

## LES FAIBLES DOSES

### 1. POURQUOI S'INTÉRESSER AUX FAIBLES DOSES ?

L'effet des rayonnements ionisants sur les cellules vivantes est reconnu depuis le début du 20ème siècle.

La corrélation entre les effets observés et la dose reçue est actuellement bien établie lorsqu'il s'agit des doses les plus élevées, mais il n'en n'est pas de même en ce qui concerne les faibles doses.

La connaissance des effets des faibles doses est cependant très importante car c'est essentiellement sur elle que s'appuie la réglementation pour imposer les limites acceptables pour la population et les travailleurs.

Si elle est trop restrictive, elle créera une entrave inutile à l'usage industriel et médical de la radioactivité ; si elle est trop laxiste, elle pourrait permettre des dommages sanitaires qui auraient pu être évités.

Y a-t-il oui ou non un seuil au-dessous duquel les effets de la radioactivité ne sont pas décelables ?

Un premier élément de réponse est donné, pour les faibles doses, par la présence d'une irradiation naturelle de nature et de niveau variable selon les régions.

Par ailleurs, les pathologies pouvant être radio-induites, les cancers notamment ne sont pas spécifiques des rayonnements ionisants et leur fréquence spontanée est élevée, en particulier lors de l'avancée en âge (incidence de plus de 30 % dans les pays développés) ce qui rend très difficile, voire impossible, de mettre en évidence l'impact sanitaire des faibles doses par des études épidémiologiques.

### 2. DÉFINITIONS ET CONVENTIONS

L'homme vit depuis l'origine des temps dans un bain de rayonnements : rayonnements venus de l'espace (cosmiques) et rayonnements telluriques émis par son milieu de vie, la terre.

Cette référence naturelle permet de mieux juger de l'importance des valeurs annoncées dans diverses communications et publications : cette dose naturelle d'irradiation est de 2,5 millièmes de Sievert<sup>1</sup> (mSv) par an, en moyenne, en France.

Elle peut varier de 1 à 10 mSv suivant le lieu et atteindre 100 à 200 mSv dans certaines régions du monde. Le domaine des faibles doses est donc celui auquel nous sommes tous confrontés dans le courant de notre vie, la figure 1 donne une échelle des ordres de grandeur de ces expositions.

