

**RAPPORT**

**DU COMITÉ DE LIAISON**  
**POUR LA COORDINATION DU SUIVI SANITAIRE**  
**DES ESSAIS NUCLÉAIRES FRANÇAIS**

**MAI 2007**



# SOMMAIRE

## Préambule

Le comité de liaison interministériel de suivi des essais nucléaires français

Membres du CSSEN

Groupe de travail 1 (GT1)

Groupe de travail 2 (GT 2)

Synthèse des données et avis recueillis par le CSSEN

1. Les effets à long terme des rayonnements ionisants
  - 1.1. Les effets biologiques non ciblés et différés
  - 1.2. Les affections cancéreuses
    - 1.2.1. Données sur l'évolution des cancers en France
    - 1.2.2. Données sur l'origine des cancers
    - 1.2.3. Rayonnements ionisants et risque de cancer
    - 1.2.4. Données sur l'épidémiologie des cancers radio-induits
    - 1.2.5. Estimation des risques
  - 1.3. Les affections tardives non cancéreuses
    - 1.3.1. Données sur l'épidémiologie des maladies non cancéreuses
    - 1.3.2. Estimation du risque
  - 1.4. Les effets héréditaires
2. Caractérisation des personnes concernées par les essais nucléaires (données démographiques, dosimétriques, médicales et épidémiologiques)
  - 2.1. Données disponibles concernant les populations
    - 2.1.1. Populations sahariennes
    - 2.1.2. Populations polynésiennes
    - 2.1.3. Données épidémiologiques actuelles relatives aux populations
  - 2.2. Données disponibles concernant le personnel
    - 2.2.1. Personnel dépendant de la défense
    - 2.2.2. Personnel dépendant du CEA
    - 2.2.3. Bilan des doses cumulées du personnel
    - 2.2.4. Perspectives d'études épidémiologiques concernant le personnel
    - 2.2.5. Dosimétrie biologique rétrospective

Conclusions et recommandations du comité de liaison pour la coordination du suivi sanitaire des essais nucléaires français

1. Conclusions et recommandations relatives aux personnes concernées par les essais nucléaires
  - 1.1. Les régimes de réparation concernant le personnel
    - 1.1.1. Personnel civil ayant participé aux essais nucléaires
    - 1.1.2. Personnel militaire ayant participé aux essais nucléaires
  - 1.2. Suivi sanitaire des populations

2. Conclusions et recommandations relatives aux études et bilans susceptibles d'être menés
  - 2.1. Etudes concernant les populations
  - 2.2. Etudes concernant le personnel
3. Perspectives

## Annexes

- Annexe A Conclusions du rapport "Situation radiologique sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa" (AIEA, 1998)
- Annexe B Mandat du comité de liaison pour la coordination du suivi sanitaire des essais nucléaires français
- Annexe C Compte rendu de la réunion AVEN/CSSSEN du 13 juin 2006
- Annexe D Compte rendu de la réunion AVEN/CSSSEN du 23 janvier 2007
- Annexe E Relation entre irradiation et risque de cancers en fonction de l'organe et du tissu (UNSCEAR 2006)
- Annexe F Exemples des taux les plus hauts et les plus bas de cancers dans les diverses populations
- Annexe G Rapport de la commission mixte Académie nationale de Médecine - Académie des Sciences chargée de l'évaluation des résultats des travaux de M. Florent de Vathaire concernant l'impact éventuel des essais nucléaires français sur l'incidence du cancer de la thyroïde dans les populations civiles de Polynésie exposées aux retombées radioactives
- Annexe H Personnel ayant participé aux essais nucléaires
- Annexe I Résultats de dosimétrie externe pour les différentes campagnes d'essais
- Annexe J Moyens de dosimétrie biologique actuellement applicables à la dosimétrie rétrospective
- Annexe K Premières recommandations du CSSSEN aux ministres de la défense et de la santé et des solidarités
- Annexe L Références
- Annexe M Carte de la Polynésie française

## Préambule

Les rayonnements ionisants sont susceptibles d'entraîner deux types d'effets sur la santé :

- les effets déterministes (encore appelés "obligatoires") qui sont des effets dits « à seuil ». Le seuil varie en fonction du type de rayonnement, des organes irradiés et de la nature des effets. Ils se manifestent chez toutes les personnes irradiées au-dessus de ce seuil et la gravité augmente avec la dose. Ce sont des effets précoces, apparaissant dans les jours ou semaines après l'irradiation (brûlures cutanées, disparition de cellules sanguines...), ou tardifs, apparaissant plusieurs années, voire plus de 10 ans, après l'irradiation (fibrose, cataracte...). Ils apparaissent généralement pour des doses élevées (plus de 1 Gy). Les effets déterministes présentent un certain nombre de caractéristiques qui, si elles sont bien identifiées, permettent d'en attribuer la cause à une exposition antérieure aux rayonnements ionisants,
- les effets stochastiques (encore appelés "aléatoires") qui se développent apparemment au hasard au sein d'un groupe irradié. Ce sont des effets considérés, par prudence, « sans seuil ». Leur fréquence augmente avec la dose.  
Les effets stochastiques, cancers et effets héréditaires radio-induits, correspondent à des affections n'ayant pas de caractère clinique spécifique qui permettrait de les différencier d'affections spontanées de même nature.  
Leur origine radio-induite ou non est d'autant plus difficile à déterminer que la fréquence, spontanée ou liée à d'autres facteurs, de ces pathologies, est élevée.  
Rappelons que les cancers touchent 1/3 de la population au cours de sa vie et que 3 à 5 % des nouveaux nés sont porteurs d'affections héréditaires.  
La nature même de ces effets stochastiques alimente les interrogations sur le lien possible entre maladies et irradiation.

Parmi les anciens travailleurs des essais nucléaires français ou les habitants résidant à proximité des sites d'essais, certains souffrent ou sont décédés d'affections diverses, notamment de cancers.

Certains de ces anciens travailleurs ou certains membres des populations riveraines des essais, ainsi que des associations qui les représentent, affirment l'existence d'un lien entre les essais nucléaires atmosphériques (1960-1974) puis souterrains (jusqu'en 1996) menés par la France et les maladies dont ils souffrent. Ils demandent en conséquence une reconnaissance et une action de réparation de l'Etat.

Ces revendications portent notamment sur les points suivants :

- inclure de nouvelles maladies à la liste des maladies susceptibles d'être radio-induites, en s'appuyant sur les listes de maladies indemnifiables qui ont pu être établies dans d'autres pays (USA).

Actuellement, les dispositions en vigueur pour les ayants droits du régime général et ceux relevant du code des pensions militaires d'invalidité ne sont pas strictement identiques. En particulier la reconnaissance individuelle, dans le cadre des pensions militaires d'invalidité se réfère, à titre indicatif, au tableau 6 des maladies professionnelles du régime général de la sécurité sociale (affections provoquées par les rayonnements ionisants, dont la liste est limitée),

- reconnaître une imputabilité par présomption d'origine sans limite de temps pour les "maladies radio-induites".

Actuellement, la prise en charge d'affections radio-induites tardives est limitée, dans le tableau 6, à 30 ou 50 ans après la dernière exposition professionnelle aux radiations ionisantes. Au-delà de ce délai, ou pour des affections non inscrites au tableau, une autre procédure peut être engagée pour les personnes relevant du régime général.

Pour les personnes relevant du code des pensions militaires d'invalidité (militaires de carrière, uniquement à l'issue d'opérations extérieures répertoriées, et anciens appelés), l'imputabilité par présomption d'origine n'est reconnue que pour les appelés, dans un délai de 60 jours après la fin de service. Ce délai est jugé incompatible avec la latence d'apparition, longue de plusieurs années ou dizaines d'années, de maladies potentiellement radio-induites comme des cancers,

- appliquer les techniques de dosimétrie biologique (mise en évidence d'anomalies de l'ADN sur des prélèvements biologiques) afin de mettre en évidence une exposition ancienne mesurable,
- entreprendre des études épidémiologiques dans le but de rechercher une éventuelle relation non discutable entre les essais et les pathologies présentées.

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, à l'absence d'effet observable ou prévisible sur le biotope, à la non nécessité de maintenir à l'avenir une surveillance radiologique et mécanique des sites. Ces conclusions figurent en annexe A.

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).**

## LE COMITÉ DE LIAISON INTERMINISTÉRIEL DE SUIVI SANITAIRE DES ESSAIS

**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 de la santé (annexe B), avec le mandat :

- de définir et de caractériser les pathologies susceptibles d'être radio-induites,
- de caractériser les catégories de personnes concernées,
- de dresser le bilan des données disponibles sur les expositions aux rayonnements ionisants durant les essais nucléaires,
- de formuler des recommandations aux ministres de la défense et de la santé en fonction de ses conclusions.

Il assure la liaison avec les personnes et les associations qui sont préoccupées par les conséquences sanitaires des expérimentations<sup>1</sup>.

Le CSSEN est composé de représentants des ministères de la défense et de la santé, d'instituts ou d'agences concernés et de représentants des responsables des essais nucléaires français (de la défense et du Commissariat à l'énergie atomique).

Il est co-piloté par le président de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la défense (DSND).

### Membres du CSSEN

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

<b>Dietrich</b>	<b>Averbeck</b>	- Institut Curie
<b>Edwige</b>	<b>Bonnevie</b>	- CEA/Direction des applications militaires
<b>Gilles</b>	<b>Brucker</b>	- Institut de Veille Sanitaire

---

<sup>1</sup> Déclaration du Président de la République le 27 mars 2003 en Polynésie française : « La liaison pourra ainsi continuer à être assurée avec les personnes et les associations qui demeurent préoccupées par les conséquences sanitaires des expérimentations ».

<b>Michel</b>	<b>Bourguignon</b>	- Autorité de sûreté nucléaire
<b>Hubert</b>	<b>de Carbonnières</b>	- Service de protection radiologique des armées
<b>Elisabeth</b>	<b>Cardis</b>	- Centre international de recherche sur le cancer
<b>Bernard</b>	<b>Celier</b>	- Ministère de la défense/DICoD
<b>Dominique</b>	<b>Maillot</b>	- CEA/Direction des applications militaires
<b>Anne</b>	<b>Pennacino</b>	- Direction centrale du service de santé des armées
<b>Anne</b>	<b>Flüry-Hérard</b>	- CEA/Direction des sciences du vivant
<b>Evelyne</b>	<b>Fourche</b>	- Ministère de la défense/Direction des affaires juridiques
<b>Jean-Michel</b>	<b>Giraud</b>	- CEA/Conseiller médical
<b>Patrick</b>	<b>Gourmelon</b>	- Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
<b>Marcel</b>	<b>Jurien de la Gravière</b>	- Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la défense
<b>Isabelle</b>	<b>Mehl-Auget</b>	- Autorité de sûreté nucléaire
<b>Jean Baptiste</b>	<b>Fleutot</b>	- Conseiller médical du DSND
<b>Liliane</b>	<b>Block</b>	- Ministère de la défense/Direction des statuts, des pensions et de la réinsertion sociale
<b>Claude</b>	<b>Payen</b>	- Observatoire de la santé des vétérans
<b>Frédéric</b>	<b>Poirrier</b>	- Délégation générale pour l'armement/Département de suivi des centres d'expérimentations nucléaires
<b>Marcel</b>	<b>Villeneuve</b>	- Conseiller communication du DSND

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

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, alors directeur général adjoint de la direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Il a alors créé deux groupes de travail :

## Groupe de Travail 1 (GT1)

Ce groupe a été chargé de définir et caractériser les pathologies susceptibles d'être radio-induites.

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

Le Groupe 1 est composé comme suit :

<b>Anne</b>	<b>Flüry-Hérard</b>	- médecin, direction des sciences du vivant du CEA, (pilote du groupe),
<b>Dietrich</b>	<b>Averbeck</b>	- radiobiologiste, directeur de recherche au CNRS/Institut Curie/Orsay,
<b>Elisabeth</b>	<b>Cardis</b>	- 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 a été chargé de caractériser les catégories de personnes concernées par les essais nucléaires français et d'étudier les données dosimétriques, épidémiologiques et médicales disponibles.

Les experts constituant le groupe 2 sont les suivants :

- Gilles Brucker** - directeur de l'InVS (Pilote du Groupe).  
**Jean Donadieu** - 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** - médecin, bureau de radioprotection médicale au SPRA,  
**Florent de Vathaire** - épidémiologiste et directeur de l'Unité 605 INSERM – épidémiologie des cancers,  
**Dominique Laurier** - épidémiologiste au laboratoire d'épidémiologie à l'IRSN,  
**Frédéric Poirrier** - médecin, chef du DSCEN.

Le présent rapport effectue une synthèse des travaux de ces groupes de travail et des réunions du comité.

## **SYNTHÈSE DES DONNÉES ET AVIS RECUEILLIS PAR LE CSSEN**

Pour établir la meilleure synthèse sur les critères d'orientation des pathologies susceptibles d'être radio-induites, le CSSEN a pris en compte :

- l'analyse de données cliniques, biologiques, dosimétriques et épidémiologiques ainsi que les résultats d'études expérimentales disponibles.  
Afin de rechercher la meilleure objectivité dans un domaine volontiers polémique, le comité ne retient que les données reconnues par la communauté scientifique internationale, essentiellement sous la forme d'articles parus dans des revues scientifiques à comité de lecture.  
La synthèse de ces données est réalisée dans les rapports de l'UNSCEAR<sup>2</sup>, qui constituent un état de la science tel qu'il est admis au moment de leur publication,
- les rapports techniques d'organismes compétents, notamment :
  - méthodes d'évaluation a posteriori d'une dose d'exposition aux rayonnements ionisants (IRSN/Rapport DRPH 2005-05),
  - évaluation du risque radio-induit chez une cohorte "fictive" de personnels ayant participé aux expérimentations nucléaires françaises dans le Pacifique et suivis en dosimétrie externe (rapport IRSN/DRPH/2006-01),
  - rapports sur le calcul de dose au Pacifique (CEA/DAM 2006-05 et 2006-010),
  - rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur les incidences environnementales et sanitaires des essais nucléaires effectués par la France entre 1960 et 1996 (AN n° 3571 et Sénat n°207),
  - rapport d'un comité consultatif international "Situation radiologique sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa" (AIEA, ISBN 92-0-203498-2, ISSN 1020-6566).

Le CSSEN a enfin reçu, à deux reprises, une délégation de l'association des vétérans des essais nucléaires (AVEN).

Les comptes-rendus de ces visites figurent en annexes C et D.

Il a également reçu monsieur Florent de Vathaire, directeur de l'unité 605 de l'INSERM, pour ses travaux sur les cancers de la thyroïde en Polynésie et s'est fait présenter les résultats des études menées par le CEA pour les missions du DSND en Polynésie française en mai et octobre 2006, ainsi que les dossiers élaborés à ces occasions.

---

<sup>2</sup> United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.

# **1. LES EFFETS A LONG TERME DES RAYONNEMENTS IONISANTS**

Les effets stochastiques des rayonnements ionisants sont classiquement considérés comme des effets à long terme initiés par des mutations "radio-induites" dans l'ADN de cellules irradiées (mutagenèse précoce).

Depuis quelques années, d'autres voies de réponse biologique aux rayonnements ionisants ont été explorées, qui pourraient apporter des éléments d'explication à certaines réponses cellulaires observées en dehors de la partie du corps irradiée, ou tardivement par rapport au moment de l'irradiation.

Les principales informations tirées de publications scientifiques récentes ont fait l'objet d'une analyse critique par l'UNSCEAR, présentée dans sa publication "UNSCEAR 2007". Elles concernent notamment le rôle des expositions aux rayonnements ionisants sur :

- les effets biologiques autres que la mutagenèse précoce : effets dits "non ciblés et différés",
- l'épidémiologie des affections non cancéreuses, focalisée sur la mortalité par maladie cardio-vasculaire,
- l'épidémiologie des cancers.

Les informations y sont analysées en s'attachant particulièrement à certains points importants pour l'évaluation des risques radio-induits :

- identifier les différents effets : effets biologiques, effets sur la santé,
- établir pour chaque type d'effet l'existence ou non d'une relation dose-effet et établir, le cas échéant, la forme de cette relation, en fonction des pathologies analysées et des conditions d'exposition (type de rayonnement, débit de dose...),
- évaluer le niveau du risque global et les facteurs physiques ou biologiques qui influencent ce niveau de risque,
- interpréter les données pour estimer le niveau de risque aux faibles doses<sup>3</sup>,
- pour interpréter les données épidémiologiques qui concernent des pathologies dont la fréquence spontanée est élevée (cancers, maladies cardio-vasculaires...), valider les critères de qualité en épidémiologie, les méthodes statistiques, les méthodes d'extrapolation et enfin discuter la validité des modèles de risque proposés.

Les principaux résultats et conclusions du rapport 2007 de l'UNSCEAR sont résumés ci-dessous.

## **1.1. LES EFFETS BIOLOGIQUES NON CIBLES ET DIFFERES**

Classiquement, les seules mutations des cellules directement touchées par le rayonnement étaient considérées comme étant à l'origine des effets biologiques des rayonnements ionisants.

---

<sup>3</sup> Les faibles doses correspondent à des doses allant de quelques mSv à une centaine de mSv en exposition aiguë, jusqu'à quelques centaines de mSv en exposition chronique continue. On peut définir les faibles doses comme celles pour lesquelles les études épidémiologiques ne montrent pas d'excès de cas ou de risque.

Le rapport 2007 de l'UNSCEAR fait le point sur d'autres modes d'apparition de lésions radio-induites pouvant contribuer au développement d'effets tardifs.

Il détaille les conditions d'apparition différée de lésions de l'ADN dans des cellules non irradiées, le rôle de l'instabilité génétique (apparition retardée de mutations dans la descendance de cellules irradiées), effet de voisinage (bystander) ou à distance (abscopal), ainsi que leurs conséquences biologiques, appelées "effets biologiques non ciblés et différés". D'autres facteurs, comme le vieillissement et de nombreux stress de l'environnement, peuvent induire des lésions similaires.

L'une des conclusions du rapport est de suggérer qu'un lien est possible entre ces lésions et l'apparition de pathologies tardives, sans toutefois pouvoir affirmer une relation de cause à effet entre les deux.

L'intérêt de ces études réside dans leur capacité à caractériser les réponses cellulaires et tissulaires à l'irradiation. Cette caractérisation offre la possibilité de comparer l'effet de différents types de stress, seuls ou combinés, et de contribuer à la compréhension de la genèse d'effets tardifs ou d'effets à distance des cellules irradiées. Ces effets étaient jusqu'à présent constatés mais mal expliqués.

Cependant, il convient d'observer que l'estimation du risque radio-induit est fondée largement sur des études épidémiologiques ou expérimentales qui évaluent les conséquences sur la santé d'une irradiation, indépendamment de la connaissance des mécanismes biologiques à l'origine des pathologies.

**La mise en évidence de mécanismes ou de réponses cellulaires pouvant expliquer des effets biologiques non ciblés des rayonnements ionisants, éventuellement ignorés, ne modifie pas l'évaluation du risque de cancer radio-induit.**

## 1.2. LES AFFECTIONS CANCÉREUSES

### 1.2.1. 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, les cancers constituent la 1<sup>ère</sup> cause de mortalité chez l'homme (32 %) et la 2<sup>ème</sup> cause de mortalité chez la femme (23 %) (rapport de janvier 2003 de la Commission d'orientation sur le cancer, pour l'année 2000).

Entre 1978 et 2000, l'incidence<sup>4</sup> pour des tranches d'âge comparables a augmenté de plus de 30 % alors que la mortalité a baissé d'environ 9 %.

Cette constatation témoigne d'une amélioration du dépistage et du diagnostic précoce ainsi que des progrès de l'efficacité thérapeutique.

<sup>4</sup> Incidence : nombre de nouveaux cas apparaissant pour une population et un intervalle de temps donnés. On utilise habituellement l'incidence pour 100 000 personnes et par an.

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

### 1.2.2. Données sur l'origine des cancers

La plupart des cancers, notamment ceux survenant à l'âge adulte, sont d'origine multifactorielle : susceptibilité génétique, facteurs hormonaux, alimentaires, toxiques (tabac, alcool...), professionnels et environnementaux.

