

Ecole Normale Supérieure

**CERES-ERTI**

Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société  
Environmental Research and Teaching Institute

## **ATELIER *SANTE ENVIRONNEMENT***

2<sup>ème</sup> semestre - Année 2011-2012

### **Vivre près d'une centrale nucléaire**

Pierre QUEVREUX, Valentine VERZAT

# Vivre près d'une centrale nucléaire

Pierre Quévrex - Valentine Verzat

Santé et environnement - Mai 2012



# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>1 Fonctionnement d'une centrale nucléaire</b>	<b>2</b>
1.1 Alimentation en eau . . . . .	2
1.2 Rejets d'isotopes radioactifs . . . . .	4
1.3 Rejets de produits chimiques . . . . .	5
<b>2 Impact sur la prévalence des cancers de l'enfant</b>	<b>6</b>
2.1 Connaissances préalables sur l'effet des faibles doses . . . . .	6
2.2 L'étude KiKK (2008) . . . . .	8
2.3 L'étude de l'INSERM . . . . .	9
<b>3 Discussion et perspectives</b>	<b>10</b>
3.1 Position de l'ASN et controverse . . . . .	10
3.2 Pertinence des différents arguments . . . . .	10
<b>Conclusion</b>	<b>11</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>12</b>

## Introduction

Depuis la catastrophe de Fukushima, l'énergie nucléaire est très discutée comme source d'énergie à cause des dangers énormes liés à la possibilité d'un nouvel accident nucléaire. La population semble plutôt se préoccuper de la réalisation d'une nouvelle catastrophe mais oublie souvent qu'une centrale rejette des isotopes radioactifs et de nombreux composés chimiques dans l'environnement à cause de son fonctionnement régulier. L'absence de rejet de CO<sub>2</sub> est brandi comme une preuve que le nucléaire est une énergie propre, ce qui fait oublier tous ces rejets. Nos commençons également à avoir les premiers résultats d'études longues sur l'évolution de l'état de santé des gens habitant à proximité des centrales avec notamment l'augmentation du taux de leucémie chez les enfants.

## 1 Fonctionnement d'une centrale nucléaire

### 1.1 Alimentation en eau

Comme toutes les infrastructures industrielles, les centrales ont besoin d'eau pour fonctionner. Elles sont composées de trois circuits d'eau distincts :

- Un **circuit primaire** fermé dont l'eau récupère la chaleur produite par le réacteur nucléaire.
- Un **circuit secondaire** fermé qui convertit cette énergie thermique en énergie mécanique par la création de vapeur qui actionne les turbines. Ces turbines convertissent alors l'énergie mécanique en énergie électrique grâce à un alternateur.

- Un **circuit tertiaire** ouvert destiné à refroidir le circuit secondaire après la turbine pour liquéfier la vapeur. Une partie de l'eau du circuit tertiaire est évacuée sous forme de vapeur via les réfrigérants atmosphériques ou directement dans le cours d'eau où elle a été prélevée.

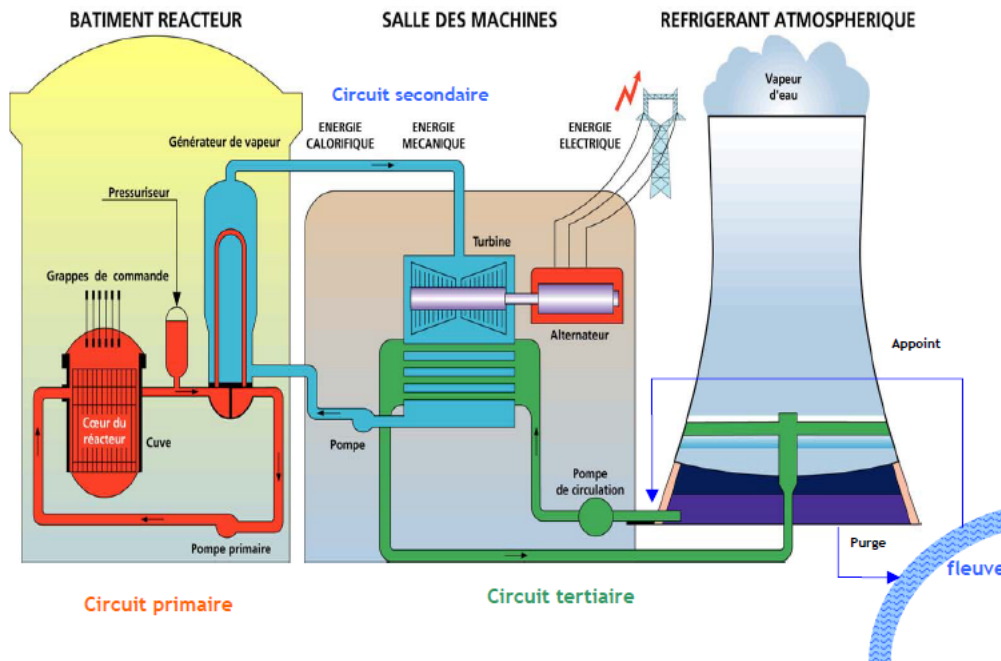


FIGURE 1 – Circuits d'alimentation en eau d'une centrale nucléaire. [1]