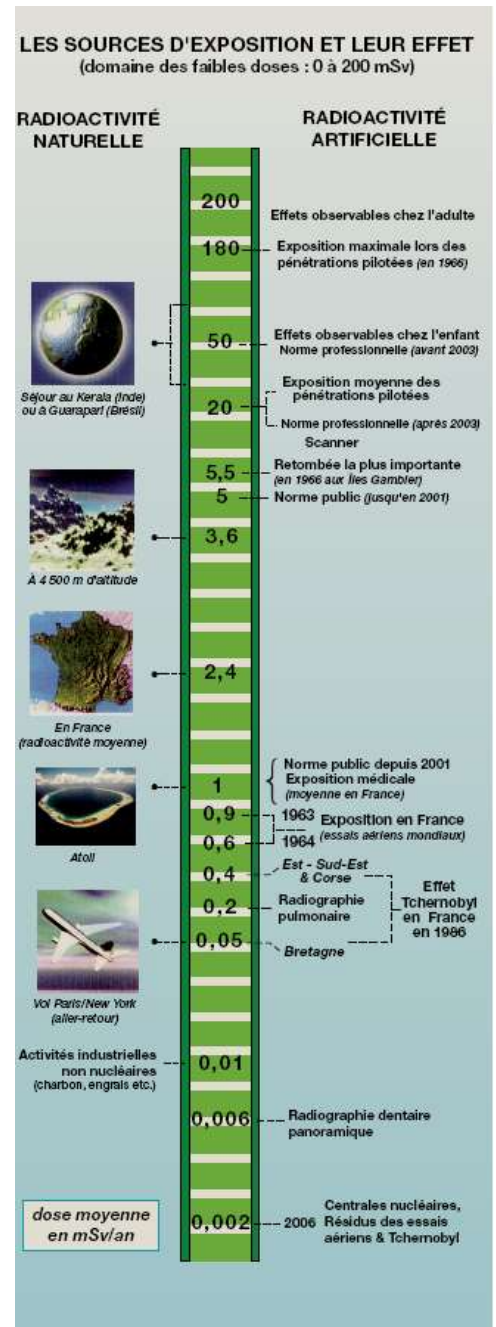


Figure 1

<sup>1</sup> La dose efficace, plus couramment appelée la dose reçue par un organisme vivant est exprimée en Sievert, unité qui tient à la fois compte de la quantité et de la nature du rayonnement (alpha, bêta, gamma, neutron) et de la radiosensibilité des tissus irradiés. On utilise fréquemment son sous-multiple : le millième de Sievert ou milli Sievert (mSv) qui est mieux adapté aux expositions rencontrées habituellement.

De plus, il faut noter que le corps humain contient plusieurs radioéléments naturels dont le potassium 40 et le carbone 14. Sa radioactivité totale, de l'ordre d'une dizaine de milliers de becquerels<sup>2</sup>, est à l'origine d'une dose interne de 0,25 mSv par an.

Il faut également préciser ce que l'on entend par « Faibles Doses ».

Ce sont les doses en dessous desquelles il n'y a pas de différence de fréquence des cancers entre les groupes exposés et les groupes témoins non exposés.

Ces données sont issues de l'épidémiologie et complétée par des résultats expérimentaux.

Sur ce fondement scientifique, le Comité des Nations Unies sur les Sources et Effets des Radiations Atomiques (UNSCEAR) ainsi que l'Académie des Sciences des États-Unis ont conclu que le domaine des "faibles doses" correspondait à des doses inférieures à la gamme de 100 à 200 mSv reçus en une seule fois, limite sous laquelle aucun effet délétère pour l'adulte n'a jamais été observé.

Dans le domaine professionnel comme dans celui des populations pouvant être exposées aux rejets d'installations nucléaires, les doses et les débits de dose sont beaucoup plus faibles.

### 3. EFFETS DES RAYONNEMENTS

#### 3.1. TYPES D'EFFETS

Schématiquement, on observe deux types d'effets :

- les effets certains (dits déterministes) : ils apparaissent sur un individu dès que la dose reçue dépasse un seuil. Les seuils varient suivant l'effet. Au-delà du seuil, la gravité croît avec la dose reçue
- les effets aléatoires (dits stochastiques) : ils apparaissent chez quelques individus, au hasard, dans une population irradiée. La relation entre la dose et l'effet est dans ce cas de nature probabilistique : c'est la probabilité du dommage qui croît avec la dose et non sa gravité. Ce sont les cancers, effets congénitaux et héréditaires

Cependant il n'a pas été mis en évidence dans l'espèce humaine des effets héréditaires même dans les populations les plus irradiées dans lesquelles un excès de cancers a été observé, par exemple la cohorte des survivants d'Hiroshima et Nagasaki.

En pratique, l'étude des effets stochastiques s'est donc focalisée sur le risque cancer. Ces effets sont appelés stochastiques car rien ne permet de savoir quel individu sera atteint dans une population irradiée.

Par ailleurs, bien souvent, rien ne distingue sur le plan clinique les cancers induits par les rayonnements, de cancers d'autres origines (dont la fréquence naturelle est élevée).

Enfin, il s'agit de pathologies dont la fréquence d'apparition après irradiation est modeste : 5 % d'excès de décès par cancer dans une population formée d'individus ayant reçu une dose de 1 Sievert (soit 1000 mSv). Il s'agit d'effets à long terme dont la fréquence croît avec la dose.

On ne peut les observer que statistiquement sur des groupes très importants de population (voir [fiche GAENA N° 42](#)).

Le domaine des faibles doses est celui des effets aléatoires.

