

**TCHERNOBYL, UN POINT DE VUE**

Hervé FRESLON      [hfreslon@free.fr](mailto:hfreslon@free.fr)  
Dominique VIGNON    [dvignon@aol.com](mailto:dvignon@aol.com)

---

*« Dire la vérité, toute la vérité, rien que la vérité ; dire bêtement la vérité bête, ennuyeusement la vérité ennuyeuse, tristement la vérité triste...  
Quand on manque à la vérité, on manque forcément à la justice : à vérité incomplète, justice incomplète, c'est-à-dire injustice... »*

Charles Péguy - Lettre du provincial - Janvier 1900

*« Le pire ennemi de la vérité n'est pas le mensonge, mais l'intime conviction... »*

Un lecteur de Télérama - Télérama n° 2928 - Février 2006

---

## RÉSUMÉ

L'homme de la rue, désireux sans a priori de se faire une idée des conséquences sanitaires de l'accident survenu il y a 20 ans dans la centrale nucléaire de Tchernobyl en Union Soviétique, est confronté à de nombreux obstacles : une littérature scientifique et médicale pléthorique, mais souvent peu synthétique ; des controverses persistantes au sein même des communautés scientifique et médicale, en ce qui concerne les effets biologiques des faibles doses de rayonnements ; les difficultés qu'éprouvent ces communautés à communiquer avec le public ; la surenchère catastrophiste d'organisations antinucléaires animées d'un esprit partisan sans faille, mais se drapant sous le label auto-décerné d'« organisations indépendantes » ; la complaisance que celles-ci rencontrent auprès de la plupart des médias...

L'ambition sans doute un peu excessive des auteurs est de contribuer à un effort d'information dépassionné, s'il se trouve toutefois quelques lecteurs assez indulgents pour leur pardonner leur appartenance passée au « lobby nucléaire ». Les auteurs n'engagent naturellement qu'eux-mêmes dans les avis qu'ils expriment.

Le bilan actuel de l'accident dans les pays de l'ex-URSS s'élève à une cinquantaine de morts chez le personnel d'urgence ayant subi une irradiation aiguë à la suite de l'accident, et à l'incidence d'environ 4 000 cancers de la thyroïde chez les personnes vivant autour de la centrale et qui étaient enfants ou adolescents au moment de l'accident. Le bilan prévisionnel final est estimé à environ 8 000 cancers de la thyroïde dans cette même population (avec un taux de mortalité de quelques pour cents).

Si aucun cancer autre que le cancer de la thyroïde n'a pu à ce jour être attribué à l'exposition aux retombées de l'accident, une prévision à long terme a été faite, par extrapolation linéaire à partir des effets connus aux fortes doses de rayonnement : elle conduit à une estimation conservatrice d'incidence d'environ 8 000 cancers de tous autres types (avec un taux de mortalité de l'ordre de 50 %). Cette estimation pourra être affinée au cours du temps.

En France, comme dans les autres pays d'Europe Occidentale, les conséquences de l'accident ont en revanche été insignifiantes. La recherche effrénée de situations extrêmes (pluviosité exceptionnelle, habitudes alimentaires atypiques), qui auraient pu entraîner chez un tout petit nombre d'individus des doses d'irradiation sensiblement plus élevées que la moyenne, ne change rien à ce constat.

La demande de sécurité toujours plus forte exprimée par les citoyens, qui souhaitent légitimement être informés en toute transparence et être associés aux décisions concernant leur santé, ne saurait s'exercer dans un domaine particulier au détriment d'autres domaines plus prioritaires de la santé publique. Ainsi que l'exprime le Professeur Aurengo : « *Il vaut mieux consacrer l'argent aux grands fléaux plutôt qu'aux grandes peurs* ».

## TABLE DES MATIÈRES

### A) INTRODUCTION

### B) L'ACCIDENT ET LES REJETS

B1) L'accident

B2) Les rejets

### C) RAPPEL SUR LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

C1) Généralités

C2) Que montrent les études épidémiologiques en ce qui concerne les effets stochastiques des rayonnements ?

C3) Que peut-on dire de la relation dose-effet aux faibles doses ?

C4) Jusqu'où extrapoler ?

C5) Un mot de la réglementation

### D) LES CONSÉQUENCES SANITAIRES EN ex-URSS ET DANS LE MONDE

D1) Les conséquences sanitaires constatées à fin 2000

D2) Les prévisions d'incidence et de décès à long terme dus aux effets stochastiques

D3) Bilan général

### E) TCHERNOBYL EN FRANCE

E1) Généralités

E2) Les doses à l'organisme entier

E3) Les cancers de la thyroïde

### F) CONCLUSION

ABRÉVIATIONS

RÉFÉRENCES

## **A) INTRODUCTION**

L'anniversaire de l'accident de Tchernobyl constitue chaque printemps une épreuve pour les partisans de l'énergie nucléaire, mais aussi pour tous les amoureux de la vérité. Un avant-goût sans doute modeste de ce qui les attend en ce douloureux 20<sup>ème</sup> anniversaire a été donné vendredi 3 février dernier sur TF1 lors de l'émission relative aux « 60 images qui ont marqué les Français » dans l'actualité télévisée des 50 dernières années. Après qu'une courte séquence eût montré le Professeur Pellerin, directeur du SCPRI\* à l'époque de l'accident, expliquant que les conséquences sérieuses seraient limitées au voisinage de la centrale, un journaliste de la chaîne déclarait péremptoirement qu'il avait fallu attendre 10 ans pour que la vérité éclatât enfin : « 56 000 morts, en URSS mais aussi en Europe, sans compter les effets à long terme »...

Sera-t-il permis à quelques ingénieurs, qui ne courent certes pas le risque d'une si large audience, et qui confessent dès le départ leur engagement en faveur de l'énergie nucléaire, de faire entendre leurs voix, en s'efforçant de se laisser guider par les faits plus que par la passion ?

On rappelle brièvement dans le chapitre B les circonstances de l'accident et les rejets qui en ont résulté.

Le chapitre C est consacré à quelques considérations générales relatives à l'effet biologique des radiations (§C1), aux enseignements des études épidémiologiques (§C2), au sujet toujours controversé de l'effet des faibles doses de rayonnement (§§ C3 et C4), et à un bref rappel de la réglementation (§ C5).

Ces rappels permettent de mettre en perspective les analyses des chapitres suivants consacrés aux conséquences sanitaires de l'accident au niveau mondial (chapitre D), puis plus spécifiquement en France (chapitre E).

Une conclusion générale est donnée au chapitre F.

## **B) L'ACCIDENT ET LES REJETS**

### **B1) L'accident**

Le 26 avril 1986, le réacteur N° 4 de la centrale de Tchernobyl, d'une puissance électrique de 1000 MW, situé dans l'actuelle Ukraine à une centaine de kilomètres au nord de Kiev, explosait. Il s'agissait d'un réacteur dont la conception, spécifique à l'URSS, violait les principes élémentaires de sûreté admis dans l'ensemble du monde occidental (en particulier, le réacteur était instable aux basses puissances et ne possédait pas d'enceinte de confinement du type de celles qui équipent tous les réacteurs à eau sous pression occidentaux). L'accident s'était produit au cours d'un essai dont les implications en termes de sûreté n'avaient, dans le système d'organisation soviétique, fait l'objet d'aucun contrôle par un organisme indépendant de l'exploitant. Cet essai fut en outre conduit avec un laxisme inouï, dans le mépris des

consignes d'exploitation les plus essentielles. L'analyse de l'accident et les enseignements que l'on peut en tirer en termes de conception et d'exploitation des réacteurs ont été présentés par plusieurs auteurs et diverses institutions [1] [2].

En 1986 il y avait 17 réacteurs de puissance de même type en fonctionnement, dont les quatre réacteurs de la centrale de Tchernobyl, dans ce qui était à l'époque l'URSS. En Ukraine la centrale de Tchernobyl a été définitivement arrêtée en 2000, et en Lituanie la 1<sup>ère</sup> unité de la centrale d'Ignalina a été arrêtée fin 2004. Les 11 autres réacteurs de puissance de même type en Russie et la 2<sup>ème</sup> unité d'Ignalina ont été maintenus en service, après avoir subi les améliorations de conception techniquement réalisables, et avec un renforcement des consignes d'exploitation, afin de poursuivre la production d'une énergie électrique vitale pour les économies des pays concernés. Aucune nouvelle construction de réacteur de ce type ne sera naturellement lancée.

En Occident, l'ampleur de la catastrophe a suscité une émotion considérable. Contrairement à ce qui s'était produit dans le cas de l'accident de la centrale de Three Mile Island en Pennsylvanie en 1979, qui, étant survenu sur un réacteur de type occidental, avait entraîné de nombreuses améliorations sur l'ensemble des réacteurs de conception semblable -notamment en France- l'accident a eu peu de répercussions pratiques en termes de conception des réacteurs, tant le modèle de réacteur de Tchernobyl était spécifique à l'Union Soviétique [2]. Les nations occidentales ont tout au plus été confortées, si besoin était, dans leurs démarches d'amélioration permanente de la sûreté de leurs propres réacteurs, tant en fonctionnement que pour les nouvelles générations en développement. Concernant l'exploitation, Tchernobyl a mis en évidence de manière dramatique l'enjeu vital que constituent le développement et le maintien d'une « culture de sûreté » intransigeante à tous les niveaux chez le personnel d'exploitation, qu'il s'agisse de formation, de prise en compte du retour d'expérience, ou du strict respect des consignes d'exploitation.

## **B2) Les rejets**

L'explosion du réacteur et les incendies qui en ont résulté pendant une dizaine de jours (jusqu'au 6 mai) ont dispersé une activité totale, dite « terme source » de l'accident, d'environ 14 EBq<sup>1</sup>. Les rejets ont été constitués de gaz, d'aérosols et de particules de combustible. La totalité des gaz rares présents dans le cœur au moment de l'accident a été relâchée dans l'atmosphère. Ces gaz rares ont représenté environ la moitié du terme source mais, n'étant pas assimilables par les êtres vivants, leur influence sur la santé a été très limitée. En revanche, les radionucléides les plus significatifs en termes de conséquences biologiques étaient les isotopes de l'iode et du césium, le strontium et les particules de combustible.

Les iodures (50 à 60% de l'inventaire), de courtes périodes<sup>2</sup>, ont été dispersés dans l'atmosphère sous forme gazeuse ou sous forme d'aérosols. Les césiums (20 à 40% de l'inventaire), de plus longue période, ont également pu être transportés sur de très longues distances sous forme d'aérosols. Le strontium et des particules de combustible (quelques pour cents de l'inventaire

<sup>1</sup> Le Becquerel (Bq) est depuis 1975 l'unité légale d'activité d'un corps et représente une désintégration par seconde. C'est une unité extrêmement petite (notre propre corps a une activité d'environ 8 000 Bq), et l'on est donc contraint d'utiliser de très grands multiples, tel l'Exabecquerel : 1 EBq = 10<sup>18</sup> Bq  
On utilise encore parfois le Curie (Ci), qui est l'ancienne unité et représente l'activité d'un gramme de radium 226. 1 Ci = 3.7 10<sup>10</sup> Bq [soit 37 milliards de désintégrations par seconde]

<sup>2</sup> La période est le temps au bout duquel l'activité d'un corps a été réduite de moitié

du cœur) sont en revanche retombés dans le voisinage immédiat de la centrale. Les radionucléides les plus significatifs au-delà du voisinage immédiat du site sont donc les iodes et les césiums, dont les principaux isotopes ont été relâchés dans les quantités suivantes :

Radionucléide	Période	Masse relâchée	Activité relâchée
Iode 131	8 jours	≅ 0.4 kg	1.8 EBq
Césium 134	2 ans	≅ 1 kg	0.047 EBq
Césium 137	30 ans	≅ 26 kg	0.085 EBq

Les isotopes 132 et 133 de l'iode, de périodes plus courtes (respectivement 2 jours et 21 heures), ont sans doute également joué un rôle significatif dans les conséquences de l'accident, comme nous le verrons plus loin.

Compte tenu de sa période, l'activité de l'iode 131 est devenue négligeable au bout d'environ 3 mois après l'accident ; celle du césium 137, en revanche, a été réduite de moins de 40% dans les 20 ans qui se sont écoulés depuis.

## C) RAPPEL SUR LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

### C1) Généralités

#### C1.1) Les doses

En traversant certains tissus ou organes, l'irradiation peut provoquer des dommages par rupture de certaines liaisons moléculaires, en particulier au sein de l'ADN. Pour quantifier ces dommages, on définit le concept de dose absorbée, qui représente l'énergie absorbée par unité de masse du tissu ou de l'organe considéré.

Les dommages dépendent du type de rayonnement ; à dose égale, la nocivité est plus grande pour les rayonnements qui déposent plus d'énergie par unité de longueur (transfert d'énergie linéique, ou TEL, élevé). C'est pourquoi on définit la dose équivalente, produit de la dose absorbée par un facteur de pondération biologique qui exprime la nocivité relative de chaque type de rayonnement. Les rayonnements auxquels on s'intéresse ici, issus des isotopes de l'iode et du césium, sont des rayonnements à faible TEL (émission d'électrons ou de photons), pour lesquels le facteur de pondération est égal à 1. La dose équivalente est donc, dans ce cas, égale à la dose absorbée.

En radioprotection on utilise également le concept de dose efficace, produit de la dose équivalente par un facteur de pondération tissulaire, qui tient compte de la sensibilité relative des différents tissus ou organes à la cancérogenèse. La somme de ces facteurs de pondération est égale à 1 ; ainsi, pour une exposition homogène de tout l'organisme, la dose efficace est égale à la dose équivalente. A titre d'exemple, le facteur de pondération est égal à 0.05 pour la thyroïde ; une dose à l'organisme entier est donc 20 fois plus nocive en termes d'effet à long terme sur la santé que la même dose délivrée à la seule thyroïde.