Les circuits primaires et secondaires fonctionnent en circuit fermé avec de l'eau déminéralisée à pH contrôlé afin d'éviter l'altération des conduites. Lors des purges, l'eau est systématiquement traitée avant évacuation. La consommation totale est relativement faible avec  $100\,000\text{ m}^3$  par an soit environ la consommation de 200 personnes. Le circuit tertiaire est quant à lui ouvert, cependant il peut être conçu selon deux modèles :

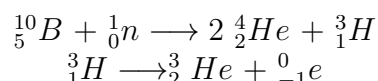
- Le **circuit ouvert** où l'eau est directement rejetée après avoir servi au refroidissement. La consommation est de un milliard de  $\text{m}^3$  par an soit environ la consommation de 2 millions de personnes. 8 centrales sont bâties sur ce modèle en France.
- Le **circuit fermé** où l'eau est refroidie par la vaporisation d'une partie qui est évacuée par aéroréfrigérant. Le reste de l'eau est liquide et peut être réutilisé dans un autre cycle. La consommation est de 50 millions de  $\text{m}^3$  par an soit 100 000 personnes par an. Environ 37,5 % de l'eau prélevée est évaporée. 11 centrales sont bâties sur ce modèle en France.

Les centrales à aéroréfrigérants semblent donc plus économiques en eau, mais leur rendement est moins bon et une partie de l'eau de la rivière est perdue dans l'atmosphère alors que l'autre modèle de centrale restitue toute l'eau en continu, ce qui ne perturbe pas le débit. En revanche, l'eau rejetée est très chaude par rapport au reste de la rivière, ce qui en perturbe l'écosystème. En effet, l'eau rejetée est réchauffée d'environ 4 à 5 °C.

L'augmentation de la température a pour effet de diminuer la solubilité de l'O<sub>2</sub> dans l'eau, mais également d'accélérer le métabolisme de nombreux microorganismes qui s'y trouvent. Il en résulte alors un phénomène d'eutrophisation où le milieu est envahi par des algues ou des espèces invasives avec pour conséquence une dégradation du milieu qui conduit à la disparition des poissons et des oiseaux.

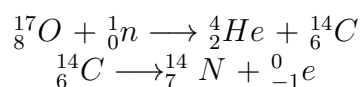
## 1.2 Rejets d'isotopes radioactifs

Le **tritium**  ${}^3_1\text{H}$  [2] est un déchet de l'arrêt des neutrons de la réaction. Du bore est présent dans le circuit primaire, il permet d'arrêter les neutrons issus de la réaction nucléaire par la réaction suivante :



C'est un émetteur  $\beta^-$  de temps de demi-vie de 12,3 ans. Cependant, il n'y a pas de technique industrielle de traitement du tritium et le stockage pour attendre la décroissance radioactive est irréalisable. Le tritium est donc rejetée sous forme d'eau tritiée qui s'insinue donc très facilement dans l'organisme. Il peut se retrouver incorporé dans la matière organique via la photosynthèse ce qui prolonge son temps de résidence dans l'organisme contrairement à sa forme liée à l'eau qui est rapidement évacuée. Ce radionucléide peut donc très facilement irradier les êtres vivants lorsqu'il est incorporé dans l'alimentation ou qu'il se trouve sous forme gazeuse. Les conséquences sont des lésions de l'ADN et des aberrations chromosomiques lorsqu'il se retrouve intégré aux nucléotides à cause de sa désintégration qui altère la base et ionise les atomes proches. Les effets néfastes du tritium ont été démontrés sur la moule (*Mytilus edulis*), mais ses effets sur l'homme, qui consomme les animaux qui accumulent ce radioélément dans leurs tissus, ne sont pas encore connus. On note le scandale de Bondoufle en Essonne où des rejets 100 fois supérieurs à ceux des sites les plus pollués ont été mesurés. Ces rejets ont été faits durant presque toute l'année 2010 par la "porte de service" de l'entreprise *2M Precess*. Malgré la gravité de la situation, l'IRSN a tenté de dissimuler l'information et de la minimiser par la suite.

