des eaux souterraines reportés dans les rapports environnement ne sont pas complets car n'y figurent que les résultats concernant les piézomètres « règlementaires ».

---

<sup>17</sup> Ce qui représente 592 Bq/kg de matière sèche.

Tableau T10 / Points de vigilance identifiés par le CEA

Localisation	CABRI (INB 24)	Entreposage tranchées (INB 56)	Zone "Champ Grande Bastide (GB)"
Date	25-juin-97	Années 70-80	01-juin-93
Nature du problème	Suintement d'eau détecté à l'intérieur du bâtiment réacteur (niveau -11 m). Activité volumique en tritium de 40 000 Bq/l (identique à celle de l'eau du bac où est entreposé le combustible du cœur du réacteur)	Entre 1969 et 1974 entreposage en 5 tranchées de 3 000 m3 de déchets radioactifs. Mauvaises conditions de confinement (défaut étanchéité d'une alvéole ou d'un puisard de drainage)	Zone d'environ un hectare près de l'INB 37 (traitement effluents radioactifs) traversé par caniveau de collecte des eaux pluviales. Ecoulement d'eau au sous-sol d'un bâtiment de l'INB 37 par débordement cuve effluents radioactifs vers puisard connecté au réseau d'eau pluviale. Ecoulement de 10 à 12 m3 vers champ GB, puis ravin de la Bête et Durance.
Surveillance initiale	Eau de surface (ravin de la bête) et eau souterraine (puits du médecin) : pas de contamination <sup>1</sup>	Début années 80 : tritium, uranium, plutonium, Am 241, Sr 90, Cs 137 détectés dans certains forages.	Juste après l'incident eau du puisard : Cs 137 = 110 Bq/l, Am 241 = 730 Bq/l. Exutoire eaux pluviales (Cs 137-Am 241 : < 3 Bq/l) et forage proche exutoire (Cs 137-Am 241 < 0,4 Bq/l).
Surveillance complémentaire	Réalisation de forages complémentaires en 1997 : forage Nord (CABRI 1 : pas d'eau), forage sud (CABRI 4 : tritium=50 Bq/l et augmentation jusqu'à 500 Bq/l en 1998. Réalisation de 7 forages supplémentaires autour de CABRI de mai à juin 1998. Forages 7,8,9,11 et Nord : pas de tritium. Forage 5 et 6 tritium détecté < 50 Bq/l : Forages 10 (proche forage sud) : 50 Bq/l environ.	Forages en 1999. Présence dans le sol de césium 137 (0,1 à 10 Bq/kg) sous toutes alvéoles et cobalt 60 sous F3 et entre F3 et F4 (1 à 10 Bq/kg). Confirmation par 3 carottages en 2003 près F3 entre 5 et 9 mètres de profondeur. Cartographie à partir d'échantillons de terres "pas de trace d'une activité radiologique"	Mai 2001 Analyse de thym et terre champ GB (a priori du caniveau). Thym : détection de Pu 238 (0,23 Bq/kg cendres), Pu239-240 (3,8 Bq/kg cendre), Am 241 (4,8 ou 4 ? et 5,4 Bq/kg <sup>2</sup> cendres), Cs 137 (34 Bq/kg cendre). Terre : détection de Pu239-240 (0,2 Bq/kg), Am 241 (1,9 Bq/kg) et Cs 137 (33 Bq/kg). Pour le CEA : Am 241 thym provient de INB 37
Traitement du problème	Le tritium provient de l'irradiation du circuit d'hélium dont les joints ont ensuite été remplacés par des soudures. Le bac a été doublé par un revêtement inox	1 / En 2000 installation d'un drain autour des tranchées 2 / Installation d'un puits de pompage prévu en 2005 3 / Depuis mars 2004 extraction en cours des déchets. Chantier arrêté en 2007 pour raisons de sécurité (confortement des parois des tranchées).	Connection du puisard au réseau d'effluents industriels après 1993. "radionucléides présents dans champ GB sur zone environ quelques m2 fixés au sol". Maintient surveillance eaux souterraines et thym
Remarques sur la nature de la contamination	Tritium uniquement	Début années 80 : Tritium, Alpha (uranium, plutonium, Am 241), Bêta (Sr 90, Cs 137)	Cs 137 et Am 241
Situation actuelle	Diminution progressive de l'activité du tritium. En 2007 : 52 Bq/l à CABRI sud	Selon le CEA : "plus d'activité radiologique aujourd'hui dans les nappes". En P5 : tritium (500 Bq/l en 2006 et 147 Bq/l en 2007), alpha = 0,07 Bq/l, bêta = 0,12 Bq/l (pas de radiochimie)	Eau forage en 2007 : tritium < 5,5 Bq/l, alpha = 0,076 Bq/l, bêta = 0,3 à 0,5 Bq/l

(1) Limite de détection non précisée

(2) selon [2] Am 241 thym = 0,04 Bq/g cendres (dans le texte) alors que dans le tableau Am 241 thym = 4,8 10<sup>-3</sup> Bq/g cendres soit 0,0048 Bq/g.

Note : s'agissant de la contamination en tritium en proximité des 4 bassins de rejet, le CEA a indiqué lors de la réunion du 5 mars 2009 que le tritium n'était détecté que dans les drains et pas dans les eaux souterraines du secteur. La compréhension des mécanismes de fuite n'est pas totalement acquise. Le CEA envisage de rejeter les lots de distillats tritiés dans les 2 nouveaux bassins en cours de construction car ils seront équipés d'un double liner avec détection de fuite sous le premier liner.

Tableau T11 / Points de vigilance identifiés par le CEA (suite)

Localisation	Bassins 3 000 m3	STE (traitement effluents) /INB 37	Zone d'entreposage des déchets inertes (ZEDI)	Atelier de traitement de l'uranium enrichi (ATUE)
Date	janvier 1998	A partir de 1999	Depuis la création du centre (détection tritium eau en 1993)	Années 70
Nature du problème	4 Bassins de 3 000 m3 pour collecte effluents traités avant rejet en Durance. Transfert de distillats tritiés une ou 2 fois par an. Surveillance des bassins par drains amont et aval : tritium non détecté (< 6 Bq/l) sauf lors des campagnes de rejet de distillats en janvier 1998 (2 000 Bq/l amont et 5 300 Bq/l aval)	La STE (mise en service 1964) traite les effluents radioactifs liquides par évaporation et gère le rejet des distillats. A partir de 1999 la plupart des valeurs en alpha bêta des contrôles sur eau souterraine du secteur STE supérieures à la limite de détection de 0,1 Bq/L.	Cette zone a été créée avec les premiers travaux de construction du centre et pouvait jusqu'en 1991 accueillir des déchets radioactifs (TFA) : terres, gravats, béton, cendres de machefer. Volume à fin 2003 = 190 000 m3 dont 1 650 m3 de TFA et une activité de 34,5 MBq max.	Conversion d'UF6 enrichi en oxyde. Atelier mis à l'arrêt en juillet 1995, démantèlement en cours. Entretien avec les salariés : déversement de liquides contaminés dans les canalisations d'eau pluviale au cours des années 70 et non dans le réseau des effluents industriels, comme cela aurait dû être le cas.
Surveillance initiale	Mesure tritium dans drains amont et aval mais pas de mesure aval janvier 1999 et amont mars 2001. Max tritium aval = 8 160 Bq/l (mars 2001). Max tritium amont = 4 159 Bq/l (janvier 1999)	cf ci-dessus	-	-
Surveillance complémentaire	En 2002 forage de 4 piezomètres REJ 1 à REJ . Suivi à partir de juin 2002 : *seul REJ 4 a été contaminé par du tritium (max 76 Bq/l lors du rejet de décembre 2003* tandis que 1 300 Bq/l dans le drain proche.	En 2002 détection par radiochimie d'uranium, plutonium et américium dans eaux souterraines. Campagne mesure sols surface et subsurface : contamination sur 1 m de profondeur et quelques mètres carrés : Am 241 = 720 000 Bq/kg, Cs 137 = 160 000 Bq/kg.	1 / Etude eaux souterraines en 1993 (tritium = 70 Bq/l), alpha et bêta < LD 2 / Cartographie de surface en 2001 et analyses de sol par spectrométrie gamma : contamination du sol Cs 137 (740 Bq/kg), Am 241 (6,4 Bq/kg), U 238 (260 Bq/kg), U 235 (11 Bq/kg)	Novembre 2001 : cartographie teneur en uranium des sols de surface. 3 points chauds dont taux de comptage 17 fois supérieur au bruit de fond. Traçage sur le bitume. Confirmation uranium par spectrométrie gamma portable et Cs 137 dans 1 cas. Fin 2001 : 10 prélèvements dans réseau eau pluviale, confirmation contamination U238 max = 8 300 Bq/kg.
Traitement du problème	1 / Pose d'un liner dans les bassins en 1999 / 2 / tubage du collecteur des eaux de vidange des bassins jusqu'au déblimètre en 2000 / 3 / Chemisage des conduites de vidange des bassins 1 et 3, reprise étanchéité puisards en 2001 / 4 / renvoi du drain amont dans la conduite de rejet pour comptabilisation en 2004 / 5 / Reprise de l'étanchéité des caniveaux d'alimentation des bassins en 2004 / 6 / investigations en cours	1 / Cause non déterminée : "soit une canalisation désaffectée en grès ayant contenu des effluents chargés en émetteurs alpha, soit une ancienne aire d'essais où des cuves de décantation auraient été momentanément laissées à l'air libre". 2 / La terre sera enlevée sur 1 mètre de profondeur	Surveillance des eaux souterraines	Enlèvement des terres dans le cadre du démantèlement de l'ATUE
Remarques sur la nature de la contamination	tritium	Uranium (234, 235, 236, 238) Plutonium (238, 239, 240), Am 241, Césium 137	tritium, césium 137, uranium, américium 241, etc.	Uranium, césium 137
Situation actuelle	En avril 2005 situation non résolue (tritium drain amont = 118 Bq/l, tritium drain aval = 2631 Bq/l). Selon CEA en février et novembre 2007 pas de tritium significatif	Selon le CEA pollution des eaux non détectée en 2007	Tritium = 50 Bq/L en 2007 dans les eaux souterraines (forage ZEDI 1)	Contamination du sol repérée et surveillée

## 7.2 Situation en 2007

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 précise en son article 22 : « *Un contrôle des Eaux souterraines sous-jacentes aux installations est réalisé mensuellement par prélèvements effectués à partir de 37 piézomètres. Sur ces prélèvements, il est réalisé la détermination des activités alpha et bêta globales, du tritium et de la teneur en potassium.*

*Les eaux prélevées au point SD5 font en outre l'objet d'une détermination semestrielle de l'activité du strontium 90 et une spectrométrie alpha permettant notamment la détermination de l'activité des actinides.*

*Les eaux prélevées au point STE2 font semestriellement l'objet d'une spectrométrie alpha ».*

La carte des ouvrages contrôlés, issue du rapport environnement 2006 est reproduite ci-après.

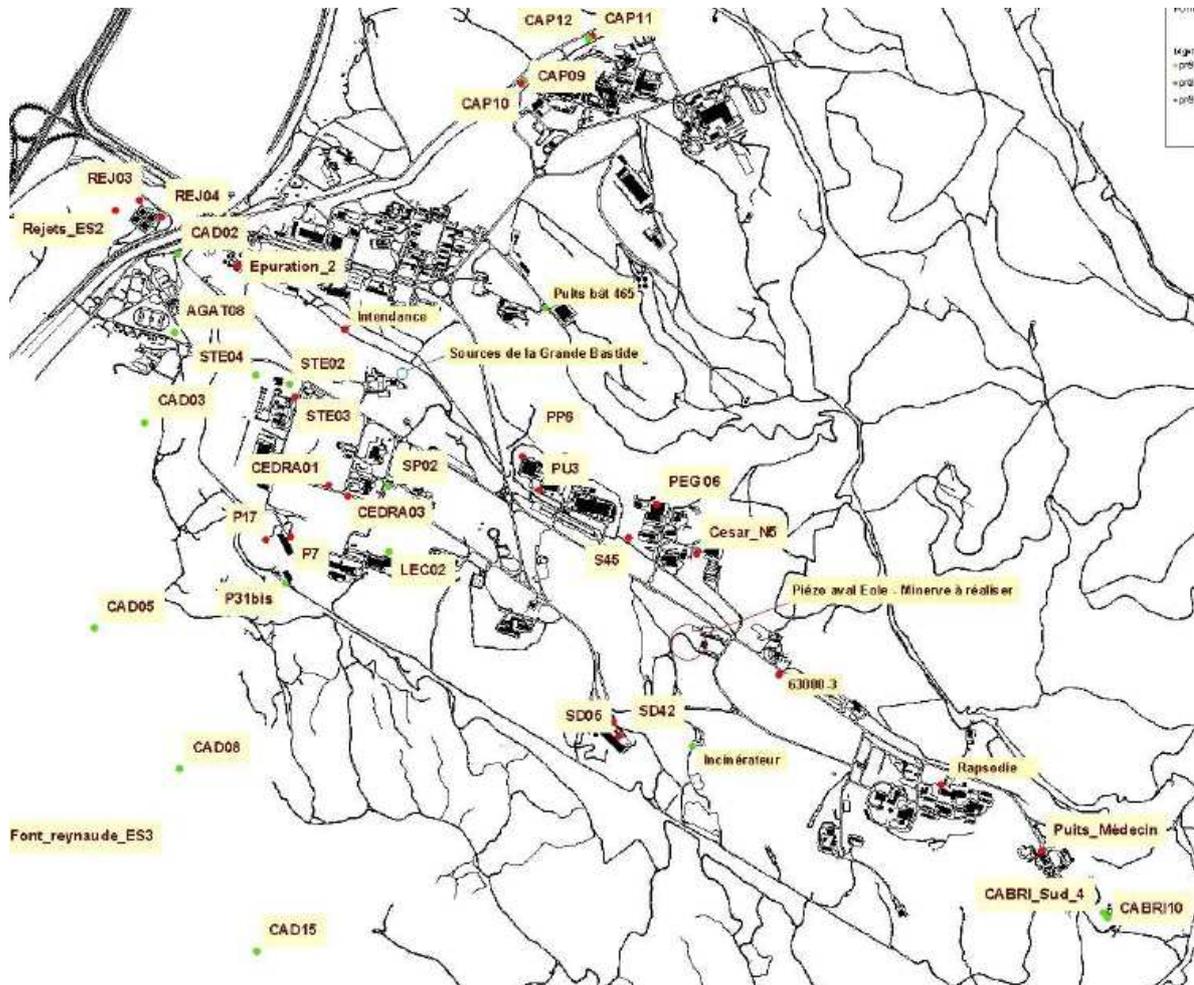
### Secteurs présentant une contamination avérée

Les résultats analytiques issus du rapport 2007 sont reproduits ci-après sous forme de 2 tableaux T12 et T13. Ces mesures confirment la **persistance d'une contamination** dans un certain nombre de secteurs :

- Pollution par des émetteurs **alpha** en SD5 (**INB 56-entreposage**). L'activité est en baisse (0,14 Bq/l en 2007 contre 0,7 Bq/l en moyenne en 2006).
- Pollution par le **strontium 90** en SD5 (21 Bq/l en moyenne en 2007 ce qui explique l'activité bêta globale élevée). L'activité était de 110 Bq/l en janvier 2004.

- Pollution par le **tritium** en SD24/2 (max 50 Bq/l à un niveau qui se stabilise par rapport à 2006), SD5 (max 79 Bq/l) et dans les ouvrages CABRI sud (max 52 Bq/l) et CABRI 10 (max 25 Bq/l). Le CEA indique que les activités bêta globales au point CABRI 10 sont dues à la présence de potassium 40.

### Carte des points de prélèvement à l'intérieur du site / Rapport CEA 2006



### Secteurs présentant des résultats à approfondir

D'autres points présentent des activités **alpha** globales ponctuellement supérieures à **0,1 Bq/l** (Cesar N5, STE2, LEFCA) ou des activités **bêta** globales ponctuellement supérieures à **0,2 Bq/l** (PEG2, STE2, SP2, LEFCA).

Il serait utile que le CEA précise au moyen d'analyses plus poussées s'il s'agit de radioactivité naturelle ou de contaminations et documente ce point dans le rapport annuel.

L'arrêté demande d'ailleurs des mesures semestrielles par spectrométrie alpha en STE2 (ces résultats sont transmis à l'ASN). Le CEA a indiqué en réunion du 5 mars 2009 que le piézomètre STE 2 est en proximité d'une ancienne canalisation de transfert d'effluents actifs (INB 37).

Le cas des ouvrages Epuration2, rejets ES2, STE2, PEG2, REJ3, REJ4, P31 bis, CAD 15, PU3 mériterait une interprétation quant aux activités significatives en tritium mesurées (de 3,4 à 11,3 Bq/l en valeur maximale ou moyenne).

Tableau T12 / résultats CEA / contrôle des eaux souterraines 2007

	Activité $\alpha$ globale (Bq/L)	Activité $\beta$ globale (Bq/L)	Activité tritium (Bq/L)
<b>Forages</b>	Moyenne	Moyenne	Moyenne
<b>Epuration_2</b>	0,07 Mini= 0,06 Max= 0,09	0,09 Mini= 0,06 Max=0,12	3,5 Mini= 2,9 Max= 4
<b>Rejets_ES2</b>	0,04	0,07 Mini= 0,05 Max= 0,09	5,4 Mini= 4,5 Max= 6,5
<b>Font_Raynaude_ES3</b>	Forage sec		
<b>CAP9</b>	0,08	0,09 Mini= 0,06 Max=0,17	<6
<b>CAP10</b>	Forage sec		
<b>CAP11</b>	0,09	0,06	<6
<b>CAP12</b>	0,06 Mini= 0,03 Max= 0,08	0,11 Mini= 0,07 Max=0,16	<6
<b>PEG2</b>	0,07 Mini= 0,03 Max= 0,09	0,97 Mini= 0,69 Max=1,21	3,6 Mini= 2,9 Max= 4,4
<b>César_N5</b>	0,07 Mini= 0,04 Max=0,11	0,08 Mini= 0,07 Max=0,10	<6
<b>STE2</b>	0,12 Mini= 0,05 Max=0,17	0,18 Mini=0,12 Max= 0,23	5 Mini= 3,9 Max= 6,9
<b>STE3</b>	0,04 Mini= 0,06 Max= 0,08	0,08 Mini= 0,06 Max=0,11	<6
<b>STE4</b>	0,05 Mini= 0,05 Max= 0,06	0,08 Mini= 0,06 Max=0,15	3,2
<b>REJ3</b>	0,06	0,07 Mini= 0,06 Max=0,11	4,7 Mini= 2,6 Max= 7,5
<b>REJ4</b>	0,04 Mini= 0,03 Max= 0,06	0,07 Mini= 0,05 Max=0,12	4 Mini= 2,8 Max= 5,1
<b>P7</b>	0,04	0,07 Mini= 0,05 Max= 0,08	2,9
<b>P17</b>	0,04	< 0,11	<6
<b>P 31 Bis</b>	0,06	0,1 Mini= 0,06 Max=0,13	9,3 Mini= 7,1 Max= 11,3
<b>Source Grande Bastide</b>	Source sèche		
<b>SD5</b>	0,14 Mini= 0,05 Max= 0,25	20,6 Mini= 18 Max= 24,4	65 Mini= 36 Max= 79
<b>SD 24/2</b>	0,07 Mini= 0,03 Max= 0,09	0,07 Mini= 0,05 Max=0,10	44,8 Mini=41,6 Max= 50
<b>Cabri 10</b>	0,07 Mini= 0,05 Max= 0,09	0,12 Mini= 0,09 Max=0,15	15,5 Mini= 7,1 Max=25,1
<b>Cabri Sud</b>	0,06 Mini= 0,05 Max= 0,08	0,12 Mini= 0,08 Max=0,15	46,3 Mini= 39,3 Max= 52,1

Tableau T13 / résultats CEA / contrôle des eaux souterraines 2007 (suite)