L'unité de dose absorbée est le gray (1 Gy = 1 joule/kg) ; l'unité de dose équivalente et de dose efficace est le sievert (Sv) ; pour des raisons de commodité on utilise souvent le mGy (1 Gy = 1000 mGy) et le mSv (1 Sv = 1000 mSv).

Dans la discussion des conséquences biologiques de Tchernobyl, on s'intéressera principalement à la dose à la thyroïde pour ce qui concerne les risques de cancer de la thyroïde, et à la dose à l'organisme entier (hors thyroïde), pour ce qui concerne les risques d'autres types de cancer (autres cancers solides<sup>3</sup> et leucémies). Cette distinction est rendue nécessaire par le fait que l'accident a relâché de très grandes quantités d'iode, qui se fixe principalement sur la thyroïde, organe particulièrement sensible au risque de cancer radioinduit.

Les doses à la thyroïde sont les doses absorbées et s'expriment donc en grays. Comme nous l'avons vu plus haut, pour les types de rayonnement auxquels on s'intéresse ici, la dose équivalente à la thyroïde (exprimée en Sv) serait égale à la dose absorbée (exprimée en Gy).

Les doses à l'organisme entier sont des doses efficaces, exprimées en sieverts.

### C1.2) Les effets biologiques

On distingue les effets déterministes (ou non stochastiques) et les effets aléatoires (ou stochastiques).

Les effets non stochastiques (par exemple, le syndrome d'irradiation aiguë) apparaissent chez tous les individus irradiés au dessus d'un certain seuil de dose (voir tableau I ci-dessous pour le cas d'une irradiation globale). L'effet est d'autant plus grave que la dose est plus élevée. Le seuil varie en fonction de l'effet biologique considéré et du volume de tissu irradié ; il est de l'ordre de 700 mSv pour une irradiation de l'organisme entier.

Les premiers signes cliniques immédiats apparaissent vers 1 000 mSv. Une irradiation globale de l'ordre de 4 000 à 5 000 mSv entraîne la mort chez 50% des sujets en l'absence de traitement ; une irradiation globale et brève de l'ordre de 10 000 mSv entraîne rapidement la mort.

Tableau I : Seuils des effets non stochastiques pour une irradiation de l'organisme entier

Seuil d'apparition	≅	700 mSv
Signes cliniques immédiats	≅	1 000 mSv
Risque de décès 50%	≅	5 000 mSv
Décès certain	≅	10 000 mSv

Le mécanisme des effets stochastiques (principalement cancers et éventuelles mutations génétiques) est tout différent. Dans ce cas, la gravité est indépendante de la dose ; c'est la probabilité d'apparition du dommage qui augmente avec celle-ci : en d'autres termes, seul le pourcentage de sujets irradiés chez qui l'on observe ce dommage augmente avec la dose. À la notion de seuil se substitue donc celle d'un risque variable avec la dose ; c'est ce que l'on appelle la relation dose-effet : les incertitudes relatives à cette relation (par exemple,

<sup>3</sup> Ensemble des types de cancers autres que les leucémies

l'évolution de la probabilité de cancer en fonction de la dose) dans le domaine des faibles doses (inférieures à environ 100 mSv) , et plus encore des très faibles doses (inférieures à environ 10 mSv) constituent la principale difficulté dans l'estimation prévisionnelle des conséquences des contaminations nucléaires en général, et de l'accident de Tchernobyl en particulier.

Par ailleurs, les effets stochastiques ne peuvent être différenciés des mêmes effets non radio-induits : on n'a pas pu à ce jour mettre en évidence de « signature » des effets radio-induits ; la seule façon de détecter ces effets éventuels est de montrer par des études épidémiologiques que leur fréquence est statistiquement plus élevée que dans un même groupe de sujets de caractéristiques analogues (âge, sexe...) n'ayant pas subi d'irradiation.

Nous nous intéresserons uniquement dans ce qui suit aux risques de cancers ; en effet les risques de mutations génétiques héréditaires dues à des doses d'irradiation à faible TEL, faibles ou délivrées à faible débit, n'ont jamais été mis en évidence chez l'homme ; s'ils existent, ils sont extrêmement faibles par rapport au taux d'occurrence « naturel » de ces mutations [3].

## **C2) Que montrent les études épidémiologiques en ce qui concerne les effets stochastiques des rayonnements ?**

Pour estimer les effets cancérogènes des rayonnements, on s'est appuyé sur les résultats de plusieurs enquêtes menées sur des populations soumises à des irradiations d'ampleur variable (les études spécifiques à Tchernobyl sont discutées au chapitre D).

### Survivants des explosions atomiques [4]

L'une des principales sources réside dans les études approfondies menées depuis plus de 60 ans par des équipes américano-japonaises sur les quelque 100 000 survivants des explosions atomiques de 1945 à Hiroshima et Nagasaki (HN). On peut schématiquement en résumer les enseignements de la manière suivante :

- les doses moyennes ont été de l'ordre de 200 mSv ; plus de 60% des survivants ont reçu une dose inférieure à 100 mSv, mais certains sujets ont reçu des doses supérieures à 3 Sv. Ces irradiations ont eu lieu en un temps très court, de l'ordre d'une fraction de seconde (ce qui constitue un facteur aggravant),

- sur la cohorte spécifique de plus de 52 000 survivants dite LSS (Life Span Study), un excès de 341 cancers solides et de 86 leucémies avait été mis en évidence à la fin de 1990. Ainsi, sur l'ensemble des cancers observés, 49% des leucémies et 7% des cancers solides peuvent être attribués aux rayonnements,

- les leucémies aiguës sont observées 5 à 10 ans après l'irradiation pour les enfants et 10 à 15 ans pour les adultes. Pour les cancers solides, le temps de latence peut varier entre 10 et 40 ans et il varie en fonction de l'âge au moment de l'irradiation,

- dans le cas des leucémies, la relation dose-effet est du type linéaire-quadratique (c'est-à-dire la somme d'un terme proportionnel à la dose et d'un terme proportionnel au carré de la dose).

De plus, aucun excès de risque de leucémie ne peut être mis en évidence pour des doses inférieures à 150 mSv ; il semble donc exister dans ce cas un seuil autour de cette valeur,

-pour les cancers solides, l'existence d'un tel seuil n'a pas été établie. Par ailleurs, on pensait jusqu'à une époque récente que les données épidémiologiques de HN étaient compatibles avec une relation linéaire, mais les dernières analyses de la mortalité par cancer solide chez les survivants ont mis en évidence une relation également de type linéaire-quadratique,

-aucun effet génétique héréditaire n'a été constaté (sur trois générations), quelle que soit la dose reçue par les parents.

#### Autres études épidémiologiques [4]

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées pour tenter de déterminer l'effet des faibles doses (travailleurs du nucléaire, radiologues, habitants des régions à irradiation naturelle élevée...). Ces études tendent à montrer en règle générale que les faibles doses, délivrées à faible ou fort débit, n'ont soit aucun effet statistiquement significatif sur l'augmentation de la mortalité par cancer, soit des effets nettement plus faibles que ceux prédits à partir des coefficients de risque provenant de l'étude des survivants de HN.

Une mention particulière doit toutefois être faite des résultats d'une analyse portant sur environ 400 000 travailleurs du nucléaire de 15 pays différents, publiés récemment dans le British Medical Journal [5], qui semble mettre en évidence un excès de risque aux faibles doses ; ces résultats demandent néanmoins à être confirmés par la communauté scientifique, notamment en ce qui concerne l'influence sur les résultats du facteur de confusion lié au tabagisme et de la prise en compte des travailleurs ayant reçu des doses supérieures à 100 mSv (quelques pour cents de la population étudiée).

#### Les études épidémiologiques relatives à la thyroïde [6]

Les études épidémiologiques ont montré que les radiothérapies externes pendant l'enfance entraînent une augmentation du risque de cancer de la thyroïde, le plus souvent de type papillaire, au pronostic favorable (quelques pour cents de décès). Dans la plupart des études, le risque a été mis en évidence pour des doses à la thyroïde supérieures à 500 mGy ; toutefois certaines données montrent une augmentation du risque dès 100 mGy.

Le cancer peut survenir 5 à 10 ans après l'irradiation, avec un pic d'incidence 15 à 20 ans après. Un enfant irradié conserve sa vie durant une susceptibilité plus grande au risque de cancer de la thyroïde.

Chez l'adulte en revanche, on n'a jamais observé d'excès significatif de cancer de la thyroïde secondaire à une irradiation, notamment chez les survivants de Hiroshima-Nagasaki.

L'irradiation interne par l'iode 131 conduit à des débits de dose beaucoup plus faibles que les radiothérapies externes.

Aucune augmentation du risque de cancer chez l'adulte n'a pu être mise en évidence, ni chez les sujets ayant reçu un traitement à visée diagnostique, ni chez les sujets ayant été traités par radiothérapie. Les doses administrées étaient de l'ordre de 100 à 500 mGy.

Aucun effet n'a non plus été observé chez l'enfant, mais dans ce cas les effectifs étudiés étaient très faibles, et ne permettent pas de tirer de conclusion ; les doses reçues étaient de l'ordre de 500 à 1 000 mGy .

Ces données confirment que, chez les enfants, la thyroïde est l'un des organes les plus sensibles à l'effet cancérogène de l'irradiation ; un excès de risque semble exister pour l'enfant à partir de doses de l'ordre de 100 mGy délivrées en un temps bref (donc à fort débit de dose).

### **C3) Que peut-on dire de la relation dose-effet aux faibles doses ? [4] [7]**

#### **C3.1) Généralités**

Les études épidémiologiques confirment donc qu'il existe un excès de risque cancérogène significatif pour des doses supérieures à une centaine de mSv délivrées en un temps bref à l'organisme entier.

En revanche, ces études n'apportent pas d'enseignements définitifs en ce qui concerne la relation dose-effet pour de faibles doses de rayonnement (inférieures à 100 mSv), car si elles ne révèlent pas d'excès de risque pour ces faibles doses, elles n'ont pas la puissance statistique suffisante pour permettre d'exclure l'existence d'un risque (il faudrait effectuer des enquêtes portant sur des millions de personnes soumises à des doses annuelles d'une dizaine de mSv pour pouvoir évaluer directement le risque dû à de telles doses). Pour estimer le risque dû aux faibles doses, on est donc amené à extrapoler le risque à partir des données disponibles pour les doses fortes ou moyennes délivrées à fort débit. La façon la plus évidente de le faire est d'utiliser une extrapolation linéaire, c'est-à-dire de supposer que la probabilité de cancer par unité de dose est indépendante à la fois de la dose et du débit de dose. Le conservatisme d'une telle démarche a été récemment souligné dans un rapport commun de l'Académie de médecine et de l'Académie des sciences [4], qui observe que l'utilisation d'une loi dose-effet linéaire ne concorde pas avec les enseignements de la biologie. Les études et expérimentations montrent en effet que pour les faibles doses et surtout pour les faibles débits de dose les mécanismes de réparation des cellules interviennent de manière très efficace.

L'effet par unité de dose absorbée diminue donc en réalité avec la dose ou le débit de dose (on peut noter qu'il en est de même pour la quasi-totalité des toxiques chimiques, dont l'effet peut même devenir bénéfique aux très faibles doses, comme on l'a d'ailleurs observé dans certaines irradiations animales).

Néanmoins, bien que les données suggèrent qu'une loi quadratique (effet proportionnel au carré de la dose) ou linéaire-quadratique (somme d'un terme linéaire et d'un terme quadratique) fournisse une meilleure représentation du risque cancérogène des radiations qu'une simple relation linéaire, les difficultés de quantification font que le recours à une relation linéaire est très largement utilisé pour estimer une borne supérieure du risque. L'hypothèse d'une relation linéaire est également faite par la CIPR\*, dont l'autorité est reconnue au plan international, dans les recommandations qu'elle émet dans le domaine de la réglementation, qui sont pratiquement reprises en l'état dans tous les pays. La CIPR admet toutefois depuis le début des années 1990 qu'un « facteur de réduction de l'effet » égal à 2 (des valeurs comprises entre 2 et 10 avaient été proposées) peut être utilisé dans le cas des faibles doses administrées à faible débit ; ainsi par exemple le taux de cancer léthal par unité de dose est-il dans ce cas pris égal à la moitié du taux correspondant à forte dose.

### C3.2) Coefficients de risque

Pour ce qui concerne le risque de cancer létal par unité de dose, tous types de cancers confondus, le coefficient de risque aux fortes doses délivrées en un temps bref à l'ensemble de l'organisme varie selon les différents organismes (CIPR, NCRP\*, BEIR\*, UNSCEAR\*) entre 0.08 et 0.11 cancer létal/personne-Sv (moyenne hommes/femmes) ; compte-tenu d'un facteur de réduction de l'effet de 2 le coefficient correspondant pour les faibles doses à faible débit se situe entre 0.040 et 0.057 cancer létal/p-Sv.

Notons que le risque d'incidence est environ double du risque de mortalité.

Le rapport BEIR VII [3] (basé sur un facteur de réduction de l'effet très prudent de 1.5) indique que les ratios de risque global femme/homme est de l'ordre de 1.7, et que le ratio global enfant/adulte est de l'ordre de 4.

Pour ce qui concerne l'incidence du cancer de la thyroïde aux faibles débits de dose, la même référence fournit des coefficients de risque par unité de dose de l'ordre de 0.03/p-Gy pour l'enfant et de 0.0025/p-Gy pour l'adulte (soit un ratio enfant/adulte de 12). Le ratio femme/homme est de l'ordre de 5 pour toutes les classes d'âge.