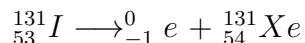
Le **carbone 14**  ${}^{14}_6\text{C}$  [3] est lui aussi produit dans le circuit primaire par activation de l'oxygène 17 par les neutrons du réacteur selon la réaction suivante :



Il est principalement rejeté sous forme de méthane CH<sub>4</sub> (80 %) et de CO<sub>2</sub> (20 %) sous forme gazeuses. Cet émetteur  $\beta^-$  a un temps de demi-vie de 5 733,9 ans et est célèbre pour son rôle dans la radiochronologie sur les 50 000 dernières années. Il provient également de la dissolution des combustibles usés dans l'acide nitrique dans les usines de retraitement. Le CO<sub>2</sub> ainsi formé est dissout puis précipité sous forme de carbonate de sodium NaCO<sub>3</sub> solide qui est entreposé comme déchet radioactif de moyenne activité. Comme l'hydrogène, le carbone est l'un des principaux composants de la matière organique. Il est incorporé par les organismes photosynthétiques qui l'introduisent alors dans

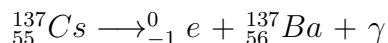
la chaîne alimentaire. Pour un mammifère comme l'homme, 95 % du carbone est éliminé par respiration, mais une exposition prolongée permet son accumulation dans les tissus où il a les mêmes effets que le tritium.

L'**iode 131** [4] est produit directement par la fission des atomes lourds comme l'uranium ou le plutonium. C'est un émetteur  $\beta^-$  producteur de xénon stable, un gaz rare inerte comme l'hélium.



Son temps de demi-vie est très court : 8,02 jours ce qui rend son accumulation dans l'environnement ou dans l'organisme impossible à long terme. Cependant l'iode est naturellement concentré dans la thyroïde qui l'utilise dans la synthèse d'hormones. L'ingestion d'iode 131 est donc à l'origine de cancers de la thyroïde. Le seul moyen de se protéger de cet isotope lors d'une fuite exceptionnelle est de prendre des cachets d'iode stable afin de saturer l'organisme et d'évacuer directement l'iode 131 après son absorption. Malheureusement ce moyen préventif n'est efficace que quelques jours et ne protège pas contre une exposition chronique. De plus la prise régulière de ces comprimés a des effets néfastes à cause de la toxicité à haute dose de l'iode.

Le **césium 137** [5] est également un produit de la fission de l'uranium. Il se désintègre en baryum 137 par une émission  $\beta^-$  qui émet lui-même un rayonnement  $\gamma$ .



Le césium est un alcalin volumineux comme le potassium. Les organismes vivants sont incapables de différencier les deux éléments chimiques et sachant que le potassium est l'un des ions minéraux majoritaires à l'intérieur de la cellule, il est évident que le césium soit dangereux pour l'organisme. Le césium est absorbé par les plantes et les champignons qui le fixent durablement dans le réseau trophique puisqu'il a une demi-vie de 30,07 ans et que les nutriments minéraux sont en permanence recyclés à partir des organismes morts. Ce phénomène est si important que dans les forêts qui environnent Tchernobyl, la radioactivité de la végétation dépasse celle du sol. Pour l'humain, ce sont les enfants qui y sont le plus sensibles en raison de leur croissance qui nécessite un apport important en potassium. Une faible partie du césium se retrouve dans les effluents des centrales, cependant la principale source de césium reste les essais nucléaires atmosphériques datant du début de la guerre froide.

### 1.3 Rejets de produits chimiques

En plus de rejeter des isotopes radioactifs, les centrales nucléaires utilisent beaucoup de produits chimiques comme le **chlore** qui élimine les amibes des eaux chaudes produites [6]. En effet, ces organismes unicellulaires aiment les eaux chaudes des circuits de refroidissement des centrales, ils se retrouvent ensuite dans la rivière et peuvent causer des méningites après avoir pénétré dans l'organisme humain. Les microorganismes sont d'ordinaire "naturellement" éliminés par les ions cuivre II issus de la corrosion des condenseurs en laiton, mais leur remplacement par des tubes en acier inoxydable nécessite une

chloration des eaux. Ce chlore tue les amibes, mais produit également des résidus potentiellement cancérigènes qui sont rejetés dans la rivière. Ces rejets sont particulièrement dangereux en été ou dans les rivières à faible débit, comme c'est le cas pour la centrale de Civaux.