Les cancers peuvent résulter de l'interaction de plusieurs agents cancérigènes avec des facteurs tels qu'un syndrome irritatif ou inflammatoire chronique, une diminution des défenses immunitaires, une prédisposition individuelle...

Les agents cancérigènes 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 cancéreuses dans une population.

Ils peuvent être de nature chimique, physique ou biologique.

L'évaluation du potentiel cancérigène d'un facteur prend en compte les résultats issus de différents types d'études, épidémiologiques et/ou expérimentales.

### 1.2.3. Rayonnements ionisants et risque de cancer

Les principales conclusions des organismes scientifiques internationaux (UNSCEAR, CIRC<sup>5</sup>, CIPR<sup>6</sup>) sur les effets cancérigènes des rayonnements ionisants sont les suivantes :

- les cancers peuvent survenir de manière aléatoire au sein d'une population ayant été irradiée,
- rien ne permet aujourd'hui, sur le plan clinique ou biologique, de distinguer un cancer induit par les radiations ionisantes d'un même cancer ayant une autre origine,
- après une irradiation aiguë, l'excès de décès par cancer est estimé à environ 10 % par Gy ou Sv<sup>7</sup>. Après des expositions à dose faible ou modérée et/ou à faible débit de dose la CIPR (ICRP, recommandations 60) considère que cet excès est 2 fois plus faible (5 % par Sievert),
- pour la plupart des cancers, les études épidémiologiques montrent une relation dose – effet linéaire entre ~ 0,2 et 3 Sv (dose à l'organe) pour des irradiations aiguës. Cependant, un excès de risque est détecté à partir de doses plus faibles, de l'ordre de 100 mSv (dose à l'organe), pour certains cancers comme les leucémies, les cancers de la thyroïde après irradiation pendant l'enfance.

<sup>5</sup> Centre international de recherche sur le cancer.

<sup>6</sup> Commission internationale de protection contre les rayonnements.

<sup>7</sup> Cette estimation s'appuie sur l'hypothèse d'une relation linéaire sans seuil pour les effets stochastiques.

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.

Ces études ne permettent pas de conclure à l'absence ou à l'existence d'un risque pour des doses inférieures à 100 mSv,

- **pour les besoins de la réglementation**, on considère que le risque est proportionnel à la dose et sans seuil (relation linéaire sans seuil)<sup>8</sup>,
- le délai entre l'exposition aux radiations ionisantes et le diagnostic de cancer est long : au minimum de 2 ans pour certaines leucémies (avec un maximum de fréquence vers 7 ans), au minimum de 3-4 ans pour certains cancers de la thyroïde, et de 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 de nombreux organes ou tissus, dès lors que ces organes ou tissus ont été irradiés. Cependant :
  - tous les types de cancer ne sont pas également radio-inductibles. Par exemple, parmi les leucémies, les leucémies aiguës myéloïdes (LAM) sont les plus inductibles et les cancers du colon sont inductibles mais pas les cancers du rectum,
  - l'enfant est globalement plus radiosensible que l'adulte<sup>9</sup>,
- des recherches sont en cours pour identifier certaines caractéristiques moléculaires de cancers radio-induits, notamment sur le type et la localisation de mutations ou sur des profils d'expression de gènes. Certains résultats semblent encourageants mais ne peuvent, en l'état actuel des connaissances, permettre d'affirmer ou d'infirmer l'origine radio-induite d'un cancer,
- les principales sources d'irradiation des populations sont l'irradiation naturelle (en moyenne 2,4 mSv/an en France, et parfois beaucoup plus) et l'irradiation médicale (en moyenne 1 mSv/an mais recouvrant des situations d'exposition très variées).

#### 1.2.4. Données sur l'épidémiologie des cancers radio-induits

L'UNSCEAR effectue régulièrement la synthèse des publications sur l'épidémiologie des cancers après exposition aux rayonnements ionisants. Les dernières synthèses dataient de 1994 et 2000. Le rapport 2007 de l'UNSCEAR en est la dernière actualisation.

Ce rapport permet d'intégrer le suivi sur une plus longue durée de grandes cohortes déjà étudiées et de discuter de la validité des différents modèles d'extrapolation : des fortes aux faibles doses, entre populations, sur l'estimation du risque «vie entière» (« life time risk »).

Plus d'une centaine d'études permettant une étude quantitative du risque de cancer sont rapportées dans le rapport UNSCEAR 2007.

Trois grands thèmes y sont abordés :

---

<sup>8</sup> La relation linéaire sans seuil est un outil de gestion de la radioprotection qui ne préjuge pas de l'existence ou non de risques pour des doses inférieures à 100-200 mSv (dose à l'organe) suivant les organes et les modalités d'irradiation.

<sup>9</sup> La radiosensibilité plus élevée se traduit par l'apparition de certains cancers pour des doses plus faibles ou des fréquences plus élevées ou après des délais plus courts que chez l'adulte.

- a) les méthodes, notamment les critères de qualité, les analyses statistiques et les méthodes d'extrapolation du risque,
- b) l'analyse actualisée des études à la base de l'estimation globale du risque (survivants d'Hiroshima-Nagasaki, travailleurs du nucléaire et différentes études d'exposition professionnelle, études Mayak, Techa, suivi de patients irradiés...). L'analyse porte d'une part sur l'estimation du risque pour l'ensemble des tumeurs solides et d'autre part sur celui des leucémies<sup>10</sup>,
- c) une analyse des risques par organe, portant sur 21 organes, en comparant différentes conditions d'exposition. L'objectif est d'analyser, pour chaque organe, la sensibilité, la forme de la relation dose-effet et les facteurs influençant le niveau de risque (dose, type de rayonnement, genre, âge...).

#### L'analyse des méthodes (a) porte :

- sur les critères de qualité des études épidémiologiques (plus de 70 études ont été ainsi cartographiées),
- sur la détermination de la taille du groupe suivi, la puissance statistique, la précision de l'estimation de risque, et l'influence d'incertitudes en fonction du niveau de dose,
- sur les critères et les limites de la comparaison d'études épidémiologiques à des fins d'estimation de risque,
- sur les méthodes d'extrapolation et leurs limites, qu'il s'agisse d'extrapolations entre populations, de l'influence d'expositions à différents agents cancérigènes, de l'estimation du risque « vie entière » ... ,
- sur l'influence de paramètres pouvant modifier le niveau de risque, comme le débit de dose, l'âge à l'exposition, la prise en compte de différents temps de latence entre exposition et apparition de cancers ou l'influence de la susceptibilité génétique.

#### L'analyse actualisée des études (b) retient que :

- la puissance statistique d'une étude épidémiologique dépend de la taille de l'effectif, des niveaux de dose dans le groupe exposé et de la valeur du coefficient de risque. Ces considérations font que la plupart des études épidémiologiques aux faibles doses ont une puissance statistique insuffisante, notamment du fait d'effectifs trop faibles,
- les difficultés d'interprétation des études épidémiologiques aux faibles doses persistent, malgré l'amélioration de la précision statistique associée à une plus longue période de surveillance dans des études importantes comme celle des survivants d'Hiroshima-Nagasaki ou la cohorte des travailleurs du nucléaire,
- l'interprétation est plus complexe lorsque l'analyse est restreinte aux doses inférieures à 100 mSv, notamment du fait d'une précision statistique limitée, de petites erreurs non décelées et de la possibilité d'obtenir des résultats statistiquement significatifs par pur hasard en pratiquant de nombreux tests destinés à établir une dose seuil,

---

<sup>10</sup> Cancers ou tumeurs solides : proliférations malignes se développant à l'intérieur d'un organe ou tissu et pouvant également se disséminer à distance dans d'autres organes (métastases dont la plupart sont situées dans le poumon, le foie, le cerveau).

Les leucémies (ou cancers liquides) correspondent à une prolifération maligne de cellules précurseurs des cellules sanguines, prolifération diffuse qui envahit le sang

- le suivi de cohortes comme celle des survivants d'Hiroshima-Nagasaki est à poursuivre, du fait des précisions supplémentaires attendues puisque moins de 15% de ceux exposés avant l'âge de 20 ans sont décédés.

**Sur la base de cette analyse, l'UNSCEAR considère que l'épidémiologie à elle seule ne permettra pas de dire s'il y a ou non des doses seuils pour les risques radiologiques. Il faudrait pour cela mieux connaître les mécanismes biologiques.**

L'analyse du risque de cancer selon l'organe irradié (c) dresse le bilan suivant :

- les différences de radiosensibilité et de forme de relation dose-effet importantes suivant les organes irradiés sont confirmées,
- les cancers peuvent être classés en trois catégories selon la radiosensibilité des tissus et des organes (annexe E) :
  - ceux montrant une relation dose-réponse dès des doses de 100 mSv.  
La forme de cette relation est linéaire quadratique pour les leucémies (hors leucémie lymphoïde chronique), linéaire pour les cancers du colon, du sein, du poumon, de la peau (hors mélanomes malins) et de la thyroïde (si l'exposition a lieu pendant l'enfance),
  - ceux pour lesquels des études indiquent un excès de risque sans qu'il soit possible de caractériser la forme de la relation dose-effet : cancers du foie, de la vessie, des glandes salivaires, de l'œsophage, de l'estomac, de l'ovaire, du système nerveux central, ou pour lesquels le risque apparaît après de fortes doses (> 1 Gy, voire 10 Gy) : cancers de l'intestin grêle, du rectum, du squelette et du tissu conjonctif, de l'utérus et du rein,
  - ceux pour lesquels il n'y a pas d'augmentation de risque observée après exposition aux rayonnements ionisants : cancers du pancréas, de la prostate, de la peau (mélanome malin). On peut également y inclure le myélome multiple, la maladie de Hodgkin et le lymphome non hodgkinien mais avec un moindre degré de validation compte tenu des hétérogénéités de classification et de recueil des données.

### 1.2.5. Estimation des risques

L'utilisation de différents modèles appliqués à cinq types de populations de tout âge conclut que le risque de décès par cancer sur la vie entière, après une irradiation aiguë, est estimé entre 4 et 7,5 % par Sievert pour l'ensemble des cancers solides et entre 0,7% et 1% par Sievert pour les leucémies.

Ces estimations sont légèrement inférieures à celles publiées en 2000, mais sans incidence sur les estimations de risque. Le comité souligne notamment l'existence de variations importantes selon les populations.

Le risque est plus élevé si l'irradiation a lieu pendant l'enfance.

**Sur la base de l'ensemble des données récentes biologiques, dosimétriques et épidémiologiques, l'UNSCEAR conclut qu'il n'y a pas lieu de modifier les estimations de risque des affections tardives.**

L'annexe F illustre les variations géographiques des taux spontanés de cancer. Ce tableau, issu de la publication 2000 de l'UNSCEAR, souligne, s'il en était besoin, le soin avec lequel les populations témoins doivent être choisies pour les études épidémiologiques et les difficultés d'extrapolation d'une population à une autre.

### **1.3. LES AFFECTIONS TARDIVES NON CANCEREUSES**

Les effets radio-induits autres que les cancers ou les effets héréditaires sont réputés liés à la mortalité cellulaire et aux dysfonctions cellulaires et tissulaires qui en résultent.

Ce sont des effets considérés classiquement comme survenant à des doses élevées, le niveau de dose dépendant de la nature et de l'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.

Ces dernières années, de nombreuses publications, reprises par l'UNSCEAR, concernent des pathologies non cancéreuses comme les maladies cardio-vasculaires ou vasculaires cérébrales. En effet, le suivi des survivants d'Hiroshima-Nagasaki a suggéré que ces affections, qui apparaissent au cours du vieillissement, pourraient être considérées comme des effets stochastiques, avec une augmentation de leur fréquence liée à la dose.

#### **1.3.1. Données sur l'épidémiologie des maladies non cancéreuses**

Le rapport 2007 de l'UNSCEAR fait état d'un lien entre la dose de rayonnement et la mortalité due à des affections non cancéreuses, observé depuis 1992 chez les survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et Nagasaki, pour des doses supérieures à 0,5 ou 1 Gy, selon les effets analysés.

Cette constatation soulève deux questions :

- y a-t-il un risque, lié à la dose, d'augmentation de la fréquence de pathologies non cancéreuses (maladies cardiaques, vasculaires, cérébrales...) dont l'incidence naturelle augmente avec l'âge et d'autres facteurs génétiques ou environnementaux ?
- si oui, peut-on modéliser ce risque pour des doses inférieures à celles entraînant des effets déterministes ?

Outre les aspects méthodologiques, le rapport présente une vue d'ensemble des principales maladies non cancéreuses observées dans des groupes irradiés.

Des études épidémiologiques concernant les effets tardifs non cancéreux sont menées chez les survivants d'Hiroshima-Nagasaki, chez des patients irradiés pour une maladie cancéreuse ou pour une maladie non cancéreuse (pathologies squelettiques et rhumatismales, affections gynécologiques...), lors d'examens diagnostiques répétés (anciennes techniques de fluoroscopie) ou pour des expositions professionnelles en milieu industriel.

Toutefois, ces études ayant été menées essentiellement pour évaluer le risque de cancer après exposition aux rayonnements ionisants, les informations sur d'autres pathologies (hépatiques, pulmonaires, vasculaires, inflammatoires...) sont enregistrées de manière inconstante et hétérogène.

C'est la raison pour laquelle l'analyse s'est focalisée sur les données de mortalité concernant les maladies cardio-vasculaires et vasculaires cérébrales, dont l'enregistrement a été réalisé avec la fiabilité la plus satisfaisante.

### 1.3.2. Estimation du risque

L'augmentation, dose-dépendante, du risque d'apparition d'affections cardio-vasculaires tardives est observée après exposition à doses élevées, le plus souvent chez des patients traités par radiothérapie.

Dans la plupart des études, l'absence d'informations fiables sur les autres grands facteurs de risque (tabac, alcool...) limite cependant l'interprétation des résultats.

Les études des survivants d'Hiroshima –Nagasaki restent les seules qui suggèrent l'existence d'un lien entre l'exposition à des doses de 0,5 Gy et l'augmentation de maladies non cancéreuses (pathologies cardio-vasculaires, vasculaires cérébrales, pulmonaires et digestives).

**Pour l'UNSCEAR, les données épidémiologiques disponibles ne permettent pas de conclure à l'existence d'une relation de cause à effet entre la radio-exposition et l'incidence de maladies cardio-vasculaires pour des doses de moins de 1 à 2 Gy, et ne sont pas suffisantes pour définir des modèles de risque appropriés.**

Cette conclusion s'applique également à l'ensemble des autres maladies non cancéreuses, du fait de l'insuffisance des données disponibles, de l'hétérogénéité des maladies et de leurs causes, ainsi que de l'existence de nombreux facteurs confondants.

## 1.4. LES EFFETS HEREDITAIRES

Les effets héréditaires sont des effets stochastiques résultant des lésions de l'ADN dans la lignée germinale (spermatozoïdes et ovules).

Aucune étude épidémiologique n'a pu mettre en évidence chez l'homme une augmentation d'affection héréditaire en relation avec une exposition aux rayonnements ionisants, y compris

chez les descendants des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki ou dans les populations soumises depuis de nombreuses générations à une irradiation naturelle très élevée.

On peut considérer que ces effets radio-induits, s'ils existent, sont de même nature que les effets héréditaires « spontanés » et que leur fréquence est faible par rapport à la fréquence « spontanée ».

Cependant, des effets héréditaires radio-induits ont été mis en évidence sur des plantes ou de petits mammifères (souris) après exposition parentale à des doses relativement élevées (dans la plupart des études après irradiation de plus de 1 Sv). L'analyse rétrospective d'une très vaste étude (plusieurs millions de souris suivies sur plusieurs générations) a fourni les données quantitatives les plus récentes et validées pour le rapport de l'UNSCEAR paru en 2001.

Considérant les résultats de ces études expérimentales ainsi que les données humaines disponibles sur la fréquence spontanée de mutations, l'UNSCEAR maintient, par prudence, une estimation de risque d'effets héréditaires chez l'homme. Cette estimation est revue à la baisse par rapport aux estimations antérieures. La nouvelle estimation de l'UNSCEAR a été reprise dans les dernières recommandations de la CIPR (RP 07 à paraître). Le niveau de risque par unité de dose pour les effets héréditaires est environ 10 fois plus faible que celui de décès par cancer radio-induit.

## **2. CARACTERISATION DES PERSONNES CONCERNÉES PAR LES ESSAIS NUCLÉAIRES**

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 membres du comité.

Pour ce qui concerne la revue de la littérature, les sources viennent des articles scientifiques publiés et des rapports officiels.

### **2.1. DONNÉES DISPONIBLES CONCERNANT LES POPULATIONS**

#### **2.1.1. Populations sahariennes**

##### Région de Reggane :

En 1960 et 1961, quatre essais aériens ont été effectués au Centre saharien d'expérimentations militaires (CSEM) près de Reggane, oasis localisé au sud du grand erg occidental, à 700 km de Colomb Béchar.

La population sédentaire de cette région était concentrée dans les palmeraies de Reggane et dans la vallée du Touat, au nord de Reggane. Cette population était de 40 000 personnes au total, dont 500 résidaient dans un rayon de 100 km autour du champ d'expérimentations.

Les essais n'étaient autorisés que dans les conditions où les retombées prévues n'affectaient pas de secteurs habités.

Les populations nomades éventuelles étaient éloignées avant chaque essai.

En conséquence, les retombées radioactives n'ont pas conduit à des doses notables. Le maximum de dose théorique a été évalué pour le site de Ouallen à 0,6 mSv (site inhabité).

Des contrôles de non contamination ont été effectués sur 195 personnes dont 70 nomades (anthropogammamétrie).

##### Région d'In Ekker

Les essais en galerie ont succédé aux essais aériens sur le Centre d'expérimentations militaires des oasis (CEMO), aménagé dans le massif du Hoggar près d'In Ekker, à 150 km au nord de Tamanrasset.

Environ 2000 personnes vivaient dans un rayon de 100 km autour du site d'expérimentations.

Sur les 13 essais effectués, 4 n'ont pas été totalement confinés mais le seul qui a conduit à une retombée importante est l'essai « Béryl » du 1<sup>er</sup> mai 1962.

Les retombées de cet essai (gaz et aérosols) qui auraient pu entraîner une dose supérieure à 5 mSv n'ont pas touché de zones habitées (populations sédentaires ou nomades).

## 2.1.2. Populations polynésiennes

Plusieurs sources d'informations permettent de caractériser ces populations :

- état civil informatisé centralisé avec lieu de résidence des parents à la naissance,
- recensements tous les 8 ans (environ), avec lieu de résidence au moment du précédent recensement,
- fichier généalogique,
- registre des cancers (depuis 1984),
- fichier centralisé des causes de décès depuis 1984,
- fiches de santé des habitants des Gambier en 1966, établies avant le premier essai.

Des mesures de l'activité de différents radionucléides ont été conduites tout au long des essais nucléaires. Les prélèvements étaient réalisés par le Service mixte de contrôle biologique et le Service mixte de sécurité radiologique (SMCB et SMSR).

Les mesures étaient effectuées par ces services et le Laboratoire d'étude et de surveillance de l'environnement (LESE). Sur la base de ces mesures, les doses efficaces ont été estimées et publiées sous la forme de rapports annuels.

Dans le cadre de la mission confiée au DSND par le ministre de la défense, d'apporter le concours actif de l'Etat à l'établissement des faits, de leur impact sur l'environnement et la santé dans les îles et atolls de la Polynésie française, une réévaluation des doses équivalentes à la thyroïde et des doses efficaces, pour les adultes et les enfants, a été menée à l'aide des outils modernes actuellement disponibles.

Cette réévaluation a permis en particulier d'estimer les doses équivalentes à la thyroïde chez les enfants, dont l'importance était méconnue à l'époque des 41 essais aériens réalisés entre 1966 et 1974.

Les doses ainsi évaluées (doses efficaces et doses équivalentes à la thyroïde) sont des doses enveloppes, représentant des maximums très supérieurs aux doses probables.