#### 3.2 ACTIONS SUR LA CELLULE

Les rayonnements ionisants n'ont pas le même effet suivant les cellules concernées (figure 2).

Comme les produits chimiques ou les radicaux libres, ils interagissent avec l'ADN, support du patrimoine génétique. En effet, l'ADN est une molécule unique qui a deux fonctions essentielles : d'une part sa duplication "à l'identique" permet la transmission sans modification du patrimoine génétique aux cellules lors de la multiplication cellulaire, d'autre part la lecture de gènes inscrits dans l'ADN permet la fabrication de toutes les protéines et enzymes qui permettent le fonctionnement cellulaire.

La cible fragile de la cellule est l'ADN qui est constitué de deux brins identiques enroulés. Toutes les agressions extérieures : rayonnements, produits chimiques, radicaux libres peuvent conduire à casser un simple brin ou, en moindre nombre, un double brin.

---

<sup>2</sup> La radioactivité se mesure en Becquerel. Cette unité, très petite, correspond à la désintégration d'un atome radioactif par seconde. Elle s'exprime en général en becquerel par kilogramme (Bq/kg) ou en becquerel par litre (Bq/l). Par exemple le corps humain contient naturellement 100 Bq par kilogramme, il en est de même de la plupart des aliments que nous consommons, en particulier la nourriture carnée.

Dans une cellule normale placée dans une ambiance naturelle, du fait de son environnement métabolique, on peut constater chaque jour près de 90 000 cassures sur l'un des deux brins de l'ADN, et une dizaine de cassures sur les deux brins à la fois.

Ces lésions seraient incompatibles avec la vie de la cellule si elles n'étaient réparées par un puissant système cellulaire de réparation de l'ADN.

Pour ce qui concerne les effets de la radioactivité, Il a été montré que 1 000 mSv délivrés ponctuellement (effet maximum) causent environ 1 000 cassures simple brin et une quarantaine double brin.

Aux très faibles débits de dose, les cellules disparaissent par mort mitotique, pour les faibles doses le stock enzymatique des cellules suffit pour réparer les lésions.

Aux forts débits de dose, le système est moins efficace, la réparation peut être fautive, c'est-à-dire qu'elle n'est pas fidèle à la configuration d'origine.

Dans ce cas, cette réparation fautive, va conduire soit à l'apoptose, qui est la mort programmée de la cellule et son élimination, soit provoquer une cellule cancéreuse (figure 3).

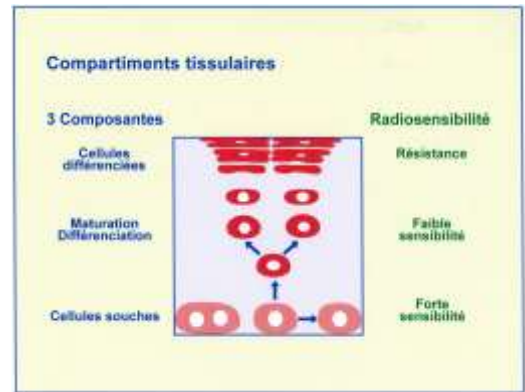


Figure 2



Figure 3

### 3.3 ORDRES DE GRANDEURS

Les appareils disponibles et couramment utilisés sont capables de mesurer des niveaux d'irradiation très largement inférieurs au niveau naturel. Cela conduit souvent à confondre seuil de mesure avec niveau de risque.

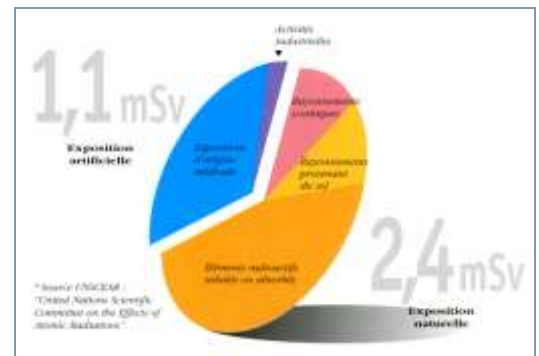
Il n'y a pas d'observation d'effet clinique à court terme pour une irradiation instantanée inférieure à 500- 700 mSv (irradiation globale aiguë).