On retrouve également de l'**acide borique** ( $B(OH)_3$ ) utilisé comme absorbeur de neutrons dans le circuit primaire. Sa trop grande concentration dans l'eau provoque la radiolyse de l'eau, réaction produisant de l'eau oxygénée  $H_2O_2$  très réactive et dangereuse pour les organismes.

L'**hydrazine** ( $N_2H_4$ ) est utilisée comme agent réducteur et suppresseur d'oxygène (réaction produisant du  $N_2$  et de l'eau) dans les circuits de refroidissement pour lutter contre la corrosion des canalisations. C'est un produit très toxique qui se retrouve dans les effluents à l'occasion des purges visant à remplacer une partie de l'eau des circuits fermés. On note également l'utilisation de la **morpholine** qui est moins toxique.

Tous ces rejets sont soumis à des réglementations très strictes, pourtant on relève de très nombreuses infractions et des scandales réguliers qui touchent les centrales ou les entreprises de retraitements de la filière nucléaire, mais également un laxisme des autorités face à ces événements très graves. On notera des rejets de tritium près de 70 fois supérieurs à la réglementation à Civaux en janvier 2012. Il y a notamment eu de gros problèmes d'alimentation des circuits de refroidissement durant la canicule de 2003, EDF a avoué avoir commis de nombreuses infractions sur les rejets durant cette période et est même allé jusqu'à arroser les bâtiments pour faire diminuer la température). La dilution des rejets est très mauvaise durant ces périodes de pénurie en eau, ce qui accroît grandement les risques pour l'environnement et la santé des habitants des environs.

Cependant il ne faut pas oublier que d'autres structures sont également productrices de déchets radioactifs. Il y a notamment les hôpitaux [7] qui les utilisent à des fins thérapeutiques ou comme traceurs pour l'imagerie médicale par exemple. La quasi totalité des isotopes utilisés ont une demi-vie qui se mesure en jours, ce qui permet le stockage avant rejet. Par contre il faut ajouter toute l'industrie (production du combustible et retraitement des déchets comme La Hague) qui est associée aux centrales nucléaires et qui rejettent parfois même plus d'isotopes radioactifs qu'une centrale. Enfin, une partie des isotopes présentes dans l'environnement sont issus des retombées des très nombreux essais nucléaires atmosphériques du début de la Guerre Froide. De telles explosions sont interdites aujourd'hui, mais la surveillance et les études sont actuellement insuffisantes pour avoir des données claires sur le sujet.

## 2 Impact sur la prévalence des cancers de l'enfant

### 2.1 Connaissances préalables sur l'effet des faibles doses

Les risques cancérigènes d'une exposition aux radiations ionisantes dépendent de nombreux facteurs : dose, débit de dose, type de radiations, exposition aiguë ou chronique, sensibilité des organes, tissus et cellules, type de lésions induites - notamment génomiques, des modalités des mécanismes de réparation de l'ADN ou d'élimination de certains clones cellulaires, des facteurs génétiques, physiques, chimiques, susceptibles d'additionner leurs

effets. [8]

Dans le cadre de la radioprotection, on définit généralement les notions de fortes doses ( $> 1$  Sv), de faibles doses ( $< 100$  mSv) et de très faibles doses ( $< 1$  mSv). Le **sievert** étant l'unité de mesure de la dose efficace de radioactivité reçue. Concernant les doses attribuables aux rejets des installations nucléaires, on est dans le domaine des très faibles doses, (ordre de grandeur de quelques  $\mu$ Sv à quelques dizaines de  $\mu$ Sv).

Après exposition aiguë à des doses supérieures à 50 mSv chez l'enfant et de 100 mSv chez l'adulte, l'augmentation du risque de cancer et de leucémie a été démontré chez les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki. Les leucémies apparaissent surtout chez l'enfant de moins de 5 ans dans les 2 à 5 ans après l'exposition avec un risque persistant pendant plusieurs dizaines d'années. En dépit de biais possibles, la contamination due à l'accident de Tchernobyl a augmenté le risque de leucémie durant les onze années suivant l'accident, chez les enfants âgés de 0 à 5 ans vivant à proximité au moment de l'accident et exposés à des doses à la moelle osseuse excédant 10 mGy (équivalent à peu près à 10 mSv).