Forages	Activité $\alpha$ globale (Bq/L)	Activité $\beta$ globale (Bq/L)	Activité tritium (Bq/L)
	Moyenne	Moyenne	Moyenne
SP2	0,07 Mini= 0,05 Max= 0,09	1,3 Mini=0,11 Max= 3,31	<6
LEC2	0,06 Mini= 0,05 Max= 0,08	0,12 Mini= 0,06 Max=0,19	<6
CAD 02	0,04 Mini= 0,03 Max= 0,04	0,08 Mini= 0,05 Max=0,11	<6
CAD 03	0,07 Mini= 0,04 Max= 0,09	0,08 Mini= 0,06 Max=0,12	<6
CAD 05	0,09 Mini= 0,08 Max= 0,09	0,1 Mini= 0,09 Max= 0,11	<6
CAD 08	0,06 Mini= 0,05 Max= 0,07	0,1 Mini= 0,07 Max=0,13	<6
CAD 15	0,05 Mini= 0,03 Max= 0,07	0,07 Mini= 0,06 Max= 0,07	3,4
AGAT 08	0,06 Mini= 0,04 Max= 0,08	0,11 Mini= 0,07 Max=0,15	<6
PU 3	0,05 Mini= 0,03 Max= 0,07	0,08 Mini= 0,05 Max=0,15	3,5
S 45	0,04	0,12 Mini= 0,09 Max=0,14	<6
LEFCA	0,08 Mini= 0,05 Max= 0,11	0,11 Mini= 0,05 Max= 0,23	<6
Puits Médecin	0,05 Mini= 0,04 Max= 0,05	0,06 Mini= 0,05 Max= 0,07	<6
CEDRA1	0,05	0,09 Mini= 0,06 Max=0,10	<6
CEDRA3	0,06 Mini= 0,04 Max= 0,07	0,08 Mini= 0,07 Max=0,11	<6
Eole minerve	0,06 Mini= 0,04 Max= 0,08	0,08 Mini= 0,06 Max=0,11	<6

### 7.3 Données historiques

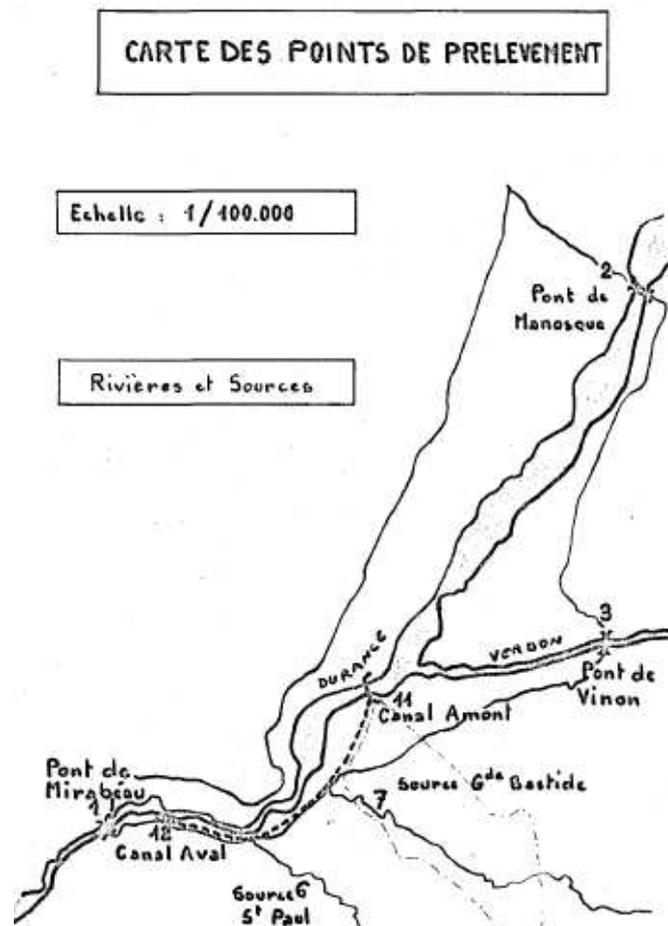
Nous allons détailler ci-après l'examen par sondage des rapports de 1961 (2eme semestre), 1971 (4eme trimestre), 1981 (annuel), 1991 (4eme trimestre) et 2001 (annuel).

Rappelons que bien qu'il émette des rayonnements bêta, le tritium n'est pas détectable par des mesures d'indice d'activité bêta globales « classiques ».

#### Année 1961 (2eme semestre)

En 1961 sont donnés des résultats en activité bêta totale des rivières en 5 stations et de 2 sources (analyses trimestrielles). Seules les analyses des sources (grande Bastide et source Saint-Paul) pourraient renseigner sur la contamination des eaux souterraines. La source Saint-Paul apparaît cependant très éloignée du site (cf carte ci-dessous).

Carte des points de prélèvement de 1961



Les activités bêta globales maximales mesurées au cours du second semestre 1961 sont de l'ordre de 14 nCi/m<sup>3</sup> sur matières en suspension et 11 nCi/m<sup>3</sup> sur eau filtrée soit 0,5 et 0,4 Bq/l.

Les valeurs sont toujours sensiblement plus élevées pour la source St Paul que pour la source grande Bastide.

**Année 1971 (4eme trimestre)**

En 1971 sont rapportés des résultats d'analyses mensuelles ou trimestrielles pour les eaux de sources, puits et sondages. Le document comporte 2 parties (Environnement du centre et intérieur du centre) Sont effectuées des mesures d'activité bêta totale sur eau brute et eau filtrée.

La carte des points d'échantillonnage à l'extérieur du centre (cf. ci-dessous) ne fait apparaître aucun point de type puits ou source très proche du site de Cadarache.

**Carte des points de prélèvement « extérieurs » de 1971**



**PRELEVEMENTS DISCONTINUS**

-  RIVIERE OU CANAL
-  SOURCE PUIITS  
FORAGE OU CITERNE

**PRELEVEMENTS CONTINUS**

-  STATIONS FIXES



Seuls les résultats des points N°19, N°20 et N°24 sont rapportés (résultats trimestriels). Le CEA n'a pas pu apporter de précisions en réunion du 5 mars 2009 sur les résultats obtenus sur les autres ouvrages.

Les activités bêta totales sont non significatives (< 5 pCi/l soit 0,2 Bq/l) sauf pour les MES du point N°20 en mai (3,6 pCi/l soit 0,13 Bq/l) et les eaux filtrées du point N°24 en mai (3,6 pCi/l).

#### **Année 1991 (4 eme trimestre)**

Il n'est fait mention d'aucun résultat sur des eaux souterraines.

#### **Année 2001**

Ce rapport indique que **plus d'une centaine de piézomètres** permettent de surveiller de façon mensuelle les nappes phréatiques sur le CEA Cadarache et à l'extérieur des clôtures.

N'est présenté au final qu'un bilan des « **6 piézomètres à caractère réglementaire** » (ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, N5, CAP9). Le document précise que le point ES3 correspond à la source de l'Abéou située à Saint-Paul lez Durance.

Le commentaire (page 16) indique que « *Les mesures effectuées montrent des niveaux de radioactivité alpha, bêta et tritium inférieurs aux limites de détection fixées par la Direction Centrale de la Sécurité du CEA à :*

- *Alpha global : < 0,1 Bq/l*
- *Bêta global : < 0,15 Bq/l*
- *Tritium : < 10 Bq/l*

On découvre à la lecture des tableaux détaillés que des activités significatives sont en réalité détectées en N5 (Bêta max = 0,5 Bq/l), CAP 9 (Bêta max = 0,26 Bq/l et alpha max = 0,11 Bq/l) et ES 5 (Bêta max = 0,25 Bq/l et alpha max = 0,18 Bq/l).

Le commentaire de la page 21 indique : « *Les valeurs bêta significatives (supérieures aux limites de détection) mesurées pour les piézomètres CAP 9 et N5 s'expliquent par la présence de potassium présent naturellement dans les eaux. Les valeurs maximales alpha et bêta mesurées pour le piézomètre ES5 sont dues à la présence de matière en suspension* ».

Ces résultats suggèrent en première approche une absence de contamination, mais ne sont pas suffisamment nombreux et détaillés pour permettre de conclure.

## 7.4 Recommandations

### Mesures historiques

Sur le plan analytique l'absence de mesure de tritium dans les premières décennies constitue une grave lacune sachant que –comme le montrent les données actuelles – il est le polluant radioactif le plus fréquemment rencontré dans les nappes à Cadarache.

En l'absence de dosage du potassium, les mesures d'activité bêta globales des premières décennies sont difficilement interprétables. Il est en effet impossible de déterminer si les résultats en termes d'activité bêta totale correspondent à une radioactivité bêta naturelle ou non.

### Publication de tous les résultats

Les méthodologies analytiques évoluent ensuite (mesures alpha global, dosage du tritium) mais seuls des résultats partiels (6 sur 100) sont présentés dans les rapports de synthèse grand public

Il serait utile que le CEA et les autorités de contrôle explicitent le choix des points de contrôle « règlementaires » et la décision de ne pas rendre publics les autres résultats et que le CEA publie une synthèse détaillée et rétrospective des résultats de tous ces piézomètres.

Le CEA a indiqué le 5 mars 2009 que la stratégie de contrôle validée par l'ASN consiste à suivre les zones de pollution et un ouvrage en aval hydraulique de chaque INB (et si possible un amont). Il a précisé qu'il pouvait réaliser une chronique des résultats depuis 1997 pour tous les piézomètres du fait de l'informatisation à partir de cette date.

### Seuils d'investigation

La CRIIRAD recommande une amélioration de la méthodologie de surveillance des nappes en fixant des seuils suffisamment bas sur les indices alpha, bêta et tritium à partir desquels des investigations plus poussées seraient engagées. Ceci permettrait d'éviter par exemple un décalage de plusieurs années pour la confirmation d'une pollution en cours (cf. incident de contamination des nappes à la STE 1999- 2002).

Le CEA a précisé [25, p8] : « *Si la mesure globale est > LD la réalisation d'une spectrométrie gamma est systématique après évaluation du 40K. Une spectrométrie alpha n'est réalisée que s'il y a suspicion de la présence d'émetteurs alpha (exemple : américium 241 apparaissant en spectro gamma).* »

### Problème des fuites sur réseau et débordements

En ce qui concerne la problématique générale des fuites sur les réseaux d'eau contaminée, le document [2] précise qu'un programme d'étanchéification par chemisage des réseaux est en cours avec priorité donnée aux principales branches du réseau d'effluents industriels. Il conviendrait de mettre à profit ces travaux pour supprimer les points de communication potentielle entre réseau sanitaire et réseau industriel.

Le CEA a précisé [25, p6] : « *Les travaux de curage et de chemisage du réseau des effluents industriels sont terminés. En cas d'obstruction, dans certains points le déversement d'un réseau dans l'autre est possible, cette solution étant préférable à un débordement hors des réseaux contrôlés. Des rétentions sont envisageables en cas de nécessité, quel que soit le réseau à la STEP et dans les bassins de 3000 m3.* »

### Retour d'expérience

Il serait utile que le CEA explicite la prise en compte du retour d'expérience dans le domaine de la conception des installations (gestion des débordements de cuve) et le choix des matériaux (étanchéité des bassins, vannes, tuyauteries), en particulier de leur étanchéité vis-à-vis du tritium.

## 8 Le milieu aquatique de surface

### 8.1 Gestion des effluents industriels

#### Description du réseau

Le CEA de Cadarache dispose d'un réseau de collecte des effluents industriels auquel sont raccordés les laboratoires et les cuves contenant – selon le CEA - des « traces de produits radioactifs. » [2].

Le réseau des effluents industriels est gravitaire, d'une longueur de **26 km** et constitué de tuyaux en grès vitrifié dont le diamètre varie entre 10 et 50 cm. Les tronçons ont des longueurs variant entre 1 à 2 mètres et se situent entre 1 et 10 mètres de profondeur. Ce réseau aboutit à la station de traitement des effluents industriels puis à la station de rejet en Durance.

La station de traitement des effluents industriels reçoit également les eaux de refroidissement.

#### Notion d'effluents « suspects »

Dans les installations concernées par des risques radiologiques, le CEA met en place des cuves pour recueillir les effluents « suspects ».

Le contenu de ces cuves est analysé et n'est rejeté dans le **réseau des effluents industriels** que si l'activité est inférieure à un seuil spécifié dans l'arrêté interministériel du 5 avril 2006 (article 18) :

- **Tritium : 74 000 Bq/l**
- Autres **émetteurs bêta-gamma : 74 Bq/l** (produits de fission et d'activation comme : Cs 137, Co 60, Sb 125, Ag110m, etc). La valeur antérieure était de 740 Bq/l [2].
- **Emetteurs alpha : 10 Bq/l** (principalement isotopes de l'uranium et du plutonium). La valeur antérieure était de 74 Bq/l [2].

Dans le cas particulier de l'**INB 37** qui traite les cuves d'effluents actifs en provenance de toutes les INB du centre, la limite pour le transfert d'effluents vers la station d'épuration des effluents industriels est portée à **200 000 Bq/l pour le tritium**.

Le CEA a précisé en réunion du 5 mars 2009, qu'en cas de dépassement de ce critère, les effluents tritiés seraient envoyés à Marcoule dans la mesure où le Rhône offre une meilleure capacité de dilution que la Durance.

#### Défaut d'étanchéité des réseaux

Les bilans annuels quantitatifs effectués par le CEA et transmis à la DRIRE depuis octobre 2003 ont permis de constater par étude de la différence entre quantités d'eau prélevées et rejetées qu'il y a une déperdition liée à la non étanchéité des réseaux.

Le CEA précise [2] « *On estime par des calculs basés sur le bilan hydrique global que les pertes d'effluents issus des cuves suspectes d'installations sont respectivement à 0,05 % ; 0,5 % et 2 % des autorisations de rejets en tritium, émetteurs bêta-gamma et alpha* ».

Il serait utile que le CEA détaille les volumes de ces fuites et les activités volumiques potentielles.

#### Recommandations

Il serait utile que les autorités explicitent la méthode retenue pour fixer les **limites en activité** volumique des effluents suspects pour autorisation de rejet dans le réseau des effluents industriels.

En effet, les activités volumiques restent élevées malgré un abaissement d'un facteur 7,4 (émetteurs alpha) à 10 (émetteurs bêta gamma) dans l'arrêté du 5 avril 2006, par rapport aux valeurs antérieures.

L'application du principe d'optimisation de la protection devrait conduire à considérer que tout **effluent contaminé** soit acheminé pour traitement à la station de l'INB 37. Le CEA a indiqué en réunion du 5 mars 2009 qu'il s'agissait de forts volumes (milliers de m<sup>3</sup>).

Compte tenu des **défauts d'étanchéité** des réseaux de transfert des effluents industriels on peut craindre une contamination du sous-sol et des eaux souterraines au droit des zones de fuite. Il serait utile que le CEA indique s'il met en œuvre un programme de surveillance spécifique pour traiter cette question.

En réunion du 5 mars 2009 le CEA a précisé que tout le réseau de rejet « industriel » est rechemisé à ce jour. Les zones de fuites ont été repérées par caméra.

La CRIIRAD a recommandé que des vérifications soient effectuées par carottage de sol et/ ou implantations de piézomètres spécifiques au droit d'une sélection de zones de fuite et qu'une campagne de radiométrie de surface soit effectuée au droit des canalisations fuyardes. En effet, sur d'autres sites industriels la CRIIRAD a constaté dans certains cas que les fuites de canalisation avaient pu conduire à une contamination du sol conduisant à une irradiation externe mesurable en surface.

## 8.2 Gestion des effluents sanitaires

### Description du réseau

Le CEA de Cadarache dispose d'un réseau de collecte des effluents sanitaires qui aboutit à la station d'épuration biologique.

En certains secteurs, ce réseau chemine en parallèle avec le réseau des effluents industriels. Certains regards de visite sont communs aux deux réseaux avec une séparation effectuée par un batardeau. En cas d'anomalie (« mise en charge » d'un réseau par un bouchage de canalisation) des effluents d'un réseau peuvent se déverser dans l'autre.

### Recommandations

Dans la mesure où les effluents du réseau industriel sont susceptibles d'être contaminés, il n'est pas normal que ces effluents puissent être acheminés par le réseau des effluents sanitaires. Ce **défaut de conception** devrait être corrigé. L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 précise d'ailleurs à l'article 14 : « *L'établissement de liaison des différents réseaux entre eux ou avec le milieu naturel (hors eaux pluviales) est interdit* ».

En réunion du 5 mars 2009, le CEA a indiqué que le réseau serait laissé en l'état.

L'arrêté du 5 avril 2006 précise en son article 21 qu'un contrôle de l'absence de radioactivité des **effluents** sanitaires doit être réalisé au moins une fois par mois.

Les résultats transmis par le CEA pour l'année 2008 [25, p10] montrent une activité alpha globale comprise entre la limite de détection et 0,07 Bq/l, une activité bêta globale systématiquement mesurable et comprise entre 0,29 et 0,61 Bq/l et une activité tritium systématiquement inférieure aux limites de détection (< 2,4 à < 2,9 Bq/l).

Du fait des risques de contamination et d'accumulation dans les boues, la CRIIRAD a recommandé dans son rapport préliminaire que le CEA procède à des analyses radiologiques sur les **boues** de la station d'épuration biologique et précise leur mode d'élimination.

S'agissant des boues sanitaires, le CEA a précisé [25, p6] : « *Différentes filières d'élimination sont en cours d'identification. Les boues sont actuellement stockées en open tops sur le centre de Cadarache* ».

Le CEA a également joint un tableau [25, p10] de résultat des contrôles effectués récemment sur les boues sanitaires lors d'un curage de cuves.

Ce tableau est reproduit ci-dessous.

Exemple de résultat d'analyse des boues sanitaires (station d'épuration Cadarache)

110m-Ag Bq/g	137-Cs Bq/g	210-Pb Bq/g	235-U Bq/g	241-Am Bq/g	40-K Bq/g	60-Co Bq/g
0,0016	0,0129	0,0519	0,012	0,0048	0,149	0,019

On observe une contamination par des radionucléides émetteurs gamma artificiels. L'activité massique est de l'ordre de quelques Bq/kg (Ag 110m, Am 241) à 10 à 20 Bq/kg (Cs 137, Co 60). La concentration en uranium 235 (12 Bq/kg) paraît élevée mais ne peut être interprétée sans le résultat pour l'uranium 238.

La CRIIRAD recommande que le CEA :

- donne une interprétation sur l'origine de cette contamination des boues sanitaires,
- publie une analyse détaillée (chronique) des résultats disponibles,
- réalise une caractérisation radiochimique complémentaire sur certains lots de boues (en particulier dosage des isotopes de l'uranium et du plutonium, carbone 14, OBT, strontium 90, etc..).

### 8.3 Gestion des effluents contaminés et rejet en Durance

Seuls les effluents les plus contaminés recueillis dans des cuves tampon sont transférées par citerne à la Station de Traitement des Effluents (STEDS) ou INB 37. Ils rejoignent après traitement la station de traitement des effluents industriels (STEP EI) puis la station de rejet en Durance.

#### 8.3.1 Organisation des rejets en Durance

Les effluents liquides issus des installations du centre de Cadarache, après contrôles et traitement à la station d'épuration du Centre (STEP EI) sont ensuite dirigés vers 4 bassins de 3 000 m<sup>3</sup>.

La gestion des bassins est la suivante [2] :

- Un bassin vide pour pouvoir servir en cas de nécessité.
- Un bassin en cours de remplissage.
- Un bassin plein conservé en attendant le résultat des analyses (test poisson, analyse radiologique, analyse de 21 polluants chimiques).
- Un bassin en vidange avec contrôle radiologique en continu sur les rejets en sortie de bassin.

Selon le CEA, il y a presque toujours un bassin en cours de vidange par écoulement gravitaire avec débit contrôlé. Chaque bassin représente une capacité de quelques jours et sa vidange s'étale également sur quelques jours.

Lors de la mission du 1 au 3 octobre 2008, le CEA a précisé que l'analyse des boues de fond des bassins indique la présence césium 137, cobalt 60, plutonium, etc. Il serait utile que ces mesures soient intégrées aux rapports annuels « environnement » afin de disposer d'une vérification qualitative sur la nature des radionucléides effectivement présents dans les rejets (voir paragraphes suivants).

La zone des bassins de rejet, le point de rejet en Durance et la confluence du Ravin de la Bête avec la Durance figurent sur la photographie aérienne ci-après.

Les localisations sont issues des relevés GPS effectués par la CRIIRAD sur site le 3 octobre 2008.



### 8.3.2 Gestion des distillats de la STE

Les effluents radioactifs du CEA de Cadarache sont traités par la Station de Traitement des Effluents (STEDS) par évaporation ce qui selon le CEA « *enlève la quasi-totalité des radionucléides qu'ils contiennent à l'exception du tritium. Les lots de distillats sont ensuite rejetés une ou deux fois par an* » [2].