Cette étude a montré que 10 essais ont donné lieu à des retombées notables sur des zones habitées. Parmi eux, 6 ont apporté une contribution non négligeable à l'exposition de la population.

Le bilan global des doses ainsi évaluées ou réévaluées est présenté dans le tableau suivant :

**Evaluation des doses engagées, en mSv, pour l'adulte (A) et pour l'enfant (E)  
Evaluations faites en 2006 (sauf \* faites à la suite de l'essai)  
(doses efficaces engagées et doses équivalentes engagées à la thyroïde)**

Essai		Gambier	Tureia	Pirae	Hitiaa	Taravao Teahupoo	Hao	Reao	Hereheretue
Aldebaran 2.07.66	Dose efficace	A: 3 à 7 E: 3 à 10							
	Dose thyroïde	A: 2 à 40 E: 4 à 80							
Rigel 24.09.66	Dose efficace	A: 0,1 à 0,23 E: 0,4 à 0,71	A: 0,06 à 0,15 E: 0,1 à 0,23						
	Dose thyroïde	A: 1,1 à 2,1 E: 4,6 à 7,8	A: 0,15 à 1 E: 0,6 à 2						
Arcturus 2.07.67	Dose efficace		A: 0,79 à 3,2 E: 0,9 à 4						
	Dose thyroïde		A: 0,9 à 25 E: 2 à 38						
Dragon 30.05.70	Dose efficace		A: 0,16*				A: 0,05*		
Eridan 24.06.70	Dose efficace	A: 0,1*							
Toucan 6.09.70	Dose efficace	A: 0,2*						A: 0,15*	
Encelade 12.06.71	Dose efficace		A: 1,3 à 1,9 E: 1,5 à 3,5						
	Dose thyroïde		A: 1 à 8 E: 4 à 27						
Phoebe 8.08.71	Dose efficace	A: 0,2 à 2,6 E: 0,5 à 7,9							
	Dose thyroïde	A: 1,3 à 26,7 E: 4,8 à 98							
Umbriel 25.06.72	Dose efficace							A: 0,2*	
Centaure 17.07.74	Dose eff. max			A: 0,5 E: 1,2	A: 2,5 E: 5,2	A: 3,6 E: 4,5			
	Thyroïde (max)			A: 4 E: 14	A: 12 E: 49	A: 16 E: 40			

Il ressort de ce bilan que la quasi totalité des polynésiens ont reçu une dose efficace engagée inférieure à 5 mSv.

L'ensemble des doses efficaces engagées est resté inférieur à 10 mSv.

Les doses équivalentes à la thyroïde sont restées très inférieures à 100 mSv, sauf chez l'enfant dans les îles Gambier en 1966 et 1971.

**Remarque :** Durant toute la période des essais nucléaires, tant au Sahara qu'en Polynésie française, et au regard des réglementations relatives à l'intervention en cas d'évènement nucléaire en vigueur en 2007, aucune retombée n'aurait été de niveau justifiant une mise à l'abri, une évacuation ou une prise d'iode stable pour les populations.

### 2.1.3. Données épidémiologiques actuelles relatives aux populations

Un certain nombre de résultats concernant l'épidémiologie des cancers en Polynésie sont connus.

Les académies des sciences et de médecine soulignent en effet, dans leur rapport figurant en annexe E, que des études de l'INSERM (unité 605) n'ont montré à ce jour aucune augmentation de l'incidence générale des cancers (1995), ni des leucémies de l'enfant (1997).

Pour ce qui concerne les cancers de la thyroïde chez l'enfant, la même unité de l'INSERM n'a trouvé, dans un article publié en 2000, aucune association significative avec la distance du lieu d'habitation aux centres d'essais.

Les résultats, non publiés, d'une étude cas-témoin suggèrent, selon leurs auteurs, une augmentation de l'incidence de ces cancers de la thyroïde pour des doses à la thyroïde relativement faibles (quelques dizaines de mSv).

L'analyse des académies des sciences et de médecine (annexe G) relative à cette étude, relève de nombreux biais et incertitudes, ainsi que des difficultés méthodologiques, dont l'existence ne permet pas d'entériner les conclusions proposées par les auteurs.

## 2.2. DONNÉES DISPONIBLES CONCERNANT LE PERSONNEL

Les essais nucléaires ont impliqué le ministère de la défense et le CEA.

Des personnels d'entreprises extérieures ont participé aux essais, mais ils relevaient administrativement de l'une de ces deux institutions.

Au sein du ministère de la défense, la gestion du personnel relevait de chaque armée et n'était pas centralisée.

De la même façon, au sein du CEA, la majorité du personnel 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 qu'aient été leurs fonctions.

La reconstitution de la liste des anciens travailleurs 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 livret militaire de chaque soldat par arme sous format papier...).

Il est toutefois 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.

Les personnels professionnellement exposés ont fait l'objet d'une surveillance individuelle par dosimétrie photographique et, le cas échéant, par dosimétrie interne (anthropogammamétrie et/ou radiotoxicologie). A titre de précaution, notamment lors des essais aériens, cette surveillance a été étendue à des personnes dont les postes n'étaient pas professionnellement exposés.

Les données d'anthropogammamétrie du Centre d'expérimentations du Pacifique (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 documents papier sont en

cours de saisie sur support informatique. Une partie de ces personnes ont également une dosimétrie externe.

**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.**

S'il est possible de calculer l'effectif bénéficiant d'une surveillance dosimétrique, l'effectif n'en bénéficiant pas ne peut qu'être estimé.

### 2.2.1. Personnel dépendant de la défense

Le nombre de personnes de la défense aujourd'hui identifiées par leur dosimétrie externe est de :

- 17 747 pour le Sahara,
- 41 406 pour la Polynésie,

soit : 59 153 (dans l'hypothèse de l'absence de doublon).

Ces données sont informatisées au sein de 2 services distincts : SPRA<sup>11</sup> pour le Sahara et DGA/DSCEN<sup>12</sup> pour la Polynésie.

A ce jour, les données de santé concernant les personnes identifiées par leur dosimétrie ne sont pas connues.

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 lors d'une telle enquête.

### 2.2.2. Personnel dépendant du CEA

Environ 16 000 personnes ayant participé aux essais ont été identifiées. Certaines de ces données font l'objet actuellement d'une saisie informatique en cours d'achèvement.

Dans le cadre d'une étude épidémiologique internationale sur la mortalité de personnes exposées aux rayonnements ionisants, environ 3 500 personnes ayant participé aux essais ont été incluses dans une étude sur le suivi des personnels du nucléaire, avec à la fois des données de dosimétrie et des données de santé disponibles.

Néanmoins, l'objectif 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.

---

<sup>11</sup> Service de protection radiologique des armées

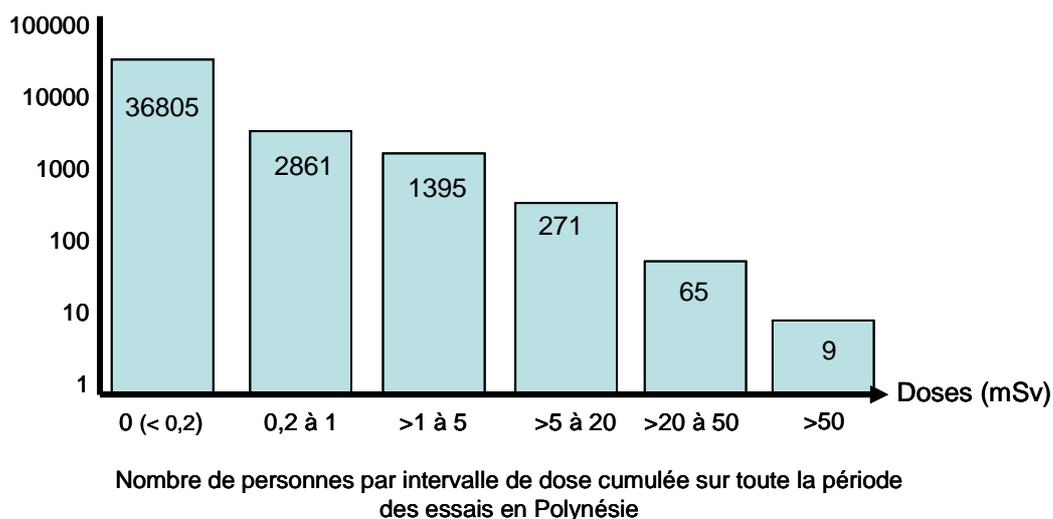
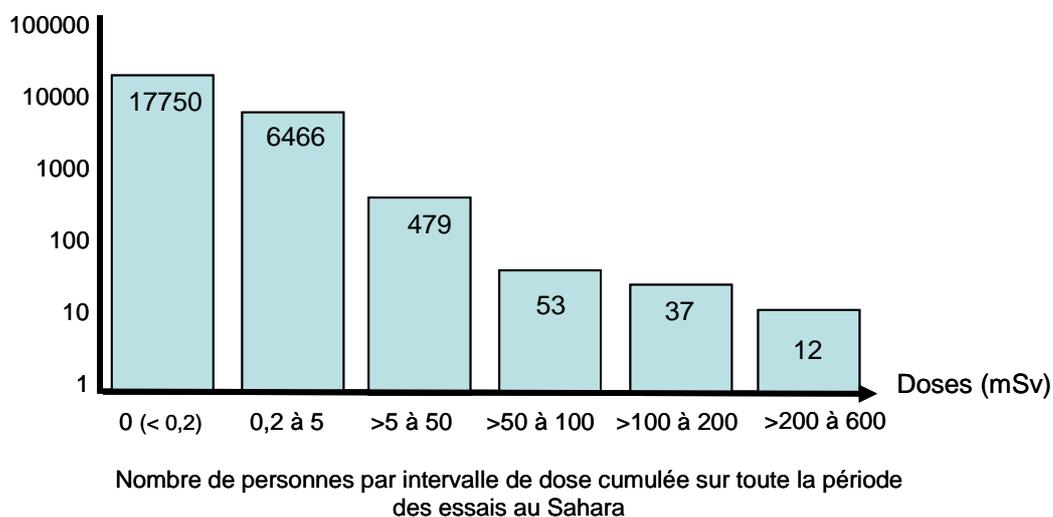
<sup>12</sup> Département de suivi des centres d'essais nucléaires

En particulier, les agents du CEA ayant participé aux essais nucléaires ont eu, en règle générale, des activités professionnelles en dehors des sites d'expérimentation, apportant une contribution non négligeable à leur exposition potentielle.

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 de ses expositions externes, y compris pour les expositions professionnelles avant et après les périodes de présence sur les sites d'essais.

### 2.2.3. Bilan des doses cumulées

Le bilan du personnel ayant été affecté sur un site d'essais figure en annexe H. Le résultat de leur surveillance dosimétrique figure en annexe I.



Parmi les très nombreux examens dosimétriques effectués au cours des campagnes d'essai, un petit nombre a mis en évidence des doses cumulées (sur l'ensemble des séjours) non nulles :

- 581 personnes lors des essais au Sahara et 345 lors des essais en Polynésie ont dépassé la valeur 5 mSv,

- 102 personnes pour le Sahara et 9 personnes pour le CEP ont reçu une dose supérieure à 50 mSv,
- 1740 personnes ont reçu une dose supérieure à 1 mSv en Polynésie, pour 41406 personnes surveillées.

#### 2.2.4. Perspectives d'études épidémiologiques concernant le personnel

Le rapport de l'IRSN relatif à "l'évaluation du risque radio-induit chez une cohorte fictive de personnels ayant participé aux expérimentations nucléaires françaises dans le Pacifique et suivis en dosimétrie externe" (rapport IRSN/DRPH/2006-01) avait pour objectif d'éclairer le comité sur la pertinence de procéder à une étude épidémiologique en tenant compte de la composition de la cohorte et des résultats dosimétriques.

Cette étude portait sur 42000 personnes (en supposant qu'aucune ne soit rejetée de l'étude pour non respect d'un quelconque critère d'inclusion), et distinguait 1700 personnes ayant reçu une dose supérieure à 1 mSv.

Sa conclusion est :

**"Une étude épidémiologique de cohorte qui serait ciblée sur la mortalité de ces personnels serait de faible puissance. Il est donc peu probable qu'une étude épidémiologique puisse fournir des résultats interprétables d'un point de vue statistique".**

#### 2.2.5. Dosimétrie biologique rétrospective

Les techniques de dosimétrie biologique sont destinées à estimer la dose effectivement reçue par une personne qui a été exposée aux rayonnements ionisants.

De nouvelles techniques, validées ou en cours de développement, présentent des avancées substantielles par rapport à la technique classique fondée sur l'étude du caryotype. Ces avancées peuvent porter à la fois sur la finesse de la détection, et sur la validité de l'évaluation d'expositions anciennes.

Un certain nombre de revendications sont relatives au recours à ces techniques pour évaluer *a posteriori* les doses individuelles reçues par les vétérans durant la période des essais aériens. Dans ce contexte, l'utilisation de ces techniques pose la question de leur seuil de détection ainsi que de leur validité pour des expositions très anciennes et pour des niveaux de dose n'entraînant pas d'effets déterministes (<1Gy). Ces revendications s'appuient sur des annonces de chercheurs dont les résultats ne sont pas actuellement publiés et n'ont de ce fait pas été discutés et validés par la communauté scientifique internationale.

Les articles scientifiques disponibles et le rapport IRSN/DRPH 2005-05 "Méthodes d'évaluation a posteriori d'une dose d'exposition aux rayonnements ionisants" ont donné lieu à la rédaction d'une fiche de synthèse par le CSSEN (annexe J).

Le résumé présenté dans cette fiche est le suivant :

## **MOYENS DE DOSIMETRIE BIOLOGIQUE ACTUELLEMENT APPLICABLES À LA DOSIMÉTRIE RÉTROSPECTIVE**

La dosimétrie biologique rétrospective dispose aujourd'hui de trois techniques, utilisables dans les conditions suivantes :

- Exposition datant de moins d'un an :  
    Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies instables.
- Exposition datant d'un à dix ans :  
    Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies stables (FISH).  
    Dosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE).
- Exposition datant de plus de dix ans :  
    Dosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE).

Toutes ces techniques mesurent le cumul de dose lié aux expositions naturelle, environnementale, médicale et professionnelle.

### **Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies instables :**

Cette technique est peu invasive (prélèvement sanguin).

Elle met en évidence des doses globales (moyennes sur le corps entier) supérieures à la centaine de mSv.

Sa stabilité limitée dans le temps en réserve les indications à la première année suivant l'exposition.

### **Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies stables (FISH) :**

Cette technique, également peu invasive, met en évidence des doses globales (moyennes sur le corps entier) supérieures à 350 mSv.

Sa meilleure stabilité dans le temps lui permet d'être validée pour des expositions datant de dix ans.

C'est toutefois une méthode peu spécifique mesurant, sans les différencier, les expositions à de nombreux agents physiques ou chimiques.

### **Dosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE) :**

Cette technique offre la meilleure stabilité dans le temps, lui permettant d'évaluer des expositions datant de plusieurs dizaines d'années.

Elle peut mesurer des doses de l'ordre de 50 mSv.

Elle est toutefois limitée par son caractère invasif (prélèvement d'émail sur une dent saine) et par le fait qu'elle indique une dose localisée à la zone de prélèvement.

## **CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DU COMITÉ DE LIAISON POUR LA COORDINATION DU SUIVI SANITAIRE DES ESSAIS NUCLÉAIRES FRANÇAIS**

Le comité a fait part au ministre de la défense et au ministre de la santé et des solidarités, en décembre 2006 de ses premières recommandations (annexe K).

Les présentes conclusions et recommandations incluent et complètent celles-ci.

### **Le CSSEN retient, pour ce qui est du risque général de pathologies tardives liées aux rayonnements ionisants, que :**

- aucun risque nouveau de pathologie radio-induite n'a été mis en évidence pour des doses de l'ordre de la centaine de mSv, y compris par les études les plus récentes,
- les évaluations internationales les plus récentes (UNSCEAR 2007) portant sur le risque de cancer radio-induit, concluent à une stabilité du niveau de risque alors même que le nombre d'études épidémiologiques est plus important et que la durée de suivi est plus longue que dans les synthèses effectuées précédemment (UNSCEAR 1994, 2000). Les observations concluent à l'existence d'un risque avéré, croissant avec la dose, pour des doses efficaces supérieures à 100 mSv,
- après irradiation, une augmentation de la fréquence des cancers de la thyroïde est observée, uniquement chez les personnes exposées à une dose équivalente supérieure à 100 mSv à la thyroïde durant leur enfance (avant l'âge de 15 ans),
- il n'a pas été observé d'augmentation du nombre de cancers (et de leucémies de l'enfant) imputable aux rayonnements ionisants en Polynésie Française postérieurement aux essais nucléaires,
- une incidence forte des cancers de la thyroïde en Polynésie est connue, sans lien scientifiquement établi avec une exposition aux rayonnements ionisants,
- les études actuellement publiées ne mettent pas en évidence d'augmentation des cancers de la thyroïde en Polynésie en relation avec les essais<sup>13</sup>,
- la dosimétrie a été réévaluée ces dernières années pour tenir compte de l'ensemble des mesures effectuées depuis le début des essais en Polynésie, de l'amélioration des modèles

---

<sup>13</sup> L'étude d'une unité de l'INSERM mentionnée au paragraphe 2.1, annonçant un lien entre cancers de la thyroïde en Polynésie française et essais nucléaires, a été soumise aux académies des sciences et de médecine. Celles-ci n'ont pas considéré les conclusions de cette étude comme établies en l'état.

utilisés pour effectuer les calculs de dose et de la prise en compte de l'exposition thyroïdienne. Les conclusions sont les suivantes :

- . les évaluations de la dose efficace dans la population polynésienne à la suite des essais sont au maximum de 10 mSv,
- . les évaluations de la dose équivalente engagée à la thyroïde chez les enfants des îles Tureia, Reao et Pukarua sont contenues dans une enveloppe inférieure à 100 mSv. Elles peuvent atteindre une valeur de l'ordre de la centaine de mSv pour les enfants des Gambier du fait de l'incidence des essais Aldebaran et Phoebe.

Ces évaluations sont des estimations enveloppe, accumulant de façon théorique tous les facteurs majorants identifiés, aboutissant par conséquent à des doses théoriques très supérieures aux doses les plus probables,

- les contrôles effectués n'ont pas mis en évidence d'exposition de la population lors des essais au Sahara.

## 1. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX PERSONNES CONCERNÉES PAR LES ESSAIS NUCLÉAIRES

Le comité a noté que les conditions de surveillance dosimétrique du personnel ayant participé aux essais nucléaires permettent de connaître ou d'estimer individuellement, de manière convenable, les doses auxquelles il a pu être soumis.

Il note que la communauté scientifique, notamment à travers les rapports UNSCEAR 2007, n'identifie pas de nouvelle pathologie susceptible d'être radio-induite pour des doses de l'ordre de 100 mSv.

**Elle confirme qu'il n'a jamais été établi de lien entre rayonnements ionisants et cancer de la thyroïde chez l'adulte.**

### 1.1. Les régimes de réparation concernant le personnel

Aucune avancée scientifique concernant l'apparition de pathologies radio-induites tardive ne permet de justifier aujourd'hui une extension des régimes de réparation pour le personnel.

#### 1.1.1. Personnel civil ayant participé aux essais nucléaires

##### Recommandation 1

**Le CSSEN recommande, pour le personnel civil ayant participé aux essais nucléaires et concernant les maladies radio-induites, le maintien du régime de présomption d'origine existant, fondé sur la reconnaissance de maladies professionnelles.**

#### 1.1.2. Personnel militaire ayant participé aux essais nucléaires

Le comité note que le code des pensions militaires d'invalidité distingue les appelés, bénéficiant d'un régime de présomption d'origine pour toutes les maladies durant leur service

national et jusqu'à 60 jours après la cessation de celui-ci, et les militaires de carrière, qui n'en bénéficient à aucun moment sauf lors d'opérations extérieures particulières.

Les effets stochastiques des rayonnements ionisants (cancers et effets génétiques) étant d'apparition tardive après l'exposition (plusieurs décennies), des propositions de loi ont été déposées au parlement (proposition N° 168 de 2007 devant le Sénat par exemple). Celles-ci demandent que le régime de présomption d'origine du code des pensions militaires d'invalidité pour "les pathologies radio-induites" soit appliqué sans contrainte de temps.