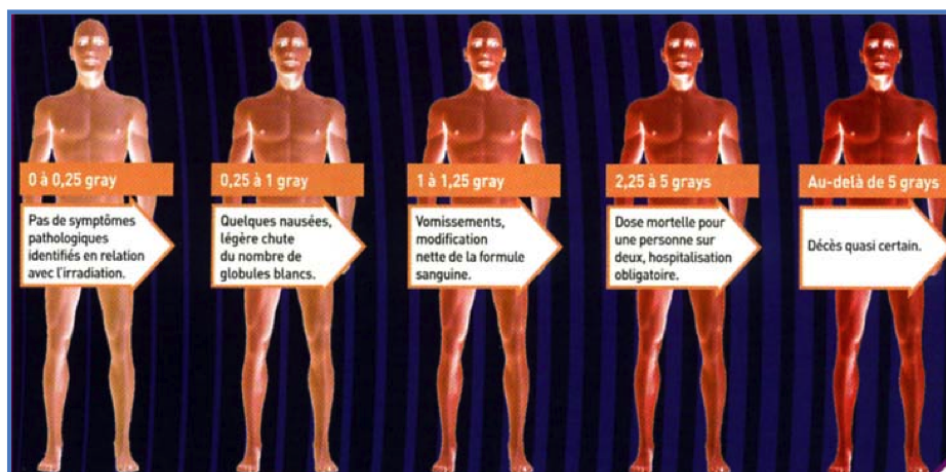


FIGURE 2 – Effet sur la santé du rayonnement ionisant (IRSN)

Il s'agit ici des irradiations externes homogènes et non des radioéléments ou des toxiques chimiques émis dans l'air et l'eau. Or ce sont eux qui peuvent être inhalés ou ingéré, et donc potentiellement le plus dangereux.

Après irradiation thérapeutique localisée pour cancer, à des doses en règle supérieures à 20 Gy (12 Gy en 3 jours en cas d'irradiation corporelle totale avant greffe de moelle osseuse), le risque de leucémie secondaire est connu, mais il faut tenir compte de la pathologie préexistante (un premier cancer en général), du volume irradié et de la chimiothérapie habituellement associée. L'hypothèse d'une relation directe entre leucémie et site nucléaire n'est cependant pas confirmée.

L'existence d'un seuil et la nature de la relation « doses-effets » est toujours débattue pour les très faibles doses. Une étude sur l'usine de retraitement des combustibles irradiés de La Hague (1990-1998) a montré un risque accru de leucémies chez les enfants et les jeunes de moins de 25 ans dans une zone de 10 km autour du site, mais l'effectif étant

faible, ce risque n'était pas significatif, même s'il en était proche. L'étude se poursuit après avoir mis en place un registre des cancers de la Manche.

## 2.2 L'étude KiKK (2008)

L'étude a porté sur une période de 24 ans (01/01/1980 au 31/12/2003) et concerna les 16 grands sites allemands accueillant des centrales nucléaires et sur lesquels fonctionnent 20 réacteurs. Il s'agissait de répondre aux questions suivantes :

- Y a-t-il plus de cas de cancers chez les enfants de moins de 5 ans vivant dans les environs des centrales nucléaires que chez les autres ?
- Le risque croît-il quand la proximité avec une centrale nucléaire augmente ?

Dans la première partie de l'étude, 1592 cas d'enfants malades et âgés de moins de 5 ans ont été comparés à 4735 cas d'enfants-témoins. En parallèle, l'emplacement des lieux de résidence par rapport aux centrales nucléaires furent déterminés à 25 m près. Une augmentation très significative des taux de cancers et de leucémies infantiles fut constatée, chiffrant notamment des augmentations de respectivement 60 et 117 % pour les cancers et les leucémies des jeunes enfants vivant à moins de 5 km d'une centrale nucléaire.

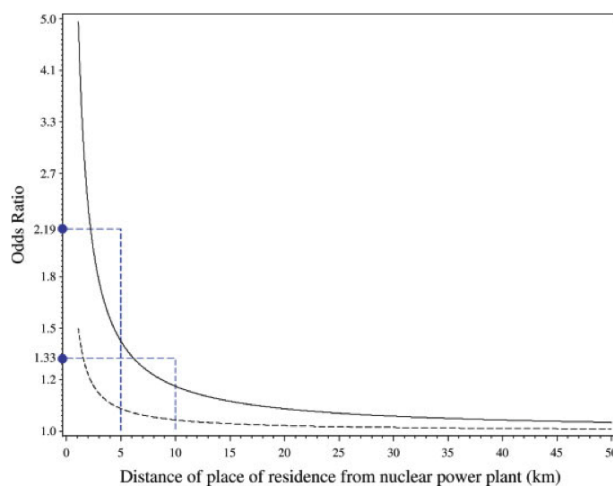


FIGURE 3 – Risque de cancer des enfants de 0 à 5 ans en fonction de la distance d'habitation à la centrale nucléaire. En pointillé la courbe la plus basse estimée (risque = 95 %), en plein le modèle de régression logistique conditionnel. En bleu, les résultats à 5 et 10 km. [9]

On observe sur cette figure que les résultats réels sont plus pessimistes que la courbe de modélisation (loi des distances par rapport à la source d'émission). Dans la deuxième partie de l'étude, des diagnostics furent choisis (leucémies, lymphomes, tumeurs du système nerveux central) afin de déterminer si d'autres facteurs de risque potentiels pouvaient influencer le principal résultat de l'étude – existence d'un effet sanitaire négatif lié à la proximité du lieu de vie d'une centrale nucléaire. Aucun autre facteur ne fut déterminé.

