

RadioProtection Cirkus

Effets biologiques des rayonnements

Nom de l'auteur : Marc AMMERICH

N° chrono : DOC-FO-3_3

Version du : 15 Juin 2018

Le portail de la RP pratique et opérationnelle
www.rpcirkus.org - www.forum-rpcirkus.com

EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

SOMMAIRE

- Effets cellulaires
- Effets liés à l'exposition
- Effets déterministes
- Effets stochastiques
- Observations de la CIPR
- Les sources d'exposition de l'être humain
- Les principes fondamentaux de la radioprotection



EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

- Effets cellulaires
- Effets liés à l'exposition
- Effets déterministes
- Effets stochastiques
- Observations de la CIPR
- Les sources d'exposition de l'être humain
- Les principes fondamentaux de la radioprotection



REMERCIEMENTS

Un très grand merci à Bernard LE GUEN

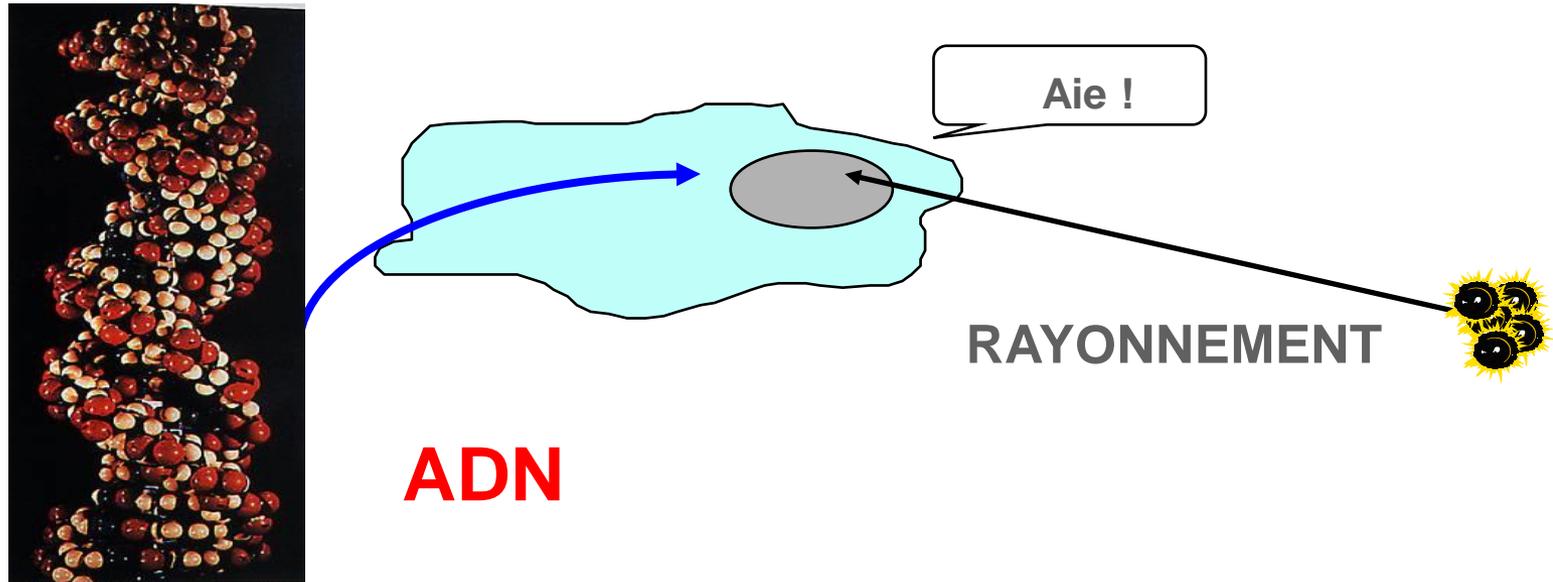


..qui a présenté lors des 6^{ème} journées des Personnes Compétentes en Radioprotection organisées par la SFRP, les évolutions dans le domaine des effets biologiques des rayonnements aux faibles doses.

Je me suis permis de reprendre une partie de ses transparents car c'est une évolution dans la façon d'aborder les effets biologiques aujourd'hui.



