

**COMITE DE LIAISON
POUR LA COORDINATION DU SUIVI SANITAIRE
DES ESSAIS NUCLEAIRES FRANÇAIS**

RAPPORT D'ACTIVITÉ 2004



SOMMAIRE

Préambule	page 3
LE COMITE DE LIAISON INTERMINISTERIEL DE SUIVI SANITAIRE DES ESSAIS NUCLEAIRES FRANÇAIS	page 4
Création	page 4
Mise en place du Comité	page 4
ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU COMITE	page 7
Critères d'orientation des pathologies susceptibles d'être radio-induites GT1	page 7
Orientation des travaux	page 9
Plan de travail	page 9
Les affections cancéreuses	page 10
Généralités	page 10
Les cancers : tumeurs solides et leucémies	page 10
Les affections tardives non cancéreuses	page 14
Les effets indésirables sur la reproduction	page 14
Caractérisation des catégories de personnes concernées par le suivi des essais nucléaires et étude des données dosimétriques et médicales disponibles GT2	page 16
Méthode de travail	page 16
Données disponibles	page 16
Programme d'actions	page 19
Annexe 1	page 20
Annexe 2	page 21
Annexe 3	page 22
Annexe 4	page 23
Références	page 24
LES NORMES DE RADIOPROTECTION	page 26
GLOSSAIRE	page 27

Comité de liaison
pour la coordination du suivi sanitaire des essais nucléaires français

RAPPORT D'ETAPE
Mars 2005

Préambule

Lors de sa visite en Polynésie française en juillet 2003, le Président de la République s'est exprimé sur la question des conséquences sanitaires éventuelles des expérimentations nucléaires dans une interview au quotidien « les Nouvelles de Tahiti ».

Le Président a rappelé qu'il avait lui-même commandité, à l'été 1995, une étude auprès de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) sur la situation radiologique des atolls de Mururoa et Fangataufa ainsi que de leurs lagons. Cette étude, réalisée à l'issue de l'ultime campagne française d'expérimentations nucléaires, concluait à l'impossibilité de pouvoir diagnostiquer médicalement un effet sanitaire imputable aux expérimentations (tant sur le long terme que le court terme), à l'absence d'effet à attendre sur le biotope du fait des débits de dose et des modes d'expositions possibles, à la non nécessité d'assurer une surveillance radiologique et mécanique des sites.

Néanmoins, au nom du principe de précaution, le Président s'était alors prononcé en faveur :

- de la poursuite de la surveillance des sites,
- **de la création d'un Comité de liaison interministériel de suivi sanitaire des essais nucléaires français (CSSEN).**

Par ailleurs et antérieurement à la visite du Président de la République, deux études épidémiologiques confiées à l'INSERM, portant sur la morbidité et la mortalité des cancers en Polynésie française, ont été menées respectivement en 1994-1995 et 1997-1998. Les résultats de ces études ont été publiés.

<p>LE COMITE DE LIAISON INTERMINISTERIEL DE SUIVI SANITAIRE DES ESSAIS NUCLEAIRES FRANÇAIS</p>

Création

Le **Comité de liaison pour la coordination du suivi sanitaire des essais nucléaires français (CSSEN)** a été créé le 15 janvier 2004 par décision conjointe des ministres de la Défense et des Solidarités, de la Santé et de la Famille (cf. la note de création du Comité en annexe 1).

Le Comité a notamment pour mandat de définir et de caractériser les pathologies susceptibles d'être radio-induites de caractériser les catégories de personnes concernées et de dresser le bilan des données disponibles sur les expositions aux rayonnements ionisants durant les essais nucléaires (cf. le mandat du Comité en annexe 2).

Il est composé de représentants des ministères de la Défense et des Solidarités, de la Santé et de la Famille, d'Instituts ou Agences concernés et de représentants des responsables des essais nucléaires français (de la Défense et du Commissariat à l'Energie Atomique).

Le Comité est co-piloté par le Directeur Général de la Sûreté Nucléaire et à la Radioprotection (DGSNR) et le Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la Défense (DSND).

Il doit transmettre annuellement un rapport d'activité aux ministres de la Défense et des Solidarités, de la Santé et de la Famille. Le rapport est public.

Mise en place du Comité

Membres du CSSEN

Chacune des entités concernées par le mandat du Comité de liaison, a désigné ses représentants au Comité. La liste des membres du Comité, susceptible d'évoluer en fonctions des besoins de ses travaux, est la suivante :

Dietrich	Averbeck	- Institut Curie
Edwige	Bonnevie	- CEA/Direction des applications militaires
Gilles	Brucker	- Institut de Veille Sanitaire- InVS
Michel	Bourguignon	- DGSNR
Hubert	de Carbonnières	- Service de Protection Radiologique des Armées
Elisabeth	Cardis	- Centre International de Recherche sur le Cancer
Jean-Marc	Dall'Aglio	- Ministère de la Défense/DICoD

Patrick	Donguy	- CEA/Direction des applications militaires
Pol	Dyevre	- Direction Centrale du Service de Santé des Armées
Anne	Flüry-Hérard	- CEA/Direction des sciences du vivant
Evelyne	Fourche	- Ministère de la Défense/Direction des Affaires Juridiques
Jean-Michel	Giraud	- CEA/Conseiller médical
Patrick	Gourmelon	- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
Marcel	Jurien de la Gravière	- DSND
Isabelle	Mehl-Auget	- DGSNR
Claude	Payen	- DSND/Conseiller médical
René	Picon-Dupré	- Ministère de la Défense/DSPRS
Alain	Piriou	- Observatoire de la Santé des Vétérans
Frédéric	Poirrier	- DGA/Département de suivi des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DSCEN)
Marcel	Villeneuve	- DSND-Communication

Le Comité peut faire appel autant que de besoin à tout expert jugé utile sur un sujet donné.

Réunion constitutive

Le Comité a tenu sa première réunion constitutive le 8 juillet 2004 sous la co-présidence de Marcel Jurien de la Gravière, Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la Défense, et de Michel Bourguignon, directeur général adjoint de la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection.

Pour répondre au cahier des charges fixé par le mandat des tutelles ministérielles, le Comité a décidé de créer deux groupes de travail.

Groupe de Travail 1 (GT1)

Ce groupe est chargé d'élaborer un document précisant la définition et la caractérisation des pathologies susceptibles d'être radio-induites.

Le cadre général des travaux du groupe concerne le bilan des connaissances sur les paramètres cliniques et/ou biologiques, qualitatifs et/ou quantitatifs, orientant vers l'origine radio-induite d'une pathologie tardive (mécanismes biologiques, données épidémiologiques et données expérimentales) en fonction des caractéristiques de l'exposition.

Le Groupe, constitué d'experts du sujet, est composé comme suit :

Anne	Flüry-Hérard	- médecin, direction des sciences du vivant du CEA - Pilote du groupe
Dietrich	Averbeck	- radiobiologiste, directeur de recherche au CNRS –Institut Curie/Orsay,
Elisabeth	Cardis	- épidémiologiste, chef de l'unité « rayonnement et cancer » au Centre International de Recherche sur le Cancer,
Patrick	Brochard	- professeur à l'Université de Bordeaux II, spécialiste des pathologies professionnelles,
Elizabeth	Robert	- médecin spécialiste des pathologies affectant la reproduction (effets tératogènes, effets héréditaires et fertilité) à l'Institut européen des génomutations à Lyon.

Groupe de Travail 2 (GT2)

Ce Groupe est chargé de caractériser les catégories de personnes concernées par les essais nucléaires français et d'étudier les données dosimétriques et médicales disponibles.