### C4) Jusqu'où extrapoler ?

Si l'extrapolation linéaire aux faibles doses est controversée, la question de l'existence éventuelle d'un seuil d'innocuité (« universel », qui semble peu probable, ou par type de cancer) pour des niveaux de dose ou de débits de dose très faibles l'est bien plus encore.

Nous sommes tous soumis à une irradiation naturelle en provenance de rayonnements cosmique, terrestre, interne à notre propre corps où résultant de l'inhalation de gaz radioactifs émis par certains types de sols (radon). La dose moyenne au niveau mondial due à l'irradiation naturelle est de l'ordre de 2.4 mSv/an, dont plus de la moitié est constituée de rayonnements à fort TEL, avec de larges variations d'une région à l'autre (typiquement entre 1 et 10 mSv/an, avec des maximum de plusieurs dizaines de mSv/an dans certaines régions d'Inde ou de Chine). Aucune étude épidémiologique n'a permis à ce jour de mettre en évidence un quelconque excès de risque dans les régions à niveau d'irradiation naturelle élevé ; mais leur puissance statistique insuffisante ne permet pas d'exclure formellement ce risque : des études portant sur des effectifs plus grands sont en cours.

Il existe un consensus sur le fait que pour les très faibles doses (une dizaine de mSv) et débits de dose (quelques mSv/an), le risque, s'il existe, devrait être extrêmement faible, sans qu'on puisse formellement l'exclure, ni qu'une quantification soit aujourd'hui possible. Beaucoup d'organismes négligent donc purement et simplement le risque correspondant (comme nous le verrons ci-dessous, c'est notamment le cas du « Forum Tchernobyl » [8], qui limite ses analyses aux territoires d'URSS contaminés au delà de 1 Ci/km<sup>2</sup> en 1986, soit l'équivalent d'une dose d'environ 1 mSv/an en 1986). Toutefois l'extrapolation jusqu'à une dose nulle a ses défenseurs, y compris au sein de la communauté scientifique (on parle alors de relation linéaire sans seuil, ou RLSS) ; le plus prestigieux d'entre eux est en France le prix Nobel de Physique Georges Charpak : nous en reparlerons.

## **C5) Un mot de la réglementation**

Au moment de l'accident, en 1986, il n'existait pas de réglementation applicable à une situation accidentelle du type de celle de Tchernobyl. La réglementation destinée à protéger les travailleurs et le public contre l'effet des rayonnements ionisants dus à l'exploitation normale des installations nucléaires était pour ce qui concerne l'Europe contenue dans les Directives Euratom 80-836 du 15 juillet 1980 et 84-467 du 3 septembre 1984, qui reprenaient les recommandations de la CIPR.

Les limites de dose (hors irradiation médicale) étaient fixées aux valeurs suivantes pour les travailleurs :

50 mSv/an à l'organisme entier et 500 mSv/an à l'organe<sup>4</sup> (par exemple, thyroïde).

Pour le public, qui n'est pas suivi médicalement et qui comporte des groupes radiologiquement sensibles comme les enfants et les embryons, une marge de sécurité importante est prise en réduisant les limites admissibles d'un facteur 10, soit :

5 mSv/an à l'organisme entier et 50 mSv/an à l'organe.

Ces limites ont été abaissées en 1990 par la CIPR pour tenir compte d'une réévaluation du risque d'effet stochastique consécutive à une actualisation des études épidémiologiques relatives aux explosions d'Hiroshima et de Nagasaki ; la limite de dose admissible pour l'organisme entier a alors été ramenée à 20 mSv/an pour les travailleurs et 1 mSv/an pour le public.

Une recommandation de la CIPR (CIPR 40, 1984) définissait à l'époque de l'accident des niveaux d'intervention destinés à limiter les expositions du public au-delà des limites ci-dessus en cas d'accident. La CIPR 40 recommandait un niveau bas et un niveau haut d'intervention fixés aux valeurs suivantes :

	Niveau bas	Niveau haut	Contre mesure
Corps entier	5 mSv	50mSv	mise à l'abri
Organe autre que thyroïde	50 mSv	500 mSv	mise à l'abri
Thyroïde	50 mSv	500 mSv	administration d'iode stable

Le niveau bas était celui au dessous duquel aucune contre-mesure n'était en tout état de cause justifiée ; le niveau haut celui au-dessus duquel l'intervention était nécessaire ; entre les deux niveaux, la pertinence d'une éventuelle intervention devait être appréciée sur la base d'une analyse du type coût/bénéfice.

<sup>4</sup> Dans ce paragraphe les doses à l'organe sont des doses équivalentes, exprimées en Sv

## **D) LES CONSÉQUENCES SANITAIRES EN ex-URSS ET DANS LE MONDE**

### **D1) Les conséquences sanitaires de l'accident constatées à fin 2000 [8]**

Ces effets ont été constatés dans les territoires contaminés au voisinage de la centrale (typiquement, dans un rayon de quelques centaines de kilomètres) dans les trois Républiques de l'ex-URSS : Ukraine, Bélarus, Fédération de Russie.

#### D1.1) Les effets non stochastiques

Ils ont été observés dans le groupe des personnels présents dans la centrale le jour de l'accident et celui des personnels d'urgence (par exemple, les pompiers) intervenus pour le maîtriser, soit au total quelques centaines de personnes. C'est le seul groupe pour lequel les doses à l'organisme entier ont été élevées, et des effets non stochastiques sont apparus.

Parmi les 237 personnes hospitalisées, un syndrome d'irradiation aiguë a été diagnostiqué chez 134 patients ayant reçu des doses supérieures à environ 1000 mSv. La répartition des doses estimées est environ la suivante :

Nombre de patients	Dose estimée (Sv)	Nombre de décès
21	6 à 16	20
22	4 à 6	7
50	2 à 4	1
41	1 à 2	0
103	<1	0
<b>Total</b>	<b>237</b>	<b>28</b>

Parmi les 134 patients souffrant du syndrome d'irradiation aiguë, 28 personnes sont décédées dans les jours ou les semaines qui ont suivi l'accident.

Par ailleurs, trois décès pour des causes autres que l'irradiation sont intervenus tôt après l'accident, portant à 31 le nombre total de décès précoces dus à l'accident.

Ultérieurement, sur la période 1986-2004, 19 autres personnes parmi cette population sont décédées de causes diverses, dont certaines probablement dues aux conséquences à long terme de l'irradiation.

Au total, une cinquantaine de personnes parmi le personnel de la centrale et les équipes d'urgence sont donc décédées depuis la date de l'accident, dont la majeure partie des suites de l'irradiation aiguë.

## D1.2) Les effets stochastiques

### D1.2.1) L'incidence des cancers de la thyroïde

Il est apparu dans les pays de l'ex-URSS, à partir de 1990, une augmentation du nombre de cancers de la thyroïde dans les populations exposées dans leur enfance ou leur adolescence (les personnes qui avaient moins de 18 ans au moment de l'accident, soit une population totale d'environ 2 000 000 personnes dans l'ensemble des territoires contaminés), dont le faible temps de latence (moins de 4 ans, contre 6 à 8 ans d'après HN en irradiation externe) a surpris.

Les doses moyennes ont été estimées à environ 700 mGy au Bélarus, 400 mGy en Russie et 100 mGy en Ukraine. Les doses maximum étaient supérieures à 10 Gy.

Il y a eu deux sources principales contributives à la dose à la thyroïde :

- la dose interne par l'iode 131 (inhalation et ingestion)
- la dose interne par les isotopes de l'iode à vie courte (iode 132, 133 et 135).

Les deux autres voies d'atteinte (dose externe due aux dépôts sur le sol et dose interne due à l'absorption d'autres radionucléides, tel le Césium) ont eu des contributions négligeables.

Pour la plupart des habitants des zones contaminées, la dose interne due à l'ingestion d'iode 131 est de loin la plus importante (80% environ) ; elle était due en majorité à l'ingestion de lait de vache frais, et, dans une moindre mesure, de légumes frais.

Les iodures à vie courte ont néanmoins entraîné des débits de dose plus importants, qui ont pu jouer un rôle significatif dans l'augmentation constatée du nombre de cancers.

Les enfants ont en moyenne reçu des doses beaucoup plus importantes que les adultes (typiquement 5 fois plus élevée) ; en effet leur consommation de lait est semblable à celle des adultes, mais l'iode radioactif se concentre dans une masse de thyroïde beaucoup plus faible<sup>5</sup> (la dose est l'énergie absorbée par unité de masse). Nous avons vu par ailleurs au paragraphe C3 qu'à dose égale, le risque d'incidence d'un cancer de la thyroïde était plus de 10 fois plus élevé chez l'enfant que chez l'adulte.

A la fin de l'année 2000, environ 4 000 cas de cancers de la thyroïde avaient été détectés au Bélarus, en Fédération de Russie et en Ukraine, parmi les enfants et les adolescents ayant moins de 18 ans au moment de l'accident, dont environ les  $\frac{3}{4}$  chez les moins de 15 ans. Le taux de survie est aujourd'hui proche de 99% chez les enfants traités (qui devront toutefois subir leur vie entière un suivi et un traitement médicaux particuliers).

On a constaté par ailleurs que l'augmentation du taux de cancers par rapport au taux d'incidence naturel était très importante (le taux est accru typiquement d'un facteur 10 à 100)<sup>6</sup>, qu'elle était maximum chez les enfants qui avaient moins de 5 ans en 1986 (qui sont aussi ceux qui avaient reçu les plus fortes doses), et que l'épidémie de cancers chez les

<sup>5</sup> La masse de la thyroïde est d'environ 1g chez le nouveau-né ; 4g chez l'enfant de 4 ans ; 15 à 20g chez l'adulte

<sup>6</sup> À titre d'exemple, le taux d'apparition des cancers de la thyroïde chez les enfants du Bélarus âgés de moins de 15 ans au moment du diagnostic est passé d'environ 1 par million et par an avant l'accident à 50 par million et par an dans le milieu des années 90

enfants exposés se poursuivait dans l'adolescence et au début de l'âge adulte. En revanche, le taux est redevenu celui constaté avant l'accident pour les enfants conçus après l'accident.

Les études épidémiologiques ont par ailleurs montré qu'il existait une très nette association statistique entre la fréquence des cancers chez les enfants exposés et les doses reçues. Enfin, environ 90% des cancers observés sont du même type (carcinome papillaire).

Il n'existe donc pas de doute quant à l'existence d'une relation causale entre l'exposition à l'iode des retombées de Tchernobyl et les risques de cancer chez les populations exposées dans l'enfance et l'adolescence. Des incertitudes demeurent quant à la quantification de ce risque, qui apparaît légèrement inférieur quoique du même ordre de grandeur que celui résultant d'une exposition externe. Par ailleurs des facteurs extérieurs, comme la déficience en iode, ont très probablement exercé une influence (la fixation de l'iode radioactif par la thyroïde peut être multipliée par un facteur 2 à 3 en cas de carence alimentaire en iode).

De l'étude d'autres populations exposées par irradiation externe (notamment Hiroshima et Nagasaki), on peut s'attendre à ce que de nouveaux cas de cancer de la thyroïde continuent à apparaître pendant encore plusieurs années chez des sujets qui étaient jeunes au moment de l'accident.

En revanche, il demeure des incertitudes quant à l'existence d'un risque potentiel chez les personnes exposées aux retombées à l'âge adulte. Certaines augmentations du taux de cancers ont été rapportées, mais elles n'ont pas pu être corrélées avec les doses et peuvent s'expliquer par l'influence d'un meilleur dépistage. En particulier, on voit apparaître une nette augmentation du taux d'incidence des cancers de la thyroïde enregistrés au moment de l'introduction de technologies de dépistage avancées, comme l'échographie (environ 50% des cas sont détectés par ce biais).

Il n'est toutefois pas possible à ce jour d'exclure une augmentation du risque de cancer de la thyroïde dans les populations exposées à l'âge adulte, même si en tout état de cause l'expérience de Hiroshima-Nagasaki indique qu'il doit être très inférieur. Ce risque éventuel sera très difficile à mettre en évidence par des études épidémiologiques.

Il faut enfin observer qu'un grand nombre des cancers de la thyroïde déjà observés et à venir aurait pu être évité par une restriction plus stricte de la consommation de certaines denrées alimentaires (particulièrement le lait) et l'absorption, dès l'annonce de l'accident, par les populations des zones les plus touchées, et en premier lieu les femmes enceintes, les enfants et les adolescents, de comprimés d'iodure de potassium, afin de bloquer toute entrée supplémentaire d'iode radioactif dans la thyroïde. Cette dernière mesure n'a été prise dans les pays de l'ex-URSS que de manière ponctuelle et trop tardive.

#### D1.2.2) L'incidence des leucémies

Les rayonnements ionisants constituent un risque bien identifié de leucémie, qui a été mis en évidence chez les survivants des explosions atomiques ; toutefois, le risque de leucémie dû à des expositions chroniques à de faibles doses et faibles débits de dose n'a pas été établi.

Néanmoins, une certaine augmentation du taux d'incidence des leucémies chez les populations exposées aux retombées de Tchernobyl était généralement attendue.

### Les populations exposées dans l'enfance

Les nombreuses études épidémiologiques qui ont été menées n'ont pas permis de mettre en évidence une augmentation significative du risque corrélée avec l'exposition aux rayonnements.

### Les populations exposées à l'âge adulte

Il y a lieu de distinguer la population des « liquidateurs » d'une part (personnes intervenues au voisinage du site pour maîtriser les conséquences de l'accident, principalement en 1986 et 1987), et la population générale des territoires contaminés de l'autre.

Pour ce qui concerne les liquidateurs, les premières études n'avaient pas révélé d'augmentation particulière du taux d'incidence des leucémies associée à l'exposition aux retombées de Tchernobyl. Mais une étude récente suggère une augmentation importante de l'incidence des leucémies entre 1986 et 1996 chez les liquidateurs Russes ayant reçu des doses externes comprises entre 150 et 300 mSv. Les études épidémiologiques doivent se poursuivre pour permettre d'établir et de quantifier l'existence d'un risque éventuel.