Le CSSEN considère que ce délai de 60 jours concernant les appelés n'est pas adapté aux effets des rayonnements ionisants (comme probablement aux effets tardifs d'autres agents toxiques).

Il fait cependant observer les faits suivants, dans le cas où une telle disposition serait adoptée :

- elle introduirait une distorsion entre ex-appelés, qui bénéficieraient d'une présomption d'origine sans limite de temps, et militaires de carrière, qui n'en bénéficieraient à aucun moment, hors opérations extérieures,
- la population à laquelle cette mesure s'appliquerait devrait être précisée. Sinon, elle concernerait tous les anciens appelés, où qu'ils aient effectué leur service national, quelle que soit l'ancienneté de celui-ci et quel que soit l'emploi qu'ils aient tenu, en rapport ou non avec les rayonnements ionisants,
- la prise en compte, logique, des seuls personnels ayant été soumis à un risque radiologique s'appliquerait encore à l'ensemble des personnels ayant pu travailler sous rayonnements ionisants : vétérans des essais, personnels médicaux et paramédicaux des services de radiologie et chirurgie (radiologie interventionnelle, dentistes...), personnels des unités nucléaires...

Le CSSEN ne se prononce pas sur l'éventuelle remise en cause du régime des pensions militaires d'invalidité que constituerait une extension du régime d'imputabilité par présomption pour les pathologies radio-induites.

Il appelle l'attention sur le fait que le principe de présomption d'origine devrait être strictement encadré pour ne pas ouvrir la voie à des reconnaissances ou réparations sans fondement scientifique et qui ne bénéficieraient, arbitrairement, qu'à certaines catégories socioprofessionnelles.

## **Recommandation 2**

**Le CSSEN recommande pour le personnel militaire que, si le principe d'une extension de l'imputabilité par présomption d'origine du régime des pensions militaires d'invalidité était retenu pour ce qui concerne les maladies radio-induites, celui-ci n'aille pas au-delà des conditions de reconnaissance prévues par le régime général de la Sécurité sociale et ses systèmes complémentaires.**

Un projet de texte servant de base à la réflexion pourrait être :

"L'imputabilité au service des maladies radio-induites pour les militaires (appelés et militaires de carrière) est déterminée dans les mêmes conditions que la reconnaissance des maladies professionnelles décrites dans le tableau 6 du régime général de la sécurité sociale (affections provoquées par les rayonnements ionisants)."

## 1.2. Suivi sanitaire des populations

Le comité retient le faible niveau général des doses efficaces maximales, de l'ordre de 10 mSv chez l'enfant aux Gambier en 1966 (doses théoriques, calculées en cumulant toutes les hypothèses majorantes identifiées).

Il retient également que certaines doses équivalentes maximales à la thyroïde, toujours chez l'enfant aux îles Gambier, sont de l'ordre de 100 mSv.

Il a par ailleurs été informé de l'état d'inquiétude persistant des populations les plus proches des anciens sites d'expérimentations, ainsi que de certains anciens travailleurs.

Ces populations ont aujourd'hui un sentiment d'abandon du fait que la surveillance médicale assurée par le service de santé des armées s'est interrompue avec l'arrêt des essais.

### Recommandation 3

**Dans le seul but de répondre aux attentes de suivi médical, le CSSEN recommande de proposer aux autorités polynésiennes l'assistance de l'Etat pour assurer un suivi sanitaire des populations vivant aujourd'hui aux Gambier, à Tureia, à Reao et à Pukarua, ainsi que des personnes qui n'y vivent plus mais qui y résidaient entre les années 1966 et 1974.**

**Cette assistance de l'Etat peut s'étendre à des dispositions destinées à assurer un suivi sanitaire des anciens travailleurs polynésiens des sites d'expérimentation entre 1966 et 1998.**

Ce suivi sanitaire pourrait comporter :

- un bilan de santé initial : examen clinique et examens paracliniques en fonction des orientations cliniques,
- un suivi médical annuel.

Le comité complète sa recommandation 3 de la manière suivante :

### Recommandation 4

**Concernant les cancers du corps thyroïde, le CSSEN recommande que les personnes présentes lors des essais aux Gambier en 1966 ou en 1971, ou à Tureia en 1967 et 1971, alors qu'elles étaient enfants de moins de 15 ans, bénéficient d'une prise en charge de leur maladie par l'Etat.**

## **2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX ÉTUDES ET BILANS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE MENÉS**

### **2.1. Etudes concernant les populations**

Les académies des sciences et de médecine, dans leur rapport d'évaluation de l'étude menée par l'INSERM sur la possible relation entre cancers de la thyroïde en Polynésie et essais nucléaires, ont regretté une difficulté d'accès aux données dosimétriques disponibles. Elles ont souhaité que toutes facilités soient données à l'auteur pour qu'il bénéficie du meilleur accès à celles-ci, notamment grâce à une coopération avec le CEA/DAM.

#### **Recommandation 5**

**Le CSSEN recommande que, conformément à la volonté du ministre de la défense, les archives, y compris celles qui sont classifiées, ayant permis les reconstitutions dosimétriques des essais nucléaires atmosphériques visant la population, ou permettant de les vérifier, les évaluer, les préciser ou les compléter, soient rendues accessibles à des experts reconnus et habilités, selon des modalités propres à garantir le respect du secret de défense.**

**Le CSSEN recommande que les conclusions de ces experts soient portées à la connaissance des organismes scientifiques.**

### **2.2. Etudes concernant le personnel**

Le CSSEN considère que, en raison des niveaux de dose estimés ou mesurés et des effectifs en cause, aucune étude épidémiologique chez le personnel potentiellement exposé ne disposera de la puissance nécessaire pour permettre des conclusions statistiquement valides. Cependant, notamment pour répondre à une demande sociétale :

#### **Recommandation 6**

**Le CSSEN recommande qu'un suivi sanitaire du personnel le plus exposé soit mis en place.**

**Il recommande donc que la liste des anciens travailleurs des sites d'expérimentations (avec les données dosimétriques individuelles quand il y a lieu) soit finalisée pour d'éventuels projets d'études, les études épidémiologiques n'étant pas adaptées dans ce cas.**

Le comité note par ailleurs que, en l'état actuel des connaissances, aucune technique de dosimétrie biologique n'est adaptée à une évaluation pertinente des doses auxquelles ont pu être soumis des membres du personnel des sites d'expérimentations, en particulier lors des essais aériens.

### **Recommandation 7**

**Compte tenu des connaissances scientifiques actuelles, le CSSEN constate que les techniques de dosimétrie biologique rétrospective à long terme ne sont pas adaptées à l'évaluation du passé dosimétrique des personnes concernées par les essais nucléaires français.**

Il note toutefois que des développements de ces techniques, et éventuellement d'autres techniques, sont en cours ou annoncés. Ceux-ci pourraient éventuellement être de nature à en faire des examens adaptés, sous réserve de validation.

## **3. PERSPECTIVES**

Un certain nombre d'études et de données évoquées dans ce rapport montrent que les connaissances relatives aux effets à long terme des rayonnements ionisants sont aujourd'hui très évolutives (effets non ciblés et différés, effets tardifs non cancéreux, études épidémiologiques, techniques de dosimétrie biologique rétrospective...).

L'espoir de découvrir des marqueurs spécifiques de certains cancers radio-induits continue d'animer diverses équipes de recherche.

Une évaluation des éventuelles conséquences de ces évolutions possibles, faisant la part des données objectives et des effets d'annonce, est nécessaire.

### **Recommandation 8**

**Le CSSEN recommande qu'à la suite de ce rapport qui clôt le mandat qui lui a été confié, une cellule de veille scientifique soit maintenue, coordonnée par les services des deux coprésidents du comité, avec le concours des pilotes des deux groupes de travail. Le CSSEN pourrait alors être convoqué en tant que de besoin pour émettre un avis sur la prise en compte des évolutions significatives susceptibles d'avoir un impact sur l'évaluation du risque radio-induit.**

**ANNEXES**

<b>Annexe A</b>
-----------------

**SITUATION RADIOLOGIQUE SUR LES ATOLLS DE MURUROA ET DE  
FANGATAUFA  
RAPPORT PRINCIPAL  
Rapport d'un comité consultatif international  
(extraits)**

AIEA  
ISBN 92-0-203498-2  
ISSN

### **13. CONCLUSIONS**

#### **13.1. INCIDENCES POUR LA SANTE HUMAINE**

L'Etude a permis de conclure qu'il n'y aura aucun effet sur la santé qui puisse être diagnostiqué médicalement chez un individu ou décelé dans un groupe par des études épidémiologiques et qui serait attribuable aux doses de rayonnements estimées qui sont reçues actuellement ou qui seront reçues à l'avenir par des personnes du fait des matières radioactives résiduelles présentes à Mururoa et à Fangataufa.

Il a toutefois été noté dans l'Etude que l'incidence signalée du cancer dans les populations de la région du Pacifique Sud et dans le monde entier évolue pour diverses raisons, et notamment à cause de l'amélioration du diagnostic et de l'enregistrement des cas de cancer, de modifications de l'exposition aux agents cancérigènes dans le milieu ainsi que des habitudes individuelles (comme les habitudes alimentaires ou tabagiques); des migrations de population qui modifient les taux de référence pour l'incidence du cancer, et de changements dans l'incidence d'autres maladies. Il est cependant souligné dans l'Etude qu'aux très faibles niveaux de doses estimés dans celle-ci, il n'y aura aucune modification des taux d'incidence du cancer dans la région qui soit attribuable à l'exposition aux rayonnements provoquée par les matières radioactives résiduelles présentes à Mururoa et à Fangataufa.

#### **13.2. INCIDENCE POUR LE MILIEU BIOLOGIQUE**

L'Etude a permis d'évaluer les débits de dose au milieu biologique indigène résultant des matières radioactives résiduelles présentes à Mururoa et à Fangataufa et, dans la grande majorité des cas, il a été constaté qu'ils étaient analogues ou inférieurs aux débits de doses dus aux sources naturelles de rayonnements. Une exception à cela est constituée par les débits de doses potentiellement élevés auxquels pourraient être exposés des individus de certaines espèces du fait du plutonium contenu dans des particules - provenant par exemple, des sédiments du banc de sable adjacent au motu Colette dans la partie nord de l'atoll de Mururoa. L'Etude a permis de conclure que, dans l'ensemble, les débits de doses de rayonnements et les modes d'exposition attendus sont tels qu'ils ne pourraient avoir aucun effet sur des groupes de population du biotope, bien que des individus des espèces puissent occasionnellement subir un détriment, mais pas au point que cela mette en péril l'ensemble de l'espèce ou crée des déséquilibres entre les espèces.

### 13.3. MESURES CORRECTIVES

Etant donné les niveaux d'activité mesurés et prévus de radionucléides et les faibles niveaux de doses estimés pour le présent et pour l'avenir, et compte tenu des recommandations internationales, l'Etude a permis de conclure qu'aucune mesure corrective n'est nécessaire à Mururoa et à Fangataufa pour des raisons de protection radiologique, que ce soit maintenant ou à l'avenir.

### 13.4. SURVEILLANCE

De même, l'Etude a permis de conclure qu'il n'est pas nécessaire de poursuivre la surveillance de l'environnement de Mururoa et de Fangataufa à des fins de protection radiologique.

### 13.5. SOLIDITE DES CONCLUSIONS

Bien que de nombreuses hypothèses aient été faites pour la modélisation des systèmes, les résultats sont solides, c'est-à-dire que l'Etude a permis de conclure que l'ampleur escomptée des changements dans les conclusions du fait des incertitudes sur les paramètres utilisés dans la modélisation est faible. En outre, les doses prévues sont si faibles que des erreurs importantes (même d'un ordre de grandeur) n'influeraient pas sur les conclusions.

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

(Pièce jointe à la décision du 15 janvier 2004)

1 – Il est créé auprès des ministres chargés 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 :

- la 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).

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 C**

**COMPTE RENDU DE LA RÉUNION  
ENTRE L'AVEN ET LE CSSEN  
Mardi 13 juin 2006**

**Références :** Lettre du Président de l'AVEN du 13 février 2006,  
Lettre 3385/DEF/CAB/CM2 du 13 mars 2006,  
Lettre DSND/2006/239 du 12 mai 2006,  
Lettre du Président de l'AVEN du 10 juillet 2006

Comme suite aux courriers cités en références, une délégation de l'Association des Vétérans des Essais Nucléaires (AVEN) a été reçue par le DSND et le CSSEN le 13 juin 2006.

Les participants étaient :

**Pour l'AVEN :**

- Dr. JL. VALATX   Président de l'AVEN
- R.       SENE
- JC.     EGGINTON
- JP.     MASSON

**Pour le CSSEN :**

- Marcel   JURIEN de la GRAVIÈRE   DSND   Coprésident du CSSEN
- Pr Michel BOURGUIGNON       DGSNR   Coprésident du CSSEN
- Dr Dietrich                    AVERBECK   Institut Curie
- Pr Gilles BRUCKER             InVS
- Dr Jean-Baptiste FLEUTOT     DSND/Conseiller santé
- Dr Anne FLURY HERARD        CEA/DSV
- Dr Daniel SCHOULZ            CEA/DAM
- Marcel   VILLENEUVE            DSND/Conseiller communication

La réunion en objet a consisté en une discussion à partir des questions posées par l'AVEN.

**1/** L'AVEN regrette de ne pouvoir disposer d'une liste complète des anciens travailleurs des centres d'essais nucléaires. Elle suggère de s'adresser aux archives militaires ainsi qu'à celles du CEA afin de la constituer.

Un recensement est en cours d'élaboration mais sera difficile à établir, étant donnée la diversité des statuts et des activités qui ont pu être menées au cours du temps. Une demande est adressée aux différentes armées et services en ce sens.

La constitution de cette liste sera soumise à l'autorisation de la commission "informatique et libertés" (CNIL) qui en fixera les limites et les conditions d'utilisation. Il est précisé par ailleurs que les personnes figurant sur cette liste devront en avoir été informées et ne pas s'y être opposées.

L'AVEN attend de cette liste :

- qu'elle constitue un élément de reconnaissance du droit à pension de retraite de certains personnels qui auraient des difficultés à faire prendre en compte leur séjour au Sahara (Cf. question 10),
- qu'elle puisse être utilisée pour réaliser une enquête rétrospective destinée à connaître le nombre réel de vétérans et savoir ce qu'ils sont devenus.

**2/** L'AVEN souhaite une déclassification générale des dossiers relatifs à la radioprotection et la surveillance radiologique des sites d'expérimentation, ces éléments étant, selon elle, suffisamment anciens pour ne plus avoir de caractère confidentiel.

Cette déclassification ne peut pas être effectuée car les données concernées sont incluses dans des documents qui contiennent des informations encore classifiées dans le cadre de la non prolifération, et dont le rassemblement porterait préjudice à celle-ci.

**3/** L'AVEN regrette que certaines listes de maladies professionnelles ne soient pas prises en compte par le CSSEN (liste établie par l'administration américaine).

Le DSND rappelle que le CSSEN n'a pas pour mandat de se prononcer sur des dispositions réglementaires (listes de maladies "reconnues" ou non, à la charge d'autres instances). Ces listes, se fondent sur des données scientifiques, mais aussi sur des considérations d'autres natures qui échappent à la compétence du Comité. Il s'appuie uniquement sur les connaissances scientifiques actuellement établies pour identifier les liens potentiels entre diverses pathologies et l'exposition aux rayonnements ionisants, compte tenu des conditions de cette exposition (circonstances, gammes de doses, type d'exposition ...). Sont considérées comme établies, les données ayant fait l'objet de publications scientifiques reconnues.

**4/** L'AVEN regrette que les avancées les plus récentes en radiobiologie soient insuffisamment prises en compte (instabilité génomique, affections non

cancéreuses, affections transgénérationnelles, effets d'expositions chroniques...).

Les données scientifiques prises en compte sont, comme indiqué plus haut, celles qui sont consolidées (ayant fait l'objet d'articles dans les publications scientifiques reconnues).

Ces données sont bien sûr susceptibles d'évoluer avec le progrès des connaissances. Elles sont prises en compte au fur et à mesure qu'elles sont suffisamment étayées pour être admises par la communauté scientifique.

Certaines affections citées par l'AVEN sont actuellement des pistes de recherche qui demandent encore à être confirmées.

Un document synthétique majeur est attendu pour la fin 2006. Il s'agit d'un rapport de l'UNSCEAR (non encore publié) comprenant des synthèses notamment sur :

- les études épidémiologiques des cancers après irradiation,
- les études épidémiologiques des affections non cancéreuses après irradiation, notamment les maladies cardio-vasculaires,

ainsi que deux documents sur des effets et mécanismes biologiques portant sur les effets non ciblés des rayonnements et sur la réponse du système immunitaire aux radiations.

Les principales conclusions semblent devoir être les suivantes :

- La relation entre l'irradiation et la survenue d'affections cardiovasculaires, se manifestant après plusieurs années ou décennies, ne serait établie que pour des doses élevées (supérieures 1 Gy). Les études considérant des doses inférieures à 1Gy concluent toutes à l'absence de relation entre irradiation et affection cardio-vasculaire.
- Les études épidémiologiques récentes portant sur les relations dose-effet sont en accord avec les résultats des publications précédentes. Le niveau de risque n'est pas modifié.
- Les études portant sur le risque de cancer en fonction de l'organe permettent de classer les tissus et organes en trois catégories de radiosensibilité :
  - 1 - ceux montrant une relation dose-réponse à des doses de l'ordre de 100 mSv : linéaire quadratique pour les leucémies hors LLC, linéaire pour le colon, le sein, le poumon, les cancers de la peau hors mélanomes malins, thyroïde (si l'exposition a lieu pendant l'enfance),
  - 2 - ceux pour lesquels des études indiquent un excès de risque sans qu'il soit possible de caractériser la forme de la relation dose-effet : foie, vessie, glandes salivaires, œsophage, estomac, ovaire, SNC (tumeurs bénignes et malignes) ou pour lesquels le risque apparaît après de fortes doses (inférieures à 1 Gy, plus souvent supérieures à 10 Gy) : intestin grêle, rectum, squelette et tissu conjonctif, utérus, rein,
  - 3 - ceux pour lesquels il n'y a pas d'augmentation de risque observée après exposition aux rayonnement ionisants : pancréas, mélanome malin. On peut également y inclure le myélome multiple, la maladie de Hodgkin et les lymphomes non hodgkiniens mais avec un moindre degré de validation compte tenu des hétérogénéités de classification et de recueil des données.

- Les risques d'effets héréditaires seront traités à part dans la mesure où aucun excès de pathologies héréditaires n'a été constaté chez l'homme, même dans les groupes dans lesquels un excès de cancers est observé. Ceci est en relation avec l'efficacité du contrôle de la gamétogenèse et des premiers stades de l'embryogenèse qui tend à éliminer tout gamète ou produit de fécondation porteur d'anomalie. D'une manière générale, on constate depuis plusieurs décennies une baisse de la fertilité masculine, d'étiologie probablement multifactorielle.

Les données sur les expositions chroniques proviennent essentiellement des études épidémiologiques dans des conditions d'irradiations naturelles élevées, qui ne mettent pas en évidence d'augmentation de risque de pathologies cancéreuses et héréditaires.

Les données sur l'exposition chronique, à de faibles concentrations de radionucléides ayant un turn-over rapide dans l'organisme (iode, césium, tritium), sont limitées à quelques études expérimentales à partir desquelles il est prématuré de tirer des conclusions.

- 5/** L'AVEN suggère un certain nombre d'études épidémiologiques ciblées (évacuations sanitaires de travailleurs du CEP sur les hôpitaux polynésiens, métropolitains ou du Pacifique, liste des personnels demandée à la question 1).

L'InVS rappelle que les études épidémiologiques comprennent une incertitude en fonction de l'effet et des effectifs observés. En particulier, un effectif trop faible, comme ce serait le cas, ne permettrait vraisemblablement aucune conclusion. Par ailleurs, les pathologies observées (cancers en particulier) sont des maladies multifactorielles pour lesquelles la part éventuelle de l'exposition aux rayonnements ionisants ne pourrait être formellement établie.