Les experts constituant le Groupe sont les suivants :

Gilles	Brucker	- directeur de l'InVS - Pilote du Groupe
Jean	Donadiou	- épidémiologiste à l'InVS,
Philippe	Pirard	- épidémiologiste à l'InVS,
Jean-Michel	Giraud	- médecin, conseiller médical du CEA,
Elisabeth	Cardis	- épidémiologiste, chef de l'unité « rayonnement et cancer » au Centre International de Recherche sur le Cancer,
Hubert	de Carbonnières	- bureau de radioprotection médicale au Service de Protection Radiologique des Armées (SPRA),
Florent	de Vathaire	- épidémiologiste et directeur de l'Unité 605 INSERM/épidémiologie des cancers,
Dominique	Laurier	- laboratoire d'épidémiologie/IRSN,
Frédéric	Poirrier	- médecin, chef du Département de suivi des Centres d'Expérimentations Nucléaires (DSCEN) à la Direction Générale pour l'Armement.

ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU COMITÉ

Les Groupes de travail ont rapporté de leurs premiers travaux (étayés d'un document écrit) devant le Comité du 13 janvier 2005. Ces travaux orientent la trame du rapport d'étape au 31 mars 2005 (rapport d'étape qui constitue le Rapport d'Activité du Comité pour l'année 2004) et précisent le programme de travail de l'année 2005.

Critères d'orientation des pathologies susceptibles d'être radio-induites

Groupe de Travail 1

Préambule

La surexposition aux rayonnements ionisants est à l'origine directe ou indirecte de différentes affections. La relation entre irradiation et conséquence clinique n'est pas toujours aisée à mettre en évidence.

Elle est relativement facile pour les irradiations aiguës à dose élevée (supérieure au Gray) qui entraînent chez toutes les personnes irradiées des effets dits déterministes, précoces (aplasie médullaire, brûlure radiologique,...) ou tardifs (fibrose, cataracte) dont la précocité d'apparition et la gravité sont fonction de la dose, du débit de dose et du volume irradié. Dans le cas où l'irradiation est méconnue, le diagnostic différentiel se pose vis à vis d'autres étiologies toxiques.

Elle est difficile, voire impossible, quand l'irradiation n'entraîne pas d'effets déterministes mais peut être à l'origine d'effets stochastiques (cancers) qui apparaissent des années ou dizaines d'années après l'irradiation. Hormis les seconds cancers après radiothérapie¹, ces cancers ne se distinguent pas cliniquement des cancers survenant dans la population et dont la fréquence spontanée est élevée (> 30 % incidence sur la vie entière). La gravité est indépendante de la dose, mais la fréquence augmente avec la dose et l'excès de cancer radio-induit est estimé à 10 % par Gray pour une irradiation corporelle totale aiguë. Par ailleurs, des études expérimentales récentes sur la souris (Barber 2002) ont montré que l'irradiation de mâles pouvait induire une augmentation du taux de mutations des cellules germinales sur deux générations subséquentes. Cet effet dit transgénérationnel sur des animaux engendrés par des mâles exposés avant la conception a été mis en évidence pour la première fois. Cependant, on n'a jamais observé d'excès de mutations dominantes de novo dans les

¹ Les seconds cancers se développent, habituellement en bordure de champ de radiothérapie, plusieurs années après le traitement d'un premier cancer ; ils sont de type histologique différent du premier cancer.

populations humaines exposées à de fortes doses de radiations ionisantes, même dans les populations où un excès de cancers a été enregistré. Le risque est donc à ce jour théorique, et difficile à évaluer scientifiquement.

Récemment, la surveillance des survivants d'Hiroshima-Nagasaki a montré l'augmentation de certains effets tardifs non cancérogènes (effets cardiovasculaires, pulmonaires, thyroïdiens...) survenant selon un mode apparemment stochastique, avec une fréquence croissante à partir de doses de l'ordre de 0,5 Gray. Les hypothèses biologiques comme les analyses épidémiologiques portant notamment sur les conséquences d'irradiations thérapeutiques et diagnostiques sont en cours d'analyse. Un article récent (McGale et Darby, 2005) n'indique pas d'augmentation de ces effets en-dessous de 4 Gray. Il est prématuré de savoir quelles en seront les conclusions et le niveau de validation des données, mais dans un cadre prospectif, il est important de recueillir toutes les observations correspondantes.

En conclusion de ce préambule :

- pour des irradiations aiguës supérieures à la centaine de milliSievert, ou des irradiations répétées, chroniques supérieures à 200 milliSievert (pour les cancers de la thyroïde) ou environ 500 millisievert (pour les autres cancers), de nombreuses études épidémiologiques effectuées dans un cadre post-accidentel, professionnel ou thérapeutique permettent de quantifier le risque de cancer radio-induit en fonction du volume irradié et des conditions de surexposition ;
- pour des doses inférieures et compte tenu de la fréquence spontanée des cancers, le risque n'est pas évalué directement mais extrapolé à partir des observations obtenues aux doses plus élevées.

Dans l'analyse individuelle du risque, la prudence s'impose d'autant plus que :

- o la surexposition survient sur un fond d'irradiation naturelle variable selon les régions (en moyenne entre 1 et 10 milliSievert/an) auquel s'ajoute les irradiations diagnostiques, éminemment variables en nombre et distribution dans une même population,
- o des facteurs confondants ou favorisants sont identifiés pour de nombreux cancers (poumons et tabac ou amiante, colon et alimentation, peau et UV, ORL et tabac/alcool, leucémies et virus ou toxiques chimiques, sein et facteurs hormonaux ...),
- o des prédispositions génétiques sont identifiées vis à vis de certains cancers (colon, sein, ovaire, certaines leucémies...).

L'analyse qualitative portant sur l'identification biologique et clinique des affections susceptibles d'être radio-induites, est d'autant plus nécessaire que les conditions d'exposition et a fortiori les doses sont inconnues. Cette démarche méthodologique est applicable aux effets somatiques (cancers et effets non cancérogènes tardifs), aux effets héréditaires et aux effets sur la reproduction ou pendant le développement embryonnaire et fœtal (effets tératogènes).

Orientation des travaux

Parmi les anciens travailleurs des essais nucléaires français ou des habitants résidant à proximité des sites de tirs, certains souffrent ou sont décédés d'affections variées, notamment des cancers, mais aussi de différentes pathologies non cancéreuses (dont des cataractes) et d'affections héréditaires. Ces affections sont-elles en rapport avec leur présence lors des essais atmosphériques (1960-1974) puis souterrains (jusqu'en 1996) que la France a menés au Sahara puis en Polynésie française ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire de documenter :

- les doses reçues (nature, niveau et durée d'exposition), soit par la dosimétrie individuelle et des mesures de dosimétrie d'ambiance, soit par l'intermédiaire des mesures effectuées à l'époque dans l'environnement ;
- les affections dont la fréquence peut être augmentée après irradiation. Pour la plupart non spécifiques des rayonnements, ces affections ont d'autres origines possibles. Actuellement, aucun critère biologique, dosimétrique ou clinique, n'est à lui seul en mesure d'affirmer ou d'exclure l'origine radio-induite d'une pathologie. Il convient donc de replacer les différentes pathologies dans le contexte plus général de leur fréquence et modes de survenue dans la population, notamment en précisant :
 - o les différentes étiologies connues et éventuellement les niveaux d'exposition correspondants,
 - o les facteurs favorisants (génétiques, épigénétiques, environnementaux, ..),
 - o les critères orientant vers une origine radio-induite : circonstances de survenue, localisation, indicateurs biologiques d'exposition (cytogénétique), caractéristiques lésionnelles (histopathologie, études moléculaires,...).

La connaissance de ces éléments d'orientation est d'autant plus utile que la dose estimée aura été faible ou est inconnue.

