

L'ÉPIDÉMIOLOGIE APPLIQUÉE À L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

RÉSUMÉ

À partir d'une enquête sanitaire, **l'épidémiologie** est la science qui étudie la fréquence et la localisation des maladies dans le temps et l'espace, d'une fraction d'une population (appelée cohorte), et tente de déterminer le rôle des différents facteurs de risque qui déterminent l'apparition de ces maladies, en nombre et en fréquence.

Les résultats obtenus sont comparés à ce que l'on observe dans une population beaucoup plus large, nationale, européenne voire mondiale, exposée simplement à la radioactivité naturelle et médicale et pouvant être considérée comme représentative de la normalité. Cette référence représente en quelque sorte le bruit de fond normal et « naturel » de la fréquence de ces pathologies.

Cette problématique peut être appliquée aux problèmes sanitaires liés à la présence de radioactivité, donc touchant essentiellement certaines pathologies cancéreuses, telles, par exemple, les cancers du poumon ou de la thyroïde, et les leucémies.

La présente fiche expose brièvement les diverses méthodologies employées : cohortes historiques quand elles reconstituent le passé, prospectives quand elles s'attachent à suivre une cohorte depuis la mise en présence avec l'agent pathogène, cas témoin lorsque la cohorte est trop réduite pour pouvoir appliquer des méthodes statistiques.

Si la description de l'état sanitaire d'une fraction de la population ne présente pas de difficulté particulière, il en va tout autrement de déterminer la cause d'un éventuel excès de cas d'apparition de la maladie par rapport à ce qui est considéré comme la normalité.

Cette recherche ne doit pas préjuger de la cause de cet excès, comme c'est souvent le cas pour des personnes ayant été exposées à la radioactivité, car les pathologies cancéreuses sont multifactorielles. Le cancer du poumon par exemple, qui peut être radio induit, est très fréquent chez les personnes exposées au risque du tabac. Il faut donc à la fois que ces enquêtes ne soient pas biaisées, par un parti pris ou par une analyse trop réductrice des causes possibles des pathologies observées, surtout quand les résultats sont proches du bruit de fond naturel.

Une seule enquête ne permet généralement pas de conclure, il est nécessaire de disposer d'un faisceau de résultats concordants pour émettre une conclusion. Il est utile d'insister sur la fragilité des résultats obtenus dans les enquêtes cas témoin, elles ne peuvent être qu'un indicateur pour orienter les recherches.

Dans le cas de la radioactivité, il est illusoire de rechercher, sur une cohorte, une cause possible pour des expositions inférieures à la radioactivité naturelle et à celle résultant des diagnostics médicaux, car l'ensemble de la population y est confronté, c'est à dire dans la gamme allant de 3 à 10 mSv par an.

Pour ce qu'il est convenu d'appeler les faibles doses, l'épidémiologie ne peut apporter de réponse. La recherche a porté sur les populations les plus exposées à la radioactivité naturelle (Kérala, Brésil, Iran) soit dans la gamme (10 à 100 mSv par an) sans pouvoir mettre en évidence un effet délétère de leur exposition à la radioactivité.

La réponse ne peut être apportée que par les résultats des recherches menées en biologie cellulaire. Pour les tenants du nucléaire, les faibles doses ne sont pas nuisibles et pourraient même avoir une action bénéfique en activant les mécanismes de réparation de l'ADN. Pour les opposants, on ne peut garantir l'innocuité des faibles doses, toute dose même très faible serait dangereuse.

Quoi qu'il en soit, nous subissons la radioactivité naturelle et nous n'envisageons pas de changer de lieu de résidence pour diminuer notre exposition de quelques mSv. Nous sommes donc en face, si ce risque existe, d'un risque résiduel accepté, comme celui d'un cachet d'aspirine unique pris dans une année.

La fiche présente un large panorama, bien que non exclusif, d'enquêtes épidémiologiques concernant de nombreuses cohortes de personnes exposées. La cohorte des personnes exposées à des doses significatives à Hiroshima et Nagasaki, la plus complète, fait apparaître l'absence de conséquences, de nature génétique, chez leurs descendants.

1. PRÉAMBULE

L'épidémiologie, de par ses racines grecques, est au sens littéral « La science de ce qui s'abat sur le peuple ». A partir d'une enquête sanitaire, c'est la science qui étudie la fréquence et la localisation des maladies dans le temps et l'espace, d'une fraction d'une population, et tente de déterminer le rôle des différents facteurs qui déterminent l'apparition de ces maladies.

La première démarche épidémiologique semble avoir pris naissance lors d'une épidémie de choléra à Londres en 1854 où un médecin remarquant que le quartier le plus touché était alimenté par une eau prélevée près de l'exutoire d'égouts fit stopper cette alimentation, ce qui permit d'enrayer l'épidémie.

Plus près de nous, en 1981 à Madrid, lors de la survenue d'une épidémie de syndrome respiratoire, les épidémiologistes montrèrent que la cause en était l'utilisation d'une huile frelatée toxique. Comme pour l'amiante, ils ont aidé puissamment à la quantification du risque tabagique.

Cette science a donc fait preuve d'une utilité certaine, à la fois dans la description de l'état sanitaire d'une population et des risques pouvant être engendrés par divers produits ou actions pathogènes sur l'organisme humain, jouant un rôle d'alerte.

Sans entrer dans les arcanes d'une technique complexe, après un tour d'horizon, nécessairement réducteur, permettant de définir les types d'études, l'expression des résultats et les problèmes auxquels elle est confrontée. Nous observerons, en annexe, l'action et les réponses qu'elle peut apporter de l'impact sanitaire des rayonnements ionisants sur les travailleurs et les populations.