Les rejets contrôlés de tritium en Durance sont donc de nature très discontinue.

Les concentrats sont évacués en stockages de déchets radioactifs solides.

Il est important de noter que la déclaration de rejet n'est pas basée sur l'analyse du bassin avant vidange mais sur les résultats des mesures effectuées au moyen de l'hydro collecteur qui échantillonne la conduite de rejet. Cette stratégie mériterait d'être explicitée dans la mesure où la caractérisation de l'activité volumique des eaux du bassin avant vidange pourrait être plus précise que celle obtenue sur l'hydrocollecteur. Une vérification de cohérence entre les 2 évaluations devrait être effectuée et publiée.

L'hydrocollecteur permet de disposer d'un échantillon journalier. Un aliquote mensuel effectué à partir des échantillons journaliers est analysé pour établir la quantification de l'activité rejetée. Une sonde gamma située dans le collecteur de rejet mesure en outre en continu le niveau de rayonnement gamma.

### 8.3.3 Autorisations de rejets et rejets effectifs

Nous avons reporté dans le tableau T14 ci-dessous :

- les autorisations de transferts liquides issus des INB civiles de Cadarache vers la station de traitement des effluents industriels du centre (arrêté interministériel du 5 avril 2006),
- les autorisations de rejet liquide en Durance (arrêté préfectoral de septembre 2006),
- les valeurs des activités transférées et rejetées par le centre de Cadarache en 2007,
- et pour comparaison les autorisations de rejet en mer de la centrale électronucléaire de Gravelines et de rejet dans le Rhône de la centrale électronucléaire de Saint-Alban.

**Tableau T14 / autorisations de rejets liquides et rejets effectifs de Cadarache en 2007**

Tritium (GBq/an)	Carbone 14 (GBq/an)	Autres émetteurs bêta-gamma (GBq/an)	Emetteurs alpha (GBq/an)
A / Limites annuelles pour les transferts liquides issus des INB civiles vers la station de traitement des effluents industriels du centre (arrêté interministériel du 5 avril 2006)			
1 000	0,5	1,3	0,1
B / Limites annuelles de rejets liquides dans l'environnement (arrêté préfectoral 113-2006-A du 25/09/2006)			
1 000	0,5	1,5	0,13
C / Bilan des transferts d'effluents liquides des INB civiles vers la STEP EI pour l'année 2007			
1,72	0,0473	0,0564	0,000582
D / Bilan des rejets liquides en Durance pour l'année 2007			
53,4	0,07	0,33	0,000274
E / Autorisations de rejet du CNPE de Gravelines en mer			
120 000	900	90,90	Interdit
F / Autorisations de rejet du CNPE de Saint-Alban dans le Rhône			
60 000	400	25,10	Interdit

Ce tableau montre que pour le tritium, carbone 14, et les autres émetteurs bêta-gamma, les autorisations de rejet liquide du site de Cadarache sont inférieures de plusieurs ordres de grandeur à celles des centrales électronucléaires.

On remarquera par contre que le site de Cadarache est autorisé à rejeter des **émetteurs alpha** alors que ce rejet est interdit pour les centrales électronucléaires.

Dans son rapport préliminaire la CRIIRAD indiquait : il serait utile que le CEA fournisse un certain nombre de précisions sur les points suivants :

- Origine des différences pour les 4 catégories de radionucléides, entre les activités transférées à la STEP EI et les activités finalement rejetées en Durance. Les différences proviennent elles des transferts de 2 lots de distillats en mars et octobre 2007, de différences liées à la métrologie, ou pour les alpha d'une décantation dans les boues des bassins ?
- Les limites annuelles fixées pour les transferts liquides vers la STEP EI portent sur les transferts de toutes les INB civiles du centre, y compris l'INB 37 (article 18 de l'arrêté du 5 avril 2006). Or dans le rapport environnement 2007, le CEA donne les activités transférées vers la STEP EI dans un tableau qui ne semble pas intégrer le transfert des distillats. En effet le transfert vers la STEP EI est pour le tritium de 1,72 GBq alors que le rejet final en Durance, en particulier du fait du transfert de distillats en mars et octobre 2007 est de 53,4 GBq. La manière de comptabiliser les transferts de l'INB 37 vers la STEP EI devrait être explicitée.

Le CEA a précisé [25, p6] :

« *Compatibilité des rejets reçus par la STEP et ceux rejetés en Durance. Explications. : Les effluents des cuves suspectes qui sont transférés à la STEP sont mesurés avec des limites de détection plus élevées que ceux mesurés à la sortie de la STEP. C'est la raison pour laquelle le recoupement des activités entrantes et sortantes de la STEP est difficile à établir. C'est la mesure la plus sensible qui sert à quantifier le rejet à l'environnement. »*

### 8.3.4 Rejets antérieurs

Il est difficile de comparer les rejets liquides actuels avec les valeurs antérieures du fait de changements dans les méthodes de comptage à partir de juillet 2006.

La comparaison reste possible pour le tritium. On constate une augmentation sensible des rejets en 2007 (53,4 GBq) par rapport à la période 2004-2006 : 36,3 à 41,5 GBq.

Le rapport environnement 2005 du CEA Cadarache présente l'évolution des rejets sur la période 1995-2005. Le document est reproduit ci-dessous :

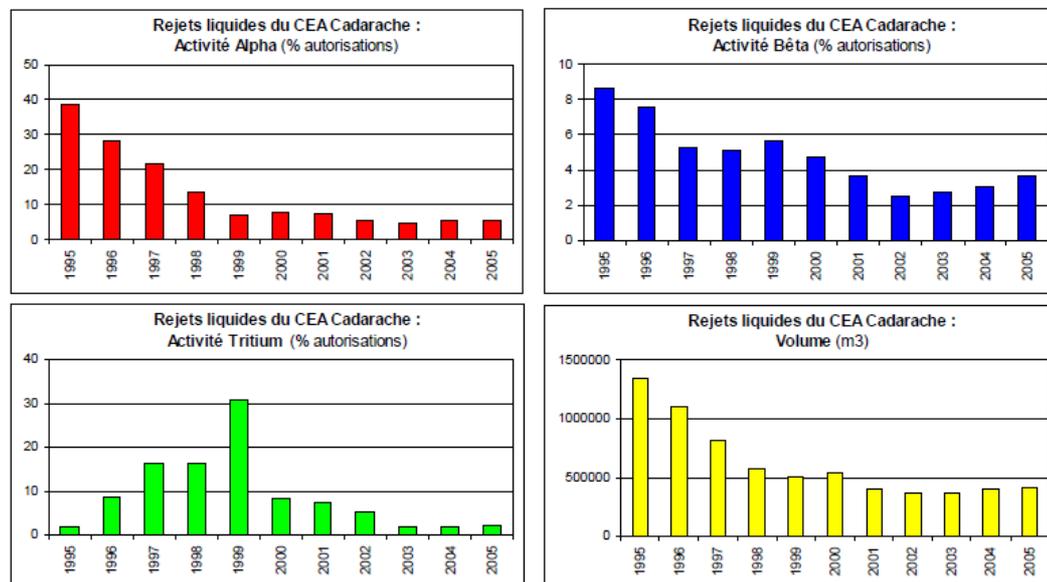


Figure 6. Evolution des activités  $\alpha$  et  $\beta$  globales et en tritium et des volumes rejets liquides du CEA Cadarache depuis 10 ans. Activités en % des autorisations de rejet du Centre (Tableau 1) et volumes en m<sup>3</sup>.

L'activité en **tritium** rejetée a connu un pic en **1999 (569 GBq)**. L'augmentation des rejets tritiés entre 1995 et 1999 est liée à des campagnes de reprises d'effluents.

On constate une diminution sensible du **volume** rejeté, cette diminution enregistrée à partir de novembre **1996** est due au fait que les eaux pluviales du **Ravin de la Bête** ne transitent plus depuis cette date par la station de rejets mais sont directement rejetées en Durance.

Comme indiqué ci-dessus l'activité **alpha** déclarée est directement proportionnelle au volume. De plus les méthodes de comptabilisation ont changé. A partir de janvier 1999, en cas de mesure d'activité volumique non significative, c'est le seuil de décision analytique qui est retenu (0,05 Bq/l) et non la limite de détection de 0,1 Bq/l (d'où une division par 2 de l'activité déclarée). En outre, à partir de 2002, les limites de détection ont été abaissées à 0,08 Bq/l en moyenne pour l'activité alpha globale.

En ce qui concerne les rejets d'émetteurs **bêta**, (tendance à la baisse sur la période 1995-2005), le CEA indique dans le rapport 2005 que « l'évolution de l'activité bêta rejetée se rapproche de celle des volumes bien que dans la plupart des cas, les activités volumiques mesurées soient significatives. Cette tendance est sans explication particulière ».

### 8.3.5 Variabilité dans le temps des rejets liquides

Les rejets liquides en Durance présentent une certaine variabilité au cours de l'année.

Ceci est particulièrement vrai pour le **tritium** dont l'activité mensuelle rejetée a varié par exemple en 2005 d'un facteur 466 entre le rejet de janvier (47,2 MBq) et celui d'avril (22 000 MBq). Ceci est lié au rejet d'un lot de distillats tritiés de l'INB 37 (effectuée sur avril-mai 2005).

Les résultats pour les émetteurs alpha et bêta (hors tritium) sont beaucoup plus homogènes sur l'année. Le CEA note d'ailleurs dans le rapport 2005 que la majorité des activités volumiques alpha mesurées sont proches des limites de détection. Dans ce cas, l'activité du rejet déclarée est directement proportionnelle au volume de rejet qui est relativement constant (18 900 à 49 115 m<sup>3</sup> par mois en 2005).

Ces évolutions sont illustrées par le graphique ci-dessous extrait du rapport environnement 2005 :

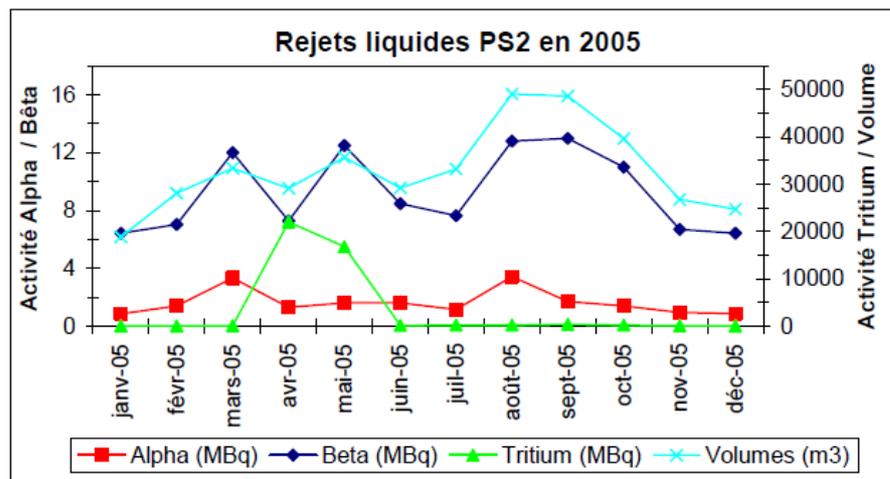


Figure 4. Evolution mensuelle des activités  $\alpha$  et  $\beta\gamma$  globales et en tritium des rejets du CEA Cadarache à la station des rejets (PS2).

La surveillance actuelle de l'impact des rejets liquides en Durance sur le milieu aquatique porte sur 4 compartiments [8bis] qui sont décrits dans les pages suivantes après un paragraphe sur les boues.

### 8.3.6 Boues des bassins de rejet

La CRIIRAD a demandé communication des contrôles effectués par le CEA sur les boues de curage des 4 bassins de rejet.

En effet la connaissance des caractéristiques radiochimiques de ces boues peut donner des informations complémentaires sur la nature des rejets et l'efficacité de la décantation.

Le CEA a intégré certains résultats dans la note [25, p10] dont un tableau qui est reproduit ci-dessous.

Résultats d'analyses (Bq/g) des boues de curage des 4 bassins de 3 000 m<sup>3</sup> en 2008 / CEA

2008	Ag-110m	Cs-137	Cs-134	Am-241	Co-60	Beta global
<b>Bassin 1</b>	0,023	0,058	Abs	0,021	0,079	0,42
<b>Bassin 2</b>	0,018	0,078	Abs	0,02	0,1	0,36
<b>Bassin 3</b>	0,02	0,059	Abs	0,021	0,11	0,36
<b>Bassin 4</b>	0,017	0,034	Abs	0,012	0,063	0,31

On observe une contamination par des radionucléides émetteurs gamma artificiels qui est environ 10 fois supérieure à celle des boues sanitaires.

Dans les boues des bassins de rejet les activités massiques sont de l'ordre de **10 à 20 Bq/kg** pour **Ag 110m et Am 241** et **30 à 110 Bq/kg** pour **Cs 137 et Co 60**.

Curieusement la concentration en uranium 235 qui était donnée pour les boues sanitaires n'est pas donnée pour les boues des 4 bassins de rejet.

La CRIIRAD a posé la question des résultats de mesure pour les isotopes de l'uranium, du plutonium, le radium 226, plomb 210, etc.

Le CEA a précisé [25, p8] : « *Spectrométrie alpha sur les boues des bassins de 3000 m<sup>3</sup> réalisée ? : Selon résultats de la spectrométrie gamma, mais en général, non réalisé.* »

La CRIIRAD recommande que le CEA fournisse à la CLI :

- une analyse détaillée (chronique) des résultats disponibles,
- une caractérisation radiochimique complémentaire des boues (en particulier dosage des isotopes de l'uranium et du plutonium, carbone 14, OBT, strontium 90, radium 226, plomb 210, potassium 40, etc..).

### 8.3.7 Résultats de la surveillance des eaux de la Durance

#### 1 / Contrôles sur aliquote hebdomadaire

La radioactivité des eaux de la Durance est contrôlée par le biais d'un hydrocollecteur automatique installé sur la station Mirabeau qui échantillonne l'eau en continu.

Sur un échantillon aliquote **hebdomadaire** sont effectuées des mesures alpha et bêta globales et de tritium.

Les résultats peuvent être comparés à ceux effectués selon la même méthodologie sur les eaux brutes pompées en amont du site pour alimenter le centre.

A titre d'exemple est reporté ci-après le tableau de résultats issu du rapport public annuel 2006 [8].

Tableau 34 : Activités moyennes en alpha et bêta globales et en tritium (en Bq/l) mesurées en 2006 dans les eaux prélevées sur la station de Mirabeau.

Station de surveillance de l'environnement	Activité $\alpha$ globale (Bq/l)		Activité $\beta$ globale (Bq/l)		Activité tritium (Bq/l)	
	Moyenne	% (1)	Moyenne	% (1)	Moyenne	% (1)
Station de MIRABEAU	0,05	25,0	0,09	53,7	2,94	1,8
	Mini= 0,03 Maxi= 0,09		Mini= 0,05 Maxi= 0,14		Max= 6,34 Min= 2,45	
	NS		NS			

(1) : Pourcentage des valeurs significatives sur le total des mesures

Les valeurs significatives mesurées sont inférieures ou très proches des limites de détection.

L'activité significative en tritium est due au rejet du lot STE N°239 (Distillats).

### Résultats de 2006

Les résultats de l'année 2006 donnent des activités volumiques des eaux de la Durance à la station Mirabeau conformes avec les critères radiologiques en vigueur pour les eaux de consommation humaine (indice d'activité alpha globale inférieur à 0,1 Bq/l, indice d'activité bêta globale inférieur à 1 Bq/l, tritium inférieur à 100 Bq/l).

Pour les indices d'activité alpha et bêta globales les valeurs obtenues en 2006 à la station Mirabeau sont par ailleurs comparables à celles mesurées en Durance en amont, qu'il s'agisse des fourchettes min/max (alpha maxi 0,07 Bq/l amont et 0,09 Bq/l aval ; bêta maxi 0,11 Bq/l amont et 0,14 Bq/l aval) ou des pourcentages de valeurs significatives : alpha (21,15 % amont et 25 % aval), bêta (53,8 % amont, 53,7 % aval).

Ces résultats ne sont pas surprenants compte tenu des activités rejetées pour ces catégories de radionucléides et de la dilution en Durance.

Pour le **tritium** par contre, compte tenu des activités volumiques rejetées, concentrées dans le temps lors du rejet des lots de distillats tritiés, un impact est détecté en aval (**6,34 Bq/l** lors du rejet du lot STE N°239 alors qu'en amont l'activité du tritium n'a été significative dans aucun des échantillons hebdomadaires en 2006).

### Résultats tritium de 1997 à 2005

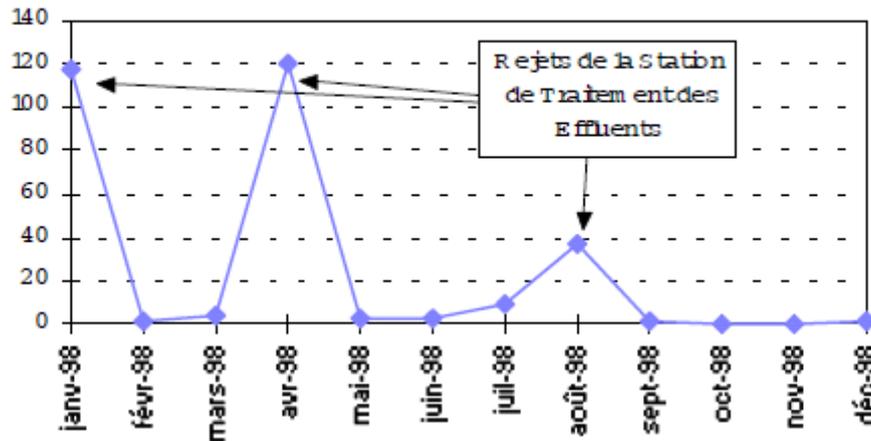
Les résultats des mesures de l'activité volumique du tritium à la station Mirabeau de 1997 à 2005 sont résumés ci-dessous :

- En 2005 aucune mesure tritium n'était supérieure aux limites de détection à la station Mirabeau [12-2005]
- En 2004 : 3,8% des mesures significatives avec une valeur de **7,96 Bq/l** due au rejet STE N°237 en septembre.
- En 2003 : 7,7% des mesures significatives avec une valeur de **4,9 Bq/l** (non commentée).
- En 2002 et 2001 : a priori aucune mesure significative la valeur maximale publiée étant une limite de détection < 10 Bq/l.
- En 2000 : valeur maximale de **12 Bq/l** (résultat non commenté). En amont les valeurs sont inférieures aux limites de détection (< 10 Bq/l).
- En 1999 : valeur maximale de **21 Bq/l** (résultat non commenté). En amont les valeurs sont inférieures aux limites de détection (< 10 Bq/l).
- En 1998 : valeur maximale de **45 Bq/l**.

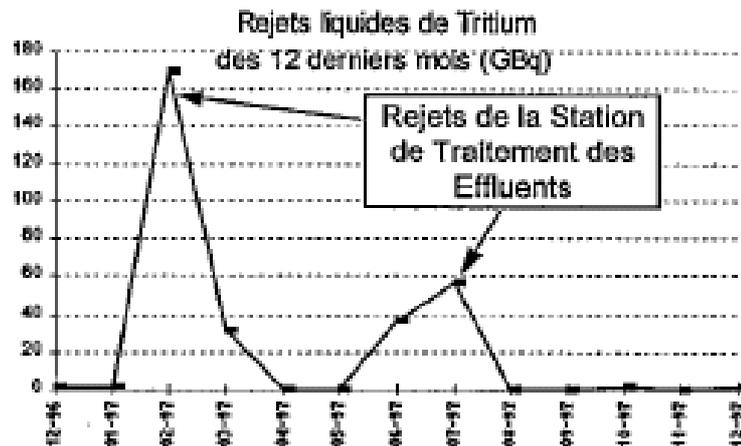
Une représentation graphique des résultats montre que la valeur maximale est enregistrée en avril 1998, ce qui correspond à un rejet de lots de distillats (voir graphique ci-dessous).

Par contre l'impact des rejets de janvier 1998 et août 1998 ne conduit pas (a priori) à des résultats supérieurs à la limite de détection à la station Mirabeau. En amont les valeurs sont inférieures aux limites de détection (< 10 Bq/l).