Etablir une synthèse sur les critères d'orientation des pathologies susceptibles d'être radio-induites est l'objectif fixé au groupe de travail mis en place en juillet 2004 à la demande du CSSEN. Cette synthèse porte sur l'analyse de données cliniques, biologiques, dosimétriques et épidémiologiques ainsi que sur les résultats d'études expérimentales. Dans la mesure où la demande d'informations concerne en premier lieu des vétérans ayant participé aux essais nucléaires français, ce sont des pathologies survenant chez l'homme qui sont étudiées dans une première étape, dont la finalisation est prévue pour fin 2005 avec deux étapes intermédiaires en février 2005 et juillet 2005.

Plan de travail

Dans un premier temps, le GT1 a focalisé son étude sur les pathologies les plus fréquemment mises en avant comme étant susceptibles d'être radio-induites : les cancers. L'objectif étant de s'efforcer d'établir une grille d'analyse différenciant :

- les cancers connus comme pouvant être radio-induits ;
- les cancers dont on sait qu'ils ne peuvent pas être radio-induits.

Les affections cancéreuses

Généralités

Quelques données sur l'évolution des cancers en France

La fréquence et la répartition des différents types de cancers se sont modifiées depuis plusieurs décennies dans tous les pays du monde. En France, avec environ 280 000 nouveaux cas et 150 000 décès par an (données année 2000), les cancers constituent la 1^{ère} cause de mortalité chez l'homme (32 %) et la 2^{ème} cause de mortalité chez la femme (23 %) (Rapport de janvier 2003 de la Commission d'orientation sur le cancer). Entre 1978 et 2000, l'incidence pour des tranches d'âge comparables, a augmenté de plus de 30 % alors que la mortalité a baissé de environ 9 %. Ceci témoigne d'une amélioration du dépistage et du diagnostic précoce ainsi que des progrès de l'efficacité thérapeutique.

Globalement, la fréquence des cancers augmente avec le vieillissement ce qui explique aussi l'augmentation globale de l'incidence des cancers (+ 63 %), toutes tranches d'âge confondues.

L'origine des cancers

La plupart des cancers, notamment ceux survenant à l'âge adulte sont d'origine multifactorielle : susceptibilité génétique , facteurs individuels (hormonal, alimentaire, tabac, alcool,..) , professionnels et environnementaux. Les cancers peuvent résulter de l'interaction de plusieurs agents cancérogènes avec des facteurs tels qu'un syndrome irritatif ou inflammatoire chronique, une diminution des défenses immunitaires, une prédisposition individuelle.

Les principaux facteurs de risque sont identifiés dans le tableau ci-dessous (source rapport 2003 de la Commission d'orientation sur le cancer) :

Mortalité par cancer en France : fréquence des principaux facteurs de risque	
Facteur de risque	Mortalité (%)
Régime alimentaire	35 %
Tabagisme	30 %
Alcool	10 %
Infections	10 %
Habitudes sexuelles et de reproduction	5 %
Expositions professionnelles	4 %
Pollution	2 %
Actes médicaux	1 %
Produits industriels (hors exposition professionnelle)	Moins de 1 %

Les cancers : tumeurs solides et leucémies

Les agents cancérogènes sont définis comme des agents susceptibles :

- de provoquer un cancer,
- d'augmenter la fréquence des cancers dans une population exposée,
- de favoriser une survenue plus précoce de tumeurs cancérogènes dans une population.

L'évaluation du potentiel cancérogène d'un agent prend en compte les résultats issus de différents types d'étude, épidémiologiques et/ou expérimentales.

Radiations ionisantes et risque de cancer

Les agents cancérigènes sont de nature chimique, physique ou biologique. Les radiations ionisantes de toutes natures sont reconnues comme des agents cancérigènes.

Les principales conclusions des organismes scientifiques internationaux (UNSCEAR, CIRC, CIPR) sur les effets cancérigènes des radiations ionisantes sont les suivantes :

- les cancers peuvent survenir de manière aléatoire au sein d'une population ayant été irradiée. En dehors des cancers secondaires à une radiothérapie, rien ne permet souvent sur le plan clinique de distinguer un cancer induit par les radiations ionisantes d'un cancer ayant une autre origine. Après une irradiation aiguë, l'excès de décès par cancer est estimé à environ 10 % par Gy ou Sv. La CIPR (ICRP, recommandations 60) estime que le risque est 2 fois plus faible après des expositions à dose faible ou modérée et/ou à faible débit de dose (exposition chronique) avec un excès de décès par cancer estimé à 5 % par Sievert,
- on admet que ce risque est proportionnel à la dose et sans seuil,
- le délai entre exposition aux radiations ionisantes et diagnostic de cancer est long : au minimum de 2 ans pour certaines leucémies (avec un pic de fréquence autour de 7 ans), minimum de 3-4 ans pour certains cancers de la thyroïde, plus de 10 ans pour la plupart des tumeurs solides. Ce délai varie également selon l'âge à l'exposition,
- un cancer radio-induit est susceptible de se développer dans presque tous les organes ou tissus, dès lors que cet organe ou tissu a été irradié. Cependant, l'expression de différents paramètres peut orienter vers une origine radio-induite :
 - o tous les types histologiques/localisations de cancer ne sont pas également radio-inductibles : parmi les leucémies, les leucémies aiguës myéloïdes (LAM) sont les plus inductibles et les leucémies lymphocytaires chroniques (LLC) ne le sont pas ; les cancers du colon sont inductibles mais ce n'est pas le cas du cancer du rectum,...
 - o l'âge : globalement l'enfant est plus radiosensible que l'adulte².
- des recherches sont en cours pour identifier certaines caractéristiques moléculaires de cancers radio-induits, notamment sur le type et la localisation de mutation ou sur des profils d'expression de gènes. Certains résultats sont encourageants mais ne peuvent, à ce stade des connaissances et du degré de validation des études, que servir de complément dans l'analyse d'un dossier médical individuel,
- les principales sources d'irradiation des populations sont l'irradiation naturelle (en moyenne 2,4 mSv/an et parfois beaucoup plus) et l'irradiation médicale (en moyenne 1 mSv/an, mais recouvrant des situations d'exposition très variées),
- les études épidémiologiques indiquent une possibilité d'excès de cancers pour des doses reçues en un temps court, supérieures à environ 100 mSv. Il n'est pas observé d'excès de cancer dans des populations recevant une dose d'irradiation naturelle de quelques dizaines de mSv par an, mais les études menées dans ces populations souffrent de limitations méthodologiques : il n'est donc pas actuellement possible de conclure à l'absence d'un risque (ni à son existence).

Dans le contexte du suivi sanitaire des personnes ayant pu être exposées lors des essais nucléaires atmosphériques réalisés par la France, l'analyse exhaustive de toutes les localisations et types histologiques de cancer serait trop complexe et longue en regard des demandes d'information et de synthèse qui sont à réaliser en 2005. Dans le cadre de ce rapport, nous nous sommes focalisés sur les

² La radiosensibilité plus élevée se traduit par l'apparition de certains cancers pour des doses plus faibles ou à des fréquences plus élevées ou après des délais plus courts (thyroïde, certaines leucémies) que chez l'adulte

localisations cancéreuses fréquemment retrouvés chez l'homme et/ou sur les localisations pour lesquelles l'irradiation est un facteur favorisant bien établi.

Ceci nous conduit à ne pas analyser dans le cadre du rapport 2005 l'étude de localisations cancéreuses spécifiquement féminine (sein, ovaires, utérus).

L'état d'avancement est différent selon les affections analysées. Le texte ci-dessous n'est que l'image partielle du travail en cours.

Les leucémies

Les leucémies correspondent à la prolifération incontrôlée de cellules d'une lignée sanguine, s'accompagnant d'un blocage de la production physiologique des autres lignées sanguines.

Les leucémies représentent à peu près 3 % des affections malignes au niveau mondial.

Données épidémiologiques concernant les leucémies

Une relation entre le niveau d'exposition aux rayonnements ionisants et le risque de leucémie a été mise en évidence dans de nombreuses études épidémiologiques : survivants de bombes atomiques ayant reçu une exposition aiguë, populations ayant reçu des expositions médicales thérapeutiques et populations ayant reçu des expositions prolongées à faible débit de dose en milieu professionnel (UNSCEAR, 2000).