L'irradiation médicale en France délivre en moyenne une dose de l'ordre de 1 mSv (10 mSv pour un examen par scanner du corps entier).

L'utilisation industrielle de la radioactivité entraîne pour la population une exposition d'environ 0,02 mSv par an.

Pour mémoire, la limite de dose annuelle pour le public résultant des expositions autres que naturelles ou médicales est fixée à 1 mSv donc à une valeur très conservatoire (figure 4).

Figure 4



## 4. L'AVIS DES EXPERTS

Deux niveaux d'expertise interviennent dans le domaine de l'évaluation des effets des rayonnements ionisants et dans celui de la mise en œuvre de la protection contre ces effets : les Instances Internationales et les Organismes Nationaux.

### 4.1 LES INSTANCES INTERNATIONALES

Depuis sa création en 1928, par des médecins spécialistes en radiologie, l'instance de référence est la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements (CIPR).

Par ses recommandations, cet organisme scientifique non gouvernemental oriente toutes les législations internationales et nationales.

Pour les besoins de la gestion de la radioprotection, la CIPR a préconisé une relation linéaire sans seuil entre la dose et l'effet, extrapolée à partir du suivi des populations irradiées à débit de dose élevé comme à Hiroshima et Nagasaki. Cette position, volontairement conservatrice, a parfois été mise en œuvre sans discernement et fait l'objet de débats plus sociétaux que scientifiques.

La tendance actuelle est une révision prenant en compte l'expérience des cinquante années de mise en œuvre de l'énergie nucléaire. Cela se traduit, en particulier, par la proposition de gérer les contraintes au niveau des sources.

La dernière proposition (recommandations 2005) ne prévoit pas de modifier les limites de dose.

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) et le Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Étude des Effets des Rayonnements Ionisants (UNSCEAR) sont des organismes intergouvernementaux qui concourent à l'étude et l'évaluation des effets des radiations.

L'Agence de l'Énergie Nucléaire de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (AEN-OCDE) et son Comité de Protection contre les Radiations et de Santé Publique (CPRSP) interviennent par des prises de positions. Ce comité interagit avec la CIPR et a souligné la nécessité de clarifier les différents niveaux de référence et limites proposées par la CIPR.

La Communauté Européenne a transposé en l'année 2000, dans une Directive, les recommandations de la CIPR de l'année 1990 qui préconisent un abaissement des limites de dose à 1 mSv en moyenne par an pour les membres du public et à 100 mSv en moyenne sur 5 ans, sans dépasser 50 mSv sur 12 mois glissants, pour les travailleurs exposés.

## 4.2 LES ORGANISMES NATIONAUX

En France, les experts s'expriment au sein de l'Académie des Sciences, de l'Académie de Médecine, de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et du Commissariat à l'Énergie Atomique.

Les résultats interprétables par les experts scientifiques ou institutionnels sont issus :

- de l'étude des mécanismes des effets des rayonnements, tant à fortes, qu'à faibles doses sur des effets biologiques précoces ou des cancers
- d'études expérimentales permettant de comparer, sur des souches de fonds génétiques variés, les effets tardifs à différents débits de dose et types de rayonnements
- d'études épidémiologiques qui sont très délicates à interpréter dans le domaine des faibles doses. Il faudrait en effet disposer de populations considérables : une enquête devrait suivre 2 millions de personnes pendant plusieurs dizaines d'années pour mettre en évidence l'effet éventuel d'une dose de 100 mSv, ce qui est pratiquement impossible à réaliser

La position des experts scientifiques français, d'une manière générale, souligne la nécessité d'une clarification sur l'interprétation de l'extrapolation vers les faibles doses des effets constatés aux doses élevées.