2. LES FACTEURS DE RISQUE

Ce sont les paramètres qui sont considérés comme étant les causes possibles des désordres sanitaires relevés dans la population étudiée. On dit qu'un facteur est cause d'une maladie si une modification de sa fréquence (ou de sa valeur moyenne s'il est quantifiable) entraîne une modification de la fréquence de cette maladie.

On distingue :

- les risques de nature déterministe.
- Ce sont les risques pour lesquels l'effet est observable dans un délai très court et pour lequel il existe une proportionnalité entre la dose et l'effet, par exemple les brûlures du premier, deuxième ou troisième degré.
- les risques de nature aléatoire.

Ils sont parfois appelés probabilistes ou stochastiques : par exemple l'action sur un seul élément de l'ADN peut entraîner ou pas une cancérogenèse.

C'est comme en informatique, la réponse est un ou zéro, il n'y a pas proportionnalité. Les délais entre l'exposition et l'apparition de la maladie sont généralement longs, plusieurs années ou décennies. D'une manière générale, les risques peuvent donc être de nature déterministe, probabiliste, ou être une superposition des deux.

3. L'ÉPIDÉMIOLOGIE DESCRIPTIVE

Dans un premier temps l'épidémiologie va s'attacher à décrire l'état sanitaire d'un sous ensemble d'une population que l'on appelle cohorte et il va chercher à comparer les résultats obtenus en terme de mortalité, de morbidité (c'est à dire d'apparition de pathologies telles, par exemple, les cancers solides et les leucémies) avec une référence de normalité qui peut être une moyenne régionale, nationale ou mondiale (référence OMS).

La recherche de cette normalité qui va permettre d'établir une référence pose déjà problème. On va l'appeler le bruit de fond naturel ou d'apparition dite spontanée pour un sexe déterminé et une tranche d'âge ou une pyramide des âges comparable.

Pour mettre en évidence des taux d'apparition de pathologies cancéreuses dont l'apparition spontanée se chiffre en quelques cas (leucémies) à quelques dizaines de cas (cancers du sein ou de la prostate) pour 100 000 personnes, il est recherché des cohortes de grande dimension, et pour de telles cohortes il est difficile qu'elles restent cohérentes (environnement géographique, nutrition, habitudes de vie, origine ethnique, etc..) avec l'échantillon étudié.

Rien qu'en France l'espérance de vie n'est pas la même d'une région à l'autre, et au plan mondial, il est connu que les cas d'apparition spontanée des cancers du colon ou de l'œsophage sont par exemple très différents entre le Japon et l'Europe. L'épidémiologie descriptive est rapide à réaliser et peu onéreuse.

4. L'ÉPIDÉMIOLOGIE ANALYTIQUE

Dans un second temps, l'épidémiologie va s'attacher à rechercher des liens causaux des pathologies observées. Dans ce cas, elle doit éviter de préjuger des causes en essayant de faire une analyse la plus large possible des différentes raisons qui peuvent conduire à un éventuel excès observé.

Elle doit éviter de focaliser sur un seul agent pathogène, comme c'est souvent le cas avec la radioactivité car, par un choix orienté dans le temps ou l'espace géographique, il est possible de trouver ce que l'on cherche à démontrer. Une seule étude ne permet pas de conclure à un lien causal.

Pour mettre en évidence de manière indiscutable le lien entre tabagisme et cancer du poumon, de nombreuses études ont été nécessaires afin de corréler le nombre de cigarettes fumées avec la morbidité constatée. L'épidémiologie analytique nécessite des moyens d'investigation importants, les résultats sont longs à obtenir. Le coût est donc beaucoup plus élevé, de l'ordre de dix fois celui d'une enquête descriptive.

5. LES DIFFÉRENTES ÉTUDES À CARACTÈRE SANITAIRE OU ÉPIDÉMIOLOGIQUES

On peut déjà distinguer deux catégories bien distinctes :

- les études de mortalité ; les résultats concernant les personnes exposées sont souvent, au plan mondial, comparées avec un indicateur le Standardised Mortality Ratio (SMR)
- les études de morbidité (dite encore d'incidence). Il est beaucoup plus difficile de recueillir des données fiables sur l'incidence. En France, le collationnement de ces données est encore loin de couvrir l'ensemble du territoire national

Elles peuvent être :

- historiques quand elles remontent dans le temps avec toutes les difficultés pour reconstituer les conditions dans lesquelles la cohorte a été exposée dans le passé à des agents pathogènes
- contemporaines ou prospectives en suivant sur plusieurs années, ou décennies, l'apparition d'une pathologie dans une cohorte de personnes exposées

Par ailleurs, en l'absence d'une cohorte de dimension suffisante, l'étude va porter sur un nombre restreint d'individus, elle sera dite cas témoin. La comparaison sera faite entre quelques sujets ayant développé une maladie déterminée, avec des personnes proches ayant des habitudes de vie et un environnement comparable et qui en sont exempts.

Par rapport aux études de cohorte, qui sont des études sur la durée, cette méthode rétrospective plus succincte, donne des résultats rapidement, mais le choix des témoins et l'appréciation des expositions des malades et des témoins est délicate.

5.1. L'INFLUENCE DE L'ÂGE

Les pathologies cancéreuses apparaissent de plus en plus fréquemment en fonction de l'avancée en âge (Voir Figure 1). Le cancer est une maladie de la vieillesse et si aujourd'hui il est déjà responsable de près de 25 % des décès pour une espérance de vie qui tourne autour de 80 ans, il le sera bien plus si l'espérance de vie gagne encore une décennie.