Une augmentation a été mise en évidence pour tous les types de leucémies, sauf les leucémies chroniques lymphocytaires (LCL ou LLC).

Le risque de leucémie radio-induites est plus important chez les sujets exposés dans l'enfance et in utero .

Conclusions : données validées, incertitudes, perspectives

Les lymphomes (étude en cours)

Description

Données épidémiologiques

Conclusions : données validées, incertitudes, perspectives

Cancers du poumon (étude en cours)

Types de cancer

Conclusions : données validées, incertitudes, perspectives

Cancers de la peau

L'exposition aux UV constitue le facteur principal de risque de cancer cutané notamment pour les phototypes clairs et lorsque l'exposition aux UV a lieu pendant l'enfance. En Europe, l'exposition accrue lors des dernières décennies est considérée comme étant à l'origine de l'augmentation considérable de la fréquence des cancers cutanés.

Types histologiques

Les conséquences de l'irradiation de la peau : données épidémiologiques

Un bilan des principales études est synthétisé dans l'UNSCEAR 2000 (volume II, pages 328 à 330 et tableaux 12 page 402 et 26 page 422).

Il n'a pas été établi de relation entre irradiation et fréquence de mélanome. Cependant, le nombre de cas dans chaque étude est faible et limite l'interprétation.

Il est établi une relation entre irradiation et excès de cancer baso-cellulaire, le risque relatif est beaucoup plus élevé lors d'irradiation dans l'enfance.

Il est établi une relation entre excès de cancer épithélial et irradiations répétées.

Le risque après exposition à des radionucléides est plus discuté.

L'effet additif ou synergique des expositions aux UV et aux rayonnements ionisants a été recherché mais les données épidémiologiques et l'étude des mécanismes biologiques ne permettent pas actuellement de conclure.

Perspectives sur la reconnaissance d'une origine radio-induite de cancer cutané.

Cancers de la thyroïde

Types histologiques

Les données sont focalisées sur les cancers du corps thyroïde, les seuls susceptibles d'être radio-induits.

Parmi les différents types histologiques de cancers, comme indiqué plus haut, c'est principalement le cancer de type papillaire qui est radio-induit.

Les conséquences de l'irradiation de la thyroïde : données épidémiologiques

Facteurs permettant d'orienter vers l'origine radio-induite d'un cancer de la thyroïde

Le groupe radiosensible est celui des sujets en croissance depuis le fœtus jusqu'à l'adolescent en fin de croissance. La radiosensibilité est d'autant plus grande que l'enfant est jeune.

Un risque de cancer thyroïdien est observé, au-delà d'une dose de 100 mSv (ou 100 mGy) chez l'enfant, après une irradiation aiguë externe de la thyroïde ou après exposition à des iodes radioactifs (iode 131). Le risque de cancer augmente avec la dose et diminue avec l'âge à l'exposition ; il n'est plus observable chez l'adulte (vers 30 ans). Le délai d'apparition est de quelques années (environ 3 ans pour les plus précoces) à plusieurs dizaines d'années. Il est donc tout à fait possible qu'un adulte développe un cancer de la thyroïde radio-induit après une irradiation survenue pendant l'enfance ou l'adolescence.

Cancer du colon (étude en cours)

Cancer du foie (étude en cours)

Cancers du squelette et du tissu conjonctif (étude en cours)

Cancer de la prostate (étude en cours)

Les affections tardives non cancéreuses

L'étude de ces pathologies sera menée simultanément avec celle des pathologies cancéreuses mais ne pourra être intégrée au rapport du CSSEN que dans un rapport ultérieur à celui prévu pour la fin de l'année 2005.

Bases biologiques

Les effets tardifs, autres que les cancers ou effets héréditaires, sont liés à la mortalité cellulaire et aux dysfonctions cellulaires et tissulaires qui en résultent. Ce sont des effets considérés classiquement comme ne survenant qu'aux doses élevées, le niveau de dose dépendant de la nature et énergie du rayonnement, du volume irradié, de la radiosensibilité de l'organe atteint et de facteurs individuels (âge, radiosensibilité, autres facteurs favorisants,...).

Le délai entre irradiation et apparition d'effets liés à la mort cellulaire dépend largement des modalités de renouvellement des différents tissus et organes.

Les études fondées sur des données épidémiologiques, notamment celles de Hiroshima et Nagasaki porteront sur les pathologies suivantes :

Cardiovasculaires

Pulmonaires

Thyroïdienne

Oculaires (cataracte)

Nerveuses (central et périphérique)

Les effets indésirables sur la reproduction

L'analyse des conséquences de l'irradiation sur les cellules germinales (dont les cellules différenciées et matures sont les spermatozoïdes et les ovocytes II) et sur le produit de conception (embryon puis fœtus) constitue un chapitre spécifique. En effet, les effets dépendent de la dose mais aussi du moment de l'irradiation par rapport aux périodes de la radiosensibilité des tissus germinaux et par rapport aux périodes d'organogenèse chez l'embryon. Outre les effets directs de la mort cellulaire et de la mutagenèse, différents effets associés sont à prendre en compte comme l'arrêt du cycle cellulaire, l'altération de la différenciation et de la migration au cours de l'embryogenèse.

Classiquement, la recherche d'une relation causale entre exposition et toxicité pour le développement passe par 5 critères (Brent 1999):

- la convergence des résultats d'études épidémiologiques contrôlées ;
- un indicateur de tendance avec des variations d'incidence d'un effet indésirable donné qui suivent l'intensité de l'exposition ;
- l'existence de modèles animaux montrant des effets comparables aux effets observés ;
- l'existence d'une relation dose-effet ;
- une certaine plausibilité biologique.

Ces critères établis pour l'étude du développement in utero, peuvent aussi être utilisés pour la recherche de critères de reconnaissance de pathologies radio-induites.

Caractérisation des catégories de personnes concernées
par le suivi des essais nucléaires et étude
des données dosimétriques et médicales disponibles

Groupe de Travail 2

Méthode de travail

La revue des informations existantes a été effectuée à la fois par la consultation des sources d'informations publiées et par la mise en commun des informations recueillies sous la responsabilité des participants du groupe de travail.

Pour ce qui concerne la revue de la littérature, les sources viennent de la littérature scientifique publiée et des rapports officiels. Pour la France le rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques/2001 réalise une synthèse complète des informations concernant l'exposition des populations et en particulier l'impact des essais en Polynésie, mais il apparaît moins précis concernant les personnels participant aux essais. Le rapport prévu pour fin 2005 fera également une synthèse des informations concernant les essais nucléaires des différentes puissances nucléaires dont les USA, la Grande Bretagne, l'ex URSS, la Chine, le Pakistan et l'Inde.

Données disponibles

Populations

Campagne du Sahara

Les populations concernées, non sédentaires, sont très peu nombreuses. Les données dosimétriques effectuées au cours des essais et la géographie de la région, laissent penser que des expositions importantes, source de retentissement sur la santé de ces populations, sont peu probables.

Campagne de Polynésie

Plusieurs sources d'informations sont ici disponibles :

- état civil informatisé centralisé avec lieu de résidence des parents à la naissance des sujets,
- recensements tous les 8 ans (environ), avec lieu de résidence des sujets au moment du précédent recensement,
- fichier généalogique (qualité à vérifier),

- registre des cancers (depuis 1984),
- fichier centralisé des causes de décès depuis 1984.