EFFETS CELLULAIRES



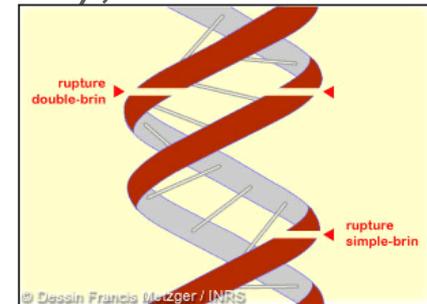
Altération de l'ADN
effet direct sur la molécule
effet indirect : création de radicaux libres

EFFETS CELLULAIRES

Effets directs :

Lésions de L 'ADN

- Altération des bases Adénine, Guanine, Cytosine, Thymine : substitution, addition (adduits),
- Destruction du désoxyribose,
- Rupture de brins (simple ou double),
- Pontages : intrabrin ou interbrins ADN-protéines.



EFFETS CELLULAIRES

Domage sur l'ADN	Spontané (lésions par cellule et par jour)	Induit par les radiations (lésions par gray)
Rupture simple brin	10 000 – 55 000	1000
Perte d'une base	12 600	?
Domage sur une base	3 200	2 000
Rupture double brin	8	40
Pontage sur les hélices	8	30
Pontage Adn - protéine	Quelques uns	150
Domages groupés	?	Quelques uns

*(Burkart W et al. CR Acad Sci III 1999; 322:89-101;
Ward JF Prog Nucl Acids Res Mol Biol. 1988; 35: 95-125).*



EFFETS CELLULAIRES

Les lésions groupées ou LMDS ont-elles des conséquences pour la radioprotection ?

Beaucoup de travail a été fait ces dernières années pour mieux définir et mesurer ces lésions dans les cellules irradiées et pour déterminer leurs conséquences biologiques.

Cependant, les LMDS sont difficiles à mesurer en cellules humaines et, leur nombre (si présent) sont tout à fait limités. La plupart de lésions groupées peuvent se composer de ruptures double brins complexes.



EFFETS CELLULAIRES

Les lésions groupées ou LMDS ont-elles des conséquences pour la radioprotection ?

Dans la plupart des cas, des lésions groupées s'avèrent réfractaires pour effectuer une réparation. Mais ces lésions sont mortelles et non mutagéniques. Elles sont ainsi peu susceptibles de contribuer à augmenter le risque mutagène et cancérigène pour l'homme.



EFFETS CELLULAIRES

Effets indirects :

Action des radicaux libres sur les molécules biologiques :

- Amplification,
- Cascade complexe d'évènements sur une durée beaucoup plus longue.

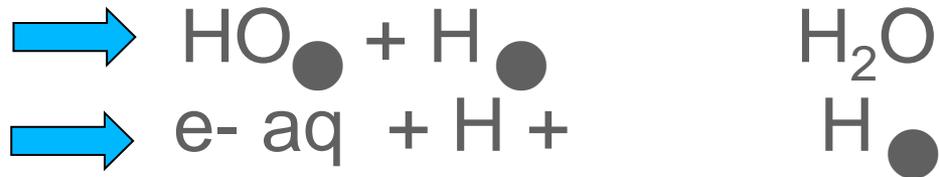
Pas spécifique des rayonnements ionisants.



EFFETS CELLULAIRES

En **absence** d'oxygène et après dissociation de la molécule d'eau :

- Pour un TLE faible : recombinaison possible



- Pour un TLE élevé :



Ces deux espèces sont très réactives.

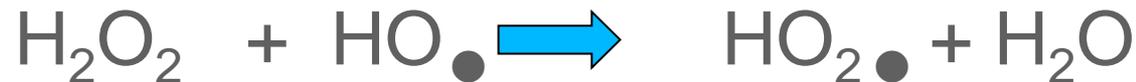


EFFETS CELLULAIRES

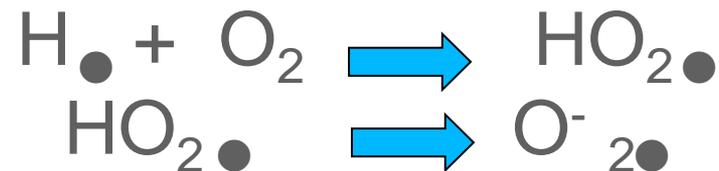
En **présence** d'oxygène et après dissociation de la molécule d'eau :



Si beaucoup de H_2O_2 a été produit



L'ion superoxyde correspond au premier stade de la réduction de l'oxygène.