L'extrapolation linéaire sans seuil (figure 5) n'est, en aucun cas, la démonstration d'un excès de cancer dès que les doses et débits de doses atteignent le niveau de celles et de ceux de l'environnement naturel.

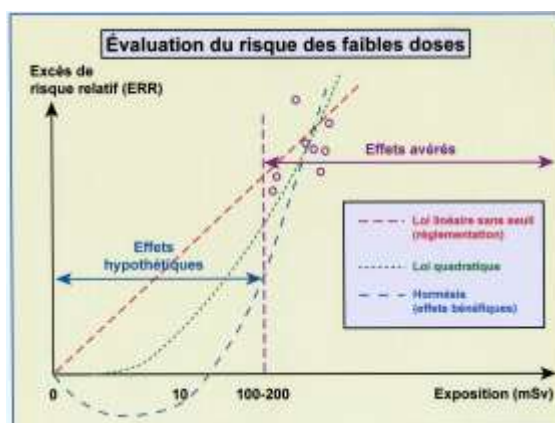


Figure 5

Il faut également souligner la complexité des relations entre effets biologiques précoces et apparition de pathologies tardives comme les cancers.

Si certains effets biologiques précoces répondent bien à une relation linéaire sans seuil, au moins pour certains types de rayonnements, ceci ne signifie en aucun cas qu'une extrapolation est possible pour en déduire un risque de cancer correspondant.

Les experts scientifiques professent également que ce n'est que par les résultats des recherches en cours sur le mécanisme d'induction et de développement des cancers que peuvent être révisées les hypothèses actuelles très prudentes, selon le principe de précaution.

## 5. FAUT-IL DIMINUER LES DOSES ?

En vertu du principe de précaution (voir [fiche GAENA N° 11](#)) il faut tendre à diminuer les dose reçues par les individus mais en restant dans le domaine du raisonnable selon le principe "ALARA" (voir [fiche GAENA N° 1](#)).

La dose effective reçue par la population résulte du cumul de la radioactivité naturelle, de l'utilisation médicale, des suites (très localisées) des accidents nucléaires et des retombées des essais nucléaires militaires (figure 1).

Il faut donc agir sur tous les paramètres :

- pour la radioactivité naturelle, une action est en cours pour réduire les émanations de radon dans les habitations en accroissant les taux de renouvellement de l'air par la ventilation et en améliorant l'étanchéité vis à vis du sol
- l'utilisation médicale à des fins thérapeutiques ou diagnostiques font l'objet en permanence de progrès techniques considérables qui conduisent à une réduction des doses, tant pour les opérateurs que pour les patients
- la sûreté des installations nucléaires fait des progrès continus par l'exploitation des retours d'expérience, encadrée par les Autorités de Sûreté et de Radioprotection dont l'importance ne cesse de grandir à travers des inspections très fréquentes et les prescriptions qui en découlent
- les rejets des centrales sont en diminution constante en volume et en radioactivité ; les rejets dus aux procédés de traitement du combustible ont fait l'objet d'une forte diminution ; les transports sont très réglementés et surveillés pour exclure le risque d'accident et en limiter les effets
- les essais nucléaires atmosphériques militaires sont arrêtés.

L'ensemble de ces mesures permet de réduire à un niveau minimal l'exposition de la population française.

## 6. LES EFFETS BÉNÉFIQUES POSSIBLE DES FAIBLES DOSES (HORMESIS)

« Il a été observé que des cellules pré-exposées à des agents à l'origine de cassures chromosomiques, lorsqu'elles sont à nouveau irradiées à des doses beaucoup plus importantes, la réparation est nettement facilitée ce qui serait dû à l'augmentation de l'expression ou de l'activité de certains enzymes de réparation. Il y aurait un processus de radioadaptation.

Ce phénomène peut être rapproché de celui des oligo-éléments dont la carence est nuisible à la santé alors que l'excès peut conduire à des manifestations toxiques » (référence 1).

Des expériences animales ont montré que la stimulation des mécanismes de réparation de l'ADN par des faibles doses procure une meilleure résistance aux doses élevées.