Par exemple, les diagnostics de cancers de la thyroïde en métropole augmentent depuis 30 ans (début de l'étude), et montrent une dispersion sans relation avec les zones de retombées les plus fortes après l'accident de Tchernobyl.

Ces constatations n'interdisent pas d'entreprendre une étude purement descriptive, qui ne permettrait cependant pas de tirer des conclusions scientifiquement significatives.

- 6/** L'AVEN met en cause la fiabilité de la dosimétrie passive externe pratiquée à l'époque des essais.

Elle s'appuie, pour la dosimétrie externe, sur un article scientifique (Thierry Chef). En fait, l'article en question précise que les dosimètres français de l'époque avaient tendance à surestimer les doses et que leur imprécision concernait essentiellement la reconstitution d'expositions hétérogènes, la dose moyenne restant correcte.

- 7/** L'AVEN regrette que la contamination interne n'aie pas fait l'objet de mesures suffisantes, en quantité et en qualité (non mesure d'émetteurs alpha ou bêta...).

Le CEA comme les armées, chacun pour ce qui le concerne, dispose de plusieurs milliers d'exams d'anthropogammamétrie et radiotoxicologie, systématiques aux arrivées et départs des sites d'expérimentation.

Ces mesures, centrées sur les émetteurs gamma, reflétaient l'ensemble des rayonnements ionisants dans la mesure où les matières radioactives issues de l'essai étaient un mélange connu des émetteurs des différents rayonnements.

L'expérience des suivis simultanés de la dosimétrie externe et interne, chez une même personne, montre que l'exposition externe est très largement prépondérante sur l'exposition interne.

L'AVEN met en doute ces considérations et demande la publication des résultats de dosimétrie externe, anthropogammamétrie et radiotoxicologie quand celles-ci concernent la même personne.

De telles publications doivent tenir compte de la confidentialité médicale.

**8/** L'AVEN demande qu'une dosimétrie biologique rétrospective, fondée sur l'étude des translocations en particulier, soit instituée pour tous les vétérans.

La satisfaction de cette demande relève d'une entente entre le demandeur (AVEN) et le laboratoire (IRSN).

Deux techniques sont actuellement privilégiées, qui toutes deux sont des dosimétries cumulatives, intégrant l'ensemble des expositions passées (environnementales, médicales, professionnelles) :

- Recherche de translocations (fish, fish 3), dont le seuil est d'environ 300 mGy, augmentant avec l'âge, et n'est pas spécifique, comme le précise d'ailleurs l'IRSN dans un récent rapport au CSSEN. Il est actuellement préconisé d'associer à cette technique simultanément le dénombrement des aberrations instables (dicentriques et anneaux) ainsi que d'effectuer en parallèle des tests globaux de lésions de l'ADN (test comet).
- La RPE, dont le seuil est 100 mGy, est une technique invasive (prélèvement de fragments d'os ou de dent). Les facteurs confondants sont les UV, les altérations et lésions inflammatoires locales.

Il est clair, de l'aveu même de l'IRSN qui pratique ces examens en France, que ces techniques ne témoignent, en l'état actuel des connaissances, que d'un passé exposé à divers facteurs génotoxiques dont les rayonnements ionisants ne sont qu'un exemple.

L'IRSN rend ses résultats en précisant qu'il s'agit de doses qui, "si elles étaient uniquement dues aux rayonnements ionisants, seraient...", mais n'affirme aucun résultat dosimétrique vrai.

L'AVEN regrette néanmoins que l'IRSN, dans ses compte rendus les plus récents, ne mentionne plus la dose calculée à partir du nombre de translocations.

- Elle regrette également que l'IRSN ne réalise plus l'étude de dicentriques quand une dosimétrie biologique rétrospective lui est demandée.

La réponse est à rechercher auprès de l'IRSN.

D'autres études (Al. Rowland) sont annoncées mais n'ont à notre connaissance pas fait l'objet d'articles scientifiques à ce jour. Leur publication est attendue avec attention par le CSSEN pour pouvoir être appréciées et prises en compte.

**9/** L'AVEN fait état de témoignages de vétérans qu'elle souhaite voir pris en considération par le CSSEN et le DSND dans leurs analyses :

M. Masson témoigne qu'au cours de son affectation sur le CLEMENCEAU en 1968, il a participé à l'accueil et à la décontamination d'avions ayant pénétré ou côtoyé les nuages issus des essais aériens, ainsi qu'à la réception de "capsules de prélèvement dans ces nuages".

Le Dr Valatz fait état de contamination des circuits d'eau des navires séjournant sur place lors des campagnes d'essais aériens.

Ces témoignages seront inclus dans les investigations menées par le DSND pour vérifier ou reconstituer les faits de cette époque.

**10/** L'AVEN émet enfin quatre demandes particulières :

- Est-il possible d'évaluer les doses reçues par les populations sahariennes, ainsi que cela vient d'être fait pour les populations polynésiennes ?

Cette évaluation, si elle est réalisable, sera très imprécise, du fait de l'ancienneté des essais et du caractère nomade de ces populations qui restent peu nombreuses.

- Est-il possible de pratiquer, à l'occasion d'une prochaine intervention chirurgicale osseuse, une dosimétrie biologique (RPE) sur un pilote qui affirme avoir pénétré dans le nuage radioactif à l'issue d'un essai ?

La question doit être posée au laboratoire susceptible de réaliser l'examen, à l'initiative de l'intéressé.

- Peut-on connaître le nombre d'évacuations sanitaires en métropole et en Nouvelle Zélande et en connaître les raisons ?

La question pourra être étudiée dans le respect de la confidentialité médicale. Cette demande rejoint la question 5.

- Est-il possible de prendre en compte pour les droits à retraite les trimestres effectués en Polynésie par les "engagés de moins de 15 ans" travaillant ensuite dans les entreprises privées (ce qui leur est actuellement refusé), comme c'est le cas pour ceux qui travaillent dans la fonction publique ? Cette demande rejoint la question 1.

La question échappe au mandat du CSSEN.

Elle mérite d'être posée au bureau des retraites du service des pensions des armées.

Pour conclure la réunion, il a été convenu d'une nouvelle rencontre entre le CSSEN et l'AVEN en fin d'année 2006.

<b>Annexe D</b>
-----------------

<b>COMPTE-RENDU DE LA REUNION ENTRE LE CSSEN ET L'AVEN le 23 JANVIER 2007</b>
---

**Références :**

- Lettre du président de l'AVEN du 13 février 2006
- Lettre 3385/CAB/CM2 du 13 mars 2006
- Lettre du président de l'AVEN du 10 janvier 2007
- Lettre du président de l'AVEN du 5 février 2007

Comme suite aux courriers cités en références, une délégation de l'Association des vétérans des essais nucléaires (AVEN) a été reçue par le DSND et le CSSEN le 23 janvier 2007.

Les participants étaient :

**Le co-président du CSSEN**

M. M. JURIEN de la GRAVIÈRE (DSND)

**Pour l'AVEN :**

Dr. J.L. VALATX (Président)  
M. M. VERGER  
M. R. SENE  
M. J.P. MASSON

**Pour le CSSEN :**

Dr. A. FLURY HERARD (CEA/DSV)  
MC. F POIRRIER (DSCEN)  
MC. J.B. FLEUTOT (DSND)  
M. M. VILLENEUVE (DSND)

La réunion a consisté en une discussion à partir des thèmes proposés par l'AVEN, dans sa lettre du 10 janvier 2007 citée en référence.

**1/ Présentation du rapport du CSSEN, avant sa publication :**

Le rapport sera finalisé dès la parution officielle du dernier rapport de l'UNSCEAR (sur les relations doses-effets) dont le projet de contenu a été largement pris en compte pour les premières recommandations du CSSEN.

Ce rapport comprendra une partie relative aux maladies susceptibles d'être radioinduites, s'appuyant sur les publications scientifiques reconnues (au moins publiées dans une revue à comité de lecture). Les appuis principaux seront les rapports de l'UNSCEAR en cours de publication.

Les articles non publiés dans une revue scientifique à comité de lecture ne peuvent pas être retenus par le comité.

L'AVEN souligne qu'elle tient à ce que toutes les maladies susceptibles d'être radioinduites soient indiquées dans le rapport du CSSEN, ainsi que les éléments de l'UNSCEAR sur les effets non ciblés.

Le CSSEN a mis en forme, en fin d'année 2006, des premières propositions de recommandations aux ministres concernés.

Ces propositions seront rendues publiques par les ministres dès lors qu'ils en auront traduit les décisions à prendre.

Elles s'organisent autour de deux axes principaux :

- un suivi médical des populations des atolls les plus proches des sites d'essais du Pacifique ainsi que des personnes, résidant aujourd'hui à Tahiti, qui y séjournaient pendant la période des essais aériens, ainsi qu'un suivi des anciens travailleurs des sites d'essais,
- la constitution d'une liste des anciens travailleurs des sites d'essais (CEP et Algérie).

La recommandation d'études épidémiologiques, tant parmi les anciens travailleurs que dans la population, n'a pas été reprise car les effectifs concernés, associés aux niveaux de dose estimés, confèreraient à ces études une puissance insuffisante pour conclure.

Ceci n'interdit pas des études de mortalité par exemple.

A ce sujet, l'AVEN se déclare plus intéressée par des études sur la recherche d'une surreprésentation de certaines maladies présentées par les vétérans par rapport à la population française du même âge que par des études "dose-effet".

La réponse des académies de médecine et des sciences à la saisine faite par le ministre de la défense, au sujet de l'étude à caractère épidémiologique de type cas témoins sur les cancers de la thyroïde en Polynésie par une unité de l'INSERM, est attendue.

## **2/ Etat de la liste des personnels ayant travaillé sur les sites d'expérimentation nucléaire :**

L'AVEN demande des précisions sur l'état de constitution de cette liste, sur les réponses de la CNIL en matière d'accessibilité de cette liste, entre autres dans la perspective d'une étude visant à connaître le devenir de ces personnels (mortalité, morbidité...).

Le CSSEN confirme que cette liste est en cours de constitution mais que cette opération se heurte à des difficultés liées à l'ancienneté des faits et au suivi plus difficile des personnels de la défense (passages plus nombreux et rapides).

Il vise une liste de l'ordre de 80 000 personnes . Cette liste est celle qu'il est possible d'établir pour la fin du premier semestre 2007.

Ce fichier sera déclaré à la CNIL par le CSSEN.

Il pourra être mis à la disposition des organismes scientifiques éventuellement sollicités par des associations, sur acceptation par la CNIL d'un dossier déposé auprès d'elle par ces organismes, précisant en particulier l'étude envisagée et son but.

L'AVEN suggère un certain nombre de pistes de recherche pour compléter la liste par la suite.

## **3/ Documents relatifs aux essais du SAHARA :**

L'AVEN souhaite disposer d'une documentation concernant les essais menés au Sahara, similaire à la documentation remise aux associations par le DSND, relative aux essais réalisés au CEP, lors de ses missions de 2006 en Polynésie.

La réalisation de documents d'information est en cours au ministère de la Défense. Ils seront rendus publics dans les mêmes conditions que ceux traitant des essais en Polynésie.

#### **4/ Levée du secret défense des rapports SMSR, SMCB, GOEN des campagnes du Sahara et du CEP :**

Le DSND confirme que les documents actuellement classifiés le resteront car ils contiennent des éléments considérés comme proliférants.

L'AVEN s'étonne de ce que des documents aussi anciens soient encore considérés proliférants, les connaissances dans ce domaine ayant considérablement évolué depuis.

Le DSND rappelle que, conformément aux engagements pris par Madame le ministre de la défense devant le Parlement, des experts souhaitant vérifier les données à des fins d'études sanitaires, dûment habilités, pourront avoir accès à ces documents, y compris leurs parties confidentielles.

#### **5/ Demande de dosimétrie biologique pour tous les personnels :**

L'AVEN demande que l'ensemble des vétérans des essais puisse bénéficier d'une dosimétrie biologique rétrospective.

Le CSSEN fait observer que les méthodes actuelles de dosimétrie biologique ne permettent pas de réaliser une dosimétrie valide pour des expositions anciennes (plus de 10 ans). Une fiche du CSSEN relative à la dosimétrie biologique rétrospective est remise en séance.

L'AVEN se demande cependant si cette dosimétrie ne pourrait pas détecter "des irradiations ou contaminations chroniques à faibles doses".

#### **6/ Suivi médical du personnel et de leur famille :**

L'AVEN, affirmant qu'il existe un excès de maladies chez les anciens travailleurs des sites et d'anomalies dans leur descendance, s'inquiète de savoir dans quelles conditions pourra être assuré un suivi médical de ces anciens travailleurs et de leur famille.

Les anciens travailleurs devraient normalement bénéficier des dispositions réglementaires nationales relatives au suivi post professionnel des personnels ayant été professionnellement exposés (code du travail).

Un projet de suivi de ces anciens travailleurs en Polynésie figure dans les propositions de recommandations du CSSEN (Cf. question 1).

L'AVEN, considérant que ce suivi n'est applicable qu'aux personnels civils, demande quelles recommandations, spécifiques aux anciens militaires, pourraient être proposées.

Il n'est pas prévu de suivi spécifique des familles. Pour le CSSEN, l'allégation d'un excès d'anomalies dans la descendance de ces anciens travailleurs n'est aujourd'hui fondée sur aucune base scientifique.

L'AVEN demande, en fait, un suivi médical de type "pharmacovigilance", susceptible de mettre en évidence une surreprésentation éventuelle d'anomalies dans cette descendance.

#### **7/ Rapports de l'UNSCEAR :**

Une présentation des rapports de l'UNSCEAR en instance de publication est faite par le docteur Anne FLURY-HERARD, qui a participé à leur rédaction et correction.

Le détail de cette présentation sera repris dans le futur rapport du CSSEN.

L'UNSCEAR effectue des analyses à froid pour faire un bilan de l'état actuel de la science fondé sur les publications validées au moins par leur parution dans des revues scientifiques à comité de lecture.

Deux rapports importants sont attendus :

- Une actualisation des données épidémiologiques sur les cancers susceptibles d'être radioinduits,
- Une épidémiologie des maladies non cancéreuses, focalisée sur la mortalité par maladies cardio-vasculaires.

En réponse aux questions de l'AVEN, il est précisé que :

- ✓ ces rapports n'apportent pas d'éléments nouveaux concernant le problème des faibles doses.
- ✓ l'UNSCEAR n'apporte pas de conclusions orientant vers une modification de l'estimation du risque radiologique qui serait déterminée par la prise en compte d'effets non ciblés. Ceux-ci ont été évoqués en séance par l'AVEN, qui souhaite les voir figurer explicitement dans le futur rapport du CSSEN.

## **8/ Questions diverses :**

L'AVEN s'inquiète de la règle du code des pensions militaires d'invalidité selon laquelle la présomption d'origine d'une maladie survenue lors du service, s'applique uniquement aux appelés et dans un délai d'apparition de 60 jours après la cessation de service. Ce délai est inadapté aux maladies cancéreuses, d'apparition beaucoup plus tardive.

Le CSSEN indique que cette disposition n'est pas exclusive de l'application des autres dispositions du code des pensions (imputabilité par preuve sans liste limitative de maladies), passé ce délai.

L'AVEN demande que les recommandations du CSSEN comprennent une modification du code des pensions militaires d'invalidité en faveur d'une imputabilité par présomption étendue, et une recommandation visant à compléter le tableau 6 des maladies professionnelles.

L'AVEN évoque la possibilité que l'Etat décerne aux vétérans des essais un titre de reconnaissance, qui ouvrirait droit à un régime particulier de suivi médical, de soins et de réparations éventuelles. Elle espère que le rapport du CSSEN apporte une réponse à ce sujet.

L'AVEN relate enfin le cas de troupes mises en place pour effectuer des manœuvres pendant une explosion nucléaire au SAHARA.

Le document du ministère de la Défense précité (point 3) apportera des précisions sur les conditions de ces manœuvres.

## Annexe E

### Relation entre irradiation et risque de cancers en fonction de l'organe et du tissu (UNSCEAR 2006)

**Groupe 1** : tumeurs pour lesquelles :

- La relation irradiation-excès de cancers est observée dans de nombreuses études (survivants d'Hiroshima-Nagasaki = LSS pour Life Span Study, études multiples chez des patients irradiés pour des pathologies bénignes ou malignes, études sur plusieurs cohortes professionnellement exposées),
- La forme de la **relation Dose-Effet dès des doses de ~100 mSv** et l'estimation quantitative du risque sont confirmées,
- **Les valeurs chiffrées (Excès de Risque Relatif à 1 Sv) correspondent toujours à la valeur de l'incidence dans la cohorte LSS (survivants d'Hiroshima-Nagasaki).**

Cancer	Caractéristiques	Etudes	ERR à 1 Sv (LLS)	Remarques
Leucémies sauf leucémie lymphoïde chronique (considérée comme non radioinduite)	Proliférations malignes de cellules de la moëlle osseuse de différents types : - aiguë lymphoïde plus fréquente chez l'enfant ; - aiguë myéloïde, plus fréquente chez l'adulte ; - myéloïde chronique, surtout chez l'homme jeune.	- LSS - Patients - Travailleurs exposés (externe et interne)	4,84 (3,59-6,44)	Latence courte (2 à 15 ans) Age dépendant Relation linéaire quadratique Autres facteurs : génétiques, infections? (LAL), benzène (LAM et LMC), tabac?
Sein (femme)	Tumeurs fréquentes chez les femmes de pays développés, 2 à 3 fois plus qu'en Afrique ou Asie. Augmentation de la fréquence avec l'âge.	- LSS ; - Patients : exposition pendant l'enfance ou à l'âge adulte ; - Travailleuses.	1,49 (1,17-1,85) ERR diminue quand l'âge à l'exposition augmente	Âge dépendant Relation linéaire Autres facteurs : hormonaux +++ (première grossesse, nombre de grossesses...), statut pondéral, tumeurs bénignes, génétique.
Thyroïde (cancers du corps thyroïde)	Moins de 2% des cancers, survenue rare chez l'enfant, 3 fois plus fréquent chez la femme.	- LSS - Patients : exposition pendant l'enfance ou à l'âge adulte - Travailleurs	7,7 (2,1-28,7) ERR établi sur 5 études d'exposition pendant l'enfance Diminution du risque quand l'âge à l'exposition augmente	Forte sensibilité pendant l'enfance Relation linéaire Effet de dépistage chez l'adulte Autres facteurs : Hormonaux, apport moyen en iode stable, antécédents gynécologiques (nombre de grossesses et fausses couches)
Peau (sauf mélanome malin)	Tumeurs fréquentes dans les populations de faible pigmentation cutanée. En forte augmentation (15 à 20% par décennie)	- LSS - Patients : exposition pendant l'enfance ou à l'âge adulte	1,33 (0,89,1,88) Excès de risque pour le type basocellulaire avec ERR qui décroît quand l'âge à l'exposition augmente	Relation surtout si exposition pendant l'enfance Dosimétrie incertaine (cofacteur des UV?) Autres facteurs : UV +++ Cancérogènes chimiques (arsenic, hydrocarbures polycycliques aromatiques, psoralènes), tabac?, Alimentation, Génétique Immunosuppression
Poumon	Cancer fréquent avec des taux plus élevés dans les pays développés Les variations reflètent la consommation tabagique	- LSS - Patients - Travailleurs - Exposition externe et interne	0,69 (0,49-0,92) Excès de risque avec tous les types de radiations. Peu de réduction de l'ERR quand l'âge à l'exposition augmente	Risque radioinduit plus élevé chez la femme Effet du radon, interaction avec le tabac Autres facteurs : tabac
Colon	Fréquence élevée dans les pays développés	- LSS - Patients (traitements de tumeurs bénignes ou malignes) - travailleurs	0,64 (0,42-0,9) Relation linéaire ERR/Sv diminue quand l'âge à l'exposition augmente	ERR basé sur LSS Incertitude sur la validité du risque aux faibles doses (travailleurs) et très fortes doses (radiothérapie) Pas de cancers du rectum Autres facteurs : génétique +++, alimentaires, inflammatoires

**Groupe 2 : tumeurs pour lesquelles :**

- des études indiquent un excès de **risque sans qu'il soit possible de caractériser la forme de la relation dose-effet** : glandes salivaires, œsophage, estomac, foie, vessie, ovaire, Système Nerveux Central (tumeurs bénignes et malignes),
- ou le risque apparaît uniquement après de fortes **doses (> 1 Gy, plus souvent > 10 Gy)** : intestin grêle, rectum, squelette et tissu conjonctif, utérus, rein.