Les diverses études menées sur les populations générales des territoires contaminés exposées à l'âge adulte n'ont pas permis de mettre en évidence une augmentation du risque d'incidence des leucémies due à l'irradiation dans ces populations.

Des études analytiques portant sur une population suffisante pourraient en théorie permettre de mettre en évidence ce risque éventuel dans le futur. Toutefois, les doses reçues par la population générale sont faibles et le risque de leucémie décroît une dizaine d'années après l'exposition ; la mise en évidence d'un éventuel excès de risque de leucémie dans la population générale par suite de l'exposition aux rayonnements devient donc de plus en plus incertaine.

### D1.2.3) L'incidence des cancers solides (autres que la thyroïde)

Chacun sait que le taux « naturel » d'incidence des cancers solides (c'est-à-dire hors irradiation) est extrêmement élevé ; à titre d'exemple, dans la seule année 2000, l'Agence Internationale de Recherche sur le Cancer (Lyon) estime qu'environ 10 millions de nouveaux cas de cancers sont apparus au niveau mondial et que la maladie a causé approximativement 6 millions de décès. Au niveau individuel, la probabilité de décès par cancer solide est de l'ordre de 15 à 20%.

Il est par ailleurs bien établi que les rayonnements ionisants peuvent causer la plupart des types de cancers, même si la sensibilité au risque de cancer varie grandement d'un organe à l'autre.

Il est d'usage courant, pour des raisons statistiques, de considérer les cancers solides en groupe pour estimer les risques dus à l'irradiation.

Le risque augmente quand l'âge au moment de l'exposition décroît. Il est plus élevé chez les femmes que chez les hommes.

Une donnée essentielle à prendre en compte, s'agissant de la détection d'un excès de risque éventuel d'incidence ou de mortalité due aux cancers solides pour Tchernobyl, est que l'on sait par les études de populations exposées à de fortes doses qu'il existe pour ce type de

cancers un temps de latence minimum de 10 à 15 ans ; en conséquence, toute augmentation du risque ne peut se manifester qu'à partir du début des années 2000 environ.

Pour ce qui concerne les liquidateurs, et de manière analogue à ce que nous avons vu dans le cas des leucémies, une étude récente d'une cohorte de liquidateurs Russes ayant reçu une dose moyenne de l'ordre de 100 mSv semble faire apparaître un certain excès du taux de mortalité par cancer solide. Cette tendance demande toutefois à être confirmée.

L'ensemble des données disponibles aujourd'hui n'a pas permis de mettre en évidence un excès de risque dans la population générale des régions contaminées. L'insuffisante puissance statistique des études ne permet toutefois pas d'exclure l'existence d'un tel risque chez ces populations. Dans la mesure où les temps de latence pour ces types de cancers sont très longs, il est possible qu'une augmentation éventuelle du risque ne puisse être détectée avant encore plusieurs années. Toutefois, il faut noter que les niveaux de doses reçues ont été faibles. De plus, le risque relatif par unité de dose est beaucoup plus faible dans le cas des cancers solides que pour les leucémies. Tous ces facteurs se combinent pour indiquer que toute augmentation éventuelle du risque due à l'irradiation sera faible et difficile à détecter au moyen d'études épidémiologiques, même portant sur des cohortes de grande taille.

## **D2) Les prévisions d'incidence et de décès à long terme dus aux effets stochastiques [8]**

Contrairement aux effets constatés à fin 2000 décrits au paragraphe précédent, on entre ici dans le domaine incertain de la prévision à long terme ; en l'absence d'une véritable étude de risque, ces estimations sont effectuées de manière raisonnablement conservatrice.

### D2.1) Les cancers de la thyroïde

On estime que le nombre total de cancers de la thyroïde chez les enfants et adolescents exposés lors de l'accident de Tchernobyl pourrait atteindre environ 8 000 personnes dans les prochaines années. Le taux de mortalité est fonction de l'efficacité des traitements mis en œuvre, mais est de l'ordre de quelques pour cents.

### D2.2) Les leucémies et autres cancers solides

On est amené à conclure provisoirement de ce qui précède qu'aucune augmentation mesurable du risque de leucémies ou de cancers solides dans la population générale n'a pu être mise en évidence à Tchernobyl, mais qu'une telle augmentation ne peut être exclue. Toutefois, la concordance d'un faible niveau de doses et d'un taux spontané de mortalité par cancer solide très élevé rendra probablement très difficile la mise en évidence d'une augmentation du risque de cancer solide par suite des retombées de Tchernobyl dans la population générale.

Une tendance à l'augmentation du risque de leucémies comme de cancers solides semble se dessiner pour la population des liquidateurs, qui a été soumise à des doses plus importantes, mais des études sont nécessaires pour confirmer l'existence de ces risques, et plus encore pour tenter de les quantifier.

Comme nous l'avons vu, les études épidémiologiques des cohortes de survivants des explosions atomiques ont montré l'existence de tels excès de risque et permis de les quantifier

pour des irradiations externes à des doses et débits de dose beaucoup plus importants. Bien que les conditions d'irradiation et les niveaux de doses soient très différents dans le cas de Tchernobyl (expositions chroniques externes et internes à des niveaux de dose faibles), on ne dispose pas aujourd'hui d'autres moyens pour estimer le risque à long terme de l'accident, que d'extrapoler à partir de l'expérience d'Hiroshima et de Nagasaki.

Une telle analyse de risque a été présentée dans le projet de rapport d'experts du groupe « santé » du Forum Tchernobyl. Le Forum présente les résultats d'une analyse de risque effectuée près de 10 ans auparavant par E.Cardis et al [9] ; nous en donnons ci-après une synthèse.

Il s'agit de l'analyse de risque de décès par cancer solide et par leucémie pour 4 groupes de populations :

- les liquidateurs qui sont intervenus dans les années 1986 et 1987 (200 000 p),
- les habitants évacués de la zone des 30 km (116 000 p)<sup>7</sup>,
- les résidents des zones les plus contaminées [Special Control Zones ou SCZ] (> 15 Ci/km<sup>2</sup>) (270 000 p sur environ 10 000 km<sup>2</sup>),
- les résidents des autres zones contaminées (1 à 15 Ci/km<sup>2</sup>) (5 000 000 p<sup>7</sup> sur environ 140 000 km<sup>2</sup>).

Les estimations de risque ont été extrapolées linéairement à partir des données des survivants des explosions atomiques, sans utiliser de facteur de réduction de l'effet. Nous avons souligné au § C3 le conservatisme attaché à une telle démarche, qui permet néanmoins d'estimer de manière simple une borne supérieure du risque.

Il faut rappeler à ce stade que la prise en compte d'un seuil d'innocuité est implicite dans la restriction du périmètre de l'analyse aux territoires dits « contaminés », c'est-à-dire ceux présentant en 1986 une contamination en <sup>137</sup>Cs supérieure à 1 Ci/km<sup>2</sup>. Comme nous l'avons dit plus haut, ce choix suppose l'existence d'un seuil d'innocuité pour un débit de dose de l'ordre de 1 mSv/an et une exposition chronique cumulée de l'ordre de quelques mSv, ce qui est cohérent avec les valeurs de dose limites fixées par la réglementation.

Les résultats de l'étude sont présentés dans le tableau II ci-après.

On peut voir dans le tableau II que la prévision du nombre de décès par cancer ou par leucémie pour les 4 catégories de populations prises en compte est de l'ordre de 2 200 chez les liquidateurs, 160 pour les personnes évacuées de la zone des 30 km, 1 600 pour les habitants des zones contaminées au-delà de 15 Ci/km<sup>2</sup>, et 5 000 pour les résidents des autres zones contaminées, soit au total environ 9 000 personnes.

On peut noter par ailleurs que ces chiffres représentent une fraction modérée du nombre total de décès prévus par cancer solide (quelques pour cents pour les habitants des zones les plus contaminées et les liquidateurs), mais plus importante pour ce qui concerne les leucémies (10 à 20% pour les mêmes populations).

Il faut noter que dans la synthèse du Forum, il n'est plus tenu compte dans les prévisions de décès à long terme annoncées de la catégorie des populations habitant les territoires

<sup>7</sup> Chiffres révisés par rapport aux 135 000 p et 6 800 000 p de la référence [9]

contaminés entre 1 et 15 Ci/km<sup>2</sup> qui figure dans le rapport d'experts (ce qui revient à élever implicitement le seuil d'innocuité de quelques mSv à quelques dizaines de mSv). La prévision totale est ainsi ramenée à 4 000 décès. Cette démarche semble constituer en fait une reconnaissance implicite du fait que la RLSS ne s'applique pas aux très faibles doses. On peut en tout état de cause déplorer l'absence de tout commentaire, et a fortiori de la moindre justification de cette démarche, de la part des responsables du Forum.

Tableau II—Prévisions d'excès de mortalité dû à l'exposition aux retombées de Tchernobyl [9]

Population	Taille Dose moyenne	Type de cancer	Prévision de mortalité dû à l'irradiation	
			Nombre	% des cancers totaux
Liquidateurs (1986-1987)	200 000 p 100 mSv	Solide Leucémie	2 000	5
			200	20
Évacués de la zone des 30 km	[116 000 p] 10 mSv	Solide Leucémie	150	0.1
			10	2
Résidents des SCZ	270 000 p 50 mSv	Solide Leucémie	1 500	3
			100	9
Résidents des autres zones contaminées	[5 000 000 p] 7 mSv	Solide Leucémie	4 600	0.6
			370	1.5

Nous retiendrons pour conclure que les prévisions enveloppes du Forum Tchernobyl, sur la base d'une extrapolation linéaire d'Hiroshima-Nagasaki, et sans facteur de réduction de l'effet aux faibles doses et faibles débits de dose, sont de l'ordre de 4 000 décès si l'on s'en tient aux territoires contaminés au delà de 15 Ci/km<sup>2</sup>, et de 9 000 si l'on abaisse le seuil à environ 1 Ci/km<sup>2</sup>. La mortalité spontanée par cancer est estimée dans les 2 cas à environ 100 000 et 900 000 cas, respectivement (soit environ 16 % de la population).

Étant donné que l'utilisation d'un facteur de réduction de l'effet aux faibles débits de dose permet de ramener l'évaluation de 9 000 décès à environ 4 000 (un facteur de réduction de l'effet de l'ordre de deux est admis par la CIPR, comme nous l'avons vu au § C3), nous retiendrons le chiffre de 4 000 comme ordre de grandeur raisonnablement conservateur des

conséquences de l'accident<sup>8</sup>. Notons que ce chiffre correspond à un excès d'incidence de cancers dû aux radiations de l'ordre de 8 000 cas.

### D2.3) Et avec la RLSS ?

Nous avons vu que certains auteurs estiment que le risque varie linéairement en fonction de la dose jusqu'aux doses les plus infimes venant s'ajouter à l'irradiation naturelle (hypothèse RLSS). Leur estimation ne se réfère donc pas aux territoires dits « contaminés », au sens conventionnel du Forum Tchernobyl [au-delà de 1 Ci/km<sup>2</sup>], mais à l'ensemble des populations exposées aux retombées de Tchernobyl, si faibles qu'aient pu être ces retombées. Leur estimation est donc le résultat d'une simple règle de 3, consistant à multiplier la dose collective résultant de Tchernobyl par le taux de risque de décès par cancer dû à l'exposition aux rayonnements.

L'estimation de la dose collective publiée en 1988 par l'UNSCEAR est de 600 000 personnes-Sieverts [10]. Elle s'applique aux 4 milliards d'habitants de l'hémisphère nord, et se décompose selon le tableau suivant :

Tableau III  
Dose collective due à Tchernobyl [10]

	Population Millions	Dose collective p-Sv
URSS	279	226 000
Europe	487	330 340
Asie	2 705	49 000
Amérique	454	1 580
Afrique	379	13 680
<b>TOTAL</b>	<b>4304</b>	<b>620 600</b>

C'est en partant de cette valeur d'environ 600 000 personnes-Sieverts que G. Charpak et al [11] aboutissent à une estimation de 24 000 décès, en utilisant un taux de 0.04 cancer létal/p-Sv, estimé à partir d' Hiroshima-Nagasaki (soit 0.08/p-Sv) à l'aide d'un facteur de réduction de l'effet égal à 2.

Une telle démarche n'est certes pas nouvelle dans son principe. De nombreux auteurs ou organisations ont ainsi livré au cours du temps leurs propres estimations des conséquences à long terme de Tchernobyl, en se basant sur une évaluation de la dose collective due à

<sup>8</sup> L'utilisation de la dose collective déduite du tableau II ( $\cong 70\,000$  p-Sv) et du coefficient de risque le plus conservateur (BEIR) indiqué au § C3 (0.057 cancer létal/p-Sv [3]) conduit également, de manière simplifiée, à une estimation de 4 000 décès.

l'accident et sur une valeur (très variable selon la sensibilité des auteurs...) du coefficient de risque de cancer létal.

On rappelle que cette façon de faire, consistant à utiliser la RLSS à partir de la dose collective de populations très vastes ayant dans leur grande majorité reçu des doses extrêmement faibles (c'est-à-dire d'un ordre de grandeur en valeur cumulée inférieur à une ou quelques années d'irradiation naturelle), n'est approuvée par aucun des organismes scientifiques publics ayant publié sur le sujet (CIPR, UNSCEAR,...).

Il importe aussi de placer les « prévisions » annoncées sur cette base dans le contexte des conséquences en termes de mortalité spontanée par cancer qu'elle implique.

On peut déduire du tableau III ci-dessus que la dose moyenne reçue par les habitants de l'ex-URSS et d'Europe (766 millions d'habitants) est de 0.7 mSv ; celle des habitants des autres continents (3.54 milliards d'habitants) est de 0.02 mSv (20 microsievverts) .