Il ne resta donc que la proximité du lieu d'habitation avec les centrales nucléaires comme facteur explicatif de l'augmentation des taux de maladie.

Cette étude montre que si les mesures d'émission dans le cadre de la surveillance de l'environnement des centrales nucléaires sont correctes (ce qu'affirment les exploitants des centrales, ainsi que les autorités de surveillance), soit les modèles de calcul employés jusqu'à présent pour évaluer l'exposition des riverains aux émissions radioactives sont faux, soit les effets biologiques d'absorption de ces éléments radioactifs, au moins sur les jeunes enfants et les fœtus, sont fortement sous-estimés.

## 2.3 L'étude de l'INSERM

Devant les résultats de l'étude KiKK, l'INSERM a réalisé en France une analyse similaire de type cas-témoin, sur la base de l'étude nationale GEOCAP, afin de vérifier cette observation [10][11]. Le risque de leucémie à proximité des 19 centrales de production d'électricité françaises a été analysé selon 2 méthodes :

- estimation du ratio du nombre de cas observés sur le nombre de cas attendus par zone, pour permettre la comparaison des résultats avec les études antérieures,
- estimation du risque relatif à partir des cas et des témoins (utilisation du protocole de l'étude GEOCAP).

De plus deux critères de proximité ont été pris en compte :

- distance du lieu de résidence par rapport au site (zones concentriques jusqu'à 20 km),
- zonage basé sur la distribution des doses dues aux rejets radioactifs gazeux des sites nucléaires dans l'environnement réalisé par l'IRSN pour les études antérieures.

Sur les 2 753 cas enregistrés, 99 résidaient dans la zone des 20 km au moment du diagnostic, et seulement 14 résidaient dans la zone des 5 km.

	Etude Geocap	Etude d'incidence
0-14 ans - zone des 5 km	1,9 [1.0;3.3]	1.9 [1.0;3.2]
0-4 ans - zone des 5 km	1,6 [0.7;4.1]	2.2 [1.1;4.4]

FIGURE 4 – Risque relatif et intervalles de confiance à 95 % estimés sur la période 2002-2007. [10]

Il ressort donc un excès de cas dans la zone des 5 km autour des sites sur cette période. Ce résultat est retrouvé quel que soit le protocole d'étude. Il apparaît dans toutes les tranches d'âge considérées. L'excès observé ne dépend pas de la puissance des centrales ou de leur situation (bord de mer ou rivière). L'excès observé n'est pas associé à une centrale en particulier (persiste après exclusion tour à tour de chacune des centrales).

Cet excès ne se traduit pas à proprement parler par une diminution du risque avec la distance : il apparaît un excès dans la zone des 5 km et pas d'excès ensuite, mais il n'y a pas de décroissance progressive du risque en fonction de la distance. Cet excès n'apparaît que sur la période 2002-2007 (et en particulier du fait des deux dernières années

2006-2007), et il ne ressort plus d'excès lorsque l'ensemble de la période 1990-2007 est considérée.

Sur la période 2002-2007, lorsque l'on utilise le zonage basé sur les doses dues aux rejets gazeux des centrales, il n'apparaît plus d'excès dans aucune des zones de dose, ni aucune décroissance avec la catégorie de dose. Même s'il repose sur une approche assez élaborée (considération d'un spectre de 12 radionucléides, utilisation de données de rejet réelles, données météorologiques locales de direction et de force des vents et de précipitations, modélisation du transfert dans les différents compartiments de l'environnement, considération des différentes voies d'exposition (inhalation, ingestion, exposition externe due au dépôt, utilisation de coefficients de dose spécifiques de l'organe pertinent...), ce zonage ne permet pas l'estimation des doses de chaque individu, qui nécessiterait d'avoir les données personnelles de chaque individu.