### Rejets liquides tritium (GBq)



- En 1997 : a priori aucune mesure significative la valeur maximale publiée étant une limite de détection < 10 Bq/l. L'impact des rejets représentés dans le graphique ci-dessous n'est pas détecté.



L'ensemble de ces données montre que les rejets de distillats tritiés peuvent conduire à une contamination en tritium détectable dans les aliquotes hebdomadaires d'eau de la Durance au pont Mirabeau.

## 2 / Contrôles sur aliquote mensuel

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 prescrit en son article 22 que soient effectuées sur un échantillon aliquote mensuel de **l'eau de la Durance** en aval une détermination de l'activité du **strontium 90**, une **spectrométrie gamma** et une **spectrométrie alpha**.

Les registres mensuels environnement de l'année 2006 font état des résultats portant sur le contrôle mensuel de l'eau de la Durance en aval à partir d'août 2006 (ces résultats ne sont pas reportés dans le rapport public).

Les activités sont inférieures aux limites de détection pour les 5 mois disponibles (Sr 90 < 0,1 Bq/l ; Césium 137 < 0,35-0,42 Bq/l ; Pu238+Am 241 < 1 mBq/l ; Pu239+240 < 1 mBq/l).

### 3 / Contrôles ponctuels à mi-rejet

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 prescrit en son article 22 que soient effectuées des prélèvements ponctuels de l'eau de la Durance en amont et en aval de l'exutoire de rejet, lors de chaque **rejet de distillat** provenant de la station de traitement des effluents et déchets solides, avec détermination des activités alpha et bêta globales, du tritium, de la teneur en potassium de l'eau filtrée et de l'activité bêta globale sur les matières en suspension.

Ces mesures qui étaient déjà demandées dans l'ancienne réglementation sont complétées par une détermination de l'activité du strontium 90, une spectrométrie gamma et une spectrométrie alpha permettant notamment la mesure de l'activité des actinides.

Les registres mensuels environnement de l'année 2006 ne font pas état de rejet de distillats entre août et décembre 2006.

Le lot de distillats STE N°239 a été rejeté en effet en mars-avril 2006. Le rejet de mars a dû être interrompu pour cause de fuite de canalisation et terminé en avril.

Les contrôles de la radioactivité de l'eau à mi-rejet indiqués dans les registres environnement mensuels correspondants font état des valeurs suivantes (à l'époque il n'était pas effectué les déterminations complémentaires demandées par l'arrêté du 5 avril 2006) :

- à mi rejet le 12 mars 2006 : alpha < 0,07 Bq/l ; Bêta = 0,06 Bq/l (et potassium = 2,7 mg/l) ; tritium = 4,3 Bq/l,
- à mi rejet le 3 avril 2006 : alpha 0,04 Bq/l ; Bêta = < 0,11 Bq/l (et potassium = 1,1 mg/l) ; tritium < 5,6 Bq/l.

Ces résultats ne permettent pas de conclure clairement à un impact, à l'exception du **tritium**. Il est à noter à ce propos que l'activité en tritium à mi rejet, le 12 mars 2006 (**4,3 Bq/l**) est inférieure à celle mesurée dans l'aliquote hebdomadaire du 27 mars au 3 avril (**6,3 Bq/l**). Il serait utile que le CEA apporte des éléments d'interprétation sur ce point.

Nous ne disposons pas des registres mensuels de l'année 2007.

Le CEA a précisé [25, p6] :

*« Registre mensuel des rejets de 2007. Explication pour la non fourniture du document : Seules les données synthétiques ont été communiquées, car les données détaillées correspondent à un volume d'information extrêmement important. »*

### 4 / Recommandations

#### Nature des contrôles

L'arrêté du 5 avril 2006 a élargi la liste des radionucléides à contrôler dans l'eau ce qui constitue un progrès notable.

Ces contrôles présentent cependant un certain nombre de lacunes en particulier en ce qui concerne le carbone 14, les isotopes de l'uranium et le radon 222 dissous qu'il serait utile de rechercher au moins dans l'aliquote mensuel. Le CEA a précisé [25, p6] que « ces mesures ont été introduites progressivement à partir de 2007 ».

#### Localisation du point de contrôle

Le choix d'une station de contrôle de l'impact des rejets en Durance au niveau du pont Mirabeau soit à environ **5 kilomètres** du rejet paraît discutable. Un point de contrôle de l'eau à la station Saint-Eucher à environ **800 mètres** en aval paraîtrait plus adapté.

Le CEA a précisé [25, p6] : « La station de contrôle doit se trouver après le « bon mélange » des effluents et dans un endroit viabilisé, accessible en voiture et bénéficiant d'une certaine protection contre le vol et le vandalisme. La station de Mirabeau est la seule à correspondre à ces critères ».

Ces différents points figurent sur les cartes ci-après.

**Localisation du rejet en Durance et des stations Saint-Eucher et Mirabeau**



**Points de prélèvement CEA à l'extérieur du site [8, p41]**



- Points de prélèvements :
- Milieu atmosphérique
  - Milieu aquatique
  - Milieu terrestre

L'analyse de l'impact à long terme des rejets radioactifs liquides d'une installation nucléaire nécessite que soient contrôlés des milieux accumulateurs comme les sédiments et les bioconcentrateurs. Les résultats obtenus par le CEA sur ces milieux sont commentés ci-après.

### 8.3.8 Résultats de la surveillance des sédiments

#### Nature des contrôles

Le rapport environnement 2006 du CEA précise que les prélèvements sont effectués chaque année en 2 stations amont (Durance à Manosque et Verdon à Vinon-sur-Verdon) et chaque trimestre en une station aval (Durance à Saint-Eucher à environ 800 mètres en aval de l'exutoire du centre).

Le rapport 2007 fait état de prélèvements annuels pour les 3 stations.

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 prescrit en son article 22 que soient effectuées sur ces échantillons, au minimum la mesure de l'activité bêta globale, de l'activité du strontium 90, une spectrométrie gamma et une spectrométrie alpha permettant notamment la détermination de l'activité des actinides.

#### Résultats

Les analyses qui figurent dans le rapport environnement 2006 (cf. tableau ci-dessous) portent sur l'activité bêta totale et la recherche des émetteurs gamma (césium 137).

Tableau 38 : Activités Bêta globale et des émetteurs gamma (K-40 et Cs-137) et des isotopes du Pu dans les sédiments prélevés en 2006.

Station de prélèvements	Activité Bêta Globale (Bq/kg frais)	Activité K-40 (Bq/kg frais)	Activité Cs-137 (Bq/kg frais)	Activité Pu-238 (Bq/kg frais)	Activité Pu-239+240 (Bq/kg frais)
MANOSQUE	0,3	0,335	0,0014	ND	ND
VINON SUR VERDON	0,180	0,120	0,0016	ND	ND
S <sup>T</sup> EUCHER	0,550	0,560	0,0036	ND	ND

ND = non déterminé.

Ce tableau montre qu'aucune activité anormale n'a été mise en évidence dans les sédiments prélevés en 2006. Les émetteurs gamma mesurés sont le potassium 40 (radioéléments naturel) et le césium 137.

Note : une **erreur d'un facteur 1 000** affecte tous les résultats d'analyse de sédiments à partir du rapport annuel de 2005 et perdure dans les rapports 2006 et 2007.

Elle est due à une erreur d'unité de mesure. L'unité qui figure dans l'intitulé des tableaux est toujours le Bq/kg frais alors qu'à partir de 2005 les valeurs numériques mentionnées dans les tableaux correspondent à des Bq/g frais. Ainsi par exemple l'activité Bêta globale à Saint-Eucher était de 306 Bq/kg frais en 2004 et 0,324 Bq/kg frais en 2005. Ce dernier chiffre est en fait de 0,324 Bq/g frais soit 324 Bq/kg frais. Pour commenter les chiffres ci-après nous utiliserons des valeurs corrigées. Le fait qu'une erreur d'un facteur 1000 perdure pendant 3 années consécutives pose question quant à la qualité de la relecture interne des documents.

On note qu'en 2006, l'activité des isotopes du **plutonium** (Pu 238 et Pu 239-240) n'est pas déterminée, sans que les raisons de cette lacune ne soient explicitées dans le rapport. Lors des réunions du 1 au 3 octobre 2008, le CEA n'a pas fourni d'explication.

Le CEA a précisé ultérieurement [25, p6] : « Les analyses ont été réalisées en 2006 à l'amont et à l'aval pour Pu-238, Pu-239+Pu-240 et Sr-90+Y-90 mais n'étaient pas significatives. Il a été oublié de le notifier dans une phrase après le tableau de présentation et cela sera réalisé dans le prochain bilan 2008 ».

Pour l'année 2007, le rapport environnement donne les résultats du dosage du plutonium dans les sédiments aval uniquement. Les activités massiques sont inférieures aux limites de détection (< 5,7 E-2 Bq/kg frais). Les résultats de 2003 et 2004 étaient également inférieurs aux limites de détection (pas de mesure en 2005).

En 2006, on observe une activité en **césium 137** en aval (3,6 Bq/kg frais) environ 2 fois supérieure aux 2 mesures amont. L'activité en aval était, sur la période 2003 à 2005, de 0,8 à 3,3 Bq/kg frais en aval, valeurs tantôt supérieures, tantôt inférieures à celles enregistrées en amont. Ces fluctuations ne permettent pas de conclure à un impact clair des rejets du site de Cadarache.

Les analyses de sédiments effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD en Juin 1991 à Saint-Paul-Lez-Durance, Pont de Mirabeau et Pertuis avaient conduit à une conclusion identique : aucune détection de radionucléides artificiels émetteurs gamma à l'exception du césium 134 (2 Bq/kg sec à Pertuis) et césium 137 (maximum de 31,3 Bq/kg sec dans la couche 10-15 cm à Pertuis).

La CRIIRAD concluait : *« De tels niveaux peuvent trouver leur origine dans les retombées de l'accident de Tchernobyl et ne peuvent être considérés a priori comme un signe évident des rejets du CEN de Cadarache. Les conditions de sédimentation rencontrées dans le lit de la Durance (couche de faible épaisseur et rareté des zones à forte sédimentation) conduisent à considérer avec prudence les résultats obtenus ici. Ces mesures ne permettent pas de conclure à une absence totale de contamination. En effet, compte tenu du régime torrentiel du fleuve, un décapage régulier de la couche de sédiments induisant un transport des radioéléments à très longue distance en aval est envisageable. Il conviendrait alors d'examiner les sédiments extraits du cours de la Durance par dragage avant son confluent avec le Rhône ».*

En 2006, l'activité **bêta globale** en aval (550 Bq/kg frais) paraît explicable par l'activité du potassium 40 naturel (560 Bq/kg frais), ce n'était pas le cas en 2004 et 2005 avec un ratio bêta global / potassium 40 qui a pu atteindre 1,8 en 2004. Il aurait été utile que le CEA procède à la recherche des radionucléides émetteurs bêta à l'origine de cet écart important.

Le CEA a précisé ultérieurement [25, p7] : *« L'incertitude de mesure sur l'activité bêta globale des sédiments est d'environ  $\pm 14$  %. L'incertitude de mesure sur l'activité K-40 des sédiments est d'environ  $\pm 25$  %. Si on ajoute à cela les incertitudes d'échantillonnage on peut arriver aux différences relevées. »*

La CRIIRAD recommande que le CEA fixe une tolérance sur le ratio Bêta global / K 40 au-delà de laquelle serait effectuée une recherche spécifique des radionucléides émetteurs bêta hors K 40.

### Données CEA antérieures

L'examen par sondage des rapports de 1961 (2eme semestre), 1971 (4eme trimestre), 1981 (annuel), 1991 (4eme trimestre) et 2001 (annuel) ne fait pas apparaître à ces époques de mesures sur les sédiments.

Une analyse rétrospective de l'impact des rejets liquides en Durance nécessiterait la réalisation d'études sédimentologiques spécifiques.

### Recommandations

Pour que les résultats d'analyse de sédiments soient interprétables il serait utile que le CEA donne plus de précisions sur la nature des sédiments échantillonnés (profondeur, typologie, granulométrie).

En effet les études de radioécologie montrent que les phénomènes d'accumulation de radionucléides dans les sédiments dépendent grandement de leur **nature et de leur typologie**. Les contaminations sont plus importantes dans des sédiments fins et à forte teneur en matière organique que dans des sédiments sableux grossiers. Il serait utile également que les taux de matière sèche des échantillons soient donnés pour rendre plus pertinentes les comparaisons amont aval.

Par ailleurs les études effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD, en particulier en ce qui concerne l'impact des rejets radioactifs liquides des mines d'uranium, ont montré que les **terres des berges** soumises aux inondations sont nettement plus contaminées que les sédiments des cours d'eau. Des contrôles devraient être effectués sur ce compartiment au niveau de la Durance.

Par rapport à ces recommandations, le CEA a précisé [25, p3 et p7] :

« Les sédiments mesurés sont représentatifs, compte tenu du régime torrentiel de la Durance » et  
 « Les sédiments de la Durance font l'objet de mesures. Compte-tenu de la nature très grossière des sédiments de la Durance et de la faiblesse des rejets un complément d'études ne paraît pas nécessaire. »

La CRIIRAD avait demandé également que le CEA précise pourquoi le dosage du strontium 90 (requis par l'arrêté) n'a pas été effectué dans les sédiments en 2007.

Le CEA a précisé [25, p7] : « Il a été réalisé en 2007, comme demandé par les arrêtés, une recherche spécifique du Sr-90 (+Y-90) dans les sédiments de la Durance. Le résultat de l'analyse était non significatif mais cette information n'a pas été précisée après le tableau de synthèse dans le bilan environnement. Cela sera corrigé dans le prochain bilan 2008 ».

Sur le plan analytique la CRIIRAD considère qu'il serait utile de mesurer également dans les sédiments les activités des éléments suivants : carbone 14, isotopes de l'uranium, radium 226 et plomb 210.

### 8.3.9 Résultats de la surveillance des plantes aquatiques

#### Nature des contrôles

Le rapport environnement 2006 du CEA précise que les prélèvements de végétaux aquatiques sont effectués chaque année aux mêmes points de prélèvement que les sédiments : en 2 stations amont (Durance à Manosque et Verdon à Vinon-sur-Verdon) et une station aval (Durance à Saint-Eucher à environ 800 mètres en aval de l'exutoire du centre).

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 prescrit en son article 22 que soient effectuées sur ces échantillons, au minimum la mesure de l'activité bêta globale, de l'activité du strontium 90, une spectrométrie gamma et une spectrométrie alpha permettant notamment la détermination de l'activité des actinides. Les prélèvements de faune et flore aquatiques font en outre l'objet d'une mesure des activités du tritium et du carbone 14.

Auparavant les analyses portaient sur l'activité bêta totale des cendres, la recherche des émetteurs gamma et des isotopes du plutonium (Pu 238 et Pu 239-240).

#### Résultats

A titre d'exemple est reporté ci-dessous le tableau de résultats issu du rapport public annuel 2006 [8].

Tableau 39 : Activités bêta globale, des émetteurs gamma (K-40 et Cs-137) et des isotopes du Pu dans les végétaux aquatiques prélevés en 2006.

Station de prélèvements	Activité Bêta Globale (Bq/g frais)	Activité K-40 (Bq/g frais)	Activité Cs-137 (Bq/g frais)	Activité Pu-238 (Bq/g frais)	Activité Pu-239+240 (Bq/g frais)
MANOSQUE	0,051	0,058	ND	ND	ND
VINON SUR VERDON	0,049	0,035	ND	ND	ND
S <sup>T</sup> EUCHER	0,118	0,109	4,35E-04	< 6,8 E-06	6,46 E-06

ND = non déterminé.

Ce tableau montre qu'aucune activité anormale n'a été mise en évidence dans les végétaux aquatiques prélevés en 2006.

En 2006, l'activité des isotopes du **plutonium** (Pu 238 et Pu 239-240) en aval est inférieure à la limite de détection pour Pu 238 et de 6,46 E-3 Bq/kg frais pour Pu 239-240. Ce résultat n'est pas interprétable en l'absence de mesures comparatives en amont.

Pour l'année 2007, les activités massiques des isotopes du plutonium dans les plantes aquatiques sont inférieures aux limites de détection (< 3,1 E-3 Bq/kg frais). Les résultats de 2002 et 2004 étaient également inférieurs aux limites de détection. Des traces de Pu 239-240 étaient mesurées en aval en 2003 : 2,3E-3 Bq/kg frais (pas de mesure en 2005).

En 2006, on observe une activité en **césium 137** en aval (0,436 Bq/kg frais). Ce résultat n'est pas interprétable en l'absence de mesures comparatives en amont. Entre 2002 et 2005 l'activité du césium 137 était en aval de 0,1 à 0,43 Bq/kg frais (à noter une erreur d'unité dans le tableau de 2005) avec présence selon les années en amont à des niveaux comparables.

Pour l'année 2007 les mesures donnent : < 0,1 Bq/kg frais en aval, et en amont : 0,3 Bq/kg frais à Manosque et < 0,2 Bq/kg frais à Vinon sur Verdon.

D'une manière générale, qu'il s'agisse de plutonium ou du césium 137 les documents étudiés ne permettent pas de conclure à un impact des rejets liquides du centre sur les plantes aquatiques analysées.

Les analyses de plantes aquatiques de la Durance (renoncules d'eau et potamots crépus) effectuées par le laboratoire de la CRIIRAD en Juin 1991 à Saint-Auban (amont), Saint-Paul-Lez-Durance, Pont de Mirabeau, Pertuis et Avignon avaient conduit à une conclusion identique en ce qui concerne le césium 137 : « *Etant donné la présence de ce radionucléide en amont des rejets liquides du CEN et à des niveaux comparables à ceux mesurés en aval, il n'est pas possible de conclure à un apport spécifique lié aux rejets du site* ». Les activités massiques étaient selon les stations et les espèces de 8 à 28 Bq/kg sec.

La CRIIRAD ne détectait en juin 1991 aucun autre radionucléide artificiel émetteur gamma à l'exception de **l'iode 131** détecté uniquement à Pertuis dans les renoncules d'eau (159 Bq/kg sec) et les potamots crépus (105 Bq/kg sec). L'origine exacte de cette contamination (impact du site de Cadarache ou utilisation médicale) n'a pas pu être déterminée.

En 2006, l'activité **bêta globale** mesurée par le CEA en aval (118 Bq/kg frais) paraît explicable par l'activité du potassium 40 naturel (109 Bq/kg frais). C'était le cas également en 2005. En 2004, le ratio bêta global / potassium 40 était de 1,3 ce qui aurait pu justifier une identification des radionucléides éventuellement en cause (cela dépend des marges d'incertitude). Etonnamment les tableaux de 2003 et 2004 ne rapportent pas de mesure de l'activité bêta globale en complément au dosage du potassium 40.

### Données CEA antérieures

L'examen par sondage des rapports de 1961 (2eme semestre), 1971 (4eme trimestre), 1981 (annuel) et 1991 (4eme trimestre) ne fait pas apparaître à ces époques de mesures sur les plantes aquatiques.

On remarquera dans le rapport **2001** des résultats de mesures par spectrométrie gamma effectuées dans des végétaux aquatiques de la Durance au lieu dit « Saint-Eucher » et à l'exutoire des rejets du Centre.

Les végétaux collectés à l'exutoire présentent une contamination en **cobalt 58** (0,9 Bq/kg frais) et **cobalt 60** (0,48 Bq/kg frais) qui n'est détectée ni en amont à Vinon sur Verdon, ni en aval à Saint-Eucher. La présence de ces radionucléides est imputable aux rejets du centre de Cadarache.

En 2001, la contamination en césium 137 est de 2 Bq/kg frais à l'exutoire, 0,14 Bq/kg frais à Saint-Eucher et inférieure à la limite de détection en amont (< 0,1 Bq/kg frais). Cette campagne de mesure suggère que le **césium 137** détecté, compte tenu des différences d'activité amont / exutoire et de la présence des radiocobalt, est également en grande partie imputable aux rejets de Cadarache.

## Recommandations

Pour que les résultats d'analyse de plantes aquatiques soient interprétables il est indispensable que le CEA précise **la nature des espèces** analysées. Les facteurs de concentrations peuvent être en effet très différents d'une espèce à l'autre. La publication des taux de matière sèche est également indispensable.