Des mesures de d'activité de différents radio nucléides ont été effectuées tout au long des essais nucléaires. Les prélèvements étaient effectués par le Service Mixte de Contrôle Biologique et le Service Mixte de Sécurité Radiologique (SMCB et SMSR) Les mesures étaient réalisées par le Laboratoire d'Etude et de Surveillance de l'Environnement (LESE). Sur la base de ces mesures, des estimations de doses efficaces ont été effectuées et publiées sous la forme de rapports annuels. Des retombées ont été observées à 5 reprises, analysées dans plusieurs documents ^{10;11} et apparaissent avoir été très limitées en surface et en dose.

Les données de mesures environnementales ont été recueillies par le LESE, aujourd'hui sous la responsabilité de l'IRSN. Les supports informatiques de ces données apparaissent obsolètes et sont améliorables. Pour une exploitation de ces données, le codage des informations concernant le lieu et date du prélèvement doit être connu. Ceci devrait contribuer à valider les cartographies isodoses dans les archipels en fonction des essais.

Personnels ayant participé aux essais nucléaires (Sahara et Polynésie)

La participation aux essais nucléaires a concerné deux institutions : le ministère de la défense et le CEA. Des personnels extérieurs à ces institutions ont participé aux essais, mais ils relevaient administrativement de l'une de ces deux institutions. Au sein du ministère de la défense, la gestion des personnels relevait de chaque armée et n'était pas centralisée. De la même façon, au sein du CEA, la majorité des personnels dépendait de la DAM (Direction des applications militaires) mais à l'occasion de missions, des personnels d'autres directions, ont pu participer à une campagne d'essai.

Cette organisation administrative permet de comprendre qu'il n'existe pas un service unique capable de disposer d'une liste des personnels ayant participé aux essais nucléaires, quelles que soient leur fonction.

La reconstitution de l'ensemble de la population à partir des seuls fichiers administratifs apparaît un objectif peu réaliste (par exemple : difficulté ou impossibilité de recueillir les informations sur la participation ponctuelle d'appelés du contingent, dispersion des informations dans le carnet militaire de chaque soldat par arme sous format papier...). Il est possible, individuellement de savoir si M. X a participé aux essais, mais il n'est pas possible de dresser a priori la liste de toutes les personnes y ayant pris part.

De ce fait, la surveillance dosimétrique individuelle, lors d'une campagne d'essai, apparaît comme un marqueur d'affectation à un poste comportant un risque d'exposition lors des essais et constitue une information clé. La dosimétrie peut avoir été une dosimétrie externe (les dosimètres ont, en règle générale, été attribués aux personnes potentiellement exposées du fait de leur fonction) ou une anthropo-spectro-gammamétrie (pour les personnes ayant participé aux essais en Polynésie, même si leur poste n'était pas potentiellement exposé). S'il est possible de calculer l'effectif bénéficiant d'une surveillance dosimétrique, l'effectif n'en bénéficiant pas ne peut qu'être estimé. Plus problématique dans une approche d'évaluation du risque, la proportion des personnes réellement exposées et « non dosimétrées » ne peut pas être estimée, même si tous les éléments en notre possession indiquent que cette proportion est faible. Les annexes 3 et 4 détaillent ces informations.

Personnels dépendant de la Défense

Ainsi, à ce jour, pour les personnels dépendant du ministère de la défense, le nombre de personnes identifiées par leur dosimétries externes est de 17 747 pour la campagne du Sahara et de 41 406 pour la campagne de Polynésie, soit 59 153 dans l'hypothèse de l'absence de doublon. Ces données sont informatisées au sein de 2 services distincts : SPRA pour le Sahara et DGA/DSCEN pour la Polynésie.

Les données de spectrométrie du CEP (personnel CEA et Défense) figurent sur environ 120 000 fiches et 50 000 lignes de registre. Le nombre d'individus correspondant à ces fiches n'est pas déterminé et ces fiches papiers ne sont pas saisies sur support informatique. Une partie de ces personnes ont également porté une dosimétrie externe.

A ce jour, les données de santé concernant les personnes identifiées par leur dosimétrie ne sont pas connues. Mais leurs données d'identification pourraient permettre d'envisager un croisement avec les données du RNIPP (Répertoire national d'identification des personnes physiques) et du fichier national des causes médicales de décès de l'INSERM dans l'objectif d'une étude de mortalité. Un croisement avec les données d'organismes de pension pourrait également être envisagé afin de retrouver une partie de ces personnes et les contacter pour une enquête, mais cette approche est très lourde. De plus, il n'est pas possible à partir des informations actuelles d'estimer simplement la proportion de personnes qui pourraient être retrouvées et questionnées par une telle enquête.

Personnels dépendant du CEA

Pour les personnels du CEA, la situation est la suivante : environ 16 000 personnes ayant participé aux essais ont été identifiées. Certaines de ces données font l'objet actuellement d'une saisie informatique qui est prévu d'être achevée d'ici 2 ans. Dans le cadre d'une étude épidémiologique internationale sur la mortalité des personnels du nucléaire, environ 3 500 personnes ayant participé aux essais ont été incluses dans une étude sur le suivi des personnels du nucléaires, avec à la fois des données de dosimétrie et des données de santé disponibles. Néanmoins, l'objectif ici étant de caractériser l'ensemble des personnels ayant participé aux essais, il est possible que les critères de définition de cet échantillon ne soient pas les plus pertinents, et des vérifications du périmètre de la population doivent être effectuées. Les données dosimétriques fournies par la DAM sont en cours de validation au sein de l'IRSN. Une fois ces validations terminées, ces données devraient permettre de reconstituer, pour chaque individu, l'historique des expositions externes, y compris pour les expositions professionnelles avant et après les périodes de présence aux centres des essais.

Remarques

Un dernier aspect doit être souligné (annexe 4) : parmi l'ensemble des très nombreux examens dosimétriques effectués au cours des campagnes d'essai, seul un petit nombre a été identifié avec des doses cumulées non nulles et pour lesquels les résultats sont exploitables. Si on considère le seuil de 5 mSv (dose cumulée supérieure à 5 mSv), 431 personnes lors des essais au Sahara et 345 lors des essais en Polynésie ont dépassé ce seuil. Pour le seuil de 50 mSv (dose cumulée supérieure à 50 mSv), il s'agit de 92 personnes pour le Sahara et de 9 personnes pour le CEP. Enfin, pour le seuil de 1 mSv (dose cumulée supérieure à 1 mSv), pour le CEP, il s'agit de 1 740 personnes.

La réalisation d'une enquête concernant le statut vital de ces personnes et les causes de décès, en raison d'effectifs limités et d'une exposition modérée, risque de poser des problèmes d'interprétation en rapport avec le niveau de puissance statistique³ d'une telle étude qu'il conviendra d'estimer précisément. Une telle étude devra être qualifiée d'étude de cas, plutôt que d'étude épidémiologique.

³ Probabilité de mettre en évidence un évènement de santé.

Programme d'actions

Après un rapide examen des données et de la distribution des doses, la probabilité de constater un effet des radiations ionisantes apparaît faible, et surtout, il est possible que, par manque de puissance ou en raison de données manquantes, on ne puisse pas conclure, même au terme d'une laborieuse reconstitution de la cohorte des vétérans.

Néanmoins, il convient d'effectuer une étude de cas sur des groupes de personnes dont la dosimétrie globale (externe + interne) puisse être récapitulée et d'en évaluer la pertinence.

Action A

Compléter la saisie informatique de toutes les données papiers disponibles concernant aussi bien la dosimétrie externe que les spectrométries gamma. Le but est aussi d'éviter le risque d'une dégradation des fichiers papiers non saisis à ce jour, tout en autorisant leur exploitation statistique.