Cancer	Caractéristiques	Etudes	ERR moyen à 1 Sv	Remarques sur le niveau, les facteurs de risque
Glandes salivaires	Taux spontané faible Plus élevés : Canada, Australie Plus faible : Martinique	- LSS - Traitement pendant l'enfance - exposition professionnelle (~pas de résultat)	Très variable selon l'étude variation importante d'une étude à l'autre  - <b>difficile d'établir une relation D-E</b>	- Susceptibilité aux radiations (gamma, X) - ~pas de modification selon âge à l'exposition, sexe, temps depuis l'exposition <u>Autres facteurs</u> : ?
oesophage	Taux spontané variable, faible en Europe et très élevé en Chine	- LSS - travailleurs - patients traités	<b>pas de données suffisantes pour établir une relation D-E</b>	Peu d'études + Susceptibilité aux radiations dans la cohorte japonaise <u>Autres facteurs</u> : alcool++, tabac, mastication de noix de betel .
estomac	Taux spontané H>>F Très variable selon groupe ethnique et pays	- LSS - Patients traités pour ulcère gastrique - travailleurs	Variable selon le type d'études : + pour LSS, patients traités pour ulcère ou traités par radium, thorotrast - travailleurs	Dépendant du sexe <u>Autres facteurs</u> : génétiques, diététique, infection par <i>Helicobacter pylori</i>
foie	Taux spontané élevé en Afrique et Asie, plus rare en Europe et Amérique du Nord Cancer hépatocellulaire en majorité Homme>>Femme	- LSS - Patients - travailleurs	0,41(0,22-0,63)	<b>Données + pour la LSS, et expo au thorotrast ; autres études ~négatives (patients, travailleurs)</b> Interaction radiation/ hépatite ? Après Thorotrast : type de cancer différent (cholango carcinome-angiosarcome) <u>Autres facteurs</u> : alcool, virus, cirrhose, expo aux aflatoxines
vessie	Moins de 5% des cancers avec des taux plus élevés en Europe et Amérique du Nord Homme>>Femme	- LSS - Patients - travailleurs	0,92(0,46-1,50)	<b>Relation D-E pour la LSS et après expo à forte doses (radiothérapie)</b> <b>Pas de relation D-E dans les études travailleurs</b> <u>Autres facteurs</u> : TABAC, exposition aux amines aromatiques, arsenic, infections ?
Ovaire	1à2% des tumeurs chez la femme dans les pays développés	- LSS - Patientes (cancer du col de l'utérus, pathologies gynécologiques bénignes)	0,61(0,08-1,35) Dans la LSS, un excès significatif est observé pour les expositions avant l'âge de 10 ans ou après 40 ans Pas d'excès significatif pour toutes les études médicales.	<b>La LSS indique une association possible entre radiations et cancer de l'ovaire</b> <u>Autres facteurs</u> : facteurs hormonaux++ (âge à la première grossesse, nombre de grossesses, ...), génétique, exposition à l'amiante ? , au talc ?
Cerveau et système nerveux central	Différents types de tumeurs : gliomes, méningiomes, schwannomes (tumeurs bénignes), Les différents types de tumeurs ne sont pas toujours identifiés et toutes ces tumeurs peuvent mettre en jeu le pronostic vital	- LSS - Patients - travailleurs (expo externe /interne)	1	Les radiations peuvent induire des tumeurs cérébrales, surtout <b>bénignes</b> (schwannomes) <b>Homme&gt;&gt; Femme</b> Le risque est plus élevé lors d'une <b>irradiation pendant l'enfance</b> Les tumeurs malignes radio-induites sont observées pour des doses élevées (radiothérapie)

	(inopérabilité, compression dans la boîte crânienne)			<u>Pas de facteur particulier identifié</u>
Os et tissu conjonctif	Os : ~0,5% et tissu conjonctif ~1% des tumeurs avec peu de variations géographiques	- LSS - Patients - travailleurs (expo externe /interne)	LSS : risque + chez l'homme exposé <b>avant l'âge de 20 ans</b> Formes variables de la relation D-E Peu d'évidence de risque aux faibles doses (<1Gy)	Risque + de Sarcome osseux aux <b>fortes doses (&gt;1Gy)</b> après irradiation X, gamma, alpha Risque de sarcome osseux plus élevé quand l'exposition a lieu pendant l'enfance <u>Autres facteurs</u> : génétique ; chrome ?, nickel ?
utérus	Comprend à la fois les cancers du corps utérin relativement rares et ceux du col de l'utérus plus fréquents	- LSS - Patientes (cancer du col de l'utérus, pathologies gynécologiques bénignes)		<b>Pas d'association radiation – cancer pour le cancer du col de l'utérus</b> Pas de relation D-E pour le cancer du <b>corps utérin</b> , peut-être un effet aux <b>doses &gt;10Gy</b> <u>Autres facteurs</u> : papillomavirus, tabac (cancer du col), facteurs hormonaux, statut pondéral, (cancer du corps utérin)
Intestin grêle	Tumeur rare	- patients traités par radiothérapie	<b>Pas de relation D-E</b>	<b>Risque + ? après de fortes doses (&gt;qq Gy)</b> <u>Autres facteurs</u> : génétique++, divers cancérogènes après expo à de fortes doses
rectum	Taux spontané : ~1/2 de celui du colon, plus fréquent dans les pays développés	- LSS - patients - travailleurs	<b>Pas de relation D-E</b>	Pas d'information pour D<1Gy <b>Risque + après doses &gt;10Gy</b> <u>Autres facteurs</u> : mêmes facteurs de risque que pour le colon
rein	Plus fréquent dans les pays développés	- LSS - patients - travailleurs	<b>Pas d'ERR significatif quelle que soit l'étude</b>	<b>Risque ?? après doses élevées (radiothérapie)</b> <u>Autres facteurs</u> : génétique, tabac, obésité, hypertension, maladies rénales. L'exposition aux métaux lourds est un facteur suspecté mais non prouvé

**Groupe 3** : tumeurs pour lesquelles :

- il n'y a **pas d'augmentation de risque** observé après exposition aux rayonnements ionisants : pancréas, mélanome malin, prostate,
- le myélome multiple, la maladie de Hodgkin et les lymphomes non hodgkiniens ne montrent pas non plus de relation avec l'irradiation mais le niveau de validation est moindre compte tenu des hétérogénéités de classification et de recueil des données.

Type de cancer	Caractéristiques	Etudes	ERR moyen à 1 Sv	Remarques sur le niveau, les facteurs de risque
pancréas	Tumeur rare, peu de variations géographique ou entre H et F	- LSS - travailleurs - patients traités		<b>Pas de relation validée entre radiation et cancer pancréatique</b> , quel que soit le type d'irradiation <i>Autres facteurs</i> : Tabac, alimentation, café et alcool
Mélanome malin cutané	Tumeur rare, 10 fois moins fréquente que les autres types de tumeurs cutanées, <u>en augmentation</u>	- LSS - travailleurs - patients traités		<b>Pas de relation apparente entre radiations ionisantes et mélanome malin</b> <i>Autres facteurs</i> : UV+++ et déplétion de l'ozone atmosphérique, génétique (pigmentation cutanée +++), exposition cumulée aux UV, facteurs hormonaux et immunitaires
prostate	Taux spontané élevé en Europe, Afrique, Amérique Très variable selon groupe ethnique et pays	- LSS - Patients - nombreuses études chez les travailleurs	Pas d'ERR significatif	<b>Pas de relation D-E</b> <i>Autres facteurs</i> : génétiques, diététiques, hormonaux
Lymphome non hodgkinien	Prolifération maligne de lymphocytes de différents types. Les taux spontanés augmentent dans tous les pays ; la fréquence globale augmente avec l'âge	- LSS - Patients - travailleurs	Pas d'ERR significatif	Risque incertain ; effet des fortes doses ? immunosuppression ? <i>Autres facteurs</i> : virus, immunosuppression (acquise par traitement), professions agricoles ?
Lymphome Hodgkinien	Se distingue des autres lymphomes par la présence de cellules géantes dans les tumeurs Fréquence globale stable depuis plusieurs décennies	- LSS - Patients - travailleurs	Pas d'ERR significatif	<b>Pas d'indication de relation avec l'irradiation, mais les données sont relativement peu nombreuses et hétérogènes</b> <i>Autres facteurs</i> : virus, immunodéficience, génétique
Myélome multiple	Prolifération maligne de cellules lymphoïdes avec augmentation de protéines monoclonales circulantes. Plus fréquent chez l'homme, le taux spontané est très variable selon les pays	- LSS - Patients - travailleurs	Pas d'ERR significatif	<b>Pas d'indication de relation avec l'irradiation, mais les données sont relativement peu nombreuses et hétérogènes</b> <i>Autres facteurs</i> : associé à maladies auto-immunes

## Annexe F

### Exemples de taux les plus hauts et les plus bas de cancers évalués dans diverses populations

Localisation de cancer	Sexe	Incidence élevée de cancer		Faible incidence de cancer	
		Population	Taux	Population	Taux
Naso-pharynx	Hommes	Hong Kong Singapour Etats-Unis (Chinois) San Francisco (Chinois)	24.3 18.5 11.6	Canada, Nouvelle-Écosse Etats-Unis, Nouveau-Mexique (blanc Non-Hispanique) Irlande du sud	0.1 0.2 0.2
	Femmes	Hong Kong Singapour (Chinois) Canada nord-ouest	9.5 7.3 5.1	Royaume-Uni sud-ouest Finlande Norvège	0.1 0.1 0.1
Œsophage	Hommes	Etats-Unis, le Connecticut (noir) Hong Kong France, Haut-Rhin	20.1 14.2 14.2	Israël (non-Juifs) Italie, Sicile (province de Raguse) Thaïlande, Chiang Mai	0.5 1.0 2.3
	femmes	L'Inde, Bombay Chine, Tianjin Royaume-Uni, Ecosse ouest	8.3 6.2 5.2	Etats-Unis, Nouveau Mexique (indiens) Espagne, Tarragona Israël (non-juifs)	0.2 0.2 0.2
Estomac	Hommes	Japon, Yamagata Chine, Shanghai Italie, Romagna	95.5 46.5 39.3	Etats-Unis, Atlanta (blanc) Israël (non-juifs) Thaïlande, Chiang Mai	5.2 6.8 7.5
	Femmes	Japon, Yamagata Italie, Romagna Chine, Shanghai	40.1 22.8 21.0	Etats-Unis, Iowa Israël (non-juifs) Canada, Saskatchewan	2.2 3.2 3.7
Colon	Hommes	Etats-Unis, Detroit (noir) Etats-Unis, Hawaii (Japonais) Japon, Hiroshima	35.0 34.4 31.6	Inde, Madras Thaïlande, Chiang Mai Pérou, Trujillo	1.8 4.2 4.4
	Femmes	Nouvelle Zélande (non-Maori) Canada, Terre-Neuve Etats-Unis, Detroit (noir)	29.6 28.1 27.9	Inde, Madras Thaïlande, Chiang Mai Singapour (Indien)	1.3 3.7 4.7
Foie	Hommes	Japon, Osaka Chine, Shanghai Etats-Unis, Los Angeles (Coréen)	46.7 28.2 23.9	Canada, Île De Prince Edouard Pays-Bas, Eindhoven Royaume-Uni, sud-ouest	0.7 1.3 1.6
	Femmes	Japon, Osaka Chine, Shanghai Thaïlande, Chiang Mai	11.5 9.8 9.7	Australie, Tasmanie Canada, Prince Edward Island Inde, Madras	0.3 0.3 0.5
Poumon et bronche	Hommes	Etats-Unis, New Orléans (noir) Nouvelle Zélande (Maori) Canada, Nord-ouest	110.8 99.7 90.3	Etats-Unis, Nouveau Mexique (American Indien) Pérou, Trujillo Inde, Madras	10.3 11.9 12.6
	Femmes	Nouvelle Zélande (Maori) Canada, Nord-ouest Etats-Unis, San Francisco (noir)	72.9 65.6 44.3	Inde, Madras Espagne, Zaragoza Malte	2.4 2.7 3.4
Mélanome de peau	Hommes	Australie, Nouveau Pays de Gales sud Nouvelle Zélande (non-Maori) Etats-Unis, Hawaii (blanc)	33.1 25.0 19.5	Japon, Osaka Chine, Shanghai Inde, Bombay	0.2 0.3 0.4
	Femmes	Nouvelle Zélande (non-Maori) Australie, Nouveau Pays de Gales sud Autriche, Tyrol	29.8 25.7 15.6	Japon, Osaka Chine, Shanghai Inde, Bombay	0.2 0.3 0.3
Sein	Femmes	Etats-Unis, Los Angeles (Non-Hispanique blanc) Etats-Unis, Hawaii (blanc) Israël (juifs nés en Israël)	103.7 96.5 90.5	Thaïlande, Chiang Mai Israël (non-juifs) Etats-Unis, Los Angeles (Coréen)	14.6 21.3 21.4
Col de l'utérus	Femmes	Pérou, Trujillo Inde, Madras Colombie, Cali	53.5 38.9 34.4	Israël (non-juifs) Chine, Shanghai Finlande	3.0 3.3 3.6
Prostate	Hommes	Etats-Unis, Atlanta (noir) Etats-Unis, Hawaii (blanc) Canada, Colombie Britannique	142.3 108.2 84.9	Chine, Tianjin Inde, Madras Thaïlande, Chiang Mai	1.9 3.6 4.1

Localisation des cancers	Sexe	Incidence élevée de cancer		Faible incidence de cancer	
		Population	Taux	Population	Taux
Vessie	Hommes	Italie, Trieste Espagne, Mallorca Suisse, Genève	38.7 36.4 32.5	Etats-Unis, Nouveau Mexique (American Indien) Etats-Unis, Hawaii (Hawaïiens) Canada, Colombie Britannique	2,6 3,9 11,3
	Femmes	Italie, Trieste Danemark Royaume-Uni, Ecosse, Ouest	9.4 7.7 7.5	Etats-Unis, Nouveau Mexique (American Indien) France, Isère Etats-Unis, Hawaii (Filipino)	0,6 2,6 2,7
Cerveau, système nerveux central	Hommes	Italie, Trieste Islande Etats-Unis, Hawaii (blanc)	9.5 9.4 8.7	Singapour (Malay) Japon, Yamagata Thaïlande, Chiang Mai	1,6 1,8 2,0
	Femmes	Italie, Trieste Pologne, Varsovie Etats-Unis, Atlanta (blanc)	8.7 5.9 5.8	Etats-Unis, Los Angeles (Chinois) Inde, Madras Japon, Yamagata	1,1 1,1 1,7
Thyroïde	Hommes	Islande Etats-Unis, Hawaii (Filipino) Etats-Unis, Los Angeles (Filipino)	6.1 5.1 4.0	Royaume-Uni, Wessex Estonie Danemark	0,7 0,7 0,8
	Femmes	Etats-Unis, Hawaii (Filipino) Etats-Unis, Los Angeles (Filipino) Italie, Ferrara	25.5 11.2 11.1	Inde, Madras Royaume-Uni, Yorkshire Pays-Bas, Eindhoven	1,6 1,7 1,9
Lymphome de "Hodgkin"	Hommes	Etats-Unis, San Francisco (non-Hispanique blanc) Italie, Romagne Etats-Unis, Hawaii (blanc)	25.0 15.5 15.1	Inde, Madras Thaïlande, Chiang Mai Singapour (Indien)	3,7 3,8 3,9
	Femmes	Italie, Ferrara Israël (juifs nés en Israël) Etats-Unis, San Francisco (Hispanique blanc)	11.5 11.1 11.0	Inde, Madras Chine, Shanghai Estonie	2,0 2,5 2,5
Maladie de Hodgkin	Hommes	Etats-Unis, San Francisco (non-Hispanique blanc) Italie, Veneto Israël (juifs nés en Israël)	4.3 4.0 3.2	Chine, Tianjin Japon, Miyagi Singapore (Chinois)	0,3 0,4 0,5
	Femmes	Etats-Unis, Connecticut (blanc) Italie, Veneto Israël (juifs nés USA ou Europe)	3.6 3.5 3.1	Japon, Osaka Chine, Shanghai Hong Kong	0,2 0,3 0,3
Myélome multiple	Hommes	Etats-Unis, Los Angeles (noir) Nouvelle Zélande (Maori) Australie Capital	9.5 5.7 5.4	Thaïlande, Chiang Mai Chine, Tianjin Etats-Unis, Los Angeles (Japonais)	0,4 0,4 0,5
	Femmes	Etats-Unis, Detroit (noir) Nouvelle Zélande (Maori) Etats-Unis, Hawaii (Hawaïiens)	6.4 5.8 4.2	Thaïlande, Chiang Mai Chine, Tianjin Inde, Madras	0,3 0,3 0,4
Leucémie	Hommes	Italie, Trieste Australie, South Australie Etats-Unis, Detroit (blanc)	15.0 13.3 12.7	Inde, Madras Singapore (Indien) Japon, Yamagata	3,0 3,0 4,4
	Femmes	Etats-Unis, San Francisco (Filipino) Australie, sud Australie Italie, Trieste	9.0 8.9 8.4	Etats-Unis, Central Louisiane (noir) Inde, Madras Japon, Miyagi	1,6 2,0 3,3

Remarques :

a. Les chiffres indiqués correspondent à l'incidence annuelle pour 100 000 standardisée en fonction de l'âge.

b. Les registres pour lesquels le CIRC a indiqué des problèmes d'incertitudes ne sont pas inclus dans ce tableau. Cependant, les différences constatées dans les taux peuvent être dues en partie aux variations dans les niveaux d'incertitudes et à des variations aléatoires.

## Annexe G

**Rapport de la commission mixte  
Académie nationale de Médecine - Académie des Sciences  
chargée de l'évaluation des résultats des travaux  
de M. Florent de Vathaire concernant l'impact éventuel  
des essais nucléaires français sur l'incidence du cancer de la thyroïde  
dans les populations civiles de Polynésie exposées aux retombées  
radioactives.**

**12 mars 2007**

*(Sans les annexes)*

### **Résumé**

Le Ministre de la Défense a saisi l'Académie nationale de Médecine et l'Académie des sciences au sujet des travaux récemment annoncés par un chercheur de l'INSERM, Florent de Vathaire, concernant les effets éventuels des retombées des essais nucléaires en Polynésie sur l'incidence des cancers de la thyroïde dans les populations exposées. Les deux Académies ont constitué une commission mixte, présidée par le Professeur Maurice Tubiana pour l'Académie nationale de médecine et le professeur Alain-Jacques Valleron pour l'Académie des sciences. M. de Vathaire a été invité à présenter les résultats de son étude épidémiologique et dosimétrique qui n'étaient pas connus de la communauté scientifique. Il a participé à plusieurs réunions de la commission en acceptant une discussion approfondie de ses résultats.

M. de Vathaire s'était fixé, comme objectif la recherche d'un risque accru éventuel d'incidence des cancers de la thyroïde en Polynésie, lié à la dose de rayonnements ionisants à la thyroïde résultant des retombées des essais nucléaires. Son travail fut réalisé en utilisant une méthodologie épidémiologique consacrée par la communauté internationale et dont il a une bonne expérience personnelle. M. de Vathaire a déclaré que les résultats qu'il a obtenus montrent l'existence d'un risque augmenté de développer un cancer de la thyroïde pour les doses les plus élevées, même si en termes absolus le nombre de malades concernés reste faible (quelques cas).

La commission a validé la méthodologie utilisée mais a émis plusieurs réserves.