EFFETS CELLULAIRES

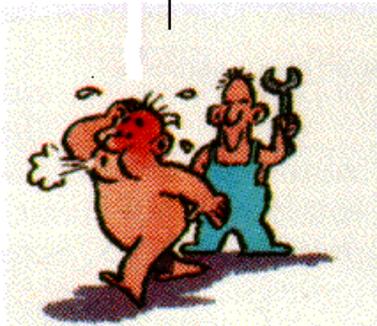
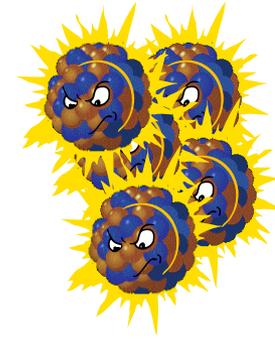
Les cellules se reproduisant le plus vite sont en général les plus radiosensibles.

Organes	Temps de reproduction
Villosités intestinales	3 jours
Peau	21 jours
Globules blancs	1 mois
Globules rouges	4 mois
Neurones	Quelques dizaines d'années



EFFETS CELLULAIRES

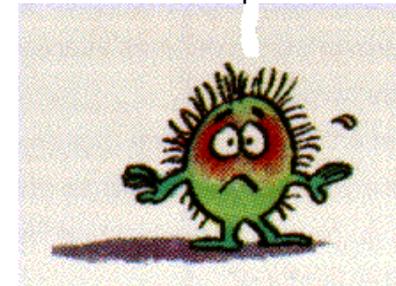
Cellule irradiée



**Cellule réparée
effet nul**



**Cellule détruite
effet immédiat**



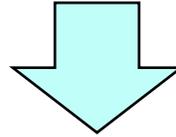
**Cellule mutée
effet tardif**



EFFETS CELLULAIRES

AVANT on apprenait
ces notions

LESION LÉTALE



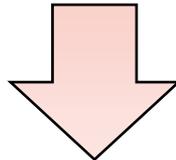
FAVORISÉE À FORTE DOSE
OU PAR UN RAYONNEMENT A FORT T.L.E (α)

LÉSION SUBLÉTALE

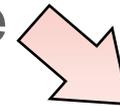
Altération du codage



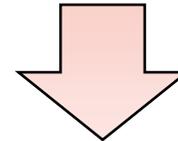
Cellules sexuelles



Effets héréditaires



Autres cellules

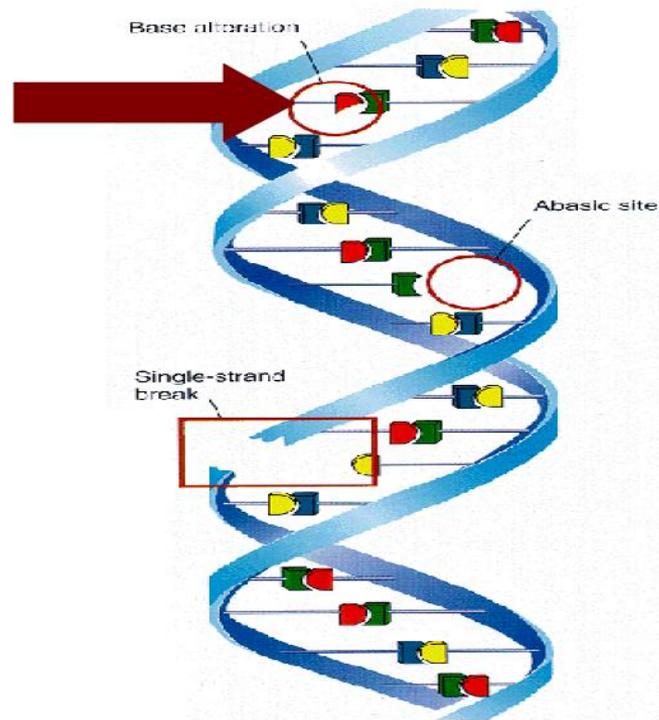


Effets somatiques



EFFETS CELLULAIRES

Comment l'ADN est-il réparé ?



«On a longtemps cru que toute irradiation aussi faible soit-elle était dangereuse car pouvait entraîner une lésion susceptible d'évoluer vers un cancer».



EFFETS CELLULAIRES

Comment les lésions de l'ADN sont-elles détectées ?

- Soit par des protéines de signalisation dont l'activité est modulée en fonction du nombre de lésions,
- Soit par des messages provenant des cellules voisines (effet bystander).

Ces protéines activent des transmetteurs qui modulent à leur tour l'action des protéines intervenant :

- Soit dans le contrôle du cycle cellulaire (dont l'arrêt favorise la réparation),
- Soit dans la réparation de l'ADN,
- Soit dans le déclenchement du suicide cellulaire (apoptose).



EFFETS CELLULAIRES

Irradiation à faible dose inférieure à 2 mGy ---> augmente la phosphorylation des protéines impliquées dans des processus biologiques généraux et une réponse non spécifique liée à la génotoxicité.