## 3 Discussion et perspectives

### 3.1 Position de l'ASN et controverse

Les leucémies sont des maladies complexes ayant des causes génétiques et environnementales. La leucémie est aujourd'hui considérée comme l'un des cancers pouvant être le plus facilement induit par de fortes doses de rayonnements ionisants. Cependant, d'autres facteurs peuvent intervenir : radiations non ionisantes, facteurs infectieux, exposition aux pesticides et aux hydrocarbures, proximité d'installation nucléaire non industrielles. L'ASN souligne cette dernière cause, même s'il reconnaît que les études existantes sont peu probantes. [12]

Pour l'ASN, l'étude KiKK est un résultat purement descriptif et non l'établissement d'une relation causale. Cette étude serait isolée et n'aurait pas réussi à apporter des informations supplémentaires (par exemple le mode de vie des familles, l'historique médical des enfants, les expositions potentielles reçues durant l'enfance ou durant la grossesse...). L'ASN soulève, en outre, la difficulté d'interprétation et l'importance de la prise en compte de la qualité des études dans l'évaluation du risque de leucémies infantiles à proximité des sites nucléaires.

Cependant les conclusions de l'ASN sont clairement orientées : les études montrant des effets des radiations sont jugées peu méthodologique et peu convaincantes, alors que celles qui montrent le contraire aurait une méthodologie rigoureuse, malgré des effectifs très faibles.

### 3.2 Pertinence des différents arguments

Il apparaît une bonne concordance des résultats obtenus entre l'étude KiKK et l'étude de l'INSERM (approche cas-témoins et étude d'incidence), ce qui indique que l'excès observé n'est pas lié à la méthodologie d'analyse. [10] Cependant, chez l'INSERM, l'excès observé n'est pas spécifique de la tranche d'âge 0-4 ans. Les résultats de l'INSERM se distinguent donc des résultats de l'étude allemande de 2007 dans laquelle un excès était observé spécifiquement dans la tranche d'âge 0-4 ans.

Les nouveaux résultats sont obtenus sur une période courte de 6 ans (2002-2007), et les effectifs sont donc très faibles, ce qui limite l'interprétation des résultats. Ceux-ci semblent

en particulier très sensibles aux dernières années d'enregistrement (2006-2007). Notons que sur l'ensemble de la période pour laquelle des données sont disponibles (1990-2007), il n'apparaît plus d'excès. Les résultats obtenus sur la période 2002-2007 apparaissent différents des résultats antérieurs. Ils doivent être mis en perspective avec les autres résultats disponibles par ailleurs, et la persistance d'un excès de risque potentiel devra être confirmée dans le futur. A ce titre, ces résultats ne permettent pas aujourd'hui de remettre en cause le bilan global des connaissances sur les risques autour des installations nucléaires.

La modélisation de l'IRSN a permis l'élaboration d'un zonage basé sur la dispersion des rejets gazeux des centrales nucléaires. Il n'apparaît pas d'excès de leucémies sur la période 2002-2007 lorsque l'on utilise ce zonage. Cependant ce zonage ne correspond pas à l'estimation des doses de chaque individu (qui nécessiterait de disposer des données personnelles de chaque individu) même s'il représente une amélioration par rapport à l'utilisation de simples cercles concentriques. L'absence d'excès observé avec ce zonage ne va pas dans le sens d'un lien entre les rejets radioactifs des installations et le risque de leucémie infantile. Cette différence de résultats entre l'utilisation de la simple distance ou du zonage des doses illustre de plus la sensibilité des résultats aux choix méthodologiques d'analyse.

Une limite importante des études est l'absence de données individuelles sur l'historique résidentiel, sur le vécu des enfants, sur le déroulement de la grossesse ou les expositions des parents. L'absence de ces données limite l'interprétation qui peut être faite des résultats observés. Notons néanmoins que l'analyse réalisée dans GEOCAP a permis de tenir compte de la proximité de lignes à haute tension.

Un des avantages de l'étude GEOCAP de l'INSERM est qu'elle vise à analyser plusieurs facteurs de risque environnementaux potentiels des leucémies infantiles (proximité des lignes à haute tension, radioactivité naturelle, proximité d'axes routiers ou de stations essence...). Cette étude devrait permettre une analyse multifactorielle du risque de leucémies infantiles, et contribuer ainsi à l'amélioration des connaissances sur les causes des leucémies infantiles.

Par ailleurs, une réflexion est en cours au niveau européen sur les questions scientifiques ouvertes sur les effets sanitaires des faibles doses de rayonnements ionisants au sein d'une plateforme regroupant plus d'une quinzaine d'organismes européens spécialisés en radioprotection ou impliqués dans la recherche sur les faibles doses. Dans le cadre de cette plateforme, un séminaire de consensus va être organisé mi-2012 conjointement par l'IRSN et BfS (Bundesamt für Strahlenschutz, Office Fédéral de Radioprotection Allemand), sur la méthodologie des études des risques à proximité des installations nucléaires et la recherche des causes des leucémies infantiles.