Les informations transmises ultérieurement par le CEA confirment qu'il ne s'agit pas des mêmes espèces [25, p7] :

« Les types de végétaux aquatiques prélevés sont :

- Amont Durance (Manosque) : *Callitriche (platycarpa)*
- Verdon (Vinon) : *Myriophyllum (spiratum)*
- Aval Durance (St Euchère) : *Potamogeton densus* »

En termes de localisation des stations de contrôle, le prélèvement complémentaire de végétaux aquatiques de la Durance à l'**exutoire** (comme en 2001) devrait être maintenu. Les raisons de l'abandon de cette station d'échantillonnage devraient être explicitées. Le CEA a indiqué [25, p7] que cela était dû à l'absence de végétaux.

Il serait utile que le CEA précise pourquoi le dosage du **strontium 90, du tritium et du carbone 14** (requis par l'arrêté) n'a pas été effectué dans les plantes aquatiques en **2007**. Ces lacunes sont particulièrement regrettables en ce qui concerne le tritium, élément prépondérant dans les rejets liquides du centre de Cadarache. L'arrêté ne le précise pas mais la détermination devrait porter sur le tritium libre et le tritium organiquement lié. Le CEA a indiqué [25, p7] :

« La recherche de Sr-90 est réalisée sur les plantes aquatiques mais les mesures montrent l'absence de ce type d'élément (mesures non significatives), et il en est de même pour les isotopes du Pu (Pu-238, Pu-239+Pu-240) Pour la recherche de H-3 et C-14, les quantités de plantes prélevées sont souvent insuffisantes (rareté des plantes dans la zone) pour réaliser ce type de mesure. Une information sera ajoutée au prochain bilan annuel environnement ».

Le tableau fourni par le CEA est reproduit ci-dessous.

VEGETAUX AQUATIQUES 2007

	Beta global (Bq/g frais)	K 40 (Bq/g frais)	Cs 137 (Bq/g frais)	Cs 134 (Bq/g frais)	Pb 210 (Bq/g frais)	Pu 239-240 (Bq/g frais)	Pu 238 (Bq/g frais)	90-Sr + 90-Y (Bq/g frais)	3-H (Bq/Kg)	14-C (Bq/Kg c total)
ST EUCHERE (Aval)	0,10	0,10	<0,0001	<0,0001	<0,0021	<0,0000031	<0,0000031	<0,0003	<2,8	260
Exutoire CAD	Pas de végétaux présents									
VINON (mont Verdon)	0,13	0,12	<0,0002	<0,0002	<0,0034					
MANOSQUE (mont Durance)	0,06	0,06	0,0003	<0,0003	<0,005					

Sur le plan analytique il serait utile de mesurer également dans les plantes les activités des éléments suivants : **iode 131** sur matière fraîche, isotopes de **l'uranium, radium 226 et plomb 210**.

Le CEA a indiqué [25, p7] : « ces isotopes sont détectés, s'ils sont présents, par spectrométrie ».

La CRIIRAD recommande que le CEA publie systématiquement ces résultats et les limites de détection associées.

Sur le plan **temporel**, compte tenu du caractère très variable dans le temps des rejets de distillats tritiés, la campagne annuelle d'échantillonnage des plantes aquatiques devrait être effectuée dans la mesure du possible en fonction des périodes de rejet. Le CEA indique [25, p7] : « Il existe des mesures d'eau à mi-rejet. Les mesures de plantes aquatiques n'ont pas pour objet le suivi des rejets. »

### 8.3.10 Résultats de la surveillance des poissons

#### Nature des contrôles

Le rapport environnement 2006 du CEA précise que des poissons sont pêchés chaque année en 4 stations : en 2 stations amont (Durance à Manosque et Verdon à Vinon-sur-Verdon) et 2 stations aval (à l'exutoire de la canalisation de rejets du Centre et en Durance à Saint-Eucher à environ 800 mètres en aval de l'exutoire du centre).

L'arrêté interministériel du 5 avril 2006 prescrit en son article 22 que soient effectuées sur ces échantillons, au minimum la mesure de l'activité bêta globale, de l'activité du strontium 90, une spectrométrie gamma et une spectrométrie alpha permettant notamment la détermination de l'activité des actinides. Les prélèvements de faune et flore aquatiques font en outre l'objet d'une mesure des activités du tritium et du carbone 14.

#### Résultats du CEA

A titre d'exemple est reporté ci-dessous le tableau de résultats issu du rapport public annuel 2006 [8].

Les analyses des poissons pêchés en 2006 étant en cours de réalisation, ce sont les résultats des analyses des poissons prélevés lors de la pêche électrique de 2005 qui ont été reportés dans le Tableau 40.

Tableau 40 : Activités bêta globale et en K-40 des différentes espèces de poissons pêchées en 2005.

NATURE	LIEU	DATE	POIDS			RAPPORT PC/PF	ACTIVITE Bq/g cendre	ACTIVITE Bq/g frais	K40 Bq/g cendre	K40 Bq/g frais	N° ANALYSE
			FRAIS	SECS	CENDRES						
<b>HOTUS</b>	<b>MANOSQUE</b>	<b>23/09/2005</b>									
Filets			1245	310	31	0,02	5,08	0,13	5,8	0,14	144144
Aretes			1278	492	92,5	0,07	0,96	0,07	0,9	0,07	144145
Viscères			566	222,5	32,5	0,06	1,21	0,07	1,5	0,09	144146
<b>CHEVESNES</b>	<b>MANOSQUE</b>	<b>23/09/2005</b>									
Filets			1110	238	16,5	0,01	8,15	0,12	10	0,15	144141
Aretes			1210	392	89,5	0,07	0,96	0,07	0,96	0,07	144142
Viscères			296	45	6,2	0,02	3,55	0,07	5	0,10	144143
<b>TRUITES</b>	<b>ST EUCHER</b>	<b>05/10/2005</b>									
filets			852	189	10,3	0,01	10,64	0,13	12	0,15	142921
aretres			863	262	45,1	0,05	1,55	0,08	16	0,84	142922
Viscères			113	23	4,24	0,04	4,24	0,16	5,2	0,20	142923
<b>BARBEAUX</b>	<b>ST EUCHER</b>	<b>05/10/2005</b>									
filets			1667	325	23,2	0,01	8,37	0,12	9,5	0,13	142918
aretres			2994	907	209	0,07	1,41	0,10	0,87	0,06	142919
Viscères			668	146	12,9	0,02	3,7	0,07	5,3	0,10	142920
<b>CHEVESNES</b>	<b>EXUTOIRE</b>	<b>05/10/2005</b>									
filets			870	182	12	0,01	9,36	0,13	10	0,14	142950
aretres			860	261	63	0,07	0,99	0,07	1,2	0,09	142951
visceres			164	35	4,2	0,03	5,35	0,14	9,5	0,24	142952
<b>TRUITES</b>	<b>EXUTOIRE</b>	<b>05/10/2005</b>									
filets			1265	287	16,8	0,01	1,05	0,01	12,5	0,17	142953
aretres			1237	378	69,8	0,06	1,74	0,10	1,4	0,08	142954
visceres			280	88	6,8	0,02	4,15	0,10	5,7	0,14	142955
<b>TRUITES</b>	<b>VINON</b>	<b>06/10/2005</b>									
filets			1462	369	47,8	0,03	3,6	0,12	3,4	0,11	143590
Aretes			1075	366	66,6	0,06	1,24	0,08	12	0,77	143591
Viscères			536	173	11,2	0,02	3,66	0,08	4,3	0,09	143592
<b>FILETS</b>	<b>VINON</b>	<b>06/10/2005</b>									
Filets			988	204	13,5	0,01	8,67	0,12	10,6	0,14	143587
Aretes			1170	345	84	0,07	1,16	0,08	0,97	0,07	143588
Viscères			284	54	5,2	0,02	4,84	0,09	6,3	0,12	143589

Le tableau montre qu'aucune activité anormale n'a été mise en évidence dans les poissons prélevés en 2005. L'activité bêta globale mesurée dans ces poissons est, par ailleurs, essentiellement due à la présence de Potassium-40 (radioélément naturel, mesuré par spectrométrie gamma).

Les analyses de 2005 ne portent que sur l'activité bêta globale et le potassium 40. L'essentiel de l'activité bêta semble imputable au potassium 40 naturel.

On note cependant des incohérences par exemple pour les arêtes des truites de Vinon. En effet l'activité bêta totale (1,24 Bq/g cendre) devrait être au moins égale à celle du potassium 40 ce qui n'est pas le cas (12 Bq/g cendres), soit un écart d'un facteur 10. Le même problème affecte les résultats des filets de truites à la station « exutoire », etc. Ces incohérences posent question sur l'ensemble des résultats présentés. Le CEA a précisé ultérieurement [25, p8] : « *Il s'agit probablement d'une erreur* ».

Ces analyses sont de plus très partielles (pas de dosage des isotopes du plutonium, du strontium 90, du tritium ou du carbone 14).

Des résultats sont donnés pour le césium 137, mais uniquement à la station exutoire, sans comparaison possible avec l'amont.

Le rapport **2007** présente des résultats d'analyse des poissons pêchés en 2006. Les activités bêta globales peuvent être expliquées par le potassium 40 naturel.

Les activités en césium 137 sont inférieures aux limites de détection sauf dans les filets des truites prélevées à l'exutoire (0,19 Bq/kg frais). Cette mesure ne peut être comparée aux stations amont (pas de truites mais des barbeaux et chevesnes).

Ces résultats restent très partiels (pas de dosage des isotopes du plutonium, du strontium 90, du tritium). Curieusement le carbone 14 est mesuré mais seulement dans les barbeaux de Manosque, soit en amont des rejets.

Le CEA a apporté des précisions ultérieures [25 p8] et un tableau reproduit ci-dessous.

« *Tous les résultats pour 2007 (poissons pêchés en 2006) seront intégrés au prochain rapport environnement. Il y a eu des mesures à l'exutoire. Ces mesures ont été réalisées pour 2007 mais pas forcément reportées dans le tableau de synthèse des documents car non significatifs. Les résultats apparaîtront systématiquement dans les futurs bilans environnement et sur le site « carte sur table ».* ».

Mesures CEA dans les poissons pêchés en 2006

Lieu prélèvement	Nature poisson	Activité Bêta Globale (Bq/g frais)	Activité K-40 (Bq/g frais)	Activité C-14 (Bq/Kg C tot)	Activité Tritium Eau libre (Bq/Kg)	Activité Sr-90+Y-90 (Bq/g frais)	Activité Cs-137 (Bq/g frais)	Activité Cs-134 (Bq/g frais)	Activité Pb-210 (Bq/g frais)	Activité Pu-238 (Bq/g frais)	Activité Pu-239+Pu-240 (Bq/g frais)
MANOSQUE	BARBEAUX										
	Filets	0,14	0,16	231	< 2,3	<0,0001	<0,00015	<0,0024	<0,0024	<0,000001	<0,000001
	Arêtes	0,14	0,15	245	< 1,7	<0,0007	<0,00031	<0,0053	<0,0053	<0,000007	<0,000007
	CHEVESNES										
	Filets	0,13	0,14				<0,00014	<0,0023			
St EUCHER	Arêtes	0,01	0,01				<0,000085	<0,0011			
	BARBEAUX										
	Filets	0,12	0,14				<0,00016	<0,0017			
EXUTOIRE	Arêtes	0,12	0,09				<0,00036	<0,0038			
	CHEVESNES										
	Filets	0,12	0,17				<0,00041	<0,0026			
	Arêtes	0,12	0,16				<0,0019	<0,019			
	TRUITES										
	Filets	0,15	0,17				0,00019	<0,0011			
	Arêtes	0,15	0,15				<0,00091	<0,0077			
	BARBEAUX										
VINON / VERDON	Filets	0,12	0,17	245	< 2,4	<0,0001	<0,0003	<0,0003	0,0046	<0,0000013	<0,0000013
	Arêtes	0,14	0,15	218	< 2,0	<0,0007	<0,0003	<0,0003	<0,005	<0,0000067	<0,0000067
	BARBEAUX										
	Filets	0,09	0,12	219	< 2,4	<0,0001	<0,00014	<0,0018	<0,012	<0,000001	<0,000001
	Arêtes	0,08	0,11	222	< 2,1	<0,0001	<0,00066	<0,0072	<0,0108	<0,000006	<0,000006
	CHEVESNES										
	Filets	0,10	0,13				<0,00011	<0,0012			
	Arêtes	0,09	0,14				<0,00073	<0,0060			

Case grisée : mesure non réalisée

**Données CEA antérieures**

L'examen par sondage des rapports de 1961 (2ème semestre), 1971 (4ème trimestre), 1981 (annuel) et 1991 (4ème trimestre) ne fait pas apparaître à ces époques de mesures sur les poissons.

Le rapport 2001 présente des résultats de mesures par spectrométrie gamma effectuées dans des poissons de la Durance en 2 stations amont et 2 stations aval au lieu dit « Saint-Eucher » et à l'exutoire des rejets du Centre.

En 2001, le césium 137 est détecté uniquement à la station Saint-Eucher (max 0,52 Bq/kg frais). Le rapport ne précise pas sur quelle partie du poisson ont porté les analyses.

**Recommandations**

Sur le plan temporel, compte tenu du caractère très variable dans le temps des rejets de distillats tritiés, la campagne annuelle d'échantillonnage des poissons devrait être effectuée dans la mesure du possible en fonction des périodes de rejet.

Le CEA a fait part lors de la réunion du 5 mars 2009 de la difficulté d'organisation des campagnes de pêches sur 3 départements et considère qu'il n'est pas possible de synchroniser la campagne de pêche et certains rejets.

## 8.4 Eaux de ruissellement

### Généralités

Comme le montre le descriptif des incidents de contamination listés au chapitre précédent, la majeure partie des eaux de surface et également une partie des eaux souterraines s'écoulent vers le **ravin de la Bête** (cf incidents CABRI, INB 56-tranchées, champ Grande Bastide, ATUE, etc).

Ce ravin traverse le site de Cadarache du sud-est vers le nord-ouest en direction de la vallée de la Durance.

Le document [2] confirme que le Ravin de la Bête draine l'essentiel des eaux pluviales du Centre vers la Durance.

Une partie des eaux de ruissellement aboutit cependant au **Chemin des Lapins** (drainage de la zone Technicatome aboutissant dans le Canal EDF).

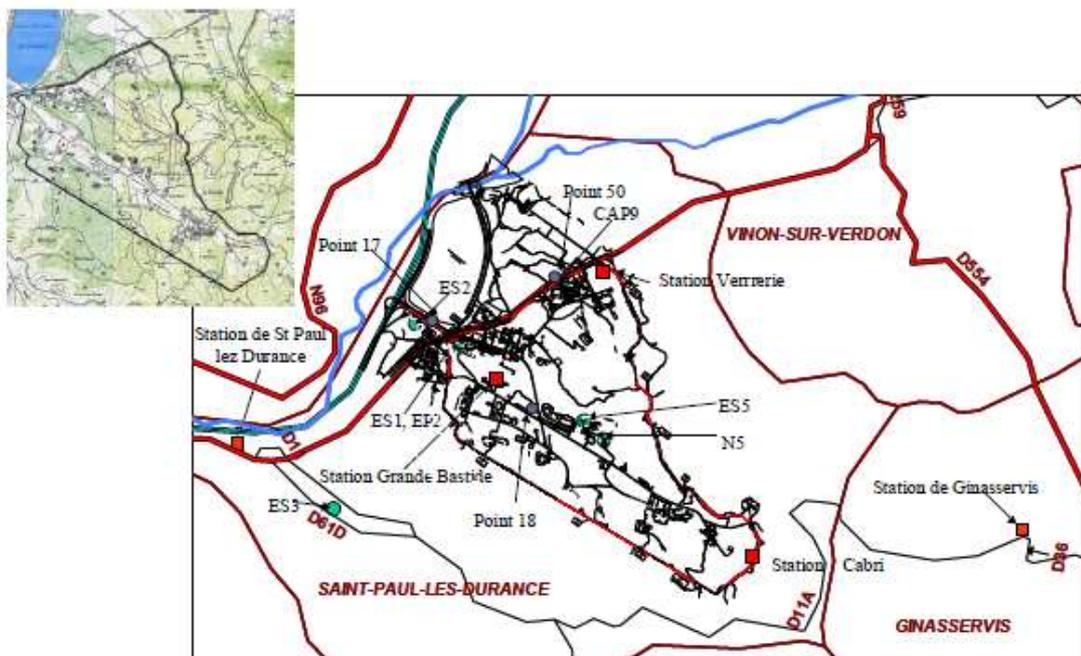
### Surveillance radiologique des eaux de ruissellement

La surveillance de la qualité radiologique des eaux de ruissellement du ravin de la Bête est effectuée :

- Par des prélèvements continus effectués au point 17, en sortie du ravin, à proximité de la station de rejet, les analyses sont effectuées en différé sur échantillon **hebdomadaire**. Le CEA indique en 2006 que bon nombre de mesures n'ont pu être effectuées au point 17 en raison de l'absence d'eau en aval du ravin de la Bête due à la sécheresse qui perdure depuis quelques années.
- Par des prélèvements ponctuels à fréquence hebdomadaire au point 18 (carrefour de Carcy).

Pour l'autre exutoire des eaux de ruissellement, un échantillon est collecté chaque semaine dans le regard collectant les eaux pluviales du versant nord du Centre au point 50, à proximité de l'INBS-PN TECHNICATOME.

La carte de localisation des points de surveillance est reproduite ci-dessous [12-2006, p74].



Le CEA a précisé dans une note de mars 2009 [25, p3] : « Les eaux pluviales de la zone Technicatome se déverseront à terme dans la conduite d'évacuation des eaux de ruissellement d'ITER et seront ramenées vers le ravin de la Bête. Les eaux de refroidissement du Réacteur Jules Horowitz (RJH) se déverseront dans le canal EDF. Ces eaux ne recevront pas d'effluents, comme cela est décrit dans le dossier d'enquête publique du RJH. »

Les résultats des mesures alpha et bêta globales et du tritium effectuées sur les eaux de ruissellement en 2006 sont reportés ci-dessous [12-2006, p43]

**Tableau 26. Activités alpha et bêta globales et du tritium (en Bq/l) mesurées en 2006 dans les eaux du Ravin de la Bête et du regard collectant les eaux pluviales du versant nord du Centre.**

Point de prélèvement	Activité $\alpha$ globale (Bq/l)		Activité $\beta$ globale (Bq/l)		Activité tritium (Bq/l)	
	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)
Point 17	0,04	36,3	0,07	36,3	2,38	0,0
	Mini= 0,03 Maxi= 0,06		Mini= 0,05 Maxi= 0,12			
Point 18	0,05	35,5	0,09	60,0	2,46	0,0
	Mini= 0,04 Maxi= 0,09		Mini= 0,05 Maxi= 0,16			
Point 50	0,07	44	0,21	100	2,47	0,0
	Mini= 0,03 Maxi= 0,25		Mini= 0,07 Maxi= 0,73			

(1): Pourcentage des valeurs significatives sur le total des mesures

Le CEA indique que « les valeurs significatives mesurées sont inférieures ou très proches des limites de détection ».

Ceci mériterait d'être explicité car par exemple pour le tritium on ne comprend pas pourquoi en 2006 le tableau indique que les valeurs significatives représentent 0 % des mesurages et que dans le même temps une valeur moyenne de 2,38 à 2,47 Bq/l est reportée dans le tableau. Il est possible que cela soit dû au fait qu'en cas de mesure non significative, le CEA reporte une valeur égale à la moitié de la limite de détection pour l'élaboration de graphiques (ce point abordé en réunion du 1 octobre 2008 devra être clarifié).

### Recommandations (eau)

Les résultats de l'année 2006 donnent des activités volumiques des eaux de ruissellement qui pour le ravin de la Bête sont conformes avec les critères radiologiques en vigueur pour les eaux de consommation humaine (indice d'activité alpha globale inférieur à 0,1 Bq/l, indice d'activité bêta globale inférieur à 1 Bq/l, tritium inférieur à 100 Bq/l).

Au point 50, quelques valeurs sont plus élevées.

Les résultats obtenus ne permettent pas de conclure de façon définitive quant à l'absence de contamination par les eaux de ruissellement.

Le CEA ne donne pas en effet d'interprétation des fluctuations des indices d'activité alpha globale (maxi 0,25 Bq/l au point 50) ou bêta globale (maxi 0,73 Bq/l au point 50).

S'agissant de la valeur de juin 2006 au point 50 (0,73 Bq/l), le CEA indique simplement qu'elle est « certainement due à une teneur élevée en matières en suspension de l'eau (non vérifiable car les MES ne sont plus mesurées) ».