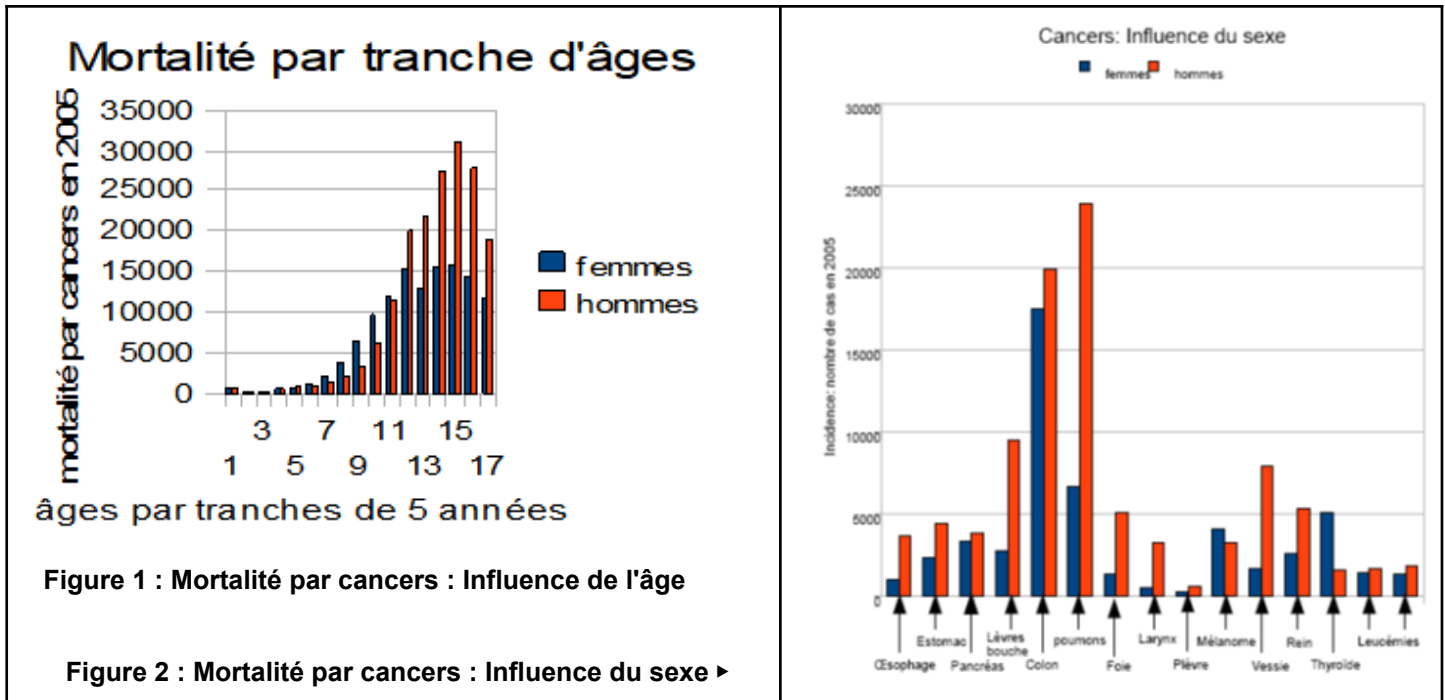
Les taux bruts doivent donc être corrigés pour tenir compte de la pyramide des âges des cohortes étudiées. Pour faire des comparaisons pertinentes, il faut donc tenir compte de la pyramide des âges de la population de référence qui doit être en accord avec celle de la cohorte étudiée.

Pour ce faire, on utilise des résultats normalisés. Les taux sont dits standardisés pour 100 000 individus et peuvent se référer à une population régionale, nationale ou internationale (OMS).

5.2. L'INFLUENCE DU SEXE

En dehors des différences morphologiques qui entraînent des pathologies spécifiques à chaque sexe (sein, prostate..) pour ce qui concerne les pathologies partagées, les différences sont souvent très contrastées.

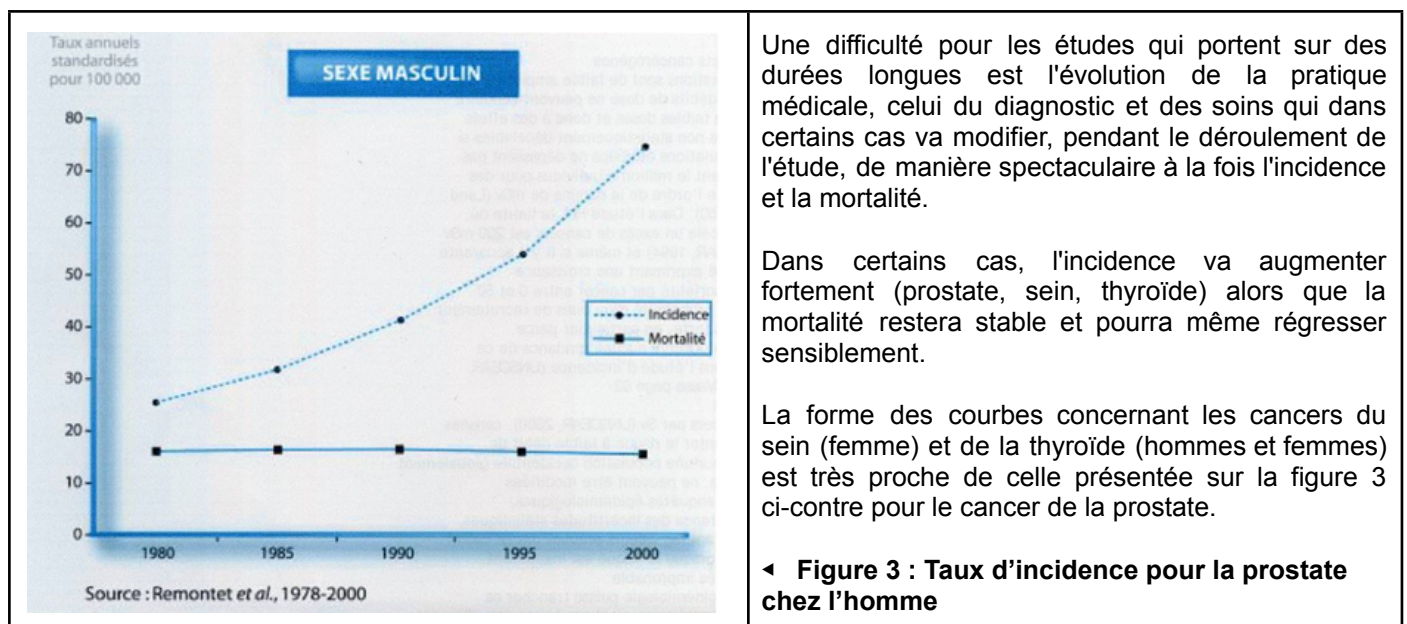
Le rapport des fréquences homme/femme passe de 0,3 (thyroïde) à 0,8 (mélanome de la peau) à près de 4 (œsophage, poumons) et jusqu'à 4,6 (vessie).