Délais : décembre 2005

Action B

Faire une enquête de cas, accompagnée de calculs de validité statistique (calculs de puissance) sur les vétérans ayant reçu, au vu des données dosimétriques disponibles aujourd'hui :

- **une dose externe supérieure à un 1 mSv cumulé** (1 740 personnes pour la campagne Pacifique) ;
- **une dose externe supérieure à 5 mSv cumulés** (776 personnes - Pacifique et Sahara) ;
- **une dose externe supérieure à 50 mSv cumulés** (101 personnes - Pacifique et Sahara) ;

délais :

- *fin octobre 2005 pour les calculs de puissance*

- *fin 2005 à fin 2006 (premiers éléments pour le Rapport 2005) pour les études de cas.*

- **les mêmes enquêtes de cas sur les mêmes catégories pour des doses totales cumulées (interne + externe).**

délais : 2006

Action C

Analyse des données disponibles comportant à la fois une information dosimétrique et une information sur l'état de santé des personnes. Ceci concerne, dans un premier temps, les données des travailleurs du CEA.

Action D

Un contact officiel avec l'association des vétérans pour exposer les éléments de cette problématique.

délais : avril 2005

Action E

Rendre accessible les données concernant l'exposition de la population en levant les codes des données (Polynésie).

Les moyens nécessaires à l'exécution de ce programme et à son financement sont en cours d'évaluation.

ANNEXE 1



Paris, le

15 JAN. 2004

Le ministre de la défense

Le ministre de la santé
de la famille et des
personnes handicapées

à

Monsieur le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection
pour les activités et installations intéressant la défenseMonsieur le Directeur général de la sûreté nucléaire
et de la radioprotection

OBJET : Création d'un comité de liaison pour la coordination du suivi sanitaire des essais nucléaires français

P. JOINTE : Mandat du comité de liaison

De 1960 à 1996, la France a effectué des essais nucléaires aériens et souterrains au Sahara et en Polynésie en vue de constituer puis de moderniser sa force de dissuasion nucléaire.

Lors de son récent voyage en Polynésie française, le Président de la République a annoncé la création d'un comité de liaison pour la coordination du suivi sanitaire de ces essais. Ce comité est créé entre les ministères respectivement chargés de la défense et de la santé.

Nous vous demandons d'assurer conjointement le pilotage de ce comité, dont le mandat est joint à cette correspondance. Il conviendra d'y respecter, en particulier, les principes de protection du secret, d'une part de défense nationale et, d'autre part, médical. Vous nous rendrez compte conjointement, chaque année, des activités du comité et vous nous ferez part de vos propositions visant à améliorer le suivi sanitaire des essais.

Michèle ALLIOT-MARIE

Jean-François MATTEI

MANDAT DU COMITE DE LIAISON
POUR LA COORDINATION DU SUIVI SANITMRE
DES ESSAIS NUCLEAIRES FRANÇAIS.

Il est créé auprès des ministres chargés respectivement de la défense et de la santé, un comité de liaison pour la coordination du suivi sanitaire des essais nucléaires français avec pour mission l'organisation d'échanges mutuels sur les questions suivantes, en rapport avec les essais précités:

- 1a: définition et la caractérisation des pathologies susceptibles d'être radio-induites;
- la caractérisation des catégories de personnes concernées;
- le bilan des données disponibles sur les expositions aux rayonnements ionisants ;
- les règles d'imputabilité et d'indemnisation des pathologies identifiées;
- les outils de veille sanitaire et scientifique respectifs des deux ministères;
- l'appréciation de l'intérêt de la mise en place d'une surveillance épidémiologique de certaines catégories de personnes;
- l'évaluation des initiatives qui concourent à l'estimation des risques sanitaires.

2 -Ce comité est composé de représentants

- du ministère de la défense;
- du ministère chargé de la santé,
- des services de chacun des deux ministères, des instituts et agences concernés,
- des responsables de la défense et du commissariat à l'énergie atomique (CEA) en charge des essais nucléaires.

Ils peuvent s'entourer en tant que de besoin des personnes qu'ils jugent utile.

Pour être réactif, ce comité sera composé au maximum de deux représentants par organisme.

Les membres de ce comité sont habilités au niveau de protection du secret de défense nationale adapté aux sujets traités.

3 -Le pilotage du comité est assuré conjointement par le délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense (DSND) et le directeur général de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR).

Le secrétariat du comité est tenu conjointement par le chef du département de suivi des centres d'expérimentation nucléaires (DSCEN) et le directeur de l'institut national de veille sanitaire (In VS).

4 -Le comité se réunit au moins deux fois par an et à la demande de l'une ou l'autre des autorités qui en assure le pilotage.

5 -Le DSND et le DGSNR transmettent annuellement aux deux ministres de tutelle du comité un rapport d'activité. Ce rapport est public.

Annexe 3 : Estimation de l'ensemble des participants aux essais

PERSONNEL AYANT PARTICIPE AUX ESSAIS NUCLEAIRES							
			Dossiers médicaux	Nombre total de personnes	Nombre personnes dosimétrie externe	DOSSIERS MEDICO RADIO BIOLOGIQUES	SPECTRO
DEFENSE SAHARA	MILITAIRES ET PERSONNEL CIVIL DEFENSE	METROPOLITAIN / DEFENSE PLO / DEFENSE / SAHARA	Centres des armées ?	20 000 ?	18000	?	?
	ENTREPRISES EXTERIEURES DEFENSE	METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE PLO / DEFENSE / ENTREPRISES EXT. / SAHARA	ACMS / SPE ? ?				
(SPRA)							
DEFENSE CEP	MILITAIRES ET PERSONNEL CIVIL DEFENSE	METROPOLITAIN / DEFENSE	Centres des armées	100 000 ?		19539 dont 7439 exploitables	environ 130 000 (CEP)
		PRL / DEFENSE / POLYNESIE	CIMP / DSCEN	8000			
	ENTREPRISES EXTERIEURES DEFENSE	METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	ACMS ?	?			
		PRL / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	CPS / Papeete ?	?			
120000 spectrométries sous format papier				41406 (242079 dosimètres)	(DSCEN)		
CEA (SAHARA + CEP)	AGENTS CEA	METROPOLITAIN (D.Essais)	DAM/DIF + CENTRES	4500	3232		
		METROPOLITAIN (Hors D.Essais)	DAM/DIF + CENTRES	environ 2000			
		PRL / CEA		6000		699	
	ENTREPRISES EXTERIEURES CEA	PRL / ENTREPRISES EXT. / CEA	DAM/DIF/SST	6000	(1)		
		METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / CEA	ACMS / SPE	environ 6000	(1)		
(DSCEN et CEA)				(DSCEN)		(DSCEN)	
CEP	ENTREPRISES EXTERIEURES (DEFENSE ET CEA)	METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	ACMS ?		3392		
		METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / CEA	ACMS / SPE				
		PRL / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	CPS / Papeete ?		2211		
		PRL / ENTREPRISES EXT. / CEA	DAM/DIF/SST				

Annexe 4 : Résultats des dosimétries externes pour les différentes campagnes d'essai

Essais Sahara

	CATEGORIES DE PERSONNEL	NBRE DE PERSONNES DOSIMETRIE EXTERNE	NBRE DOSES CUMULEES NULLES	NBRE DOSES CUMULEES 0 >> 5 mSv	NBRE DOSES CUMULEES 5 >> 50 mSv	NBRE DOSES CUMULEES 50 >> 100 mSv	NBRE DOSES CUMULEES 100 >> 200 mSv	NBRE DOSES CUMULEES 200 >> 600 mSv	TOTAL NBRE DE DOSES CUMULEES	NBRE DE DOSIMETRES
DEFENSE	MILITAIRES ET PERSONNELS CIVILS - PLO / PLBT	environ 20000	12150	5166	339	46	36	10	17747	
CEA		?	5600	1300	140	7	1	2	7050	