La dosimétrie présentée n'est pas convaincante du fait de son imprécision et des nombreuses hypothèses non validées sur lesquelles elle repose. Par ailleurs, on ne peut exclure que les personnes ayant présenté un cancer de la thyroïde aient déclaré leur consommation d'aliments potentiellement contaminés de façon différente des témoins, d'autant plus que l'interrogatoire

portait sur une période déjà ancienne. En outre, par l'observation directe de la cicatrice de l'intervention chirurgicale réalisée pour traiter le cancer, les enquêteurs pouvaient éventuellement avoir été en mesure d'identifier les cas par rapport aux témoins.

Ces réserves, ainsi que d'autres présentées dans le rapport concernant notamment des imprécisions dans les effectifs considérés, rendent difficile l'interprétation des résultats présentés par M. de Vathaire qui, en tout état de cause, ne concernent qu'un petit nombre de cas.

Si on peut regretter la démarche de communication inusuelle de M. de Vathaire qui ne s'est pas primitivement tournée vers la communauté scientifique, toutes les réserves qui viennent d'être mentionnées ne lui sont pas pour autant imputables. Il y a eu un défaut de transparence et peut-être des erreurs de collectes des données d'exposition des populations de la région.

La Commission recommande que tous les efforts soient faits pour que l'ensemble des données dosimétriques existantes soient désormais mis à la disposition de l'équipe de M. de Vathaire et qu'un soutien technique lui soit apporté sans délai par des services compétents, par exemple la DAM du CEA.

La Commission n'avait pas à se prononcer sur la réalité ou non d'une augmentation du risque de cancer thyroïdien due aux retombées des essais nucléaires (elle ne dispose d'ailleurs pas des données suffisantes pour le faire) mais seulement sur le travail de l'équipe de M de Vathaire.

Elle considère que, compte tenu de la faible significativité des résultats, de ses fortes réserves sur la reconstruction dosimétrique et sur certains points méthodologiques, les résultats présentés par l'équipe de M de Vathaire concernant une augmentation du risque de cancer thyroïdien liée aux essais nucléaires ne peuvent pas être considérés comme établis.

## Introduction

Le Ministre de la Défense a saisi l'Académie nationale de Médecine et l'Académie des sciences pour leur demander une évaluation des résultats d'un travail épidémiologique de M. Florent de Vathaire, annonçant avoir mis en évidence une relation entre l'exposition passée des populations civiles de Polynésie aux retombées des essais nucléaires français entre 1966 et 1974 et l'incidence du cancer de la thyroïde. Ses travaux avaient été annoncés et diffusés, de façon inusuelle, en dehors de la voie habituelle des publications scientifiques.

Une Commission mixte fut formée entre les deux Académies, présidée par le Professeur Maurice Tubiana pour l'Académie nationale de Médecine et par le Professeur Alain-Jacques Valleron pour l'Académie des sciences. La composition de la Commission était la suivante : pour l'Académie nationale de Médecine : le Professeur André Aurengo, le Professeur Hélène Sancho-Garnier et le Docteur Roland Masse ; pour l'Académie des sciences : le Professeur Roger Monier et le Professeur Robert Guillaumont. Deux experts extérieurs, le Docteur Jérôme Clerc et le Professeur Sylvia Richardson n'ont pu assister aux réunions, mais ont reçu l'ensemble des documents.

Ce rapport s'appuie sur les projets de publications de l'équipe de Florent de Vathaire, relatifs à l'impact des retombées des essais nucléaires en Polynésie sur l'incidence du cancer thyroïdien : étude dosimétrique et étude épidémiologique. S'agissant des données épidémiologiques, la Commission a pu examiner le manuscrit initial et une nouvelle version, communiquée le 18/02/2007, révisée à la suite des premières remarques de la Commission.

Les conclusions et recommandations de la Commission pourraient éventuellement être revues et complétées en fonction de nouveaux développements sur lesquels elle serait invitée à se prononcer.

## Evaluation du contexte de travail de M. de Vathaire

*Le chercheur responsable de la recherche en cause* : Florent de Vathaire est un épidémiologiste du cancer spécialisé dans le domaine des conséquences des expositions aux radiations ionisantes. Sa compétence est internationalement reconnue ainsi qu'en atteste son excellente liste de publications et le fait que, à l'issue d'une sélection compétitive il a été nommé Directeur d'une des rares unités de recherche de l'INSERM spécialisée dans l'épidémiologie du cancer. Il a notamment obtenu des résultats originaux montrant un risque accru de second cancer chez des personnes irradiées dans un but thérapeutique. Il est régulièrement invité à participer à des expertises dans son domaine, en particulier à la demande de l'Académie nationale de Médecine et/ou de l'Académie des sciences (par exemple

à l'occasion du rapport récent sur l'effet des faibles doses de radiations ionisantes sur la santé). Ses auditions par la Commission ont confirmé son excellente connaissance générale des problèmes posés par les relations entre les cancers et les effets des rayonnements. Il s'est montré très bien informé de la littérature concernant les effets des retombées secondaires aux essais nucléaires, notamment américains.

*Le financement du programme de recherche de M. de Vathaire* : M Florent de Vathaire travaille sur ce sujet depuis de nombreuses années (1995) date où il avait passé contrat avec la DIRCEN pour une étude d'épidémiologie géographique (dans laquelle il ne trouva pas d'incidence augmentée de l'ensemble des cancers), puis en 1997 dans un travail sur les leucémies de l'enfant qui fut financé par le Ministère de la Santé (étude qui fut également négative).

C'est en 1999 qu'il centra son intérêt sur le cancer de la thyroïde. Son idée était d'utiliser une méthodologie classique en épidémiologie (l'étude cas-témoins : voir plus bas), de réaliser un interrogatoire comparable chez les cas et chez les témoins portant sur leur lieu de séjour et leur consommation alimentaire au moment des essais, puis grâce à un modèle mathématique s'appuyant sur les données disponibles, de reconstruire les doses d'irradiation des cas et des témoins. Pour ce faire, il disposa à cette époque des données de l'UNSCEAR telles qu'elles avaient été transmises à cet organisme par le côté français. M. de Vathaire a déclaré à la Commission avoir écrit à l'époque au Cabinet du Ministère de la Défense en demandant si d'autres données que celles de l'UNSCEAR étaient disponibles pour son étude, mais n'avoir pas reçu de réponse alors que, d'après lui, ces données existaient.

Il est important de noter que ce programme de recherche, et donc sa méthodologie, ont été présentés pour financement à plusieurs organismes qui ont alors procédé à une évaluation scientifique indépendante : l'ARC (Association pour la recherche sur le cancer) en 2000; l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) et le Comité de Radioprotection d'Electricité de France en 2004-2005. Tous ces organismes fonctionnent avec un Comité scientifique d'experts. Cela indique que la méthodologie utilisée par M. de Vathaire, notamment l'interrogatoire sur les consommations alimentaires rétrospectives qui soulève beaucoup d'objections de la Commission (cf. infra) n'a pas fait à l'époque l'objet de sérieuses réserves.

### **Résumé des discussions de la Commission**

La Commission s'est réunie une première fois le 23 novembre 2006. Par la suite, plusieurs réunions de travail ont eu lieu associant M. de Vathaire. Un travail en sous-commission a

également été effectué plus spécifiquement sur le problème de la dosimétrie. Une dernière réunion a eu lieu le 7 février 2007 où Monsieur R. Chiappini (DAM, CEA) et M. de Vathaire ont été conviés. Les réunions ont fait l'objet de comptes rendus et les conversations avec M de Vathaire ont été confirmées par courrier. L'ensemble des documents a été communiqué à tous les intéressés, membres de la Commission d'une part et M de Vathaire d'autre part. On peut donc considérer que les informations présentées dans ce rapport sont validées.

#### *Première présentation des résultats le 23 novembre 2006*

A la date de la première réunion, M de Vathaire a indiqué à la Commission qu'il avait d'une part adressé un article présentant les méthodes d'évaluation de doses (dosimétrie reconstructive) à un journal scientifique et d'autre part qu'il comptait envoyer le manuscrit de son travail épidémiologique à un journal clinique de grandes retombées internationales le Lancet. Une discussion approfondie eut lieu sur ce projet de publication et la Commission conseilla à M. de Vathaire de compléter et/ou d'améliorer plusieurs points, notamment en ce qui concernait la comparabilité des cas et des témoins, la prise en compte des décès et la dosimétrie (cf Annexe 1).

#### *Réunions intermédiaires*

Répondant à la demande de M. de Vathaire, la Commission a admis qu'il serait opportun de tenter de ne pas retarder exagérément la publication de ce travail compte tenu de l'investissement en crédits et en temps de M. de Vathaire et de son équipe.

#### *Réunion du 7 février 2007*

Les réunions tenues au cours de ces deux derniers mois ont fait ressortir les points suivants :

- 1) L'article de M. de Vathaire relatif à la dosimétrie n'a pas été accepté pour publication par la revue à laquelle il l'avait soumis. Il a indiqué que il souhaitait l'améliorer mais a fait remarquer qu'en pratique il n'avait plus le budget, ni la personne pour le faire (celle-ci est retournée aux Etats-Unis à l'issue de son contrat).
- 2) Répondant aux critiques de la Commission sur son étude dosimétrique, M de Vathaire a indiqué qu'il ne considérait pas que son travail permettrait de caractériser avec précision les doses reçues (qu'il pense être sous estimées d'un facteur qui pouvait aller jusqu'à 2 ou 3) et, par conséquent, de désigner à partir de quelle dose apparaît un risque accru de survenue d'un cancer de la thyroïde. Il jugea cependant que ce n'était pas l'objet de son travail. La Commission n'est pas d'accord sur ce point parce que le manuscrit indique implicitement une

dose "à risque", alors que celle-ci –selon M. de Vathaire lui-même- peut-être sous estimée d'un facteur pouvant aller jusqu'à 3. Ce point est important car l'affirmation d'une relation entre la dosimétrie et la survenue des cancers de la thyroïde pourrait susciter des craintes injustifiées dans d'autres populations dans des contextes apparentés. Le point de vue de la Commission est donc qu'une dosimétrie de qualité doit être impérativement réalisée (voir Annexe 2). Cette recommandation a été communiquée à M. de Vathaire.

3) M. de Vathaire considère que le but de son travail était de rechercher s'il y avait un excès significatif de cancers de la thyroïde lié à la dose reçue par la thyroïde dans la population exposée aux retombées des essais nucléaires et non pas de chercher à partir de quelle dose cet excès éventuel avait pu se manifester. Il a déclaré à la Commission qu'il considère avoir démontré cet excès qui correspondrait à quelques cas.

4) La Commission a considéré que la méthodologie d'études cas-témoins employée par M de Vathaire dans ce travail était conforme, sur le plan épidémiologique, à la méthodologie couramment utilisée pour évaluer l'effet de nombreuses expositions sur la santé. Il en a été de même pour les méthodes d'analyse des résultats.

5) La Commission a été, en revanche, très réservée sur les possibilités de reconstruire, à des années d'écart, un régime alimentaire passé, puis par un calcul fondé sur des modèles, à en inférer une dose reçue. Elle a noté, par exemple, que les feuilles de résultats détaillées que M de Vathaire lui a communiquées, montraient une consommation de légumes supérieure chez les malades à celle des témoins, consommation qui se traduit ensuite mathématiquement par une plus forte dose reçue. Cette affirmation a suscité deux réserves au sein de la commission. En premier lieu, on ne peut exclure que les « cas » (c'est-à-dire les sujets ayant développé un cancer de la thyroïde) aient déclaré des consommations beaucoup plus élevées que les « témoins, » parce qu'ils se savaient être des « cas ». Ce type de biais est redouté dans les études cas-témoins. Il faut aussi noter que les personnes ayant procédé aux interrogatoires savaient probablement qui étaient les « cas » et qui les témoins, au simple vu des traces de l'intervention chirurgicale. La seconde réserve tient au fait que sur la liste d'exposition communiquée par M de Vathaire, la Commission a été frappée par l'importance de la dose liée à la consommation de légumes, souvent de l'ordre de 90 % de l'exposition totale recalculée. Cette observation accroît la crainte du biais cité ci-dessus, ce qui n'aurait pas été le cas si la majeure partie de l'irradiation avait été environnementale.

6) La Commission a insisté sur le fait qui était bien établi, que l'incidence de cancer de la thyroïde était anormalement élevée en Polynésie, en dehors de toute irradiation, de façon

d'ailleurs encore inexplicée. Le risque accru éventuel dû à une exposition ne peut se discuter en dehors de ce contexte. M. de Vathaire s'en est montré d'accord.

7) Si le problème, fondamentalement abordé par M de Vathaire, concerne les conséquences des observations qu'il a réalisées, il conviendra qu'il évalue l'ensemble du problème, et pas seulement ce qui a été observé jusqu'à aujourd'hui : combien prévoit-il dans l'avenir de nouveaux cancers de la thyroïde attribuables aux irradiations, en extrapolant à partir de ses résultats actuels supposés exacts ? M. de Vathaire a indiqué un chiffre d'une quinzaine de cas qui n'a pas convaincu la Commission compte tenu du raisonnement présenté (encore préliminaire). Une future extrapolation devra, pour être crédible, tenir compte des connaissances sur la latence entre exposition et cancer, de ce qu'on sait de la probabilité de cancer de la thyroïde après irradiation et d'une estimation précise des effectifs des populations réellement exposées à un tel risque.

8) La Commission a également identifié un grave problème lié au manque de transparence dans l'accès aux données qui est vraisemblablement à l'origine de certaines des difficultés actuelles d'interprétation des résultats et qu'il est sans doute encore possible de réparer. L'UNSCEAR ne disposait pas de l'ensemble des données d'irradiation (puisque des données classées dans le passé secret défense ne lui ont pas été communiquées). M de Vathaire a déclaré avoir réclamé, sans succès, l'accès à ces données (alors que, pourtant, il y eut un créneau de temps où elles étaient publiques). On peut regretter que plusieurs organismes en charge de données extrêmement sensibles n'aient pas mieux collaboré pour constituer une base de données indiscutable ouverte aux chercheurs. Actuellement, l'ensemble des données semble disponible mais le problème de la reconstruction de la dosimétrie à partir de ces données ne peut être abordé par M. de Vathaire seul, car il n'a plus les financements nécessaires pour un tel travail et le chercheur ayant effectué la précédente étude dosimétrique est reparti pour les Etats-Unis. Aussi la Commission recommande-t-elle que l'accès aux données soit permis à M. de Vathaire et que la reconstruction de la dosimétrie à partir de ces données puisse être réalisée par un organisme compétent, par exemple la DAM du CEA.

*Dernière version du manuscrit de M de Vathaire*

Celle-ci a été très récemment communiquée, à sa demande, à A.J. Valleron (le 18/02/2007) qui l'a transmise à l'ensemble de la Commission. Ce manuscrit ne diffère pas de façon importante du premier texte (celui discuté le 23 novembre). En particulier, il n'apporte pas d'éléments nouveaux concernant les critiques méthodologiques qui avaient été faites dès le 23 novembre, notamment sur la différence significative des taux de réponses entre des cas et des témoins (voir Annexe 1).

### Conclusions et recommandations

- 1) La Commission considère que l'option de M. de Vathaire, de traiter le problème de l'évaluation du risque éventuel de cancer de la thyroïde induit par l'exposition aux retombées radioactives lors des essais nucléaires réalisés en Polynésie par une étude cas-témoins était adéquate. Ce type d'étude est le plus couramment utilisé pour des problèmes comparables.
- 2) La Commission juge que la dosimétrie présentée n'est pas convaincante du fait de son imprécision, de la forte possibilité d'un biais d'anamnèse (portant sur une part très importante de la dose estimée) et des nombreuses hypothèses non validées sur lesquelles elle repose. Elle n'en place pas toute la responsabilité sur M. de Vathaire car il n'a pas pu avoir accès à toutes les données. Elle juge qu'il y a une leçon à tirer pour l'avenir concernant à la fois des collaborations entre les différents organismes et la transparence dans l'accès aux données.
- 3) La Commission émet quelques réserves importantes sur l'interprétation des résultats : impacts de la différence significative des taux de réponses entre cas et témoins, arbitraire possible des limites de doses choisies dans l'analyse logistique, existence de cas et de témoins nés après la période d'exposition, incertitudes sur les effectifs des cas et des témoins dans les différentes classes de doses.
- 4) La Commission considère que, compte tenu de la faible significativité des résultats, de ses fortes réserves sur la reconstruction dosimétrique et sur les points méthodologiques précisés ci-dessus, les résultats présentés par l'équipe de M de Vathaire affirmant une augmentation du risque de cancer thyroïdien liée aux essais nucléaires, ne peuvent pas être considérés comme établis.
- 5) La Commission recommande que tous les efforts soient faits pour que l'ensemble des données dosimétriques existantes soient désormais mis à la disposition de l'équipe de M. de Vathaire et qu'un soutien technique lui soit apporté sans délai par des services compétents, par exemple la DAM du CEA.

## Annexe H

<b>PERSONNEL AYANT PARTICIPE AUX ESSAIS NUCLEAIRES</b>									
			Dossiers médicaux	Nombre total de personnes	Nombre personnes dosimétrie externe	DOSSIERS MEDICO RADIO BIOLOGIQUES	SPECTRO		
<b>DEFENSE SAHARA</b>	MILITAIRES ET PERSONNEL CIVIL DEFENSE	METROPOLITAIN / DEFENSE PLO / DEFENSE / SAHARA	Centres des armées ?	<b>20 000 ?</b>	<b>18000</b>	?	?		
	ENTREPRISES EXTERIEURES DEFENSE	METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE PLO / DEFENSE / ENTREPRISES EXT. / SAHARA	ACMS / SPE ? ?						
(SPRA)									
<b>DEFENSE CEP</b>	MILITAIRES ET PERSONNEL CIVIL DEFENSE	METROPOLITAIN / DEFENSE PRL / DEFENSE / POLYNESIE	Centres des armées CIMP / DSCEN	<b>100 000 ?</b>		<b>19539 dont 7439 exploitables</b>	(DSCEN)		
		ENTREPRISES EXTERIEURES DEFENSE	METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE PRL / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	ACMS ? CPS / Papeete ?	?				
					<b>12000</b>			<b>41406 (242079</b>	<b>environ 130 000 (CEP)</b>
					<b>spectrométries sous format papier</b>			<b>dosimètres)</b>	
<b>CEA (SAHARA + CEP)</b>	AGENTS CEA	METROPOLITAIN (D.Essais)	DAM/DIF + CENTRES	<b>4500</b>	<b>3232</b>				
		METROPOLITAIN (Hors D.Essais)	DAM/DIF + CENTRES	<b>environ 2000</b>					
		PRL / CEA						<b>699</b>	
	ENTREPRISES EXTERIEURES CEA	PRL / ENTREPRISES EXT. / CEA	DAM/DIF/SST	<b>6000</b>	<b>(1)</b>				
		METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / CEA	ACMS / SPE	<b>environ 6000</b>	<b>(1)</b>				
				(DSCEN et CEA)	(DSCEN)	(DSCEN)			
<b>CEP</b>	ENTREPRISES EXTERIEURES (DEFENSE ET CEA)	METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	ACMS ?		<b>3392</b>				
		METROPOLITAIN / ENTREPRISES EXT. / CEA	ACMS / SPE						
		PRL / ENTREPRISES EXT. / DEFENSE	CPS / Papeete ?		<b>2211</b>				
		PRL / ENTREPRISES EXT. / CEA	DAM/DIF/SST						

## Annexe I

### 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

## Annexe J

### MOYENS DE DOSIMETRIE BIOLOGIQUE ACTUELLEMENT APPLICABLES A LA DOSIMETRIE RETROSPECTIVE

**Pièce jointe :** Une fiche « résumé ».

La dosimétrie biologique et para-clinique rétrospective vise à mettre en évidence des conséquences des interactions rayonnements ionisants/tissu biologique, qui suivent une **relation dose-effet**, et permettent rétrospectivement une évaluation du niveau d'irradiation.