Toute étude à caractère épidémiologique va donc s'attacher à prendre en compte ces principales différences. La cohorte va se trouver, de fait, fractionnée par la distinction des sexes (divisée par 2), des pathologies (divisé par environ un facteur 20 pour les cancers) et les résultats éclatés en une quinzaine de classes d'âge. Donc, globalement, les résultats sur la cohorte vont se trouver découpés par un facteur de l'ordre de 500. D'où l'importance que revêt la recherche d'une taille significative pour la cohorte étudiée.

5.3. LES DONNÉES DE RÉFÉRENCE

Pour pouvoir mettre en évidence un accroissement des taux de mortalité et d'incidence par rapport à ce qui est considéré comme la fréquence spontanée, une bonne connaissance de ces paramètres au plan régional et national est nécessaire. Jusqu'à ces dernières années le taux de couverture du territoire par les registres spécialisés était très partiel (environ 15 % pour l'incidence). Un effort important dans la collecte est en cours en France sous l'impulsion de l'Institut de Veille Sanitaire, ce qui va améliorer très sensiblement la qualité des études épidémiologiques.



5.4. L'EXPRESSION DES RÉSULTATS

Les résultats permettant de mettre en évidence un excès de risque pourront s'exprimer de plusieurs façons :

Si E est nombre de cancers spontanés sur la base de l'observation d'un groupe témoin non exposé, O est le nombre de cancers observés dans le groupe exposé, $O-E$ est l'excès de risque, O/E est le risque relatif appelé RR .

Si RR est égal ou < 1 il n'y a donc pas d'excès de risque observé dans le groupe exposé ($O = E$).

Les résultats peuvent aussi s'exprimer en excès de risque relatif : $ERR = RR - 1$

Le temps pendant lequel a été suivie la population exposée s'exprime en nombre de personnes/années (PY).

On peut aussi ramener ce risque relatif à une unité de dose : $D (O/ED)$ et donc définir un excès de risque relatif (ERR) par unité de dose ($O/ED - 1$). Ce qui est généralement le cas des enquêtes sur le risque nucléaire.

Dans ce dernier cas des hypothèses sont faites sur l'impact de la dose

- les effets s'expriment dans une relation linéaire avec la dose
- une absence de seuil entre effet et dose, c'est à dire qu'une dose aussi minime soit-elle est prise en compte, car susceptible de produire un effet
- l'effet de l'étalement de la dose est généralement pris en compte au niveau de son impact minimum (facteur 2)
- on postule généralement que l'excès de risque relatif ERR est multiplicatif, l'irradiation multiplie le taux de base du cancer dans la population étudiée. L'accroissement de risque est proportionnel à la dose. Alors que dans le modèle additif c'est le taux de cancers qui a été ajouté par l'exposition ($O - E$) qui est proportionnel à la dose.

La comparaison directe avec le groupe témoin n'est donc plus directe mais s'exprime à travers ces diverses hypothèses, toutes majorantes, dont la validité pose question :

- si dans le domaine des moyennes et fortes doses, c'est à dire au dessus de 100 à 200 mSv, la relation linéaire semble acquise, ce n'est pas le cas en dessous de 100 mSv
- la notion d'absence de seuil est très contestée, en effet la pharmacopée, comme toutes les normes concernant notre environnement prennent en compte un seuil d'innocuité, c'est à dire un niveau en dessous duquel on n'a jamais pu montrer d'effet délétère. Le risque s'il existe, reste au niveau du bruit de fond et on peut parler alors de risque résiduel accepté
- de nombreuses études radiobiologiques ont montré l'importance de l'étalement dans le temps de la dose, son influence pourrait réduire significativement les effets. A titre conservatoire il est généralement admis un facteur 2 par rapport à une exposition unique ponctuelle de type Hiroshima-Nagasaki. (l'UNSCAER, United Nations Scientific Committee On the Effects of Atomic Radiation, chiffre ce facteur de réduction entre 2 à 10)
- l'utilisation d'un modèle multiplicatif comparé au modèle additif va aussi dans le sens d'une estimation maximale des risques, en effet, si le modèle additif ne semble pas rendre compte des résultats sur la cohorte Hiroshima-Nagasaki, le modèle multiplicatif, lui semble pessimiste, le modèle adéquat semble donc se situer entre ces deux hypothèses

Dans le domaine des faibles doses (inférieures à 100 mSv), ces études s'appuient sur un empilement d'hypothèses conservatives (en particulier la loi linéaire sans seuil) qui, si elles peuvent sembler légitimes dans un cadre sécuritaire, ne doivent pas être oubliées lors de la publication de résultats.