Avec le même modèle de risque, le nombre de décès par cancer dus à l'irradiation naturelle dans la même population (2.4 mSv/an en moyenne) s'élèverait à environ 28 millions, soit plus de 1000 fois les conséquences de Tchernobyl...

Même en se limitant à l'URSS et à l'Europe, qui couvrent 90% de la dose collective, le nombre estimé de décès dus à Tchernobyl serait selon cette méthode de 22 000, mais dans le même temps, la mortalité par cancer due à l'irradiation naturelle serait supérieure à 5 millions de personnes, et celle causée par les examens radiologiques (1 mSv/an en moyenne) de plus de 2 millions...

On comprend les observations formulées par l'Académie des sciences et l'Académie de médecine :

*« Enfin, la RLSS est souvent utilisée abusivement en multipliant les effets de doses infimes, estimés par la RLSS, par de grands effectifs, par exemple pour « calculer » le nombre de morts induits si des millions de personnes étaient exposées à quelques microsievverts. Ces calculs fondés sur des doses collectives sont dénués de toute signification, comme l'ont rappelé l' UNSCEAR et la CIPR. Certains continuent néanmoins à les effectuer, ce qui conduit à des conclusions fantaisistes (par exemple en ce qui concerne les conséquences de l'accident de Tchernobyl) qui, sans fondement scientifique, contribuent à faire prévaloir l'idée que la moindre irradiation serait dangereuse. Les débats autour des déchets radioactifs et les calculs de risque fondés sur la RLSS montrent que le formalisme de cette relation et des calculs qui sont fondés sur elle ne contribuent pas à la compréhension du problème biologique et médical et peut même, au contraire, l'obscurcir »[4].*

### **D3) Bilan général**

Il résulte de ce qui précède que le bilan général de l'accident s'établit comme suit :

Effets non stochastiques : - une cinquantaine de décès constatés à fin 2000,

Effets stochastiques : -cancers de la thyroïde : environ 4 000 cas constatés à fin 2000, et un total de 8 000 cas estimé à long terme, avec une mortalité de quelques pour cents,

-tous autres types de cancers : pas d'augmentation du risque constatée à fin 2000, et une prévision à long terme d'environ 8 000 cas, avec une mortalité de l'ordre de 50%.

Il s'agit naturellement, en ce qui concerne les prévisions, d'ordres de grandeur vraisemblablement conservateurs ; les estimations pourront être affinées au cours du temps en fonction des enseignements apportés par les nombreuses études épidémiologiques en cours sur le terrain.

## **E) TCHERNOBYL EN FRANCE [12] [13]**

### **E1) Généralités**

Le rejet principal de Tchernobyl a duré une dizaine de jours, entre le 26 avril et le 6 mai. Les premiers jours, le panache s'est élevé verticalement à plus de 2 000 mètres, puis a été entraîné par les vents sur plusieurs milliers de kilomètres. Cette dispersion s'est effectuée initialement en 3 phases :

- les rejets du 26 avril ont été entraînés vers le Nord-Ouest, puis rabattus vers l'Est et le Sud ;
- les rejets du 27 avril ont été entraînés vers l'Europe de l'Ouest, où ils sont parvenus le 30 avril, puis ont été repris par le vent du Sud (épargnant ainsi la péninsule ibérique),
- les rejets du 28 avril ont été entraînés vers l'Est et le Sud.

Ainsi la majeure partie de l'Europe a-t-elle été contaminée par le panache.

Le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (SCPRI), créé en 1956 comme unité médicale de l'INSERM\* et placé sous l'égide des ministères de la Santé, du Travail et de la Recherche, avait la responsabilité de définir en France la politique de protection des travailleurs et de la population contre les effets des rayonnements : il était donc directement associé à l'élaboration des textes réglementaires en ce domaine, en particulier de la transposition en France des textes de la Communauté Européenne, de la comptabilité des doses reçues par tous les travailleurs concernés par les rayonnements ionisants (industrie nucléaire, hôpitaux,...), ou encore de la surveillance du territoire, en particulier des mesures de niveau d'activité dans l'environnement autour des installations nucléaires.

Le SCPRI a été prévenu de l'accident par son homologue suédois le lundi 28 avril. Il a relevé les premières augmentations de radioactivité sur les filtres placés sur les avions de ligne d'Europe Centrale et du Nord et les a communiqués aux agences de presse qui les ont publiés le 29 avril.

Jusqu'au 30 avril, les prévisions de la Météorologie Nationale étaient favorables car un anticyclone couvrait la France; cet anticyclone s'est effacé le 30 avril pour faire place à un vent d'Est. La station de veille de l'aéroport de Nice, qui enregistrait en continu la radioactivité atmosphérique, a détecté une augmentation le 30 avril : le SCPRI en avertit les agences de presse, qui (le 1<sup>er</sup> mai étant férié) ne la publièrent que le 2 mai. Puis ce fut le tour des stations analogues du Vésinet, Marseille, Tours, Cherbourg et Lille, entre les 1<sup>er</sup> et 2 mai.

Le 2 mai 1986, le journal « Libération » écrivait par exemple que le Professeur Pellerin, directeur du SCPRI, avait annoncé la veille que « *l'augmentation de radioactivité était enregistrée sur l'ensemble du territoire, sans aucun danger pour la santé* ». Ce qui n'empêchera pas ce même journal de titrer le 12 mai 1986 sur « *le mensonge radioactif* » : « *Les Pouvoirs Publics ont menti : le nuage radioactif a bien survolé une partie de l'hexagone : le Professeur Pellerin en a fait l'aveu 2 semaines après l'accident nucléaire* ».

Depuis lors, chaque anniversaire de l'accident nous vaut une éruption médiatique sur des variations du même thème. La condamnation pour diffamation de Noël Mamère en correctionnelle, en 2000, pour avoir porté la même accusation de mensonge en 1999 sur Antenne 2, confirmée en appel en 2001, puis en cassation en 2002, fait pour sa part l'objet d'une publicité sensiblement plus discrète.

Tous les pays d'Europe ont à des degrés divers éprouvé des difficultés dans la communication avec le public au sujet de l'accident. Une analyse particulièrement pénétrante de ces difficultés en Suède a par exemple été donnée par C. Samuelson [14]. L'auteur fait notamment observer l'incompréhension du public auquel on recommande de ne pas consommer certains produits, tout en affirmant dans le même temps qu'ils sont totalement inoffensifs (« on nous cache quelque chose »). À l'inverse, certains ont instruit en France, plusieurs années après l'accident, le procès contraire (« certaines denrées, pourtant interdites chez nos voisins, ont été déclarées inoffensives chez nous »). Quoiqu'il en soit, ce problème de communication s'est traduit par l'augmentation dans les années récentes de la défiance des Français envers les Autorités, révélée par les sondages d'opinion au sujet de Tchernobyl. Dès 1987, l'Académie des sciences [1] insistait sur la nécessité de revoir le système d'information français, tant en ce qui concerne l'information permanente que l'information en période de crise. Plus récemment, P. Galle et al revenaient sur le problème en insistant sur le rôle essentiel de la communauté médicale pour le transfert de l'information au public [13].

## **E2) Les doses à l'organisme entier**

Une carte de la valeur moyenne par département de la contamination en césium 137 des surfaces agricoles en France a été dressée en 1997 par l'IRSN\*, à partir des nombreuses mesures de contamination des productions agricoles disponibles [12.1] (figure 1). Cette carte est compatible avec les mesures d'activité des sols qui ont été effectuées.

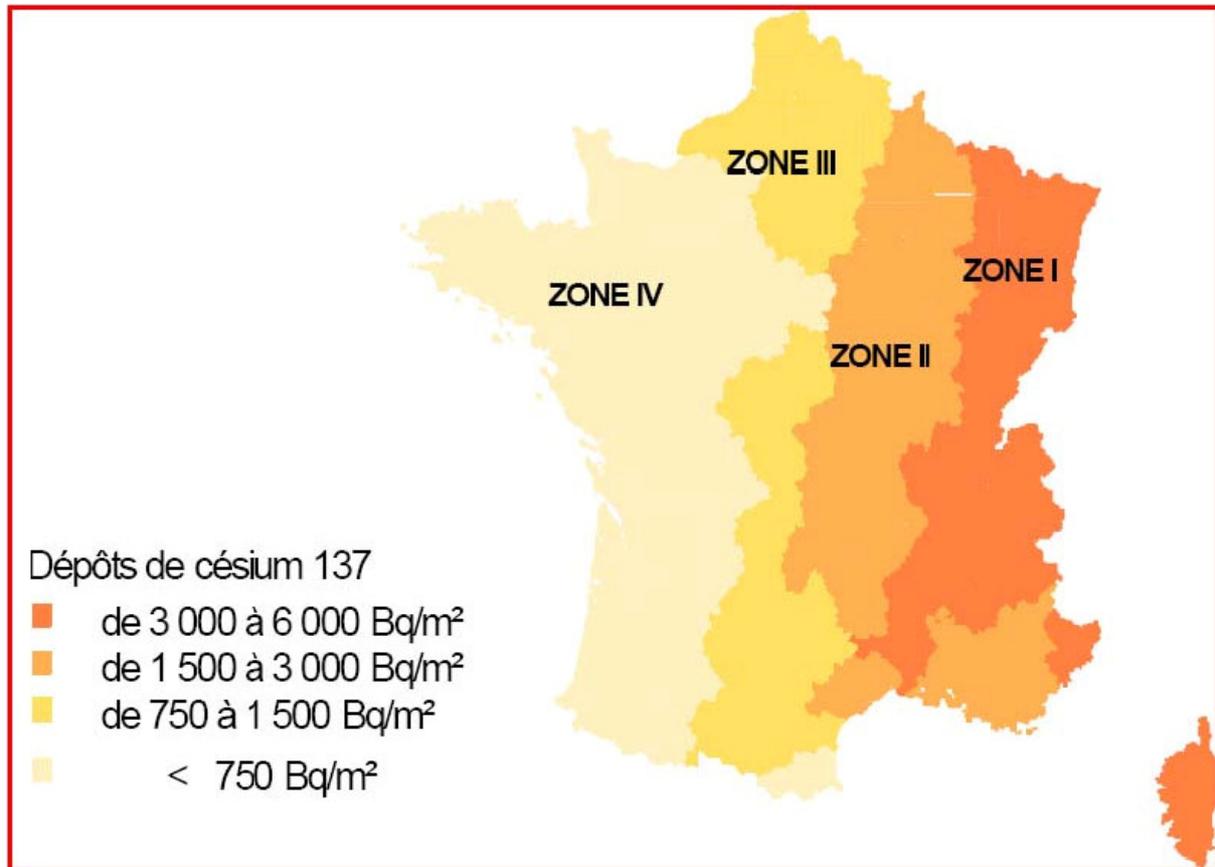


Figure 1 – Carte de la contamination en <sup>137</sup>Cs sur les surfaces agricoles en mai 86 obtenue à partir des mesures de contamination des produits agricoles [12.1]

La France y est divisée en 4 grandes zones, dont la contamination décroît d'est en ouest (zones I à IV), pour lesquelles les doses efficaces corps entier ont été évaluées sur une période de 60 ans (1986-2046). Ces évaluations sont rappelées dans le tableau IV ci-dessous :

Tableau IV : Doses efficaces en France, par région [12]

Zone	Contamination ( <sup>137</sup> Cs 1986)	Dose durée de vie corps entier
I (est)	de 3 à 6 kBq/m <sup>2</sup>	1.5 mSv
II	de 1.5 à 3 kBq/m <sup>2</sup>	0.8 mSv
III	de 0.75 à 1.5 kBq/m <sup>2</sup>	0.6 mSv
IV (ouest)	< 0.75 kBq/m <sup>2</sup>	<0.2 mSv

On rappelle que le seuil de contamination pris en compte par le Forum Tchernobyl pour l'étude des conséquences sanitaires est de  $1 \text{ Ci/km}^2$ , soit  $37 \text{ kBq/m}^2$ , qui correspond à une dose durée de vie corps entier équivalent à une ou deux années d'irradiation naturelle (quelques mSv, dont environ 1 mSv pour la première année).

On voit donc que les doses dans la zone la plus exposée (zone est) sont très faibles, 1.5 mSv (dont 0.4 mSv sur l'année 1986), et représentent environ 1% de la dose due à l'irradiation naturelle sur la même période (150 mSv). Les conséquences sanitaires de telles doses sont insignifiantes [sauf bien sûr pour les tenants de l'approche maximaliste « RLSS », préconisée par exemple par G.Charpak et al, selon laquelle une dose d'environ 0.5 mSv distribuée sur l'ensemble de la population française, soit environ 60 millions de personnes, entraînerait 1 200 cancers létaux radioinduits, tous types de cancers confondus, tandis que l'irradiation naturelle (150 mSv) en causerait 360 000, soit 300 fois plus].

Afin de mieux tenir compte de l'hétérogénéité de la contamination causée par les différences de pluviosité existant lors du passage du panache radioactif, l'IRSN a publié par ailleurs en 2003 une carte de contamination plus fine, obtenue à l'aide d'un modèle fondé sur une corrélation entre les pluies et les dépôts [12.2] (figure 2). Cette nouvelle approche a été contestée [15]. Elle a fait l'objet en 2005 de plusieurs améliorations méthodologiques, qui peuvent conduire à des valeurs de contamination sensiblement différentes sur le plan local, mais ne permettent pas fondamentalement de remédier aux insuffisances du modèle.

Suivant cette approche, l'IRSN a estimé que certaines portions de territoire avaient reçu des contaminations supérieures aux moyennes départementales estimées en 1997, pouvant atteindre localement des valeurs de l'ordre de  $30 \text{ kBq/m}^2$ . C'est notamment le cas du sud-est de la Corse, où la pluviosité avait été très forte début mai 1986.