Trois techniques sont aujourd'hui disponibles, mais présentent des limitations importantes :

- . ce sont des dosimètres cumulatifs qui ne font pas la différence entre une exposition accidentelle aux rayonnements ionisants et une exposition médicale, ainsi qu'avec certains autres facteurs physiques ou chimiques,
- . leur seuil de sensibilité varie de 50 à 350 mSv, en fonction de la nature du test, du délai entre l'incident et la pratique de ces examens, de la co-existence de facteurs confondants,
- . elles sont onéreuses,
- . pour les applications au calcul de dose rétrospectif, ces techniques ne sont pratiquées que par un nombre restreint de laboratoires.

En France, l'IRSN établit les courbes de référence permettant de « calibrer » ces tests et valider les résultats. Il peut, en tant que de besoin, s'appuyer sur des laboratoires d'autres organismes (CEA, Muséum, Inserm, Centres anti-cancéreux, laboratoires de l'AP-HP,...) qui possèdent tout ou partie de ces techniques et ont une expertise dans différents domaines toxicologiques, mais possèdent de manière plus inconstante les courbes de référence essentielles à l'évaluation dosimétrique.

Leur utilisation pour la reconstitution rétrospective de dose est détaillée dans un document récent de l'ICRU (International Commission of Radiation Units), qui résume les examens les plus pertinents selon les cas :

- dosimétrie individuelle après exposition datant de moins de 1 an (dose corporelle globale) :
  - . dosimétrie chromosomique : dénombrement d'anomalies chromosomiques instables (dicentriques),
- dosimétrie individuelle, dans un délai de un à dix ans après exposition :
  - . résonance paramagnétique électronique (RPE) sur une dent (dose locale),
  - . dosimétrie chromosomique : mesure des aberrations chromosomiques stables par méthode FISH (dose corporelle globale),
- dosimétrie individuelle après exposition datant de plus de 10 ans :
  - . résonance paramagnétique électronique (RPE) sur une dent (dose locale).

### DOSIMETRIE CHROMOSOMIQUE

Les deux méthodes reposent sur l'analyse du matériel génétique au moment de la division cellulaire, quand l'ADN est organisé en chromosomes. Pour la dosimétrie biologique, elles sont généralement

pratiquées sur des lymphocytes sanguins stimulés pour entrer en division cellulaire. Il s'agit donc de méthodes peu invasives (prélèvement de quelques ml de sang).

Le résultat brut (nombre total d'anomalies pour 100 cellules analysées) est considéré comme représentatif d'une **irradiation corporelle globale et homogène**.

### **DENOMBREMENT D'ANOMALIES CHROMOSOMIQUES INSTABLES.**

Il s'agit de la méthode de référence utilisée actuellement en dosimétrie biologique pour estimer le niveau d'une irradiation. C'est un examen utilisable de quelques heures à quelques semaines après une surexposition.

Elle est fondée sur le dénombrement d'aberrations chromosomiques (anneaux, dicentriques, fragments) observées en microscopie optique après une coloration simple (Giemsa).

Son seuil de sensibilité est de l'ordre de la centaine de mSv.

Les anomalies observées étant peu transmissibles au cours des divisions cellulaires, elles disparaissent au cours du temps. Même après exposition à dose élevée (plus de 1 à 2 Gy), cet examen n'est plus utilisable après un délai de 1 à 5 ans.

Parmi les aberrations, les dicentriques sont considérés comme des altérations quasi spécifiques des rayonnements ionisants. Le taux spontané est d'environ un dicentrique pour mille à mille cinq cent métaphases (cellules analysées).

Les autres aberrations (anneaux, fragments) peuvent être induites par d'autres facteurs physiques ou chimiques.

### **DENOMBREMENT D'ANOMALIES CHROMOSOMIQUES STABLES . (coloration chromosomique par hybridation in situ, FISH peinture)**

L'irradiation peut induire des altérations stables de l'ADN, transmissibles lors de divisions cellulaires.

Le développement de techniques d'hybridation in situ avec détection par fluorescence a permis de marquer par des fluorochromes de couleurs différentes plusieurs paires de chromosomes. Cette technique a été appliquée depuis une quinzaine d'années à l'identification des échanges chromosomiques : portant d'abord sur la coloration spécifique de deux ou trois paires de chromosomes, elle est aujourd'hui possible pour l'étude de l'ensemble des paires chromosomiques. L'intérêt est une plus grande rapidité d'analyse, un moindre risque d'erreur et la possibilité d'une automatisation partielle. En France, appliquée à la dosimétrie biologique, cette méthode est développée par l'IRSN.

Son seuil de sensibilité est de l'ordre de 350 mSv et augmente avec l'âge.

Ce n'est pas un examen considéré comme spécifique d'un effet radio-induit, d'autres stress génotoxiques et/ou mutagènes sont également susceptibles d'augmenter le taux spontané de translocations (PVC, amiante, métaux lourds, benzène, pesticides, tabac, alcool, rayonnements non ionisants...).

C'est un indicateur cumulatif, représentatif d'un ensemble d'expositions. Une enquête précise sur le passé des sujets est alors indispensable pour estimer la part des différents types d'exposition.

Le laboratoire de mesure ne peut indiquer qu'une dose hypothétique, qui serait celle reçue si ce sujet n'avait jamais été exposé à un autre facteur de stress que les rayonnements ionisants. Il est

alors indispensable de déterminer le plus précisément possible ce passé pour estimer convenablement l'éventuelle exposition.

### **RESONANCE PARAMAGNETIQUE ELECTRONIQUE (RPE) :**

Cette méthode est fondée sur la mesure de radicaux libres créés dans une matrice ayant très peu d'eau (émail dentaire, éventuellement tissu osseux).

Elle est considérée comme validée sur l'analyse de l'émail dentaire et en développement sur l'étude de fragments osseux.

C'est une méthode invasive. Elle nécessite, soit l'obtention d'une dent (après extraction ou chute spontanée), soit éventuellement un fragment osseux (cas d'évaluation de dose après surexposition en radiothérapie).

C'est un examen qui évalue la **dose locale** (face pour une dent, organe et tissu à proximité de la biopsie osseuse) et non la dose globale ou moyenne à l'organisme.

L'évaluation de la dose peut être entachée d'incertitudes, notamment du fait d'altérations de la dent et/ou de l'exposition à d'autres agents physiques, notamment les UV, ou l'interaction avec des métaux (amalgames). Il est donc nécessaire de prélever un fragment de dent saine et non exposée aux UV (molaire).

La RPE offre probablement la meilleure stabilité dans le temps (plusieurs décennies) et permet des études plus tardives.

Son seuil de sensibilité est d'environ 50 mSv.

En France, appliquée à la dosimétrie, cette méthode est développée par l'IRSN.

#### *Références :*

- *rapport IRSN DRPH N° 2005/05*
- *ICRU : biological dosimetry*
- *TRS 405 , AIEA, 2001 : cytogenetic analysis for radiation dosimetry asesment*

Comité de suivi sanitaire des  
essais nucléaires

**RESUME**

**MOYENS DE DOSIMETRIE BIOLOGIQUE ACTUELLEMENT  
APPLICABLES A LA DOSIMETRIE RETROSPECTIVE**

La dosimétrie biologique rétrospective dispose aujourd'hui de trois techniques, utilisables dans les conditions suivantes :

- Exposition datant de moins d'un an :  
    Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies instables,
- Exposition datant d'un à dix ans :  
    Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies stables (FISH),  
    Dosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE),
- Exposition datant de plus de dix ans :  
    Dosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE).

Toutes ces techniques mesurent le cumul de dose lié aux expositions naturelle, environnementale, médicale et professionnelle.

**Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies instables :**

Cette technique est peu invasive (prélèvement sanguin).

Elle met en évidence des doses globales (moyennes sur le corps entier) supérieures à la centaine de mSv.

Sa stabilité limitée dans le temps en réserve les indications à la première année suivant l'exposition.

**Dosimétrie chromosomique par dénombrement d'anomalies stables (FISH) :**

Cette technique, également peu invasive, met en évidence des doses globales (moyennes sur le corps entier) supérieures à 350 mSv.

Sa meilleure stabilité dans le temps lui permet d'être validée pour des expositions datant de dix ans. C'est toutefois une méthode peu spécifique mesurant, sans les différencier, les expositions à de nombreux agents physiques ou chimiques.

**Dosimétrie par résonance paramagnétique électronique (RPE) :**

Cette technique offre la meilleure stabilité dans le temps, lui permettant d'évaluer des expositions datant de plusieurs dizaines d'années.

Elle peut mesurer des doses de l'ordre de 50 mSv.

Elle est toutefois limitée par son caractère invasif (prélèvement d'émail sur une dent saine) et par le fait qu'elle indique une dose localisée à la zone de prélèvement.

## Annexe K

### **Premières recommandations du CSSEN aux ministres de la Défense et de la Santé et des Solidarités**

*Les premières recommandations du Comité de liaison pour la coordination du Suivi Sanitaire des Essais Nucléaires français (CSSEN) sont le résultat :*

➤ *des connaissances rassemblées et travaux effectués au 31 décembre 2006 dans le cadre du mandat du CSSEN,*

➤ *de la présentation au CSSEN des conclusions du mandat donné au Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense (DSND), par le ministre de la Défense pour informer les populations polynésiennes des faits et conséquences radiologiques des essais nucléaires en Polynésie française.*

#### **Le mandat du CSSEN**

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 de la Santé, de la Famille et des Personnes handicapées.

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.

Il est composé de représentants des ministères de la Défense et de la Santé, d'Instituts ou Agence concernés et de représentants du Commissariat à l'Energie Atomique.

Le CSSEN est co-piloté par le Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ex. Directeur général de la DGSNR) et le DSND.

#### **Le mandat du DSND**

En novembre 2005, suite aux souhaits exprimés par les polynésiennes et les polynésiens d'écrire l'histoire des expérimentations françaises dans le Pacifique pour préparer l'avenir de la Polynésie française, le ministre de la Défense a donné mandat au DSND d'apporter le concours actif de l'Etat à l'établissement des faits et conséquences radiologiques des essais nucléaires dans les îles et atolls de la Polynésie française.

## Bases scientifiques et techniques des recommandations

*Le CSSEN donne un avis d'expert dans les domaines des conséquences radiologiques sur la santé et sur l'environnement des essais nucléaires. Toutes autres considérations, d'ordre économique ou social relevant des décideurs politiques, n'entrent pas dans le champ de ses attributions.*

*Le CSSEN appuie ses recommandations sur les données scientifiques, tant sur les études des effets des rayonnements ionisants sur la santé que sur les études épidémiologiques, reconnues par la communauté scientifique (notamment au niveau de l'UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).*

## LES TRAVAUX DU CSSEN

### Risques liés aux rayonnements

#### **Cancers**

Les synthèses scientifiques récentes sur les risques d'induction de cancer par les rayonnements ionisants (solides y compris thyroïdien, lymphomes, leucémies) montrent qu'il n'est pas possible aujourd'hui de valider l'existence d'une relation dose-effet pour des doses efficaces faibles (inférieures à la centaine de mSv).

Les études à caractère épidémiologique n'ont de puissance statistique suffisante (capacité à mettre en évidence un excès) que dans la mesure où les doses sont fortes et/ou portent sur des effectifs importants. Une des contraintes dans l'analyse tient à l'absence de spécificité des cancers radio-induits. D'une part, rien ne les distingue au plan clinique de cancers ayant d'autres origines, d'autre part, on considère aujourd'hui que les cancers sont des maladies multifactorielles. Cela revient à dire que des facteurs multiples, génétiques et environnementaux, sont impliqués dans le développement tumoral.

Les avis des académies des sciences et de médecine sur l'étude épidémiologique cas témoin de l'unité 605 de l'INSERM relative aux cancers de la thyroïde en Polynésie française (non encore publiée) seront déterminants pour la prise en considération de ses conclusions par le CSSEN.

#### **Pathologies non cancéreuses**

Un certain nombre d'études récentes, faisant l'objet de rapports repris par l'UNSCEAR, concluent que les maladies cardio-vasculaires pourraient apparaître pour des doses plus faibles que ce qui était communément admis (de l'ordre de 3 à 15 Gy).

Pour d'autres maladies (respiratoires, digestives) certaines études suggèrent une relation possible pour des doses de l'ordre de 1 à 2 Gy, sans que des conclusions claires puissent être tirées.

Ces études, qui restent à consolider, concernent des doses très supérieures à celles évoquées en Polynésie ou dans le monde du travail.

### **Hérédité**

A ce jour, aucun effet héréditaire radio-induit n'a pu être mis en évidence chez l'humain, quelles que soient les raisons ou modalités de l'irradiation.

### **Diagnostic rétrospectif d'expositions aux rayonnements ionisants**

Différentes analyses biologiques peuvent être proposées pour évaluer a posteriori, le niveau d'irradiation.

Les méthodes de référence sont :

- . la dosimétrie cytogénétique ;
- . le dénombrement d'anomalies chromosomiques stables par hybridation in situ (fish) ;
- . la résonance paramagnétique électronique (RPE).

Elles ont un niveau seuil, en dose cumulée, de l'ordre de 50 à 350 mSv. Ce seuil varie suivant le type d'examen, l'ancienneté de l'irradiation, l'âge au moment du test. Ces analyses ne sont pas suffisamment spécifiques pour éliminer les facteurs confondants tels que, par exemple, les agressions chimiques, physiques (UV), les irradiations naturelles ou médicales.

Les deux premières ne sont pas suffisamment stables dans le temps pour permettre une dosimétrie rétrospective à long terme. La troisième, invasive, est difficilement applicable en pratique.

*Globalement, les travaux scientifiques récents ne remettent pas en cause les connaissances fondamentales relatives aux risques liés aux rayonnements ionisants. Néanmoins, il convient de rester attentif à toute évolution de ces connaissances, notamment pour ce qui concerne les études épidémiologiques et les maladies non cancéreuses, afin d'être en mesure d'apprécier leur impact éventuel dans les conditions d'exposition en Polynésie et de les intégrer, le cas échéant, aux données scientifiques du CSSEN.*

*A cet égard, la parution début 2007 d'un rapport de l'UNSCEAR permettra de faire le point des travaux sur le sujet.*

## **Caractérisations des catégories de personnes concernées par le suivi des essais nucléaires français en Polynésie**

### **Doses efficaces :**

#### **- Travailleurs :**

- 42 942 travailleurs ont reçu un dosimètre exploitable pour une étude sanitaire ;
- 36 805 n'ont pas reçu de doses ;
- 1740 ont reçu une dose inférieure à 5 mSv ;
- 345 ont dépassé le seuil de 5 mSv en dose efficace.

#### **- Populations** (Cf. travaux effectués dans le cadre de la mission du DSND).

Les populations vivant à Mangareva et Tureia sont les seules à avoir pu dépasser le seuil de 5 mSv de 1966 à 1974 (de l'ordre de 2000 personnes).

*Les travailleurs dénombrés sont ceux qui ont reçu des dosimètres, quels que soient leurs employeurs. La saisie informatique des dossiers d'anthropogammamétrie les concernant débutera en janvier 2007.*

*Par ailleurs, une liste, la plus exhaustive possible, de tous les anciens personnels (civils et militaires) ayant été en poste sur les sites d'expérimentation français de Polynésie, est en cours de constitution.*

## **LES TRAVAUX MENES DANS LE CADRE DE LA MISSION DSND**

### **Retombées des essais aériens français en Polynésie**

Les 41 essais atmosphériques effectués entre 1966 et 1974 ont conduit à des retombées sur l'ensemble de la Polynésie française à des niveaux le plus souvent très limités. Parmi les 10 essais ayant entraîné des retombées en zones habitées, 6 sont à prendre en compte, pour évaluer les conséquences radiologiques potentielles.

### **Conséquences radiologiques des retombées**

**La quasi-totalité des polynésiens n'ont pas reçu de doses efficaces supérieures à 5 mSv.**

Le secteur le plus touché concerne les Gambier et l'atoll de Tureia auquel il convient d'adjoindre les atolls de Reao et Pukarua en raison de leur proximité. Les doses efficaces maximales estimées à partir des hypothèses les plus majorantes peuvent atteindre une dose efficace cumulée de l'ordre de 10 mSv.

Durant toute la période des essais aériens et, au regard de la stricte application des réglementations internationales actuelles (2006) d'intervention en cas d'évènement nucléaire, a fortiori selon les dispositions moins contraignantes de l'époque des essais aériens français, **aucune retombée n'aurait atteint un niveau justifiant une mise à l'abri, une évacuation ou une prise d'iode stable pour les populations.**

## **RECOMMANDATIONS DU CSSEN**

### **Dans le domaine de la santé**

Les travaux réalisés dans le cadre du CSSEN et les reconstitutions dosimétriques effectuées dans celui de la mission du DSND montrent que les niveaux de dose reçus par les populations de Polynésie française et les travailleurs sur les sites d'expérimentation sont faibles.

La mise en œuvre des mesures de suivi sur des populations en effectif réduit pour des expositions faibles ne seront pas de nature à améliorer les connaissances sur les conséquences des expositions aux rayonnements.

Cependant, il faut noter les faits suivants :

- Un état d'inquiétude persistant des populations les plus proches des anciens sites d'expérimentations ainsi que de certains anciens travailleurs de ces sites qui résulte, pour une part importante, d'informations alarmistes qui circulent au sujet des effets sanitaires possibles résultant des essais nucléaires aériens ;
- A l'arrêt des essais nucléaires et au départ de la DIRCEN en 1996, les médecins polynésiens n'ont pas pris la suite des médecins des armées qui suivaient ces populations dans les îles proches des sites. Aujourd'hui, les populations concernées ont un sentiment d'abandon; sentiment légitime car la population de certains atolls peut rester deux années sans voir de médecin.

### **En conséquence, le CSSEN recommande les actions suivantes :**

- 1/ Dans le simple but de pallier le défaut de suivi médical généré par le départ des médecins des armées, proposer aux autorités de santé polynésiennes, l'assistance de l'Etat pour assurer un suivi sanitaire des populations vivant aujourd'hui à Mangareva, Tureia, Reao et Pukarua, ainsi que des personnes qui n'y vivent plus mais qui y résidaient entre les années 1966 et 1974. Ce suivi sanitaire pourrait comporter :
  - un examen clinique initial complété au besoin par des examens paracliniques ;
  - un suivi médical annuel ;
  - un suivi des causes de morbidité et de mortalité.

- 2/** Proposer aux autorités de santé polynésiennes, l'assistance de l'Etat pour mettre en place des dispositions destinées à assurer un suivi sanitaire des anciens travailleurs polynésiens des sites d'expérimentation entre 1966 et 1998. Ce suivi sanitaire pourrait comporter :
- un bilan de santé initial : examen clinique et examens paracliniques en fonction des orientations cliniques ;
  - un suivi médical annuel ;
  - un suivi des causes de morbidité et de mortalité.
- 3/** Finaliser la liste des anciens travailleurs en poste sur les sites d'expérimentations à des fins d'études et de suivi sanitaires.

**Ces premières recommandations pourraient être complétées ultérieurement à partir de :**

- l'avis des académies des Sciences et de Médecine sur l'étude en cours effectuée par une unité de l'INSERM sur les cancers de la thyroïde en Polynésie française (lorsque cet avis sera connu) ;
- la veille scientifique sur les effets de la radioactivité, les facteurs de susceptibilité (génétiques et environnementaux) et plus généralement les facteurs de risque vis-à-vis de pathologies chroniques ainsi que sur les méthodes de diagnostic ou d'identification de facteur de prédisposition.

En s'appuyant sur les recommandations précédentes, l'actualisation des études épidémiologiques précédemment menées ou la mise en place de nouvelles études pourront être discutées.

## Annexe L

### Références

Académie de médecine – académie des sciences. Rapport commun à l'académie de médecine et à l'académie des sciences portant sur la relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants

AIEA (1998) Situation radiologique sur les atolls de Mururoa et de Fangataufa : rapport d'un comité consultatif international (ISBN 92-0-203498-2, ISSN 1020-6566)

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.

Ministère de la défense (2007) La dimension radiologique des essais nucléaires français en Polynésie ISBN 2-11-0966780-3 978-2-11-0967880-0.

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.

Annexe M

LA POLYNÉSIE FRANÇAISE