Il serait utile que soit fixé un **critère d'activité volumique**<sup>18</sup> au-delà duquel des analyses plus fines (spectrométrie gamma et radiochimie) seraient effectuées afin de déterminer la nature des radionucléides à l'origine d'une augmentation des activités mesurées dans les eaux de ruissellement.

### Recommandations (milieu aquatique)

De plus il est indispensable d'ajouter au programme de surveillance des eaux, une surveillance des **sédiments et bioindicateurs aquatiques** du ravin de la Bête et du regard au point 50.

En effet, la CRIIRAD a eu l'occasion de constater dans le cadre de nombreuses études de radioécologie que le contrôle des eaux est nettement moins efficace pour détecter des pollutions que le contrôle des compartiments accumulateurs.

Lors des discussions du 1 au 3 octobre 2008, le CEA a indiqué qu'il effectuait ponctuellement des contrôles sur les sédiments. Il serait souhaitable que ces résultats soient rendus publics et effectués de manière systématique. Dans sa note [25] rédigée après lecture du rapport CRIIRAD préliminaire, le CEA n'a pas apporté les éléments complémentaires demandés.

La nécessité d'améliorer le dispositif de contrôle radiologique des eaux de ruissellement est illustrée en effet - par exemple - par le fait qu'il a fallu attendre le début des années 2000 pour que des entretiens avec les salariés de l'ATUE (arrêté en juillet 1995) révèlent qu'au cours des années 70 des déversements de liquides contaminés étaient effectués dans les canalisations d'eau pluviale et non dans le réseau des effluents industriels, comme cela aurait dû être le cas [2, p35].

Les mesures réalisées par le CEA à partir de novembre 2001 dans le secteur de l'ATUE ont confirmé une contamination des sols par de l'uranium 238 (8 300 Bq/kg) et du césium 137. Or les eaux pluviales de l'ATUE aboutissent au Ravin de la Bête.

### Contamination en tritium d'un drain connecté au ravin de la Bête

La surveillance du ravin de la Bête doit également être prolongée en aval de la zone des bassins de 3 000 m<sup>3</sup>.

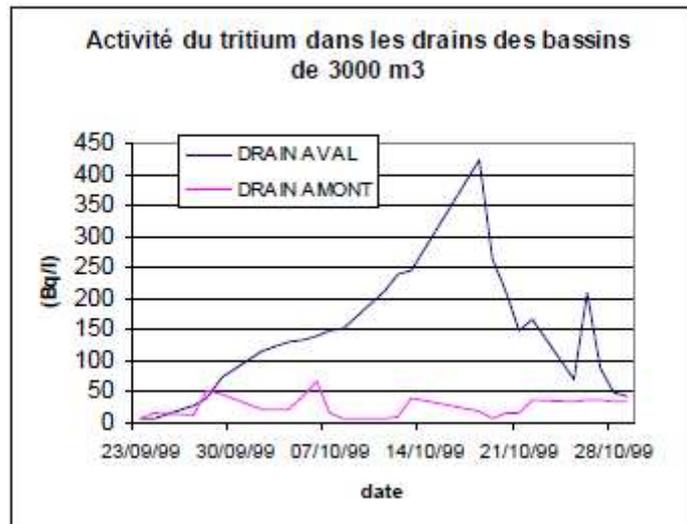
En effet, en janvier 1998 a été détectée une contamination en tritium de l'eau des drains de la zone des bassins de rejet (4 bassins de 3 000 m<sup>3</sup>) dans le cadre d'un rejet de distillats tritiés [2] :

- Dans le drain aval (5 300 Bq/l) qui rejoint la conduite de rejet en amont des contrôles radiologiques depuis l'origine. Ce rejet est donc a priori comptabilisé dans la déclaration de rejet en Durance.
- Dans le drain amont (**2 000 Bq/l**) qui se déversait jusqu'en 2004 directement dans le ravin de la Bête qui se jette lui-même dans la Durance. Jusqu'en 2004 ces fuites de tritium n'étaient donc pas comptabilisées dans les déclarations de rejet.

Le graphique ci-dessous issu du document [2] montre l'activité en tritium des drains amont et aval lors du rejet de distillats de septembre 1999. On constate qu'après le rejet des lots de distillats la contamination en tritium des drains diminue en quelques jours.

---

<sup>18</sup> Le CEA a précisé [25, p8] « Une sonde de radioactivité est installée sur l'eau du ravin de la Bête. Des recherches élémentaires de radioéléments sont réalisées en cas de suspicion de contamination ». Il serait utile que le CEA précise le seuil d'alerte fixé et la procédure prévue en cas de dépassement du seuil.



Comme le montre le graphique ci-dessus, la pose d'un liner dans les bassins entre 1998 et 1999 a permis d'abaisser le niveau de contamination (par rapport à janvier 1998), puisque la contamination maximale est de 65 Bq/l (drain amont) à 422 Bq/l (drain aval).

Mais le problème n'a pas été totalement résolu puisqu'en **décembre 2003** l'activité du drain amont a atteint **1 306 Bq/l** lors d'une vidange de distillats tritiés. C'est d'ailleurs ce qui a finalement conduit le CEA à **renvoyer en 2004 le drain amont vers la conduite de rejet pour comptabilisation**.

La note CEA [2] indique que ces fuites de tritium lors de campagnes de rejets de distillats tritiés ont été découvertes en janvier 1998, mais elle ne précise pas s'il est possible de considérer que ce dysfonctionnement existe depuis l'origine ou s'il est lié à une dégradation des matériels.

Il est en tout cas clair que des rejets non contrôlés de tritium ont eu lieu via le Ravin de la Bête entre au moins 1998 et 2003. La note CEA [2] ne donne pas d'estimation de l'activité totale ainsi rejetée.

Il serait utile que le CEA indique s'il a procédé à une évaluation de la contamination en tritium du biotope au niveau du Ravin de la Bête (plantes aquatiques, faune) avant confluence avec la Durance.

Par ailleurs, le fait qu'en fin d'année 2005, les causes de ces fuites de tritium n'aient pas été clairement identifiées pose question quant à la possibilité de migration de tritium au droit d'un certain nombre de canalisations ou caniveaux (en avril 2005, la contamination du drain amont était encore de 118 Bq/l et 2 631 Bq/l dans le drain aval).

La note CEA [2] ne permet pas en effet de comprendre si la diffusion du tritium vers les drains intervient uniquement à partir des bassins ou de leur environnement immédiat, ou si elle peut en partie provenir d'une diffusion plus en amont le long ou à proximité des conduites qui acheminent les distillats à partir de la STE vers la zone des bassins. Afin de clarifier ce point il serait utile par exemple de mesurer le tritium dans les eaux ou l'humidité du sol au niveau du Ravin de la Bête en amont des bassins et au niveau du point bas de l'arrivée des canalisations sous le canal.

Il serait utile que le CEA dresse un bilan du retour d'expérience sur l'analyse des causes de ces contaminations et des précautions à prendre dans le choix des matériaux pour la gestion d'effluents tritiés.

Lors de la réunion du 1 au 3 octobre 2008, le CEA nous a indiqué que les rejets de distillats de février et novembre 2007 n'avaient pas donné lieu à une détection significative de tritium dans les drains.

Dans sa note de mars 2009 [25, p8], le CEA indique : « *Point sur la contamination du ravin de la bête en tritium, causes possibles et travaux réalisés : Les analyses réalisées dans les drains lors des derniers rejets de distillats (2008) semblent montrer que travaux réalisés sur les bassins de*

*3 000 m3 ont permis de supprimer les fuites. Au moment des fuites (1998 – 2003) la teneur en tritium des eaux des drains pendant les rejets de distillats (LD le reste du temps) a été mesurée. L'eau du ravin de la bête était forcément moins contaminée que celle des drains, si elle l'a été ».*

## **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe 1 / Notions de radioprotection**

**Annexe 2 /**

**Expertise CLI de CADARACHE / Questions Complémentaires CRIIRAD  
Q1 « Exposition externe » à l'attention du CEA / Le 17 septembre 2008**

**Annexe 3 / Compte rendu de mission du 1 au 3 octobre  
2008**

**Annexe 4 / Courrier CRIIRAD du 17 novembre 2008 à la  
CLI de Cadarache**

**Annexe 5 / Radiamètres utilisés pour l'expertise**

**Annexe 6 / Résultats des analyses d'eau de pluie / CEA  
1999 à 2006**

**Annexe 7 / Résultats des analyses de tritium dans l'air  
ambiant / CEA 1999 à 2006**

## Annexe 1 / Notions de radioprotection

### L'activité

La quantité de matière radioactive est appelée **activité**. Elle s'exprime en **Becquerels** (1 Becquerel noté 1 Bq = 1 désintégration par seconde).

Les multiples les plus utilisés du becquerel sont

- le Megabecquerel : 1 MBq = 1 million de Becquerels.
- le Gigabecquerel : 1 GBq = 1 milliard de Becquerels.
- Le Terabecquerel : 1 TBq = 1 000 milliards de Becquerels.

### Les rayonnements et les effets des faibles doses

Selon sa nature, un corps radioactif émet en se désintégrant des particules (alpha, bêta, neutrons) et/ou des ondes électromagnétiques (rayonnements X ou gamma).

Ces particules et rayonnements invisibles à l'œil sont dits « ionisants » car l'énergie<sup>19</sup> qu'ils transportent est suffisante pour arracher des électrons aux atomes et induire des lésions au niveau cellulaire (par exemple rupture d'un brin d'une molécule d'ADN au sein du noyau d'une cellule).

Dans la grande majorité des cas, ces lésions sont réparées par des systèmes spécifiques de l'organisme (heureusement, car du fait par exemple de la radioactivité naturelle, notre organisme est le siège de mutations cellulaires en permanence). Mais la réparation n'est pas toujours fiable. D'où la notion – dans le domaine de l'exposition à de faibles doses de radiation - d'augmentation du risque de cancer en fonction de l'augmentation du nombre de ces lésions (paramètre lié à la dose).

La cellule altérée (mutation) pourra alors donner naissance - à long terme et à l'issue de mécanismes biologiques complexes - à un cancer. La nature de ce cancer sera, en général, en relation avec l'organe dont les cellules ont été initialement exposées aux radiations. Par exemple, des cellules thyroïdiennes exposées au rayonnement bêta-gamma de l'iode 131 radioactif pourront donner naissance à un cancer de la thyroïde (enfants de Tchernobyl) ; des cellules de l'épithélium des bronches exposées aux rayonnements alpha du gaz radon et de ses descendants pourront donner naissance à des cancers pulmonaires (mineurs d'uranium), etc.

En réalité, de nombreux travaux scientifiques montrent que d'autres effets sanitaires que le cancer peuvent être induits par l'exposition aux rayonnements ionisants (effets sur le système nerveux central, le système cardio-vasculaire, etc.)

### Les différentes voies d'exposition

La première étape pour évaluer le risque sanitaire est de déterminer de quelle manière les rayonnements ionisants émis par des substances radioactives présentes dans notre environnement, peuvent atteindre notre organisme.

On peut distinguer plusieurs voies d'exposition :

- Lorsque la matière radioactive peut être inhalée ou ingérée par l'être humain on parle de **contamination interne**.
- Lorsque la matière radioactive reste confinée (dans un emballage ou sur un site), mais qu'elle émet en se désintégrant des rayonnements pénétrants qui peuvent traverser les parois des containers on parle de **d'exposition externe** (ou irradiation externe). De façon schématique, on

---

<sup>19</sup> Cette énergie se mesure en électron Volt (eV). A titre d'exemple, l'énergie des principaux rayonnements gamma émis par l'iode 131 (364 000 eV) ou le technétium 99 m (140 000 eV) est des dizaines de milliers de fois supérieure à celle de la composante visible de la lumière solaire (quelques eV).

peut retenir que les **rayonnements bêta et surtout gamma** ainsi que les neutrons ont cette capacité<sup>20</sup> à traverser les parois matérielles.

### La dose

Les effets sanitaires induits par les rayonnements ionisants sont liés à la nature des radiations (alpha, bêta, gamma, X, neutrons) et à la quantité d'énergie qu'elles déposent dans le corps humain.

La grandeur physique qui prend en compte ces 2 paramètres (nature des rayonnements et énergie déposée dans les tissus) est la **dose équivalente** que nous dénommerons pour simplifier « dose » dans la suite du texte. Cette dose se mesure en Sievert (Sv). On utilise en pratique ses sous-multiples :

- le milliSievert, symbole mSv (1 millième de Sievert),
- le microSievert, symbole µSv (1 millionième de Sievert).

### Effets des fortes doses de radiation

S'agissant des riverains d'un site nucléaire, le domaine des fortes doses de radiation, c'est-à-dire de doses nettement supérieures à 200 000 microSieverts (200 milliSievert), est hors sujet. Néanmoins, avant d'aborder la question des faibles et très faibles doses, il peut être utile de rappeler les effets des fortes et très fortes doses. Il s'agit d'effets déterministes, c'est-à-dire quasi certains, alors que dans le domaine des faibles doses, les effets sont de nature stochastique (probabiliste).

On appelle doses extrêmement élevées des doses de plus de 100 Gray correspondant à 100 millions de microSieverts. A ces niveaux de dose, on observe un syndrome nerveux quasi immédiat (désorientation, prostration, céphalées, vomissements, apathie, convulsions) et le décès intervient en quelques heures (48 heures au maximum).

Pour des expositions à de très fortes doses (plus de 10 Gray ou 10 millions de microSieverts), les manifestations neurologiques sont moins intenses mais la mort intervient en quelques jours à quelques semaines (perforations intestinales, hémorragies, infection, collapsus cardio-vasculaire). Des manifestations pulmonaires peuvent apparaître (œdème aigu du poumon) ainsi que des manifestations gastro-intestinales (vomissements, diarrhée, graves lésions du tube digestif).

Dans la gamme intermédiaire entre les très fortes doses et les faibles doses on peut retenir les points suivants :

Au dessus de 6 Gray (6 millions de microSieverts) du fait, en particulier, de la destruction des cellules de la moelle osseuse, le décès est généralement inévitable en l'absence de traitement (antibiotiques, transfusion et éventuellement greffe de moelle osseuse). La dose létale 50 (sans traitement), c'est-à-dire la dose au dessus de laquelle 50 % de la population exposée va décéder des suites de l'exposition est estimée à 4 à 5 Gray (4 à 5 millions de microSieverts).

Une lymphopénie transitoire peut être observée au-delà de 0,05 Gray (neutrons) à 0,5 Gray (gamma, 500 000 µSv) au corps entier.

Au dessus de 0,3 Gray (**300 000 microSieverts**) on assiste à une modification réversible de la NFS (**Numération Formule Sanguine**), c'est pourquoi la prise de sang peut permettre de détecter des expositions assez élevées, et qui restent bien supérieures aux expositions classiques en milieu professionnel (limite de 6 000 µSv par an pour les travailleurs de catégorie B). En effet, en dessous de 0,25 Gray (250 000 microSieverts), aucune modification n'est généralement observée sur les cellules sanguines.

L'étude des aberrations chromosomiques peut également permettre de reconstituer l'ordre de grandeur d'une exposition à de faibles doses mais l'interprétation est difficile en dessous de 0,25 Gray (250 000 µSv).

---

<sup>20</sup> Alors que les particules alpha sont totalement arrêtées par une fine épaisseur de matière, l'équivalent d'une feuille de papier à cigarette.

### Effets sanitaires des faibles doses et facteurs de risques officiels

Les doses reçues en situation normale par les riverains d'une installation nucléaire sont à classer dans la gamme des faibles et très faibles doses, c'est-à-dire de doses proches des niveaux naturels<sup>21</sup> et pour lesquelles les effets sanitaires potentiels reconnus officiellement, sont de 2 types :

- Une augmentation des risques de **cancer** (dépendant des organes exposés aux radiations) et
- Une augmentation des risques de transmission **d'anomalies génétiques** à la descendance.

Concernant le risque cancérogène, la Commission Internationale de Protection Radiologique évalue le détriment sanitaire à 0,05 par Sievert, soit, sur la base d'une relation linéaire sans seuil, entre la dose et l'effet (relation qu'elle juge la plus probable), **50 cancers mortels pour un million de personnes exposées à une dose de 1 000 microSieverts** (et environ 5 fois moins de cancers guérissables).

Cette évaluation « officielle » des effets sanitaires liés aux radiations fait l'objet de nombreuses polémiques entre scientifiques :

- Des travaux de plus en plus nombreux indiquent qu'outre les risques de cancers, de nombreux autres types de pathologies peuvent être liées aux faibles doses de radiation.
- S'agissant de la quantification du risque de cancer mortel aux faibles doses, certains scientifiques considèrent qu'en dessous de 100 000 à 200 000 microSieverts, il n'y aurait aucune certitude quant à l'existence d'un risque (partisans d'une courbe risque-dose à seuil), d'autres considèrent au contraire que le modèle de risque retenu par la CIPR (courbe linéaire sans seuil) sous estime les risques relatifs à faibles doses.

Il est important de rappeler que le modèle linéaire sans seuil est considéré par la CIPR comme le **plus probable**<sup>22</sup> et constitue le pilier de tous les systèmes de radioprotection.

Des travaux récents<sup>23</sup>, concernant par exemple les risques de cancer du poumon lié à l'exposition domestique au radon confirment une relation dose effet linéaire sans qu'un seuil minimal soit relevé.

Ce modèle - selon lequel toute dose, même infime, augmente les risques sanitaires (avec un facteur de risque proportionnel à la dose reçue) – conduit donc à se souvenir en permanence du fait que pratiquer une bonne protection radiologique des personnes c'est veiller à ce que les doses subies soient les plus faibles possibles. C'est le sens des 3 principes de radioprotection détaillés ci-après.

### Les normes de radioprotection actuelles

Les normes de radioprotection internationales, établies pour protéger le public contre les effets sanitaires des rayonnements ionisants comportent 3 principes repris par la directive Européenne EURATOM 96 / 29 et intégrés, avec quelques nuances, dans la réglementation française (Code de la Santé Publique et Décret du 4 avril 2002) :

- **La justification**

On ne doit mettre en œuvre une pratique entraînant une exposition aux rayonnements ionisants qu'après vérification du fait que les avantages économiques et sociaux sont supérieurs au détriment sanitaire qu'elle est susceptible de provoquer.

- **L'optimisation**

Toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus faible raisonnablement possible, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

<sup>21</sup> L'exposition totale annuelle aux radiations d'origine naturelle est estimée en France métropolitaine, par les services officiels, à environ 2 400 microSieverts par an soit 2,4 milliSieverts (en moyenne sur le territoire).

<sup>22</sup> Voir « CIPR 60, Recommandations 1990 de la CIPR, Pergamon Press, 1993, page 16 (paragraphe 3.4.2) et page 38 et Annals of the ICRP, 1990 Recommendations of the ICRP, Pergamon Press, 1991, page 16.

<sup>23</sup> Voir Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, INVS, 18-19, 15 mai 2007.

- **La dose maximale annuelle admissible.**

Il s'agit de la dose annuelle cumulée au delà de laquelle le **risque de cancer mortel est jugé inacceptable**.

La directive EURATOM 96/29 a fixé le seuil de l'inacceptable à **1 000 microSieverts par an** pour l'exposition à l'ensemble des pratiques (activités humaines générant une exposition). Ce qui représente un risque « officiel » de 50 cancers mortels pour un million de personnes exposées à une telle dose.

Cette valeur est entendue **en plus de l'exposition naturelle et médicale**. Elle ne concerne donc que la part de l'exposition « ajoutée » au niveau naturel par l'activité industrielle.

Pour l'exposition à une seule pratique<sup>24</sup>, la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) recommande une limite de 300 microSieverts par an. La directive EURATOM a repris cette notion de contrainte de dose pour une source d'exposition unique, sans fixer de limite précise.

- **La notion de risque « négligeable »**

Par ailleurs la directive EURATOM 96/29 considère qu'une pratique qui délivre moins de **10 microSieverts par an** à tout citoyen a un impact sanitaire négligeable, à condition que la dose efficace collective soit inférieure à 1 homme fois Sievert.

Dans la suite de ce document nous proposons de retenir comme base de jugement le fait que toute pratique susceptible de conduire sur l'année à une exposition « ajoutée » supérieure à 10 microSieverts doit faire l'objet d'une « optimisation » de la protection, c'est-à-dire d'une réflexion visant à déterminer ce qu'il est « raisonnablement » possible de faire pour limiter cette exposition.