Toutefois l'analyse des doses moyennes reçues par les populations n'a pas été reprise sur la base de cette nouvelle carte, car l'utilisation de la carte des contaminations moyennes départementales des surfaces agricoles, plus représentative de la contamination de la chaîne alimentaire, était jugée mieux adaptée au calcul de la fraction de la dose due à l'exposition interne (qui représente environ 40 % de la dose efficace totale).

La pertinence de cette démarche a été récemment confirmée par le Conseil Scientifique de l'IRSN. L'avis de ce Conseil, relatif aux travaux de l'IRSN visant à reconstituer les retombées de l'accident de Tchernobyl en France, avait été sollicité par les ministères de tutelle en novembre 2005. Le Conseil, qui était assisté d'une Commission d'experts européens, a rendu son avis le 27 mars 2006 [16] ; nous en reproduisons ci-dessous quelques extraits :

*« Les modèles 2003 et 2005 ne concernent que les dépôts rémanents de césium, fortement influencés par les pluies, et non la contamination alimentaire par l'iode et le césium. Pour cette dernière, le rôle des dépôts secs a son importance, ainsi que l'effet de saturation rencontré lors de très fortes pluies. En effet, les observations montrent que la concentration dans le végétal ne reste pas proportionnelle à la hauteur des précipitations mais atteint une valeur maximale. Il existe également une forte disparité de comportement entre l'iode et le césium. Par exemple, des différences nettes ont été observées au Royaume-Uni en ce qui concerne les ratios de dépôts  $^{131}\text{I} / ^{137}\text{Cs}$  sur l'herbe, en conditions humides ou sèches »*

On peut observer toutefois que même en tenant compte, pour ce qui concerne la fraction de dose efficace due à l'exposition externe par les dépôts rémanents, des données enveloppes de

la carte 2003, les conclusions générales ci-dessus relatives aux conséquences sanitaires de l'accident ne seraient pas modifiées, les populations de l'Est de la France restant soumises sur leur durée de vie à des doses extrêmement faibles (de l'ordre de quelques mSv, soit les valeurs annuelles de l'irradiation naturelle [2.4 mSv/an], ou de la limite d'irradiation réglementaire en 1986 [5 mSv/an]).

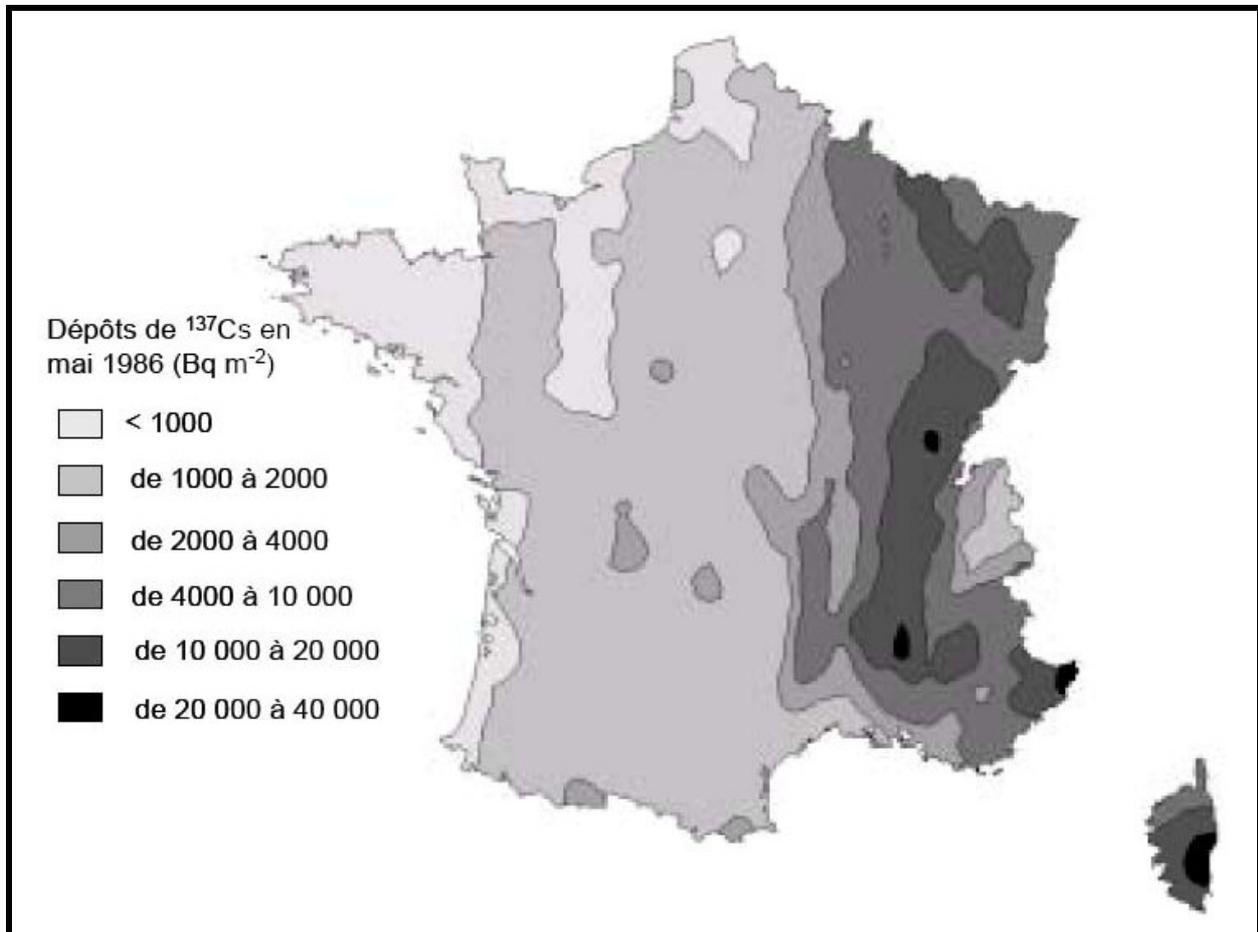


Figure 2 – Carte de la contamination des sols en  $^{137}\text{Cs}$  en mai 86 obtenue par couplage entre pluies et dépôts [12.2]

En ce qui concerne les progrès qui pourraient résulter dans le futur d'une amélioration des différentes modélisations proposées en termes de reconstitution quantitative des dépôts et des doses dues à Tchernobyl en France, notons que le Conseil Scientifique de l'IRSN recommande de « *renoncer à la réalisation d'une nouvelle cartographie dans l'optique de reconstitution du passé, car aucun progrès significatif aussi bien pour la cartographie des dépôts de 1986 de césium, que pour l'estimation des doses à la population, n'est à attendre par rapport aux données disponibles à l'époque et acquises à ce jour* » [16].

L'analyse présentée ci-dessus est limitée aux doses efficaces corps entier. Nous allons maintenant considérer le cas particulier du risque de cancers de la thyroïde.

### **E3) Les cancers de la thyroïde**

L'examen du risque de cancers de la thyroïde mérite une attention particulière pour deux raisons évidentes :

-l'apparition d'un nombre important de cancers de la thyroïde survenue à partir du début des années 1990 dans les pays de l'ex-URSS, chez les enfants et les adolescents âgés de moins de 18 ans au moment de l'accident, cancers dont l'origine est clairement liée aux retombées de Tchernobyl, comme nous l'avons vu ci-dessus,

-le fait qu'on observe en France depuis un certain nombre d'années une augmentation du nombre de cancers de la thyroïde ; bien que cette augmentation se soit amorcée il y a environ une trentaine d'années, c'est-à-dire bien avant l'accident, le public s'interroge très naturellement sur un éventuel lien de causalité avec Tchernobyl.

C'est dans ce contexte que, le 1<sup>er</sup> mars 2001, soit 15 ans après l'accident, une plainte contre X avec constitution de partie civile a été déposée auprès du Tribunal de Grande Instance de Paris par l'Association Française des Malades de la Thyroïde et quelque 200 personnes physiques atteintes de maladies de la thyroïde, auxquelles s'est jointe l'association antinucléaire CRIIRAD (Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité), constituée au lendemain de l'accident de Tchernobyl [17].

La CRIIRAD a en outre demandé récemment (avril 2005) la mise en examen du Professeur Pellerin et la réalisation d'une étude épidémiologique en Corse [18].

En janvier 2000 la Direction Générale de la Santé du Ministère de la Santé a demandé que soit menée une étude pour quantifier le risque de cancer de la thyroïde lié aux retombées de l'accident de Tchernobyl en France. Un autre objectif de l'étude était d'apprécier si une étude épidémiologique permettrait de mettre en évidence en France une augmentation de la fréquence de ce type de cancer par suite de l'accident. Cette étude a été menée par l'IRSN\* et l'InVS\* et les résultats en ont été rendus publics dans un rapport publié en décembre 2000. Nous présentons dans les paragraphes qui suivent une synthèse des analyses de ce rapport.

#### **E3.1) L'augmentation des cancers de la thyroïde en France [19]**

##### **Population générale**

La figure 3 présente l'évolution du taux d'incidence et du taux de mortalité du cancer de la thyroïde en France pour la population générale sur la période 1975-1995, séparément pour les hommes et pour les femmes.

Le cancer de la thyroïde est un cancer rare, représentant au total environ 1% des cancers dans la population générale. Son taux d'incidence n'est connu que de manière indirecte et approximative.

Entre 1975 et 1995, le taux d'incidence estimé est passé en moyenne de 0.6 à 3.1 pour 100 000 habitants chez les hommes, et de 2.1 à 5.7 chez les femmes. Pendant le même temps, le taux de mortalité n'a pas augmenté chez l'homme et a légèrement diminué chez la femme.

La même tendance se retrouve dans toute l'Europe, quoique de façon en général moins marquée qu'en France.

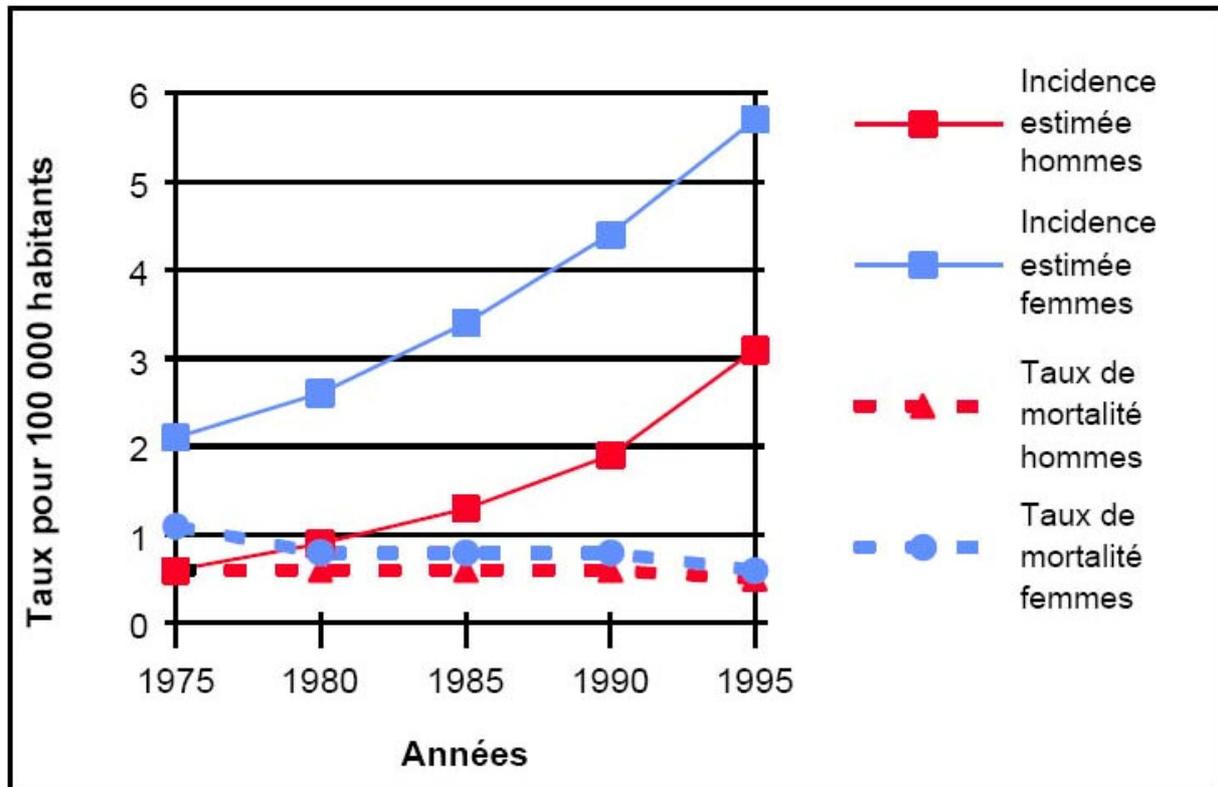


Figure 3 – Incidence et mortalité du cancer de la thyroïde dans la population générale française sur la période 75-95 [12.2]

On voit que l'augmentation peut être observée dès 1975, bien avant l'accident de Tchernobyl, et qu'elle se poursuit sur la période d'observation de 20 ans, sans marquer d'accélération après l'accident. Il faut de plus noter que les augmentations constatées ne sont absolument pas corrélées géographiquement avec la carte de contamination due à Tchernobyl (par exemple, le nombre de cancers a été multiplié par quatre dans le Calvados, où les retombées étaient à peine décelables, et seulement par deux dans le Bas-Rhin, où les niveaux d'activité enregistrés ont été plus élevés).