Elles peuvent faire apparaître un léger excès de risque alors qu'il n'existe pas. La plus grande prudence sur la crédibilité de ces résultats reste donc de mise.

5.5. LES FACTEURS DE CONFUSION

Ce sont des facteurs qui peuvent complètement inverser les conclusions d'une étude sur les causes apparentes d'un facteur de risque. C'est le cas quand un ou plusieurs autres facteurs de risque n'ont pas été pris en compte dans l'étude statistique alors qu'ils ont une influence déterminante sur l'exposition et l'apparition de la maladie.

5.6. LES INCERTITUDES

Leur approche est difficile, l'intervalle de confiance, étroitement lié à la taille de la cohorte est donné généralement avec une probabilité de 95 % parfois 90 %, ce qui entraîne que dans 5 % ou 10 % des cas, il est implicitement admis que le risque existe alors qu'il n'existe pas.

6. CONCLUSION

L'épidémiologie est un témoin précieux de l'état sanitaire d'une population. Elle est d'autant plus puissante qu'elle peut s'appuyer sur un échantillon important de sujets et qu'il existe un facteur principal à l'origine des pathologies constatées et non une multitude de facteurs possibles plus diffus.

La présence de causes multifactorielles de faible impact rend très difficile voir impossible l'obtention de conclusions pertinentes et leur publication peut alors être à l'origine de frayeurs injustifiées dans la population.

Dans le domaine des faibles doses, il est difficile, voire impossible, d'isoler l'effet du rayonnement des autres facteurs de risque, d'autant que certaines pathologies comme le cancer du poumon sont communes au rayonnement et au tabagisme qui est le facteur principal et joue un rôle d'écran.

Nous touchons là aux limites de l'épidémiologie.

La science n'est pas démunie pour autant car parallèlement, la biologie moléculaire étudie les mécanismes d'action des pathogènes et les moyens de défense de l'organisme. L'accès aux mécanismes fondamentaux qui vont de la cellule, de ses interactions jusqu'au fonctionnement organique permettront de compléter les connaissances dans les domaines non statistiquement décelables par l'épidémiologie

L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) note « *que les études épidémiologiques présentent des limites méthodologiques, en particulier pour évaluer un risque additionnel de faible probabilité d'une pathologie, le cancer, dont l'incidence est naturellement élevée.*

Une étude épidémiologique ne constitue donc pas une réponse miracle applicable à toute situation où une exposition aux rayonnements ionisants pourrait constituer un facteur de risque. »

Une étude américaine sur la pertinence de toutes les enquêtes épidémiologiques va encore plus loin en considérant que plus de la moitié d'entre elles présente des incertitudes telles que leurs résultats auraient été du même ordre que celles obtenues à partir de données astrologiques !

7. RÉFÉRENCES

- Radioprotection : volume 29 1994 Épidémiologie et rayonnements ionisants.
- EDF décembre 1999 Notion de seuil.
- ASN Dossier Épidémiologie et rayonnements ionisants.
- RGN n° 5, 2003 Les faibles doses de rayonnement.
- EDF mars 2002 Cancers radio induits et variation de la radiosensibilité individuelle.
- BEH n° 35 2003 Incidence des cancers thyroïdiens chez l'adulte en France.
- Pr J. ESTEVE SAMPBEA 2000/2 Quelles études épidémiologiques pour les personnes potentiellement exposées aux rayonnements ionisants ?
- De VATAIRE & B. LEVU - Cancer mortality in French Polynésie 1996 ; Incidence des cancers en Polynésie Française, influence du lieu de naissance par rapport à l'atoll de Mururoa, 1997; Thyroid cancer in French Polynésie, 2000.
- Académie des Sciences- Académie Nationale de Médecine : La relation dose-effet
- J.C. NENOT : Effets biologiques des rayonnements ionisants, aléatoires et non aléatoires.
- Pr J. ESTEVE : Santé et Rayonnements ionisants n°33 décembre 2008 L'épidémiologie peut-elle fournir de l'information sur l'effet des faibles doses ?

ANNEXE

LES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES QUI CONCERNENT LES EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Le nombre d'études menées sur ce sujet est très important.

Ne sont donc évoquées que les plus significatives couvrant les différents domaines où peuvent se manifester les effets d'une exposition à la radioactivité.

Le suivi de la cohorte des Survivants d'Hiroshima et Nagasaki (cohorte SHN) ou Life Span Study (LSS)

C'est l'étude de base sur laquelle s'est appuyée la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) pour établir ses recommandations concernant la radioprotection, recommandations prises en compte par les réglementations nationales des différents États.

Le suivi de cette cohorte présente plusieurs points forts :

- Le SHN étudie une cohorte importante de sujets exposés (de l'ordre de 85 000 sujets) des deux sexes et de tous les âges
- Cette cohorte a été suivie de manière minutieuse pendant une durée très longue (65 ans)
- Les doses reçues sont significatives (de l'ordre de 20% sont comprises entre 100 et 200 mSv ; 1 % sont supérieures à 200 mSv), et assez précisément connues bien que des discussions se soient poursuivies sur la part des doses dues aux neutrons.