Au plan pratique, on peut remarquer qu'au Brésil, la station thermale de Guarapari jouit d'une réputation ancestrale pour ses bienfaits sur la santé alors qu'elle est une des régions les plus radioactives du monde (présence de thorium).

A Taiwan, une étude est en cours, depuis 25 ans, sur une cohorte de plus de 10 000 personnes irradiées pendant des dizaines d'années dans leur appartement, par un ferrailage marqué au cobalt 60 et où les doses reçues se situent dans la fourchette haute du domaine des faibles doses .

En effet, sur une durée d'irradiation de 9 à 20 ans, la moyenne des doses cumulées reçues par chaque habitant est de 400 mSv. Les occupants et leur dosimétrie sont connus précisément, les résultats vont dans le sens d'une absence de détriment sanitaire, avec une sous-mortalité très nette concernant les pathologies cancéreuses (référence 2).

Une autre enquête intéressante est celle du suivi des équipages des sous-marins américains à propulsion nucléaire avec une cohorte de 28 000 personnes ayant reçues des doses atteignant 120 mSv/an et une moyenne des doses de la cohorte de l'ordre de 8 mSv/an. Les résultats donnent un déficit net de toutes les pathologies y compris cancéreuses.

Les auteurs de l'étude suggèrent le rôle de stimulation de leurs défenses immunitaires (référence 3).  
« De nombreux effets sur la croissance, l'immunité, la reproduction, sont susceptibles d'avoir été favorablement influencés par une exposition à des doses moyennes ou faibles de radiations.

La littérature abonde d'observations tendant à établir qu'une exposition à dose faible ou moyenne se traduit par une diminution apparente du nombre de cancers observés dans les groupes ultérieurement exposés par rapport aux groupes témoins (Luckey 1991) mais il n'existe pratiquement pas d'expérience conçue pour mettre spécifiquement en évidence l'hormesis. » (référence 1).

## 7. CONCLUSION

Les faibles doses s'inscrivent dans un domaine où la possibilité d'un effet nocif peut être compensée par celle d'un effet bénéfique comme peuvent le laisser penser à la fois le suivi des populations des régions du monde où la radioactivité naturelle est la plus élevée et les observations et recherches actuelles en biologie cellulaire.

Durcir la réglementation et abaisser des limites dont la sévérité ne repose déjà plus sur un fondement scientifique relèveraient de l'idéologie et non d'une approche rationnelle.

## 8. RÉFÉRENCES

### Référence 1 :

Phénomène adaptatif : HORMESIS G. Meyniel Doyen honoraire de la Faculté de Médecine de Clermont-Ferrand  
- Revue de l'ACOMEN 1998, vol 4, n°4

### Référence 2 :

Effects of Cobalt 60 exposure on Health of Taiwan Residents Suggest New Approach Needed in Radiation Protection - W.L. Chena, Y.C. Luanb, M.C. Shiehb, S.T. Chenb, H.T. Kungb, K.L. Soongb, Y.C. Yehb, T.S. Chouc, S.H. Mongc, J.T. Wuc, C.P. Sunc, W.P. Dengd, M.F. Wue, M.L. Shene.  
National Yang-Ming University; Nuclear Science & Technology Association; Nuclear, Biological and Chemical Protection - Society; Institute of Biological Materials, Taipei Medical University; National Taiwan University.

### Référence 3 :

Nuclear shipyard worker study (1980–1988): a large cohort exposed to low-dose-rate gamma radiation. *Int. J. Low Radiation*, Vol. 1, No. 4, 2005 463.

Ruth Sponsler & John R. Cameron (Departments of Medical Physics, Radiology and Physics, University of Wisconsin-Madison).

Nota : La figure 2 provient d'un exposé du Professeur Aurengo, agrégé de biophysique, Chef du service central de médecine nucléaire au groupe hospitalier Pitié Salpêtrière, les figures 3 et 5 en sont aussi très fortement inspirées.