Dans le monde médical, chez les médecins nucléaires et les endocrinologues, on estime que la cause principale de cette augmentation réside dans l'amélioration du dépistage et des technologies associées : l'augmentation du taux d'incidence correspond à l'essor de l'échographie thyroïdienne qui est devenue un examen très courant. L'échographie permet de détecter des tumeurs d'environ 2 mm de diamètre, contre environ 1 cm auparavant [6].

## Chez l'enfant

Chez l'enfant, le cancer de la thyroïde est un cancer très rare: le taux d'incidence annuel est de l'ordre de 1 à 2 par million d'enfants de moins de 15 ans, ce qui représente une vingtaine de cas par an en France (moins de 1% des cancers de l'enfant).

Les données disponibles à partir des registres régionaux des tumeurs solides chez l'enfant, qui couvrent environ 3 millions d'enfants sur une période approximative d'une dizaine d'années (37 cas constatés entre le milieu des années 80 et le milieu des années 90), ne montrent pas d'augmentation du cancer de la thyroïde chez des enfants. Ainsi le registre spécialisé de Champagne-Ardennes, l'une des régions où les retombées du panache ont été les plus sensibles, fait-il apparaître un taux d'incidence constant (0 ou 1 cas par an) entre 1986 et 2000.

En résumé, comme l'a confirmé le Groupe de Recherche sur la Thyroïde, émanation de la Société Française d'Endocrinologie, dans une prise de position officielle, « [...] *Il n'y a pas d'argument scientifique qui conduise à penser qu'en France l'augmentation du nombre de cancers thyroïdiens diagnostiqués soit liée à un « effet Tchernobyl »* » [20] :

-l'augmentation apparente de l'incidence des cancers a été constatée bien avant l'accident et concerne tous les types histologiques et tous les âges de survenue, alors que l'observation des cancers de la thyroïde autour de Tchernobyl montre que l'exposition aux rayonnements augmente principalement les cancers papillaires, et ceci chez les sujets exposés pendant l'enfance,

-l'augmentation du taux d'incidence des cancers est géographiquement totalement décorrélée de la carte de contamination du territoire français.

-un meilleur dépistage est vraisemblablement la cause de l'augmentation d'incidence, qui s'accompagne d'une diminution de la taille des tumeurs diagnostiquées.

### E3.2) L'étude de l'IPSN/InVS relative aux risques de cancers de la thyroïde en France [19]

S'il n'existe donc aujourd'hui aucun argument scientifique permettant d'établir un lien quelconque entre l'augmentation constatée de l'incidence des cancers de la thyroïde en France et l'accident de Tchernobyl, une absence totale de risque ne peut pas non plus être démontrée.

C'est la raison pour laquelle l'IRSN et l'InVS ont entrepris une étude, afin d'estimer un excès de risque potentiel dû à l'accident de Tchernobyl, et de déterminer si des études épidémiologiques pourraient avoir une puissance statistique suffisante pour mettre en évidence cet excès de risque éventuel.

### Populations prises en compte

L'étude a porté sur la population des enfants et des adolescents habitant l'Est de la France, région où les retombées ont été les plus significatives, et âgés de moins de 15 ans au moment de l'accident, groupe d'âge pour lequel l'augmentation du nombre de cancers de la thyroïde a été constatée dans les pays de l'ex-URSS ; ceci représente une cohorte de 2 270 000 personnes.

## Évaluation du nombre de cancers spontanés

Le nombre attendu de cancers spontanés est estimé à partir des données disponibles dans les registres généraux de cancers ; l'incertitude sur l'évaluation est estimée avec un intervalle de confiance de 95%.

### E3.2.1) Expositions moyennes

L'évaluation des doses à la thyroïde pour la population de l'Est de la France est donnée dans le tableau V ci-dessous.

Tableau V

Doses à la thyroïde dues aux retombées d'iode 131 pour les résidents de la zone I âgés de moins de 15 ans en 1986 - scénario de référence - [19]

Dose moyenne thyroïde (mGy) en fonction de l'âge en 1986			
3 mois	1 an	5 ans	10 ans
1.9 ± 0.6	9.8 ± 3.2	5.9 ± 1.9	3.0 ± 0.9

On rappelle que cette estimation est basée sur la carte de contamination des surfaces agricoles (figure 1 ci-dessus), due au dépôt des radionucléides sur les sols et la végétation, soit pour la zone I une plage de contamination par le césium 137 de 3 000 à 6 000 Bq/m<sup>2</sup>, et pour l'iode 131 environ 10 fois plus. La contamination moyenne en <sup>131</sup>I prise en compte est donc de 45 000 Bq/m<sup>2</sup>, avec une plage de 30 000 à 60 000 Bq/m<sup>2</sup> environ.

L'iode capté et absorbé par les végétaux est ingéré par les animaux, puis transmis à l'homme via la chaîne alimentaire. En particulier, l'iode ingéré par les animaux se retrouve rapidement dans le lait. Chez l'homme, l'iode est ensuite rapidement transféré dans le sang ; la fraction qui n'est pas éliminée directement dans les urines s'accumule alors dans la thyroïde.

Le scénario de référence pris en compte comme base de l'évaluation des doses moyennes à la thyroïde du tableau ci-dessus est basé sur les habitudes alimentaires suivantes, en ce qui concerne les types de lait consommés, à partir de l'âge de 1 an (le délai entre production et consommation, qui est le paramètre principal influant sur les doses, est donné entre parenthèses):

- 76% de lait à longue conservation (UHT) (1 mois),
- 17% de lait pasteurisé (2 jours),
- 4.6% de lait en poudre ou concentré (45 jours),
- 2.2% de lait cru (0 jour),
- 0.2% de lait de chèvre ou de brebis (0 jour).

Les quantités consommées sont de 20 à 30 cl de lait par jour (en fonction de l'âge).

Les doses moyennes du tableau V sont obtenues (à partir de 1 an) en pondérant les doses correspondant à chaque catégorie de lait par sa fréquence d'utilisation.

Dans le cas des nourrissons (3 mois), 30% sont supposés allaités et 70% alimentés par lait en poudre.

On voit que les doses varient d'environ 2 à 10 mGy et sont maximum pour l'enfant de 1 an. Les valeurs centrales du Tableau V correspondent à une activité surfacique en  $^{131}\text{I}$  de 45 000 Bq/m<sup>2</sup>, et les valeurs extrêmes des plages indiquées correspondent à des contaminations de 30 000 et 60 000 Bq/m<sup>2</sup>, respectivement. Ces doses sont très faibles (à titre de comparaison, une simple scintigraphie thyroïdienne délivre environ 14 mGy à la thyroïde). Elles ne justifiaient en aucun cas la mise en œuvre de mesures sanitaires spécifiques, telle l'administration d'iode stable<sup>9</sup>. Rappelons également que ces chiffres représentent environ 1% des doses reçues par les enfants du Bélarus et d'Ukraine.

### Hypothèses et modèles de risque

L'étude fait l'hypothèse conservatrice d'une relation linéaire sans seuil entre la dose et l'effet (RLSS) pour les faibles doses (inférieures à une centaine de mGy).

En ce qui concerne les modèles et coefficients de risque choisis, l'étude prend en compte plusieurs modèles (Hiroshima-Nagasaki, irradiations médicales, Tchernobyl...).

L'étude de l'excès de risque a été effectuée sur une période de 25 ans (1991-2015), soit 30 ans avec une période de latence de 5 ans, avec un examen particulier de la période 1991-2000 pour laquelle des données épidémiologiques sont disponibles.

### Résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau VI ci-dessous.

Tableau VI [19]

Estimation des cancers de la thyroïde spontanés et des excès de cancers chez les personnes âgées de moins de 15 ans en 1986 qui résidaient dans la zone I, selon les modèles retenus

Période	Nombre de cancers spontanés	Nombre de cancers en excès (selon modèle)	Pourcentage en excès
1991-2000	97 ± 20	0.5 à 22	0.5 à 23 %
1991-2015	899 ± 60	7 à 55	0.8 à 6 %

<sup>9</sup> Notons que le niveau d'intervention pour administration d'iode stable a été fixé ultérieurement à une dose équivalente à la thyroïde de 100 mSv (Arrêté du 13 octobre 2003)

La plage d'estimation du nombre de cancers en excès reflète les différents modèles de risque utilisés.

On voit que les excès d'occurrence estimés sont inférieurs aux incertitudes sur le nombre de cancers spontanés, ou du même ordre de grandeur. Ces résultats étant basés sur une approche conservatrice, par extrapolation linéaire à partir de fortes doses, on peut en déduire qu'une étude épidémiologique ne permettrait vraisemblablement pas de mettre en évidence un excès de risque lié à l'accident de Tchernobyl.

### E3.2.2) Expositions maximum

L'analyse ci-dessus correspond aux doses moyennes reçues par les enfants et les adolescents dans la région est de la France, la plus exposée aux retombées de Tchernobyl.

Deux types de facteurs peuvent avoir conduit à des expositions supérieures pour certains groupes critiques :

- une contamination supérieure aux moyennes départementales prises en compte, notamment en raison de fortes pluviosités locales,

- des habitudes alimentaires atypiques.

### Contamination

Nous avons vu au paragraphe E2 que l'IRSN avait effectué en 2003 et 2005 de nouvelles estimations de la contamination des sols basées sur une corrélation entre les dépôts et la pluviométrie, faisant apparaître des taches de contamination dans certaines régions.

Nous avons également souligné, conformément aux conclusions du Conseil Scientifique de l'IRSN, que cette nouvelle méthodologie était particulièrement mal adaptée à l'estimation des doses dues à une exposition interne, qui représente la quasi-totalité des doses à la thyroïde.

Ainsi que l'exprime le Conseil, « ...il n'est pas approprié d'estimer des doses à la thyroïde sur la base d'estimations de dépôts de Césium, corrélés sur des données météorologiques, lorsque les pluies ont été importantes et qu'aucune donnée mesurée n'est disponible pour préciser le rapport  $^{131}\text{I} / ^{137}\text{Cs}$  » [16].

En tout état de cause, compte-tenu de la faiblesse des populations concernées, il semble exclu que les conclusions générales présentées ci-dessus puissent être remises en cause par la seule prise en compte des régions à très forte pluviométrie, même si celle-ci devait entraîner pour les populations concernées une certaine augmentation des doses par rapport à celles présentées dans le tableau V.

### Régimes alimentaires

En ce qui concerne les régimes alimentaires, l'IRSN a mené une étude de sensibilité portant sur le type de lait consommé, qui est comme nous l'avons déjà observé le principal facteur influant sur les doses. Les résultats en sont reportés dans le tableau VII ci-dessous.

On peut observer que les doses dépendent beaucoup du type de lait consommé ; ceci résulte essentiellement des délais de consommation associés (sauf en ce qui concerne le lait de chèvre).

Les doses correspondant à une consommation de lait UHT ou en poudre sont environ 2 à 3 fois plus faibles que celles associées à une consommation de lait cru ou pasteurisé.

Tableau VII [19]  
Analyse de la sensibilité de la dose moyenne à la thyroïde par ingestion  
au type de lait, en fonction de l'âge en 1986

% de consommation des types de lait	Rappel référence	Dose moyenne (mGy)		
		1 an	5 ans	10 ans
référence		9.5	5.7	2.7
100% UHT	(76%)	7.8	4.2	2.2
100% pasteurisé	(17%)	14.6	10.2	4.3
100% cru	(2.2%)	17.4	12.6	5.2
100% poudre ou concentré	(4.6%)	7.3	3.8	2.0
100% chèvre	(0.2%)	214	184	67

Il apparaît par ailleurs clairement que seule une consommation régulière de lait de chèvre cru (20 à 30 cl/jour dans le tableau ci-dessus) peut conduire à des niveaux de dose significatifs (de l'ordre de 100 à 200 mGy). Ceci est dû au fait que le lait de chèvre concentre beaucoup plus l'iode que le lait de vache (20 fois plus dans l'étude de l'IRSN). Le pourcentage de consommateurs de lait de chèvre est estimé par l'INSEE à 0.2% de la population ; en supposant que ce pourcentage reste applicable au groupe des 2 270 000 enfants et adolescents vivant dans l'est de la France, les consommateurs de lait de chèvre seraient au nombre d'environ 4 500, et le nombre de cancers de la thyroïde attendus spontanément dans cette population sur la période 1991-2015 serait d'environ 2 cas.

On peut déduire de l'étude de l'IRSN que, même en faisant l'hypothèse (très peu réaliste) que tous ces enfants consommaient quotidiennement leurs 20 à 30 cl de lait de chèvre cru, l'excès du nombre d'occurrences serait du même ordre de grandeur (quelques cas supplémentaires sur la même période).

Les risques occasionnés dans l'hypothèse plus réaliste d'une consommation occasionnelle de lait de chèvre par ces groupes d'enfants sont donc insignifiants.

L'étude de l'IRSN et de l'InVS a par ailleurs mis en évidence, comme l'on pouvait s'y attendre, la non-faisabilité d'une étude épidémiologique significative limitée à ce groupe critique.

### E3.2.3) Cas de la Corse

Dans le cadre de la plainte de mars 2001, la CRIIRAD a concentré ses analyses sur le cas de la Corse, où la pluviosité a été forte dans le sud-est de l'île, et où certaines populations vivant en autarcie sont susceptibles de consommer du lait de brebis cru (ou des produits laitiers à base de lait de brebis). Ces populations, qui cumulent les facteurs de risque analysés aux paragraphes précédents, sont donc susceptibles d'avoir reçu des doses à la thyroïde sensiblement supérieures aux doses moyennes.

Ainsi que nous l'avons déjà souligné, le Conseil Scientifique de l'IRSN a confirmé que les estimations de ces doses à l'aide du modèle « pluie » de l'IRSN (2003/2005) n'avaient pas de validité scientifique.