Par contre l'exposition s'est faite dans un temps court, qui ne représente pas les conditions actuelles des expositions tant naturelles, que correspondant aux travailleurs du nucléaire ou aux irradiations médicales à des fins diagnostiques. Les conditions étaient donc majorantes.

Les résultats obtenus montrent une certaine linéarité pour cette plage de doses et permet de réaliser, dans cet intervalle, une relation entre la dose et les effets. En dessous de ces valeurs seules des hypothèses ont été émises, de la poursuite de la loi linéaire à une relation quadratique, en passant par des relations intermédiaires. L'épidémiologie n'a pas permis de trancher.

Les résultats de cette étude ne seront définitivement acquis qu'à l'extinction de la cohorte dont l'âge moyen au moment de l'exposition était d'une trentaine d'année, donnent un excès de cancers solides de 400 et de 78 pour les leucémies, chiffre relativement faible par rapport à la taille de la cohorte.

La limite à partir de laquelle des effets sont décelables dans cette cohorte est de **200 mSv** (publication 1994 de l'UNSCAER) à l'exception des enfants irradiés in utero à plus de **100 mSv** entre 10 et 20 semaines c'est-à-dire pendant l'organogénèse. Enfin, il est bon de rappeler qu'aucun effet génétique n'a jamais été mis en évidence chez l'être humain.

La cohorte des travailleurs du nucléaire

Des études ont été menées au plan national, et leurs résultats parfois regroupés au plan international pour en augmenter la puissance. Cette population présente de nombreux avantages avec une dosimétrie individuelle de qualité et un suivi régulier pendant plusieurs décennies. Elles ont porté principalement sur la mortalité, pour l'incidence, les données étaient trop parcellaires pour pouvoir être utilisées.

Les résultats ont montré une mortalité plus faible pour ces travailleurs que la moyenne de la population, c'est le phénomène « du travailleur en bonne santé ». En effet, les personnes atteintes de pathologies lourdes ou celles dont les indicateurs présentent des écarts ou anomalies lors des examens médicaux ne sont pas autorisées à accéder à des activités nucléaires par la médecine du travail.

Dans d'autres activités, la mortalité est supérieure à celle des travailleurs du nucléaire, la raison pourrait être le résultat d'un suivi particulièrement attentif et continu des travailleurs par la médecine du travail dans les installations nucléaires ou due à des facteurs socio-économiques.

Une des difficultés réside dans le fait qu'une fraction non négligeable de ces travailleurs a été en contact avec d'autres cancérogènes, chimiques par exemple, lors de la transformation ou de l'analyse radiochimique de matières nucléaires. Enfin toutes les pathologies cancéreuses ne peuvent pas être toutes induites par le rayonnement et généralement il n'en est pas la cause majeure.

De manière aléatoire, quelques études font apparaître des excès de risques concernant le cancer de la plèvre et la leucémie.

Dans ces cas, toutefois, elles se situent encore dans le domaine des très petits nombres, le cancer de la plèvre est, parmi l'ensemble des cancers, celui qui est avec la maladie d'Hodgkin, un des plus rares (environ 3 cas de mortalité pour 1 000, tous cancers confondus, chez l'homme en 2006).

La constatation d'un cas en plus ou en moins, peut alors faire passer d'une situation d'un excès à celui d'un déficit ! Pour les leucémies, si la fréquence de cette pathologie est un peu plus élevée, elle n'appartient pas au groupe des cancers majeurs.

Des tests de tendance qui consistent à examiner le nombre de décès par niveaux de doses croissants ont été réalisés sans pouvoir mettre en évidence une corrélation entre les doses reçues et une augmentation du niveau de risque comme cela a pu être fait pour le tabagisme avec la prise en compte du nombre de cigarettes fumées.

À partir de l'étude réalisée par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) qui réunissait les données d'exposition de 400 000 travailleurs de 15 pays, l'excès de cancers attendus compte tenu de toutes les hypothèses majorantes décrites précédemment sur les relations dose-effets, étaient de 28 soit de 7 pour 100 000 travailleurs.

Si l'on tient compte des incertitudes même faibles sur les données brutes, sur celles concernant leur transposition pour les inscrire dans une pyramide d'âge standard, pour réaliser une comparaison avec un SMR qui est une construction dont l'élaboration présente lui aussi des degrés d'incertitude, on comprend que l'épidémiologie, ne puisse donner des résultats à ces niveaux de précision.

Au niveau national on peut citer l'étude sur la mortalité de 29 000 travailleurs du CEA, de 22 000 agents d'EDF et d'une étude concernant les entreprises prestataires.

Le suivi des populations autour des sites d'activités nucléaires

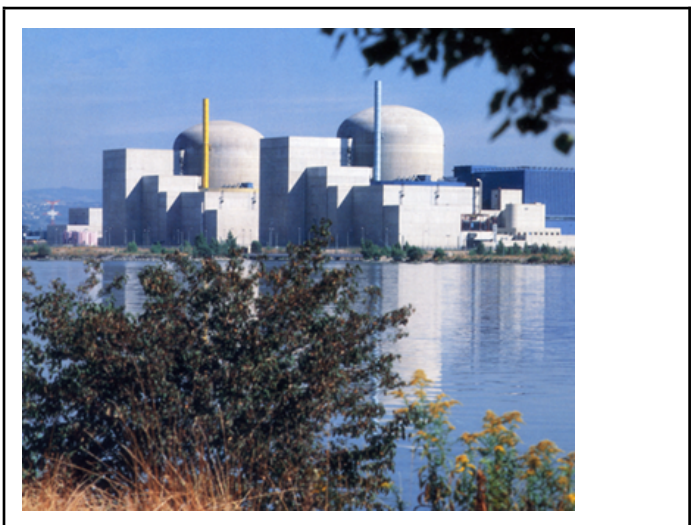
Les installations industrielles

De nombreuses études ont été réalisées autour des installations nucléaires pour tenter d'expliquer des phénomènes d'agrégats de leucémies infantiles. Cette pathologie dont l'étiologie est mal connue peut être d'origine infectieuse ou induite par des polluants ou des rayonnements ionisants. Cette maladie étant rare, quelques cas pour 100 000, une interrogation s'est donc exercée sur la présence de ces agrégats qui portent sur la survenue de quelques cas concentrés dans un espace géographique restreint.