A titre de comparaison il est utile de rappeler que selon les estimations « officielles », l'exposition « ajoutée » pour les riverains des installations nucléaires en France est estimée entre 2,6 et 9 microSieverts par an<sup>25</sup> (respectivement centrale nucléaire EDF de Golfech et usine de retraitement COGEMA-AREVA de la Hague). Or certaines études ont montré l'existence d'un excès de leucémies chez les jeunes enfants autour des installations nucléaires (Etude du professeur Viel pour le site de la Hague, étude allemande pour les leucémies autour des centrales nucléaires).

### **Le cas des travailleurs**

En ce qui concerne les travailleurs, la réglementation française (décret N°2003-296 du 31 mars 2003) reprend également les principes de justification et d'optimisation, mais elle fixe des doses maximales annuelles admissibles différentes selon le « classement » du travailleur.

Si les estimations de dose « ajoutée » conduisent à une valeur cumulée sur l'année (pour toutes les voies d'exposition) inférieure à 1 000 microSieverts par an, le travailleur n'est pas considéré réglementairement comme « **exposé** ». On utilise alors le vocable « Non Exposé ». Il s'agit bien entendu d'un abus de langage. Même si le travailleur ne reçoit par exemple dans l'année que 30 microSieverts du fait de son travail, il reste soumis à une exposition qui est « non négligeable » et dont il est utile de se demander si elle peut être « raisonnablement » réduite –et ceci même si le risque sanitaire est jugé « acceptable ». Cette application stricte du principe d'optimisation est clairement rappelée dans le décret N°2003-296 en son article R 231-75 :

*« Les expositions professionnelles individuelles et collectives aux rayonnements ionisants doivent être maintenues en deçà des limites prescrites par les dispositions de la présente section au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre ».*

<sup>24</sup> Le terme de « pratique » est retenu par la directive Euratom pour désigner une activité professionnelle qui génère une exposition aux rayonnements ionisants. Les autorités françaises ont choisi de traduire ce terme par « activité nucléaire ». Pour déterminer l'exposition totale ajoutée par une « pratique » mettant en œuvre des substances radioactives, il faut tenir compte de l'exposition externe et de l'exposition interne.

<sup>25</sup> A noter que les contrôles effectués par le laboratoire de la CRIIRAD montrent que ces évaluations sous-estiment l'exposition.

En ce qui concerne la limite de dose annuelle, l'article R. 231-76 stipule : « *La somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois consécutifs* ». Soit **20 000 microSieverts** sur 12 mois.

Les travailleurs exposés susceptibles de recevoir « *dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an .../... sont classés par le chef d'établissement dans la catégorie A, après avis du médecin du travail* ». « *Les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B* ».

### **Cumul annuel des expositions**

Afin de déterminer l'exposition globale d'une personne ou d'un travailleur et de la comparer aux niveaux de risques jugés acceptables, **il convient d'ajouter les contributions de tous les radionucléides, pour toutes les voies d'exposition**, et d'évaluer la dose « ajoutée » cumulée sur l'année.

C'est cette valeur qui doit être comparée à la limite de dose annuelle de 1 000 microSieverts (public ou travailleur « non exposé ») ou 6 000 microSieverts (travailleur de catégorie B).

### **Le débit de dose**

S'agissant de l'évaluation des risques liés à l'exposition externe on utilisera les notions de débit de dose, exprimé en **microSieverts par heure ( $\mu\text{Sv/h}$ )** et de dose cumulée sur une certaine durée d'exposition exprimée en **microSieverts ( $\mu\text{Sv}$ )**. La dose cumulée est égale au produit du débit de dose en un point multiplié par le temps passé en ce point.

### **Exposition externe naturelle**

Le débit de dose typique en France du fait de la radioactivité naturelle du sol (présence d'uranium, thorium et potassium 40) et du rayonnement cosmique à basse altitude est de l'ordre de **0,1 microSieverts par heure**.

Cela représente donc sur l'année (8 760 heures) une dose cumulée « naturelle » de **900 microSieverts** environ (0,9 milliSieverts), uniquement pour l'exposition externe.

Cette exposition n'est donc pas négligeable, mais dans la mesure où il est pratiquement impossible de s'en protéger, elle n'est pas prise en compte – pour l'heure – dans les dispositifs de radioprotection.

On notera que cette situation pourrait évoluer puisque, depuis plusieurs années, des recherches sont en cours pour fixer des normes concernant les teneurs en radionucléides naturels dans les matériaux de construction. En effet, habiter une maison en granite ou en calcaire peut conduire - rien que pour l'exposition externe - à une différence de dose annuelle cumulée nettement supérieure à 1 000 microSieverts.

## Annexe 2 /

### Expertise CLI de CADARACHE / Questions Complémentaires CRIIRAD Q1 « Exposition externe » à l'attention du CEA / Le 17 septembre 2008

Remarques : les réunions de travail à Cadarache prévues les 1 et 2 octobre 2008 suivies de la mission en extérieur le 3 octobre 2008 permettront de clarifier et d'approfondir directement un certain nombre de points concernant les rejets et le suivi de l'environnement.

Afin de faciliter la préparation de la réunion, une première liste de points complémentaires (documents ou questions) est proposée ci-dessous sur le thème de l'exposition externe.

#### A / Documents complémentaires aux CD rom de décembre 2007 et mars 2008

Merci de nous transmettre :

- Registres SCPRI (ME – RG –RL) : il nous manque l'année 1986.
- Registres SCPRI année 1996 : il nous manque le dossier RG
- Registres DGSNR année 2006 : à partir de juillet 2006 les dossiers sont moins complets (par exemple il nous manque les fichiers rejets gazeux).
- Registres mensuels DGSNR de l'année 2007 (mesures environnement, rejets liquides, rejets atmosphériques) et rapport bilan environnement de l'année 2007 (si disponible).
- Plans masse du CEN Cadarache avec localisation des INB, des émissaires de rejet atmosphérique notés Ei, du réseau hydrographique et des forages.

#### B1 / Questions spécifiques concernant l'exposition externe (mesures à la clôture)

Nature des dosifilms mensuels et trimestriels de clôture (matériau constitutif, type de rayonnement détecté, gamme d'énergie, marge d'incertitude, laboratoire en charge du développement).

Précisions sur l'utilisation du dosimètre « témoin ». Le dosimètre témoin est-il le dosimètre situé à Manosque ?

Existe-t-il un suivi du rayonnement neutronique à l'intérieur du CEN ? à la clôture ?

Justification du choix de l'emplacement des 11 stations fixes renseignées dans les registres mensuels DGSNR (plan compteur préalable ? proximité des termes source ?).

Existe-t-il une cartographie radiométrique ou spectrométrique héliportée à l'échelle de l'ensemble du CEN Cadarache et de ses environs ?

Les registres DGSNR comportent les résultats mensuels de 11 stations à partir de mars 2006, pourquoi le rapport public 2006 évoque –t-il des mesures mensuelles et trimestrielles à la clôture (les valeurs trimestrielles sont-elles celles des dosimètres situés à l'intérieur du site? Pourquoi comporte-t-il les résultats en moyenne annuelle de 20 stations ? où sont archivés les résultats mensuels de ces stations complémentaires ? Pourquoi l'histogramme des débits de dose moyens 2006 par rapports aux débits de dose moyens depuis 1998 comporte-t-il 22 stations (rapport 2006, page 36) ?

Le CEA a-t-il effectué une analyse spécifique pour expliciter la gamme de variations entre les différentes stations à la clôture ?

Quelle est l'explication de l'augmentation de la moyenne 2006 par rapport à la moyenne depuis 1998 pour la station Bât 30X-(3 ème chiffre illisible) sur l'histogramme du rapport bilan annuel 2006 page 36.

On constate des débits de dose sensiblement supérieurs à la porte de Bargette par rapport aux autres stations. Selon le Bilan annuel 2006, page 36 cela s'explique « *par la présence à proximité d'un entreposage de déchets radioactifs (INB 56) qui a donc pu influencer la*

*mesure* ». Pourquoi cette information n'apparaît-elle pas dans le rapport public annuel 2006 où ne figure que le commentaire « *Les valeurs mesurées en différé en clôture du site sont en accord avec celles mesurées en continu au niveau des stations de surveillance de l'environnement* » ?

Le point de localisation du dosimètre porte de Bargette correspond il au secteur de la clôture le plus exposé au droit de l'INB 56 ? Quelle est la distance entre ce point de contrôle et le premier site d'entreposage de déchets ? Lors du transfert de déchets ou matériaux Hautement Irradiants<sup>26</sup> (HI) quel peut être le débit de dose maximal à la clôture ?

## **B2 / Questions spécifiques concernant l'exposition externe (mesures en continu)**

Précisions sur le type de capteur associé aux 5 balises REG 803 (hauteur par rapport au sol, type de rayonnement, plage en énergie, marge d'incertitude)

Y a-t-il eu une évolution du type de capteur depuis 1979 (changements éventuels de technologie ?)

Précisions sur l'acquisition des mesures en continu (pas de temps) et la gestion des résultats (niveau d'alerte ou d'alarme en direct ou en différé)

Origine des valeurs maximales (par exemple 200 nGy/h à Ginasservis en 2006, 226 nGy/h à Saint-Paul-lez-Durance en 2006).

Le ratio valeur max mensuelle / moyenne mensuelle est en moyenne plus élevé en 2006 qu'en 1979. Y a-t-il une explication ?

Expliciter la phrase : « *Les valeurs maximales pour la Grande Bastide, la Verrerie et Cabri sont réduites car le mode de transmission des données est différent par rapport à celui des stations extérieures au centre* » (Bilan 2006, page 35).

Merci de nous transmettre les tableaux permettant de tracer des représentations graphiques annuelles des résultats des 5 stations de surveillance.

Correspondances entre la codification Di et la localisation des capteurs ? Localisation précise de chaque capteur ? Y a-t-il eu une évolution du positionnement depuis 1979 ?

Pourquoi les résultats de la cinquième balise ne figurent pas dans les registres mensuels environnement DGSNR 2006 ?

Raison de la mise en œuvre de la cinquième balise (CABRI) et date de mise en œuvre ?

## **B3 / Questions spécifiques concernant l'exposition externe (divers)**

En combien de points des matières radioactives (déchets, matières nucléaires, etc.) peuvent elles sortir du site de Cadarache ou y entrer ?

Quelle est la distance entre chacun de ces points et le dosimètre gamma le plus proche ?

Ces points sont ils équipés de portiques ? (nature, type de rayonnement détecté, limite de détection).

Existe-t-il un registre permettant de visualiser les quantités de matières radioactives entrées ou sorties du site en 2006 (nombre de sorties, débit de dose au contact du véhicule et à 1 ou 2 mètres).

Quels sont les trajets typiques des véhicules de transport de matières radioactives depuis l'environnement extérieur vers le CEN Cadarache ?

Description des contrôles de non contamination des personnes en sortie de site (existence de portiques ?)

Rédaction : B. Chareyron (CRIIRAD)

<sup>26</sup> Selon les fiches INB les déchets MI et HI présentent un débit de dose au contact compris entre 2 mGy/h et 10 Gy/h.

## Annexe 3 / Compte rendu de mission du 1 au 3 octobre 2008

### A / Déroulement de la mission

Personnes CRIIRAD présentes : M. Chareyron et Courbon

Représentants de la CLI de Cadarache : M. Fourcaud et Mme Foucher

1 / Mercredi 1 octobre : 10H30 à 16H30

Introduction en présence de M Maubert, Mme Gourod, M Boucquey, M Haessler, M Bonneval (CEA Cadarache)

Présentation générale des activités du site de Cadarache par M. Haessler

Présentation des arrêtés applicables au site par M. Bonneval

Présentation du rapport environnement 2007 par M. Bonneval et discussion sur les rejets radioactifs et chimiques

Présentation du dispositif de surveillance de l'environnement par M. Marcone, en présence de Mme Passaiva et M. Amphoux (CEA)

2 / Jeudi 2 octobre : 8H30 à 11H30

Discussion in situ sur les portiques de détection de radioactivité en entrée-sortie de site avec M Maubert et M Marcone.

Discussion approfondie sur le volet exposition externe à partir de la liste de questions Q1 du 17 septembre 2008.

3 / Jeudi 2 octobre : 14H à 14H25

Visite du site en bus dont secteurs : Tore Supra, RES, entreposage déchets Rhodia, ATPu, Phebus, Cabri, Rapsodie, chantier RJH, Eole, ravin de la bête, ATUe, chantier Magenta, Chicade, Cedra.

4 / Jeudi 2 octobre : 14H25 à 16H45

Visite des INB LECA et STAR et discussion sur les rejets atmosphériques associés

Visite de l'installation ROTONDE

5 / Jeudi 2 octobre : 17H à 19H (équipe CRIIRAD seule)

Repérages dans l'environnement du site (en voiture et ponctuellement à pied) dont mesures radiométriques au moyen d'un scintillomètre DG5, pour évaluation du niveau naturel de rayonnement gamma ambiant.

Repérage des berges du ruisseau l'Abéou (sédimentation et végétaux aquatiques)

Flux de rayonnement gamma mesuré à 1 mètre du sol : de 40-60 c/s sur substratum nu de type calcaire (secteur porte de Garagobie) à 60-100 c/s sur sol contenant de la terre végétale (proximité jeux d'enfants des berges de L'Abéou).

Note : à l'entrée du site de Cadarache, dans le domaine accessible au public, une augmentation du flux de rayonnement gamma a été détectée ponctuellement A / lors du stationnement d'un véhicule de transport de matières radioactives et B / au contact de la boucle d'essai PEGASE.

6 / vendredi 3 octobre : 9H30 à 11H (en présence de M Maubert et Belotti)

Mesures radiamétriques à la clôture extérieure de la Porte de Bargette choisie par la CRIIRAD dans la mesure où il s'agit du secteur qui présente, selon la documentation du CEA, les niveaux radiamétriques les plus élevés (facteur 2 par rapport aux stations à niveau bas) . L'impact radiamétrique de l'installation INB 56 (entreposage de déchets radioactifs) est effectivement sensible au fur et à mesure que l'on s'approche de la clôture. Le long de la clôture, sur l'ensemble du parcours (plus de 200 mètres), on mesure un flux de rayonnement gamma environ 2 à 6 fois supérieur au bruit de fond naturel (200 à 380 c/s). Le débit de dose mesuré au moyen d'un compteur proportionnel compensé en énergie est de 134 nGy/h (valeur comparable à la moyenne indiquée par le CEA de 135 nGy/h en moyenne annuelle 2007).

7 / vendredi 3 octobre : 11H20 à 12H (en présence de M Maubert et Belotti)

Visite de la station de surveillance de la radioactivité atmosphérique située à Saint Paul lez Durance. Discussion sur les dispositifs de mesure du débit de dose gamma ambiant, échantillonnage des aérosols et halogènes, barboteurs pour le tritium et carbone 14.

8 / vendredi 3 octobre : 12H10 à 12H50 (en présence de M Maubert et Belotti)

Visite de la zone des bassins de 3 000 m<sup>3</sup> et des dispositifs de contrôle de la radioactivité des effluents liquides avant rejet et des eaux du ravin de la bête.

9 / vendredi 3 octobre : 14H15 à 15H00 (en présence de Mme Foucher)

Repérages et mesure du flux de rayonnement gamma en bordure de Durance en proximité du point de rejet des effluents liquides (résultat identique au bruit de fond naturel soit 40 à 60 c/s).

La CRIIRAD tient à remercier ici les techniciens et ingénieurs du CEA pour leur disponibilité et leur professionnalisme. De très nombreux éléments de réponse ont été apportés oralement en direct. Pour les points en suspens, le CEA s'est engagé à apporter des réponses ultérieurement.

## **B / Propositions pour la mission 2**

Pour mémoire, comme évoqué au cours de la mission 1, la CRIIRAD souhaite recevoir un certain nombre de documents complémentaires :

Résultats de la cartographie radiamétrique hélicoptée CEA

Dossier DARPE-Centre de 2003-2004

Méthodologie d'évaluation des rejets de tritium diffus

Fiches constructeur et procédures pour les dispositifs d'échantillonnage et de mesure de la radioactivité.

Bilan sur les transports de matières radioactives (entrée-sortie)

Autres précisions complémentaires liées au questionnaire Q1 / exposition externe

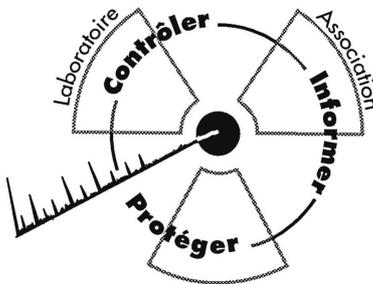
Comme indiqué lors de la mission 1, la CRIIRAD souhaite compléter la mission 1 par une seconde mission. Par E-mail en date du 13 octobre 2008 adressé au bureau de la CLI et au CEA, la période du 12 au 14 novembre a été proposée.

L'objet de cette seconde mission est d'approfondir des points complémentaires à travers :

- Des discussions complémentaires sur la métrologie des rejets atmosphériques et liquides
- La visite du laboratoire d'analyse radiologique du CEA
- La visite d'un dispositif de contrôle de la radioactivité des effluents atmosphériques avant rejet
- La visite de la station de traitement des effluents (STE)
- La visite du chantier de reprise des déchets de l'INB 56 (les tranchées)

Rédaction : B. Chareyron (CRIIRAD), le 22 octobre 2008

## Annexe 4 / Courrier CRIIRAD du 17 novembre 2008 à la CLI de Cadarache



### CRIIRAD

Commission de Recherche  
et d'Information Indépendantes  
sur la Radioactivité

Site : [www.criirad.org](http://www.criirad.org)  
Tel : + 33 (0)4 75 41 82 50  
Fax : + 33 (0)4 75 81 26 48  
E-mail : [contact@criirad.org](mailto:contact@criirad.org)

Valence, le 17 novembre 2008

Monsieur Cyril FOURCAUD  
Secrétaire de la CLI de  
Cadarache  
ESPACE DU PAYS D'AIX  
8 RUE DU CHÂTEAU DE  
L'HORLOGE  
13090 AIX-EN-PROVENCE

Par E-Mail : [cyrilfourcaud@cli-cadarache.fr](mailto:cyrilfourcaud@cli-cadarache.fr)

### Objet : Point sur l'avancement de l'étude documentaire confiée à la CRIIRAD par la CLI de Cadarache

Monsieur,

En anticipation de la réunion du Conseil d'Administration de la CLI de Cadarache fixé au 20 novembre 2008, et suite à votre courrier en date du 28 octobre 2008, je viens par la présente faire un point sur l'avancement de l'étude confiée à la CRIIRAD.

Nous avons déjà reçu une documentation abondante de la part du CEA en ce qui concerne les résultats du suivi des rejets des installations et de leur impact sur l'environnement.

La mission qui nous est confiée consiste à faire une synthèse des données mais aussi une analyse critique sur la cohérence et la robustesse des données fournies par le CEA et décrivant l'impact radiologique du site sur l'environnement et les riverains.

En ce sens notre travail sera d'autant plus pertinent que nous aurons accès - au-delà des seuls résultats - à des informations en amont sur les méthodologies permettant d'obtenir ces résultats.

L'obtention de certaines de ces informations peut se faire par des échanges de courrier de type « questions-réponses » mais il est extrêmement utile de les faire suivre par des échanges directs sur site avec les personnes compétentes.

C'est dans cet esprit que s'agissant du volet « exposition externe » la CRIIRAD a adressé au CEA une liste de questions détaillées (liste Q1) le 17 septembre 2008.

Cette liste a pu être discutée en réunion tripartite CLI-CEA-CRIIRAD à Cadarache le jeudi 2 octobre 2008.

Le CEA a apporté certains éléments de réponse oralement le 2 octobre et il est convenu qu'il adressera à la CRIIRAD d'une part des réponses écrites à l'ensemble des questions posées (document Q1) ainsi que les documents complémentaires évoqués par oral et listés dans le document CR1 que je vous ai adressé par télécopie le 22 octobre 2008 (bilan de la mission CRIIRAD du 1 au 3 octobre 2008).