Or ce modèle a été utilisé par l'IRSN [12.2] pour estimer la dose à la thyroïde qu'aurait pu recevoir un enfant vivant en 1986 dans le sud-est de la Corse et consommant quotidiennement environ 20 cl de lait de chèvre. La charge thyroïdienne d'un garçon de 13 ans, vivant dans le nord de l'île -région dans laquelle la contamination était du même ordre de grandeur que la moyenne constatée dans l'est de la France- avait en effet été mesurée début juillet 86. Elle avait permis de conclure à une consommation probable par ce jeune garçon d'environ 20 cl de lait de chèvre par jour, et conduisait à une estimation de la dose correspondante à la thyroïde comprise entre 10 et 30 mGy. Le modèle « pluie » avait ensuite été utilisé par l'IRSN pour reconstituer la dose qu'aurait été susceptible de recevoir un garçon du même âge, ayant les mêmes habitudes alimentaires, mais vivant dans le sud-est de l'île, où les précipitations avaient été beaucoup plus fortes. Les auteurs concluaient que les doses à la thyroïde avaient pu dans ce cas atteindre des valeurs de l'ordre de 150 mGy. Ces doses auraient donc pu être encore supérieures pour une consommation (hypothétique) de lait (ou de produits laitiers) de chèvre ou de brebis plus importante, et/ou pour un enfant d'âge inférieur.

Ces estimations avaient par ailleurs fait l'objet d'une présentation par l'IRSN à Ajaccio dès le 31 janvier 2002, lors d'une journée d'information scientifique relative aux conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl, organisée par la Préfecture de Corse [21].

Le Conseil Scientifique de l'IRSN confirme donc, par son avis du 27 mars, l'absence de validité de ces estimations.

Le Conseil observe d'une manière plus générale que *« les conséquences d'un accident radiologique de grande ampleur sont dépendantes de phénomènes de dispersion complexe, conduisant à une forte variabilité des dépôts et de l'assimilation par les plantes et les animaux ; il existe de plus une grande variabilité des comportements alimentaires et des modes de vie : il en résulte que la connaissance de l'exposition d'une population ou d'un groupe à risque restera toujours entachée d'incertitude, et que vient un moment où la poursuite des études ne permet plus de réduire ces incertitudes »*[16].

Il semble toutefois essentiel de souligner que, malgré ces incertitudes bien réelles, les nombreuses analyses de sensibilité effectuées par l'IRSN, résumées dans le paragraphe E3.2.2 ci-dessus, permettent d'appréhender sans ambiguïté le risque encouru par ces groupes de population particuliers. Il apparaît notamment que les analyses de ce paragraphe, valables pour tout l'Est de la France, et concluant à l'insignifiance du risque, sont encore plus valables en Corse pour une population environ 40 fois plus faible, même en faisant l'hypothèse que, du fait d'une pluviosité exceptionnelle, les doses reçues aient été pour ces populations

sensiblement supérieures à celles calculées par l'IRSN pour l'ensemble de la partie Est de la France<sup>10</sup>.

L'ampleur de l'épidémie de cancers constatée dans les pays de l'ex-URSS a toutefois révélé que les risques liés à une contamination interne par l'iode radioactif n'étaient pas, contrairement à ce que l'on avait pu supposer, sensiblement moins élevés que ceux résultant d'une irradiation externe de la thyroïde. Elle a vraisemblablement été aggravée localement par des facteurs spécifiques (débits de dose élevés dus aux iodes à vie courte ; carence en iode des populations). Elle a néanmoins confirmé de manière générique la sensibilité exceptionnelle des groupes les plus à risque (enfants, adolescents, embryons) vis-à-vis des risques de cancer de la thyroïde qui en résultent.

Ces éléments suggèrent que la restriction systématique, pendant quelques semaines, de la consommation (au demeurant très atypique, donc sans réel enjeu de santé publique) de ces types de lait très concentrateurs d'iode par ces groupes à risque (enfants, adolescents, femmes enceintes), constituerait, dans les pays soumis en cas d'accident à une contamination non négligeable par l'iode radioactif, une mesure de précaution simple et appropriée.

## **F) CONCLUSION**

L'accident de Tchernobyl est, de très loin, le plus grave qu'ait connu l'industrie nucléaire civile.

Le bilan constaté à fin 2000 s'établit dans les pays de l'ex-URSS à une cinquantaine de décès chez les personnes les plus exposées immédiatement après l'accident, et à environ 4 000 cancers de la thyroïde parmi les personnes exposées aux retombées qui étaient enfants ou adolescents en 1986, avec une mortalité de quelques pour cents.

Les risques à long terme dans les mêmes populations sont estimés à environ 4 000 cancers de la thyroïde supplémentaires, avec la même mortalité de quelques pour cents, et à l'induction d'environ 8 000 cancers d'autres types, avec une mortalité d'environ 50 %.

Il faut de plus observer que les retombées de l'accident ont eu dans les territoires de l'ex-URSS des conséquences plus vastes que ne l'indique un tel bilan (pathologies autres que les cancers, aspects psychologiques et sociaux, etc...).

En Europe occidentale, les conséquences sanitaires dues aux retombées du panache ont en revanche été insignifiantes. En France, la mise en œuvre de contre-mesures ne se justifiait pas sur le plan purement sanitaire, et la prise en considération des situations atypiques extrêmes (pluviosité, régimes alimentaires particuliers...) ne modifie pas cette analyse.

Les difficultés de la communication avec le public, couplées au constat de la mise en œuvre de contre-mesures ponctuelles chez certains de nos voisins européens, en partie sous

---

<sup>10</sup> En utilisant le coefficient de risque du paragraphe C3.2 (soit un taux d'incidence de 0.03 /p-Gy), on peut estimer que, sur une population de 100 enfants qui auraient reçu une dose moyenne à la thyroïde de 150 mGy, (hypothèse totalement irréaliste, comme nous l'avons vu) le nombre de cas attendus serait de 0.5

l'influence de recommandations mal inspirées de la Commission Européenne, ont entraîné a posteriori dans le public des interrogations et une perplexité aisément compréhensibles.

La méfiance est entretenue par les controverses persistantes (et probablement, hélas, durables) au sein même des communautés scientifique et médicale quant à l'effet potentiel des très faibles doses de rayonnement, entraînant pour l'homme de la rue, comme le souligne G.Charpak, « *des difficultés pour faire un choix parmi les jugements contradictoires d'experts bardés de titres* »[11]. Dans ce contexte, l'exploitation cynique et bruyante du registre compassionnel à des fins partisans par certaines organisations antinucléaires ne peut qu'aggraver le désarroi du public.

Placés aujourd'hui dans la même situation, et alors qu'entre-temps les limites réglementaires ont été abaissées et que l'application du principe de précaution a été renforcée, il est permis de penser que les responsables seraient soumis à forte pression pour prendre des mesures que ne justifieraient pas de simples considérations sanitaires.

On peut sans doute se réjouir du fait que les décisions ne soient pas laissées au seul jugement des experts, à condition toutefois que l'ensemble des parties prenantes à ces décisions ait conscience du fait que la surenchère sécuritaire peut devenir un frein au progrès, et qu'en tout état de cause elle ne doit pas s'exercer dans un domaine spécifique au détriment d'autres domaines plus prioritaires de la santé publique. Ainsi que l'observait le Professeur Aurengo lors d'une conférence prononcée devant les élèves d'HEC le 6 novembre 2003, en réponse à une question sur l'éthique du progrès :

*« Nous vivons en fait dans un univers un peu fou : une société qui s'efforce de mettre en évidence des risques chimériques en faisant des études épidémiologiques toutes négatives, alors que notre risque de mortalité prématurée avant 65 ans est bien supérieur à celui de nos voisins européens [...]. Ces grandes causes de mortalité sont le tabac, l'alcool et la violence routière : 80% de la mortalité prématurée sont dus à ces causes parfaitement identifiées [...]. Il vaut mieux consacrer l'argent aux grands fléaux plutôt qu'aux grandes peurs ».*

oooooooooooooooooooooooooooooooooooo

oooooooooooooooooooo



<b>RÉFÉRENCES</b>
-------------------

[1] Comptes-rendus de l'Académie des sciences – Tome 4, Série Générale, n° 3, mai-juin 87  
« L'accident de Tchernobyl : conséquences et enseignements »

[2] « Le Nucléaire » – P.Tanguy - Idées reçues, Le Cavalier Bleu, 2002

[3] BEIR VII : « Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation »  
The National Academies – June 2005

[4] « La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants » Rapport conjoint n° 2 - 30 mars 2005 - Académie nationale de médecine/Académie des sciences- (Éditions Nucléon, 2005).

[5] « Risk of Cancer After Low Doses of Ionizing Radiation : Retrospective Cohort Study in 15 Countries », E. Cardis et al, BMJ 2005, 331:77 (9 July)

[6] « Tumeurs de la thyroïde » – M.Schlumberger/F.Pacini – Éditions Nucléon, 1997

[7] « Les bases radiologiques de la radioprotection » M.Tubiana, in « L'ère nucléaire », J.Leclercq – Hachette 1988

[8] « Forum Tchernobyl »

La principale source d'information relative à l'analyse des conséquences environnementales et sanitaires de l'accident de Tchernobyl dans les pays de l'ex-URSS réside dans les projets de rapports publiés en 2005 par le « Forum Tchernobyl » sous l'égide des Nations Unies.

Le Forum Tchernobyl a été créé en 2003 à l'initiative de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), en coopération avec l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le Comité Scientifique des Nations Unies sur l'Effet des Radiations Atomiques (UNSCEAR), d'autres organisations des Nations Unies, et les Gouvernements du Bélarus, de la Fédération de Russie et d'Ukraine. L'objectif du Forum était de promouvoir une meilleure compréhension de l'impact de l'accident aux plans environnemental et sanitaire. A cette fin, l'AIEA a rassemblé un groupe d'experts pour faire la synthèse des effets environnementaux, et l'OMS un autre groupe pour ce qui concerne les effets sanitaires. Le Forum a publié les deux projets de rapport de ces groupes en août 2005 :

-EGE : « Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation : Twenty Years of Experience »- Report of the Chernobyl Forum Expert Group « Environment »

[www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/EGE\\_Report.pdf](http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/EGE_Report.pdf)

-EGH : « Health Effects of the Tchernobyl Accident and Special Health Care Programmes »- Report of the Chernobyl Forum Expert Group « Health »

[www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/EGH\\_Report.pdf](http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/EGH_Report.pdf)

Il existe par ailleurs une synthèse du rapport sous forme de questions/réponses:

-« Chernobyl's Legacy : Health, Environmental and Socio-economic Impacts and recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine - The Chernobyl Forum »

[www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/05-28601\\_Chernobyl.pdf](http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/05-28601_Chernobyl.pdf)

[9] E.Cardis, Anspaugh, Ivanov et al, « Estimated Long Term Health Effects of the Chernobyl Accident », in « One Decade After Chernobyl - Summing Up The Consequences of the Accident- Proceedings of an International Conference », Vienne, 1996

[10] UNSCEAR 1988 – Annex D – « Exposures from the Chernobyl Accident »

[11] « De Tchernobyl en Tchernobyls »- G.Charpak/R.L.Garwin/V.Journé – Odile Jacob, 2005

[12] La principale source d'informations relatives aux conséquences de l'accident de Tchernobyl en France est constituée par les nombreux dossiers publiés par l'IPSN/IRSN au cours des années qui ont suivi l'accident, et notamment :

- « Les retombées en France de l'accident de Tchernobyl – Conséquences radioécologiques et dosimétriques » - Ph. Renaud et al – IPSN- EDP Sciences, 1999 (document de synthèse à date)
- « Le point, année après année » : Tchernobyl, 16 ans après [12.1] ; Tchernobyl, 17 ans après [12.2] [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

[13] « Données météorologiques et évaluation des risques en France lors de l'accident de Tchernobyl. Mise au point historique. » P. Galle et al – C.R. Biologies 326 (2003)-  
[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[14] « Chernobyl Information : The ALARA Backlash » – C. Samuelson – Department of Radiation Physics, The Jubileum Institute, Lund University, Lund University Hospital, SE 221 85 Lund, Sweden – Conférence IRPA –10 ; 18 mai 2000

[15] « Calculs et modèles à l'épreuve des faits : l'exemple de Tchernobyl » - A.Aurengo- Groupe hospitalier Pitié - Salpêtrière

[www.academie-medecine.fr/actualites/communications.asp](http://www.academie-medecine.fr/actualites/communications.asp)

(Séance du 25 juin 2003)

[16] Avis du Conseil Scientifique de l'IRSN sur les travaux de l'IRSN visant à reconstituer les retombées en France de l'accident de Tchernobyl – 27 mars 2006

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

[17] Tchernobyl France – Plainte du 1<sup>er</sup> mars 2001

Deuxième partie : les griefs- Défaut de protection des populations françaises en général et des groupes à risque en particulier

Troisième partie : Conséquences sur la santé des populations françaises

[www.criirad.org](http://www.criirad.org)

[18] Tchernobyl - Plainte contre X - Communiqué de presse - 15 décembre 2005  
[www.criirad.org](http://www.criirad.org)

[19] « Evaluation des conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl en France : dispositif de surveillance épidémiologique, état des connaissances, évaluation des risques et perspectives » P.Verger, L.Chérie-Challine et al - Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire/ Institut de Veille Sanitaire - Décembre 2000  
[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

[20] « Thyroïde et Tchernobyl » : Position du Groupe de Recherche sur la thyroïde  
<http://info.nucleaire.free.fr/thyroide.htm>

[21] Actes de la « Journée d'information scientifique sur les conséquences sanitaires de l'accident de Tchernobyl en Corse », tenue à Ajaccio le 31 janvier 2002  
[http://corse.sante.gouv.fr/news\\_tch.htm](http://corse.sante.gouv.fr/news_tch.htm)  
(module tcherno2)

oooooooooooooooooooooooooooo  
oooooooooooo