## Conclusion

L'impact des centrales nucléaires sur la santé humaine est une question importante. En effet, l'industrie nucléaire a un poids économique important en France. Une perception du risque exagérée aurait donc des conséquences économiques néfastes. L'application inconsidérée du principe de précaution n'est pas sans conséquence pour la société ; elle conduit les politiques à effectuer des choix dans le domaine des énergies, ce qui a un coût social

important : énergie chère ou inaccessible, baisse de l'activité économique. Dans un cadre budgétaire contraint, augmenter encore les protections pour prévenir les risques se fait au détriment d'autres investissements potentiellement plus opportuns, d'où l'importance d'avoir à disposition des études fiables et convaincantes sur le sujet. [13] Cependant les récentes études se heurtent à des limites méthodologiques : données individuelles précises et fiabilité des données radioactives (point remis en cause par les associations écologiques).

La recherche sur les interactions gènes-environnement et sur l'effet des faibles doses devrait contribuer à mieux appréhender les responsabilités de certains facteurs environnementaux et d'éventuelles prédispositions génétiques à l'action de ces facteurs. C'est la rareté des études indépendantes et convaincantes sur le sujet qui pose problème, ainsi que les données réelles sur les rejets dans l'environnement. Le débat est lancé : dans quelle mesure faut-il, au nom du principe de précaution, financer des études sur le sujet ; et dans quelle mesure faut-il privilégier le développement économique ?

## Bibliographie

- [1] Alain VICAUD EDF Division de Production Nucléaire 2007 (<http://www.physagreg.fr/Cours3eme/nprogramme/elec3/electricite3-chap4-besoin-eau-centrale-nucleaire.pdf>)
- [2] Alain VICAUD 21ème Conférence des CLI 2009 *Les rejets de tritium des centrales nucléaires*
- [3] IRSN *Radioprotection : radionucléides Carbone 14* ED 4302 2009 ([http://www.sfrp.asso.fr/IMG/pdf/Carbone\\_2003.pdf](http://www.sfrp.asso.fr/IMG/pdf/Carbone_2003.pdf))
- Société Française de Radio-Protection *Le carbone 14 et l'environnement 2003* ([www.sfrp.asso.fr/IMG/pdf/Carbone\\_2003.pdf](http://www.sfrp.asso.fr/IMG/pdf/Carbone_2003.pdf))
- [4] IRSN *Radioprotection : radionucléides Iode-131* ED 4300 2009 ([http://www.irsn.fr/FR/professionnelle/sante/radiopro\\_travailleurs/Documents/medecine\\_nucleaire/iode\\_131.pdf](http://www.irsn.fr/FR/professionnelle/sante/radiopro_travailleurs/Documents/medecine_nucleaire/iode_131.pdf))
- [5] IRSN *Radioprotection : césium 137 + baryum 137* 2001 (<http://www.irsn.fr/EN/Research/publication/documentation/radionuclides-sheets/Documents/CS137SAN.pdf>)
- [6] <http://stopcivieux.free.fr/>
- [7] *Le contrôle des rejets hospitaliers* ACROnique du nucléaire n°86, septembre 2009 (<http://www.acro.eu.org/rejets%20hospitaliers.pdf>)
- [8] « Installations nucléaires de base et leucémies de l'enfant », avril 2011, Rapport de l'ASN (Autorité de Sécurité Nucléaire).
- [9] Kaatsch P., Spix C., Schulze-Rath R., Schmiedel S., Blettner M., Leukaemia in young children living in the vicinity of German nuclear power plants. *International Journal of Cancer*. 1220, 721–726 (2008)
- [10] « Note d'analyse », janvier 2012, Rapport de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire)
- [11] Sermage-Faure C, Laurier D, Goujon-Bellec S, Chartier M, Guyot-Goubin A, Rudant J, Hémon D, Clavel J. Childhood leukemia around French nuclear power plants – the Geocap study, 2002-2007. *International Journal of cancer*. (2012)
- [12] « Installations nucléaires de base et leucémies de l'enfant », avril 2011, Rapport de l'ASN (Autorité de Sécurité Nucléaire)
- [13] La Jaune et la Rouge, n° 670, décembre 2011, page 18-21, Claude Payen, « Le risque radioactif environnemental est un mythe plus qu'une réalité. »