Ils ne sont pas exclusivement observés près d'installations nucléaires mais la leucémie pouvant être une pathologie radio-induite, les premières études ont donc concerné l'environnement proche des installations nucléaires. Une des premières études d'agrégats a été menée au Royaume-Uni en 1983 près de l'usine de retraitement de Sellafield, puis à Downreay en 1986 et Aldermaston en 1987. Aucune n'a pu établir de causalité avec les activités nucléaires pour expliquer les 5 les cas observés sur 3 décennies. L'hypothèse d'une cause liée au brassage des populations avec l'action d'agents infectieux a été avancée.

En France, une affaire avait fait grand bruit avec la publication d'une étude portant à croire à un excès de leucémie infantile dans un rayon de 10 km autour du centre de retraitement de La Hague sur la base de 4 cas (à la limite de la signification statistique) et d'une étude complémentaire « cas témoin » très contestée qui faisait un lien avec la fréquentation des plages et la consommation de crustacés.

Devant le retentissement médiatique, plusieurs autres études furent menées et aucune ne permettait de conclure à un lien de causalité avec la radioactivité dans l'environnement.



Aux USA, des études de mortalité et d'incidence ont été menées près de divers centres nucléaires, aucun excès de cas de leucémie n'a été constaté. Entre 1982 et 1984 un excès a été mis en évidence autour de la centrale de Pilgrim dans le Massachusetts mais cet excès s'est trouvé compensé par un déficit sur la période 1985-1986.

Une étude réalisée autour de Marcoule n'a pas mis en évidence d'excès de risques.

En Allemagne entre 1990 et 1996, 9 cas étaient décelés dans un rayon de 10 km autour de la centrale de Krümmel. Aucune cause n'a pu être dégagée malgré de nombreuses études.

Des cas d'excès ayant été trouvés avant et après la mise en exploitation d'installations, des trois hypothèses de base : l'exposition d'origine environnementale, l'exposition parentale avant la conception, et l'action d'un agent infectieux, c'est cette dernière hypothèse liée au brassage des populations lors des grands chantiers de construction qui semble l'hypothèse vers laquelle les études s'orientent actuellement (étude La Hague de 2002).

Enfin, il convient de citer les études réalisées à la suite de l'accident de Tchernobyl qui ont montré un excès de l'ordre de 2 000 pour les cancers de la thyroïde (dont heureusement, le taux de guérison est supérieur à 99 %) concernant les enfants de moins de 14 ans au moment de l'accident et présents dans la zone proche de celui-ci, ainsi qu'un excès des malformations congénitales, c'est-à-dire dont l'origine peut être liée à l'irradiation à plus de 100 mSv pendant la vie intra-utérine.

Cet excès de malformations est à la limite du non significatif et est observé dans des territoires de l'ex URSS touchés ou non par l'accident. Dans neuf pays de l'Europe de l'Ouest, dont la France, il a été conclu à l'absence d'effets de l'accident. Il n'y a pas de corrélation entre le niveau des retombées observées au plan régional et les pathologies thyroïdiennes.

L'environnement des sites nucléaires de Mururoa et Fangataufa

Plusieurs études ont été menées par l'INSERM sur les populations résidant dans les atolls et îles situées dans des espaces géographiques situés dans des cercles concentriques éloignés de 500 km et 1000 km autour de Mururoa.



La première étude, celle de mortalité montrait une diminution de la mortalité dans la zone la plus proche par rapport aux plus éloignées, résultat aberrant, le faible effectif concerné, environ 2 000 personnes dans le cercle de rayon 500 km était beaucoup trop faible pour que l'on puisse en tirer des conclusions statistiques.

Pour les mêmes raisons, il en fut de même de l'étude d'incidence, d'autant que les causes de décès sur des îles isolées ne sont pas toujours bien connues.

Bien que l'étude n'ait pas la puissance nécessaire, elle laissait apparaître la possibilité d'un excès de cancers de la thyroïde chez les femmes, pathologie qui se retrouve à des fréquences similaires dans les populations Maori de Nouvelle Calédonie.

Enfin des études cas témoin, mieux adaptées, n'ont pas apporté d'éclairage significatif. La faiblesse des populations concernées rend une approche épidémiologique autre que cas témoin, inadéquate. Une étude cas témoin sur les leucémies infantiles n'a rien mis en évidence.

L'impact de la radioactivité naturelle sur les populations

La radioactivité naturelle peut apporter beaucoup d'enseignements sur l'impact présumé des rayonnements ionisants, en effet, l'être humain, sur toute la surface du globe, y a été confronté à des niveaux divers, depuis la nuit des temps et apparemment cela ne semble pas avoir entravé son développement.

La biologie montre qu'il a développé des mécanismes réparateurs des dégâts causés à son ADN par toutes sortes d'agressions dont les effets du rayonnement.