L'expérience du 2 octobre 2008 a confirmé que les échanges « de visu » et les visites de terrain constituent un complément indispensable aux seuls échanges par courrier. L'étude bibliographique commandée par la CLI se trouve fortement enrichie par la visite de site. Ce sont les discussions in situ par exemple qui nous ont permis de recueillir l'explication sur la baisse de l'exposition externe moyenne 2006 à la station de la ferme, de confirmer des erreurs<sup>27</sup> dans les documents envoyés, de vérifier que

<sup>27</sup> Par exemple dans le rapport public annuel 2006, le tableau 41 portant sur la radioactivité des sols prélevés à Saint-Paul les Durance indique une activité de 0,48 Bq/g frais pour « 226-Ra+descendants ». La valeur exacte est probablement de 0,048 Bq/g. Le libellé du tableau serait en outre à vérifier. S'agit-il de la somme radium 226 et tous ses descendants, ou, plus probablement du radium 226 seul ?

l'exposition externe induite par le transit de matières radioactives est un paramètre qui ne peut être négligé, etc.

Il apparaît par contre que cette méthode de travail nécessite des délais importants.

La rédaction de listes détaillées de questions est bien entendu une opération longue pour le rédacteur des questions (elle nécessite d'avoir examiné au préalable la documentation portant sur la thématique retenue) mais elle s'avère surtout longue pour les personnes du CEA en charge d'y répondre.

Ainsi les documents écrits du CEA concernant les questions du 17 septembre 2008 ne nous sont toujours pas parvenus et la poursuite d'échanges de types questions / réponses sur les autres thématiques (vecteur air, vecteur eau, etc.) ne sera manifestement pas compatible avec le délai de rendu du rapport fixé à fin décembre 2008.

S'agissant d'approfondir la question de l'impact des rejets radioactifs à l'atmosphère et par voie liquide nous avons suggéré la programmation d'une réunion de travail avec le CEA dans la période du 12 au 14 novembre avec 5 objectifs :

- Des discussions complémentaires sur la métrologie des rejets atmosphériques et liquides
- La visite du laboratoire d'analyse radiologique du CEA
- La visite d'un dispositif de contrôle de la radioactivité des effluents atmosphériques avant rejet
- La visite de la station de traitement des effluents (STE)
- La visite du chantier de reprise des déchets de l'INB 56 (les tranchées)

Comme indiqué dans votre courrier en date du 28 octobre 2008, le bureau de la CLI considère que ces visites dépassent le cadre de l'étude bibliographique et souhaite que la CRIIRAD s'attache à l'étude des données communiquées par l'exploitant.

La CRIIRAD prend note de cette position et propose alors de modifier sa méthodologie de travail afin de réaliser un compromis entre d'une part l'engagement d'un rendu du rapport d'étude à fin décembre 2008 et d'autre part la possibilité d'un travail critique approfondi :

- Le rapport d'étude CRIIRAD (version V0) comportera pour chaque voie d'exposition (externe, vecteur air, vecteur eau) une synthèse des données disponibles, la rédaction de recommandations et une liste de questions détaillées à l'attention du CEA, pour les points le nécessitant.
- S'agissant de l'exposition externe, sous réserve de la transmission avant le 1 décembre des points et documents en attente, les éléments reçus seront inclus dans le rapport CRIIRAD de telle sorte que cette thématique pourra être traitée de façon approfondie.
- S'agissant des autres thématiques, les réponses et commentaires que le CEA transmettra à la CLI postérieurement à la remise du rapport seront analysés par la CRIIRAD, à ses frais, et intégrés à une seconde version actualisée du rapport (version V1). Ceci ne sera évidemment possible que si la CLI apporte son soutien à cette démarche complémentaire.

Espérant que cette proposition recevra l'agrément de la CLI de Cadarache, je vous prie d'agréer monsieur, l'expression de ma sincère considération.

Le responsable du laboratoire  
Bruno CHAREYRON  
Ingénieur en physique nucléaire

## Annexe 5 / Radiamètres utilisés pour l'expertise

Dans le cadre de la mission du 1 au 3 octobre 2008, la CRIIRAD a utilisé deux radiamètres décrits ci-dessous.

### Scintillomètre DG5 (N°2) :

Le DG5 (Détecteur Gamma 5) est un scintillomètre de marque NOVELEC.

Le DG5 est équipé d'un scintillateur organique associé à un photomultiplicateur.

Il enregistre les impulsions générées par les rayonnements gamma d'énergie supérieure à 50 keV.

La réponse en fonction de l'énergie est de  $\pm 10\%$  à 700 keV et de  $\pm 50\%$  de 60 keV à 1,5 MeV.

La constante de temps de détection est de 0,1 seconde.

Le résultat de la mesure est exprimé en **chocs par seconde (c/s)**.

Une mesure est effectuée toutes les 2 secondes.

Les modes dynamique et sonore permettent un balayage permanent lorsqu'on se déplace avec l'appareil.

Le DG5 est le radiamètre utilisé en routine pour une première détection d'anomalies radiométriques.

La CRIIRAD dispose de 3 appareils équivalents notés DG5 N°1, DG5 N°2 et DG5 N°3.

### Compteur proportionnel LB123

Les mesures de flux gamma effectuées par exemple avec le scintillomètre DG5 sont très sensibles pour mettre en évidence des variations du champ de rayonnement.

Mais pour effectuer une évaluation « dosimétrique », il est préférable de poursuivre la caractérisation du champ de rayonnement par la mesure du débit d'équivalent de dose, qui seul permet d'estimer les effets biologiques de l'exposition externe.

La CRIIRAD utilise pour les déterminations ponctuelles un **compteur proportionnel compensé en énergie de type LB 123 (sonde LB 1236 N°1588) de marque Berthold**.

Cet appareil mesure le débit d'équivalent de dose gamma à la profondeur de 10 mm (Hp 10) exprimé en **microSieverts par heure ( $\mu\text{Sv/h}$ )**.

Le modèle de sonde LB 1236 a été testé par le PTB Allemand. La linéarité de la réponse aux gamma du césium 137 est meilleure que  $\pm 20\%$  dans une gamme de 0,07  $\mu\text{Sv/h}$  à 13 700  $\mu\text{Sv/h}$ .

Le constructeur BERTHOLD garantit que la dépendance de la réponse de la sonde en équivalent de dose dans l'air par rapport à l'énergie des photons est de  **$\pm 30\%$  de 30 keV à 2 MeV** (en prenant comme référence l'énergie des gamma du césium 137 soit 661 keV).

En outre, la linéarité de la réponse de la sonde de la CRIIRAD a été vérifiée par un organisme agréé (Groupe Etalonnage et Dosimétrie du CEA de Grenoble) à 4 niveaux d'énergie (45, 250, 662 et 1 250 keV) en septembre 1997. Ces mesures ont permis de vérifier que la linéarité est effectivement de  $\pm 30\%$  dans cette gamme d'énergie. L'appareil sous-estime le débit d'équivalent de dose ambiant d'environ 10 % à 661 keV (gamma du césium 137) et surestime de 29 % à 1 250 keV (gamma du cobalt 60).

En routine, en chaque point de mesure, le technicien CRIIRAD réalise usuellement 3 mesures successives de 100 secondes. Typiquement pour des débits de dose proches du bruit de fond l'écart-type constaté pour une série de 3 mesures est inférieur à 20 % et on peut considérer que l'incertitude élargie est inférieure à 50 %.

## Annexe 6 / Résultats des analyses d'eau de pluie / CEA 1999 à 2006

Année 1999

### 3.4. Les retombées atmosphériques humides

Les pluies sont collectées sur les stations de la Grande Bastide et de la Verrerie (station de référence Météo France). Chaque semaine, un aliquote est prélevé et analysé en différé.

Les analyses donnent des résultats inférieurs aux limites de détection.

	Activité $\alpha$ (Bq / m <sup>3</sup> )		Activité $\beta$ (Bq / m <sup>3</sup> )		Activité tritium (Bq/m <sup>3</sup> )	
	moyenne	maximum	moyenne	maximum	moyenne	maximum
GINASSERVIS	< 0.10	< 0.10	< 0.15	0.18	< 10	< 10
VERRERIE	< 0.10	< 0.10	< 0.15	0.29	< 10	< 10

Année 2000

### 3.4. Les retombées atmosphériques humides

Les pluies sont collectées sur les stations de la Grande Bastide et de la Verrerie (station de référence Météo France). Chaque semaine, un aliquote est prélevé et analysé en différé.

Les analyses donnent des résultats inférieurs aux limites de détection.

	Activité $\alpha$ (Bq / l)		Activité $\beta$ (Bq / l)		Activité tritium (Bq/l)	
	moyenne	maximum	moyenne	maximum	moyenne	maximum
GINASSERVIS	< 0.10	< 0.10	< 0.15	0.22	< 10	< 10
VERRERIE	< 0.10	0.14	< 0.15	0.19	< 10	< 10

Année 2001

### 3.4. Les retombées atmosphériques humides

Les pluies sont collectées sur les stations de la Grande Bastide, de la Verrerie (station de référence Météo France) et sur une nouvelle station mise en service à Vinon sur Verdon au mois d'avril 2001. Chaque semaine, un aliquote est prélevé et analysé en différé.

Les analyses donnent des résultats inférieurs aux limites de détection.

	Activité $\alpha$ (Bq / l)		Activité $\beta$ (Bq / l)		Activité tritium (Bq/l)	
	moyenne	maximum	moyenne	maximum	moyenne	maximum
GINASSERVIS	< 0.10	< 0.10	< 0.15	0.22	< 10	< 10
VERRERIE	< 0.10	< 0.10	< 0.15	0.19	< 10	< 10
VINON sur VERDON	< 0.10	< 0.10	0.19	0.69	< 10	< 10

## Année 2002

### 3.6. Les retombées atmosphériques humides

Les pluies sont collectées sur les stations de la Grande Bastide, de la Verrerie (station de référence Météo France) et sur la station de Vinon sur Verdon (mise en service au mois d'avril 2001). Chaque semaine, un aliquote est prélevé (en cas de pluie) et est analysé en différé au laboratoire.

Les hauteurs de pluie mesurées présentent des valeurs équivalentes aux valeurs mesurées en 2001 (mois de forte pluie : mai, septembre, novembre).

Les analyses donnent des résultats identiques aux années précédentes. Les valeurs significatives mesurées sont inférieures ou proche des limites de détection des appareils du laboratoire.

L'analyse en spectrométrie gamma de la pluie de Vinon du mois de juillet a montré la présence de Be-7 et n'a pas permis de justifier le niveau d'activité bêta mesuré sur ce prélèvement.

	Activité $\alpha$ (Bq / l)		Activité $\beta$ (Bq / l)		Activité tritium (Bq/l)		Hauteur annuelle (mm)
	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	
GINASSERVIS	0.03	27 %	0.08	31 %	<5.8	0 %	1011.3
	Min=0.03 Max=0.05		Min=0.06 Max=0.15				
VERRERIE	0.02	8.3 %	0.07	21 %	2.5	4.2 %	927.2
	Min=0.02 Max=0.02		Min=0.05 Max=0.11		Min=2.5 Max=2.5		
VINON sur VERDON	0.07	4.2 %	0.11	58 %	<6.2	0 %	820.3
	Min=0.07 Max=0.07		Min=0.05 Max=0.38				

(1) : Pourcentage des valeurs significative sur le total des mesures

## Année 2003

**Les analyses donnent des résultats identiques aux années précédentes.**

Les valeurs significatives mesurées sont inférieures ou proches des limites de détection des appareils de laboratoire. Sauf pour un prélèvement au mois d'août réalisé à la station de Vinon, où les valeurs  $\beta$  mesurées s'expliquent par une mauvaise conservation de l'échantillon lors des fortes chaleurs (développement de matières en suspension dans le collecteur qui récupère l'eau de pluie). Les activités tritium significatives mesurées sur les stations de Vinon et de Ginasservis restent néanmoins inférieures à la limite de détection de la mesure (de l'ordre de 6 Bq/l).

	Activité $\alpha$ (Bq/l)		Activité $\beta$ (Bq/l)		Activité tritium (Bq/l)		Hauteur annuelle (mm)
	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	
GINASSERVIS	0.05	40 %	0.09	40 %	2.7	5 %	601.6
	Min=0.03		Min=0.06		Min=2.7		
	Max=0.07		Max=0.15		Max=2.7		
VERRERIE	0.03	33 %	0.11	38 %	<5.5	0 %	578.9
	Min=0.02		Min=0.06				
	Max=0.05		Max=0.21				
VINON sur VERDON	0.04	26 %	0.17	26 %	4.3	11 %	524.5
	Min=0.03		Min=0.05		Min=2.6		
	Max=0.08		Max=0.95		Max=6.0		

(1) : Pourcentage des valeurs significatives sur le total des mesures

## Année 2004

Tableau 13. Activités alpha et bêta globales et du tritium (en Bq/l) et hauteur des précipitations (en mm) collectées en 2004 sur les stations de Ginasservis, la Verrerie et de Vinon-sur-Verdon

Station de surveillance de l'environnement	Activité $\alpha$ globale (Bq/l)		Activité $\beta$ globale (Bq/l)		Activité tritium (Bq/l)		Hauteur annuelle (mm)
	Moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	moyenne	% (1)	
GINASSERVIS	0,04	42 %	0,09	63 %	2,7	5 %	469,9
	Min=0,02 Max=0,08		Min=0,06 Max=0,16		Min=2,7 Max=2,7		
VERRERIE	0,04	22,2 %	0,09	50 %	<4,88	0 %	393,3
	Min=0,02 Max=0,06		Min=0,06 Max=0,23				
VINON-sur-VERDON	0,03	16,7 %	0,13	94,4 %	3,2	11,1 %	524,5
	Min=0,02 Max=0,04		Min=0,07 Max=0,39		Min=2,87 Max=3,52		

(1) : Pourcentage des valeurs significatives sur le total des mesures

## Année 2005

Tableau 13. Activités alpha et bêta globales et du tritium (en Bq/l) et hauteurs des précipitations (en mm) collectées en 2005 sur les stations de Ginasservis, la Verrerie et de Vinon-sur-Verdon

Station de surveillance de l'environnement	Activité $\alpha$ globale (Bq/l)		Activité $\beta$ globale (Bq/l)		Activité tritium (Bq/l)		Hauteur annuelle (mm)
	Moyenne	% (1)	Moyenne	% (1)	Moyenne	% (1)	
GINASSERVIS	< 0,06	0	< 0,12	25	< 5,54	0	637
			Max= 0,13				
VERRERIE	< 0,06	0	< 0,12	25	< 5,57	0	544
			Max= 0,17				
VINON-sur-VERDON	< 0,07	0	0,13	63	< 5,39	0	477*
			Min= 0,09 Max= 0,22				

(1) : Pourcentage des valeurs significatives sur le total des mesures.

\*: pas de prélèvement à la station de Vinon-sur-Verdon en novembre 2005.

## Année 2006

Tableau 20. Activités en alpha et bêta globales et en tritium (en Bq/l) et hauteurs des précipitations (en mm) collectées en 2006 sur les stations de Ginasservis, de la Verrerie, de Vinon-sur-Verdon et de Saint-Paul-lez-Durance.

Station de surveillance de l'environnement	Activité $\alpha$ globale (Bq/l)		Activité $\beta$ globale (Bq/l)		Activité tritium (Bq/l)		Hauteur annuelle (mm)
	Moyenne	% (1)	Moyenne	% (1)	Moyenne	% (1)	
GINASSERVIS	0,04	67	0,09	64	< 5,57	0	600
	Max= 0,08		Max= 0,21				
VERRERIE	0,04	63	0,09	44	< 5,59	0	503
	Max= 0,14		Max= 0,21				
VINON-sur-VERDON	0,08	56	0,14	74	< 5,65	0	496
	Max= 0,29		Max= 0,67				
S <sup>1</sup> -PAUL-LEZ-DURANCE	0,09	75	0,18	83	< 5,62	0	486
	Max= 0,18		Max= 1,02				

(1) : Pourcentage des valeurs significatives sur le total des mesures.

## Annexe 7 / Résultats des analyses de tritium dans l'air ambiant / CEA 1999 à 2006

### Mesures hebdomadaires de tritium en 1999

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )	
	moyenne 1999	maximum 1999
GRANDE BASTIDE	< 0.22	0.60
VERRERIE	< 0.22	0.62
CABRI	< 0.22	5.4

Le maximum mesuré sur la station de CABRI coïncide avec le rejet de tritium de l'installation SURA déjà mentionné au chapitre 2.2 et située à proximité de la station. Des barboteurs mis en place à la cheminée de l'installation vont être exploités et déclarés à l'OPRI au premier trimestre 2000.

### Mesures hebdomadaires de tritium en 2000

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )	
	moyenne 2000	maximum 2000
GRANDE BASTIDE	< 0.22	< 0.22
VERRERIE	< 0.22	< 0.22
CABRI	0.23	1.5

### Mesures hebdomadaires de tritium en 2001

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )	
	moyenne 2001	maximum 2001
GRANDE BASTIDE	< 0.21	< 0.22
VERRERIE	< 0.21	< 0.22
CABRI	< 0.21	0.8

La valeur maximale mesurée à la station de CABRI est liée aux rejets tritium de l'INB 24.

## Mesures hebdomadaires de tritium en 2002

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )			
	moyenne 2002	minimum 2002	maximum 2002	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	1.1 E-1	6.7 E-2	1.4 E-1	5.4 %
VERRERIE	1.0 E-1	8.9 E-2	1.3 E-1	2.5 %
CABRI	1.8 E-1	3.0 E-2	7.2 E-1	5.4 %

## Mesures hebdomadaires de tritium en 2003

	Activité H-3 (Bq / m <sup>3</sup> )			
	moyenne 2003	minimum 2003	maximum 2003	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	9.3E-2	8.4E-2	1.4E-1	11 %
VERRERIE	9.2E-2	8.9E-2	1.3E-1	8.8%
CABRI	9.8E-2	8.4E-2	1.5E-1	13 %

La valeur maximale mesurée à la station de CABRI au mois de janvier 2003 est liée aux rejets tritium de l'INB 24 (3.8 E-2 TBq rejetés) . Globalement, l'activité moyenne mesurée sur cette station est inférieure à celle mesurée en 2002 (facteur 2).

Au mois de mai 2003, on observe une augmentation de l'activité sur les 3 stations due à un dysfonctionnement de l'appareil de mesure du Laboratoire.

Les valeurs moyennes mesurées sur les autres stations correspondent aux valeurs mesurées les années précédentes.

## Mesures hebdomadaires de tritium en 2004

Tableau 11. Activité du tritium (en Bq/m<sup>3</sup>) mesurée en 2004 sur les stations de la Grande Bastide, la Verrerie et de Cabri

Station de surveillance de l'environnement	Activité Tritium (Bq / m <sup>3</sup> )			
	Moyenne 2004	Minimum 2004	Maximum 2004	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	8,84E-2	7,79E-2	1,38E-1	7,1%
VERRERIE	8,78E-2	8,19E-2	1,38E-1	3,6%
CABRI	9,26E-2	8,42E-2	2,95E-1	8,7%

Suite à des rejets de tritium sur les installations de Cabri et de Masurca, des valeurs significatives ont été observées sur le barboteur de la station atmosphérique de Cabri :

- En mars : 6,3 GBq rejetés à la cheminée sur l'installation de Cabri.
- En Juillet : 14 GBq rejetés à la cheminée sur l'installation de Masurca,  
1,1 GBq rejeté à la cheminée sur l'installation de Cabri.

Les analyses correspondant à ces rejets donnent cependant des résultats largement inférieurs à la limite annuelle pour le public.

## Mesures hebdomadaires de tritium en 2005

Tableau 11. Activité du tritium (en Bq/m<sup>3</sup>) mesurée en 2005 sur les stations de la Grande Bastide, la Verrerie et de Cabri

Station de surveillance de l'environnement	Activité Tritium (Bq / m <sup>3</sup> )	
	Maximum 2005	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	< 0,79	0%
VERRERIE	< 0,79	0%
CABRI	< 0,80	0%

## Mesures hebdomadaires de tritium en 2006

Tableau 28 : Activité du tritium (en Bq/m<sup>3</sup>) mesurée en 2006 sur les stations de la Grande Bastide, de la Verrerie, de Cabri et de Saint-Paul-lez-Durance.

Station de surveillance de l'environnement	Activité Tritium (Bq / m <sup>3</sup> )	
	2006	Pourcentage de valeurs significatives sur le total des mesures
GRANDE BASTIDE	< 1,28	0%
VERRERIE	< 0,94	0%
CABRI	< 1,00	0%
S <sup>T</sup> -PAUL-LEZ-DURANCE	< 0,86	0%