Essais Polynésie

DOSIMETRIE EXTERNE	TOTAL	exploitable	non exploitable	0	0 < et ≤ 1	1 < et ≤ 5	5 < et ≤ 20	20 < et ≤ 50	> 50	> 5 à > 50	> 1 à > 50
--------------------	-------	-------------	-----------------	---	------------	------------	-------------	--------------	------	------------	------------

en fonction du seuil choisi

<i>Nbre de dosimètres</i>	282720	242079	40641	231417	8847	1590	195	26	4	225	1815
Nbre d'individus (dose cumulée sur toute la période)	42399	41406	993	36805	2861	1395	271	65	9	345	1740

<i>Nbre doses cumulées annuelles</i>	99904	95008	4896	88065	4858	1770	281	29	5	315	2085
Nbre d'individus (dose cumulée annuelle)	42942	41949	993	36805	3536	1363	212	29	4	245	1608

<i>Nbre doses cumulées sur 12 mois glissants</i>					6369	3684	590	47	7	644	4328
Nbre d'individus (dose cumulée sur 12 mois glissants)					3960	1481	241	35	6	282	1763

Références

- Barillot,B. (2003) *Les irradiés de la république*, CDRPC edn.
- Bataille,C. & Revol,H. Les incidences environnementales et sanitaires des essais nucléaires effectués par la France entre 1960 et 1996 et éléments de comparaison avec les essais des autres puissances nucléaires. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. 2001. Assemblée nationale.
- Ref Type: Report
- Caldwell,G.G., Kelley,D., Zack,M., Falk,H., & Heath,C.W., Jr. (1983) Mortality and cancer frequency among military nuclear test (Smoky) participants, 1957 through 1979. *JAMA*, **250**, 620-624.
- Caldwell,G.G., Kelley,D.B., & Heath,C.W., Jr. (1980) Leukemia among participants in military maneuvers at a nuclear bomb test. A preliminary report. *JAMA*, **244**, 1575-1578.
- Caldwell,G.G., Kelley,D.B., Heath,C.W., Jr., & Zack,M. (1984) Polycythemia vera among participants of a nuclear weapons test. *JAMA*, **252**, 662-664.
- Dalager,N.A., Kang,H.K., & Mahan,C.M. (2000) Cancer mortality among the highest exposed US atmospheric nuclear test participants. *J.Occup.Environ.Med.*, **42**, 798-805.
- Darby,S.C., Muirhead,C.R., Doll,R., Kendall,G.M., & Thakrar,B. (1990) Mortality among United Kingdom servicemen who served abroad in the 1950s and 1960s. *Br.J.Ind.Med.*, **47**, 793-804.
- de Vathaire,F. & Le Vu,B. (1996) Cancer mortality in French Polynesia between 1984 and 1992. *Br.J.Cancer*, **74**, 1680-1681.
- de Vathaire,F., Le Vu,B., & Vathaire,C.C. (2000) Thyroid cancer in French Polynesia between 1985 and 1995: influence of atmospheric nuclear bomb tests performed at Mururoa and Fangataufa between 1966 and 1974. *Cancer Causes Control*, **11**, 59-63.
- Gleize,L., Laudon,F., Sun,L.Y., Challeton-de Vathaire,C., Le Vu,B., & de Vathaire,F. (2000) Cancer registry of French Polynesia: results for the 1990-1995 period among native and immigrant population. *Eur.J.Epidemiol.*, **16**, 661-667.
- Johnson,J.C., Thaul,S., Page,W.F., & Crawford H. Mortality of veteran participants in the cross road Nuclear test. 1996. National Academy Press.
- Kendall,G.M., Muirhead,C.R., Darby,S.C., Doll,R., Arnold,L., & O'Hagan,J.A. (2004) Epidemiological studies of UK test veterans: I. General description. *J.Radiol.Prot.*, **24**, 199-217.
- Le Vu,B., de Vathaire,F., de Vathaire,C.C., Paofaite,J., Roda,L., Soubiran,G., Lhoumeau,F., & Laudon,F. (2000) Cancer incidence in French Polynesia 1985-95. *Trop.Med.Int.Health*, **5**, 722-731.
- Loff,B. & Cordner,S. (2001) Australian nuclear test veterans produce evidence for compensation. *Lancet*, **357**, 1775.
- Muirhead,C.R. & Kendall,G.M. (2003) UK nuclear-test veterans. *Lancet*, **362**, 331-332.
- Muirhead,C.R., Kendall,G.M., Darby,S.C., Doll,R., Haylock,R.G., O'Hagan,J.A., Berridge,G.L., Phillipson,M.A., & Hunter,N. (2004) Epidemiological studies of UK test veterans: II. Mortality and cancer incidence. *J.Radiol.Prot.*, **24**, 219-241.
- Pearce,N., Prior,I., Methven,D., Culling,C., Marshall,S., Auld,J., de Boer,G., & Bethwaite,P. (1990) Follow up of New Zealand participants in British atmospheric nuclear weapons tests in the Pacific. *BMJ*, **300**, 1161-1166.
- Pearce,N., Winkelmann,R., Kennedy,J., Lewis,S., Purdie,G., Slater,T., Prior,I., & Fraser,J. (1997) Further follow-up of New Zealand participants in United Kingdom atmospheric nuclear weapons tests in the Pacific. *Cancer Causes Control*, **8**, 139-145.
- Preston,D.L., Shimizu,Y., Pierce,D.A., Suyama,A., & Mabuchi,K. (2003) Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat.Res.*, **160**, 381-407.
- Roda,L., de Vathaire,F., Rio,B., Le Tourneau,A., Petididier,P., Laudon,F., & Zittoun,R. (1999) Incidence of haematological malignancies in French Polynesia between 1990 and 1995. *Leuk.Res.*, **23**, 349-355.
- Roff,S.R. (1999) Mortality and morbidity of members of the British Nuclear Tests Veterans Association and the New Zealand Nuclear Tests Veterans Association and their families. *Med.Confl.Surviv.*, **15 Suppl 1:i-ix**, 1-51., i-51.

- Roff,S.R. (2002) Blood money: the duty of care to veterans of UK nuclear weapons tests. *Med.Confl.Surviv.*, **18**, 311-322.
- Roff,S.R. (2004) Establishing the possible radiogenicity of morbidity and mortality from participation in UK nuclear weapons development. *Med.Confl.Surviv.*, **20**, 218-241.
- Simon,S.L. & Bouville,A. (2002) Radiation doses to local populations near nuclear weapons test sites worldwide. *Health Phys.*, **82**, 706-725.
- Vathaire,C.C., de Vathaire,F., Vu,B.L., Gleize,L., Sun,L.Y., Gestas,P., Paaofaite,J., Pasche,J., Champenois,S., Lhoumau,F., & Laudon,F. (2004) Childhood malignancies in French Polynesia during the 1985-1995 period. *Trop.Med.Int.Health*, **9**, 1005-1011.
- Watanabe,K.K., Kang,H.K., & Dalager,N.A. (1995) Cancer mortality risk among military participants of a 1958 atmospheric nuclear weapons test. *Am.J.Public Health*, **85**, 523-527.
- Weisgall,J.M. (1994) *Operation Crossroads*, Naval Institute Press edn.

LES NORMES DE RADIOPROTECTION

Au moment de l'exécution des expérimentations nucléaires, les normes de radioprotection relatives aux populations et aux travailleurs étaient définies dans le code de santé publique et dans le code du travail (décrets 88-251 et 94604) portant applications des directives Euratom édictées dans le cadre de la publication n° 26 de la Commission Internationale de Protection Radiologique de 1977 (CIPR 26). Ces normes ont été modifiées en 2002 et 2003 (décrets 2002-460, 2003-270 et 296) en application de la directive Euratom (96-29) issue de la CIPR 60 de 1990.