Il a donc semblé intéressant d'étudier l'influence de cette radioactivité sur les habitants des régions où elle se manifeste le plus intensément.

La plus connue est la région du Kérala en Inde où 100 000 habitants sont exposés annuellement au niveau moyen de 5 mSv mais avec des valeurs pouvant atteindre 50 à 100 mSv. Une fraction significative des habitants, de l'ordre de 15 %, est exposée à des doses annuelles supérieures à **10 mSv**.

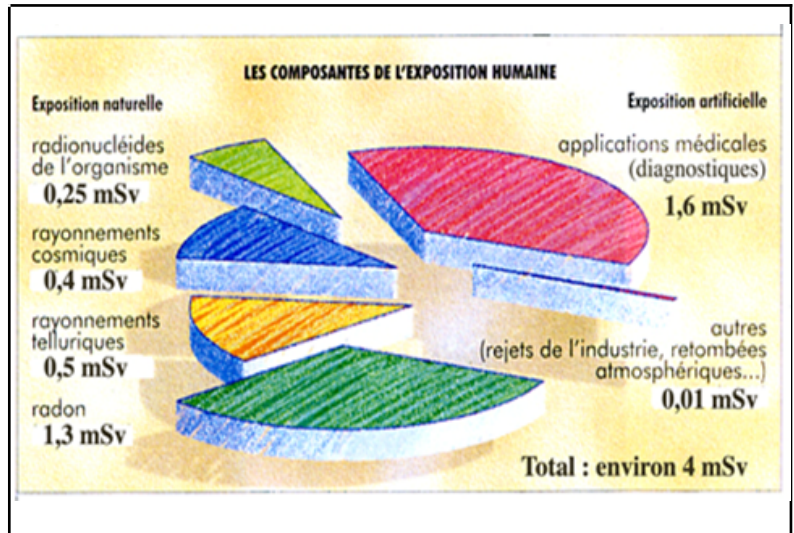
Il en est de même en Chine, dans le Yanagjang, où 80 000 personnes reçoivent des doses du même ordre de grandeur. Enfin des résidents d'autres régions du monde subissent aussi des irradiations élevées, au Brésil et en Iran par exemple.

Tous les résultats obtenus à ce jour ne montrent pas d'augmentation du risque, toutefois la collecte des données doit être améliorée pour les consolider. Des études complémentaires se poursuivent ce qui permettrait de donner un éclairage très intéressant sur les effets de la radioactivité dans la gamme des expositions entre 5 et 100 mSv, complétant ainsi les données issues de la cohorte SHN et pourrait confirmer et quantifier l'existence d'un seuil.

En France, la radioactivité naturelle est à l'origine de doses annuelles moyennes reçues par la population de l'ordre de 2,5 mSv avec des disparités régionales importantes entre les régions granitiques et sédimentaires.

En ajoutant les doses reçues de par l'irradiation médicale à des fins diagnostiques, c'est environ **4 mSv** que reçoit en moyenne la population française.

À ces niveaux de quelques mSv, on ne peut dire que vivre dans les régions granitiques comporte un risque accru, dû à leur radioactivité, d'autant que l'espérance de vie, qui varie légèrement d'une région à l'autre, n'est pas corrélée avec la présence ou non de radioactivité.



Cela confirme que si ce risque existe, il est noyé dans le bruit de fond dit naturel ou spontané, et que dans ce cas il reste dans le domaine du risque accepté, à défaut les populations seraient tentées de migrer, pour cette raison, des régions granitiques vers les régions sédimentaires.

Les conséquences des irradiations médicales à caractère diagnostique ou thérapeutique

Les expositions liées au diagnostic

L'exposition moyenne de la population française se situe entre 1 et 2 mSv soit à une valeur inférieure, mais assez proche de la moyenne de l'exposition due à la radioactivité naturelle.

Les examens diagnostiques portent sur une cohorte très nombreuse ce qui fait son intérêt et justifie la centaine d'études dont elle a fait l'objet. La faiblesse de l'exposition, la difficulté de trouver un référentiel national de personnes non exposées, rend difficile voire impossible l'obtention de résultats significatifs.

Par contre dans certains cas, des patients ont subi des expositions répétées du fait du suivi, par exemple de traitements contre la tuberculose ou scoliose. Le cumul des doses reçues par ces examens répétés ont pu atteindre 0,5 à 1 Gy à la poitrine entraînant un accroissement significatif du risque de cancer du sein chez les femmes atteintes de tuberculose.

Les enquêtes sont alors du type « cas-témoins ».

Des examens avec utilisation d'iode 131 ont parfois entraîné des doses importantes à l'organe. Une cohorte de 35.000 patients ayant reçu de l'ordre de 1 Gy à la thyroïde a été étudiée en Suède et n'a pas mis en évidence d'effet cancérogène pour des adultes. L'épidémiologie disposait d'une cohorte de bonne taille, d'un niveau d'exposition important avec des doses parfaitement connues, les conditions nécessaires à une bonne étude étaient réunies.

Les expositions thérapeutiques

En radiothérapie les doses reçues sont d'un autre ordre de grandeur, de 10 à 20 Gy. Cela entraîne un accroissement significatif des risques de cancer secondaire pour les organes situés en périphérie de l'organe cible et qui sont susceptibles de recevoir des doses de plusieurs centaines de mSv.

Les données de l'épidémiologie peuvent être comparées aux enseignements fournis par la cohorte SHN en tenant compte toutefois des différences notables par exemple de la susceptibilité des organismes japonais concernant les risques de cancer de l'œsophage.