Limites actuelles d'exposition aux rayonnements ionisants

	Définition	Valeurs (valeurs avant 2002)	Observations
Limites annuelles Pour la population Art. R.1333-8 du Code de Santé Publique	<ul style="list-style-type: none"> • Dose efficace pour le corps entier • Dose équivalente pour le cristallin • Dose équivalente pour la peau (dose moyenne pour toute surface de 1 cm² de peau, quelle que soit la surface exposée) 	1 mSv/an (5 mSv/an) 15 mSv/an 50 mSv/an	
Limites pour les travailleurs sur 12 mois consécutifs Art. R.231-77 du Code du Travail	<u>Adultes</u> <ul style="list-style-type: none"> • Doses efficaces pour le corps entier • Doses équivalentes pour les mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles • Doses équivalentes pour la peau (dose moyenne sur toute la surface de 1 cm², quelle que soit la surface exposée) • Doses équivalentes pour le cristallin <u>Femmes enceintes</u> Exposition de l'enfant à naître	20 mSv/an (50 mSv/an) 500 mSv/an (500 mSv/an) 500 mSv/an (500 mSv/an) 150 mSv/an (150 mSv/an) 1 mSv/an (10 mSv/an)	Des dérogations exceptionnelles sont admises : - préalablement justifiées, elles sont planifiées dans certaines zones de travail et pour une durée limitée, sous réserve de l'obtention d'une autorisation spéciale. Ces expositions individuelles sont planifiées dans la limite d'un plafond n'excédant pas deux fois la valeur limite annuelle d'exposition ; - des expositions professionnelles d'urgence peuvent être mises en œuvre dans l'hypothèse d'une situation d'urgence, notamment pour sauver des vies humaines.

Glossaire

- **Becquerel (Bq)** : unité de mesure de la radioactivité qui correspond à une désintégration par seconde (l'unité ancienne est le Curie qui correspond à $3,7.10^{10}$ Bq).

Unités dérivées : Bq/m³, Bq/l
 Bq/kg
 Bq/m²

- **Dose absorbée** : elle correspond à la quantité d'énergie que tout rayonnement communique à l'unité de masse de la matière irradiée. Plus la dose est forte, plus l'effet est important.
 Elle s'exprime en Gray (Gy).

- **Dose équivalente** : notion dérivée de celle de dose absorbée qui prend en compte la nature du rayonnement (type et énergie), utilisée en cas d'irradiation d'organismes vivants pour évaluer le risque sur la santé entraîné par une exposition.
 Elle s'exprime en Sievert (Sv).
 Les irradiations sur l'homme s'évaluent en Sievert.

Dose efficace : elle prend en compte la nature des tissus vivants. Est la somme des doses équivalentes pondérées dans tous les tissus et les organes du corps concernés.
 Elle s'exprime en Sievert (Sv).

- **Dose équivalente collective** : correspond à la somme des doses équivalentes reçues par chacun des individus composant un groupe.
 Elle s'exprime en hommes x Sievert (h.Sv).

- **Dose équivalente engagée** : correspond à la dose équivalente totale, délivrée à un organisme depuis l'incorporation initiale du radioélément jusqu'à sa disparition totale de l'organisme, dans le cas d'une contamination interne.
 Elle s'évalue sur 50 ou 70 ans.

- **Electron-volt (eV)** : un électron-volt (eV) correspond à l'énergie cinétique acquise par un électron placé dans un champ électrique de un volt.

On utilise souvent ses multiples :

- kilo électron-volt (keV = 10^3 eV)
- mega électron-volt (MeV = 10^6 eV)
- giga électron-volt (GeV = 10^9 eV)

- **Gray (Gy)** : unité de la dose absorbée, correspond à un transfert d'énergie de 1 joule par kilogramme de matière.

- **Ionisation** : mécanisme physique par lequel les rayonnements ionisants (alpha, bêta, gamma, neutrons...) transfèrent leur énergie à la matière irradiée, phénomène à l'origine des effets observés après une irradiation.

- **Neutron** : un des deux nucléons constituant le noyau des atomes. Il ne porte pas de charge électrique.

- **Période** : la période d'un radioélément correspond au temps au bout duquel sa radioactivité a diminué de moitié.

- **Proton** : un des deux nucléons constituant le noyau des atomes. Il porte une charge électrique positive.

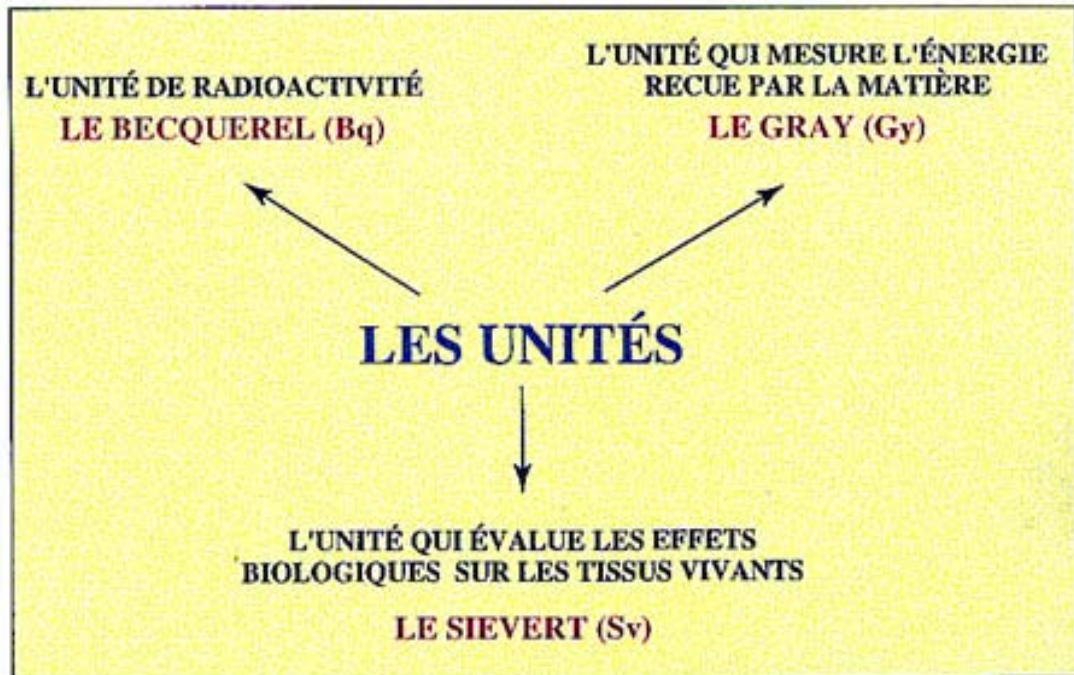
- **Radioactivité** : c'est la propriété que possèdent certains noyaux d'atome énergétiquement instables d'évoluer vers la stabilité en subissant une désintégration qui provoque l'émission de rayonnements (alpha, bêta et gamma) qui emportent l'excès d'énergie.
Elle se mesure en Becquerel (Bq).

- **Sievert (Sv)** : unité de dose équivalente, correspondant à la dose absorbée pondérée par le facteur de qualité, spécifique d'un rayonnement donné.

On utilise souvent les sous-multiples :

- millisievert (mSv) = 10^{-3} Sv
- microsievert (μ Sv) = 10^{-6} Sv

□ Unités



DU BECQUEREL AU SIEVERT : L'ANALOGIE AVEC UN JET D'EAU



LE NOMBRE DE GOUTTES D'EAU ÉMISES PAR SECONDE CORRESPOND À L'ACTIVITÉ DE LA SOURCE (BECQUERELS)
 LA QUANTITE D'EAU RECUE PAR UN SPECTATEUR DÉPEND DU NOMBRE DE GOUTTES RECUES ET DE LA GROSSEUR DE CHAQUE GOUTTE ; ELLE CORRESPOND À LA DOSE ABSORBÉE (GRAY)
 LA BRULURE CONSÉCUTIVE À L'ASPERSION DÉPEND DE LA QUANTITÉ D'EAU RECUE ET DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU ; ELLE CORRESPOND À LA DOSE ÉQUIVALENTE (SIEVERT)