Irradiation à forte dose supérieure à 4 Gy---> augmente la phosphorylation des protéines impliqués dans les voies de signalisation cellulaire et l'apoptose.



EFFETS CELLULAIRES

Réparation ADN

Il y a des différences dans l'efficacité du système de réparation qui sont soutenues par de diverses données expérimentales ou cliniques.

Nature et intensité des effets biologiques observés liées à la quantité d'énergie absorbée par les tissus

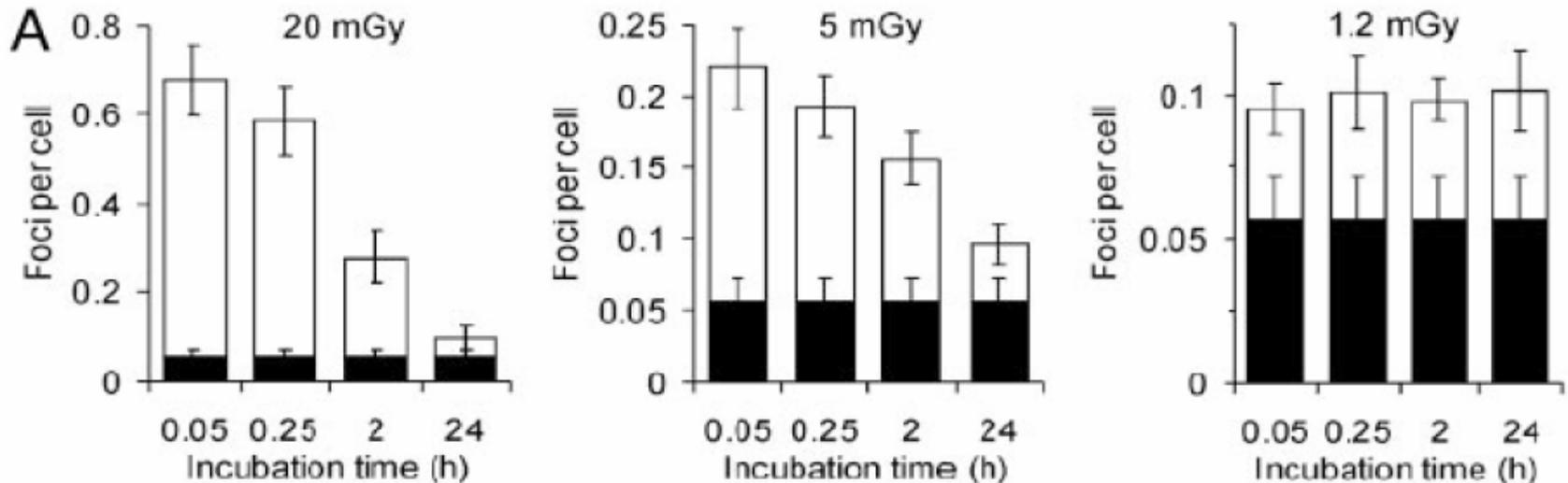
A doses égales, l'effet mutagénique change nettement avec le débit de dose.

Quand le débit de dose augmente, la fréquence de mutation ensuite après être passé par un minimum augmente fortement.



EFFETS CELLULAIRES

Ainsi, l'exposition à très bas niveaux de doses, par exemple chronique, peut causer plus de mort cellulaire que celle prévue à partir de l'extrapolation à des doses plus élevées.



Rothkamm and Löbrich 2003 Proc. Natl. Acad. Sci. USA 100(9):5057-5062

Absence de réparation à la plus faible dose (1,2 mGy).



EFFETS CELLULAIRES

Pour quelques types cellulaires, la mortalité est très importante à faibles doses d'irradiation (pendant les 200 premiers mGy) (Joiner et autres 2001, Marples et autres 2004), avant d'augmenter ensuite.

1) On observe cette hypersensibilité à faible dose dans beaucoup de types cellulaires menant à un taux élevé de mortalité par unité de dose.

2) On observe une radiorésistance induite aux doses de plus de 0,5 Gy ; et le taux de mortalité par unité de dose devient alors très bas avant d'augmenter de nouveau ensuite.



EFFETS CELLULAIRES

Les mécanismes de défenses cellulaires contre la mort montrent au début peu d'efficacité, et deviennent plus efficaces pendant l'irradiation.

Cette première hypersensibilité élimine après exposition à faibles doses, les cellules endommagées avec un potentiel mutagénique.

Les gènes spécifiques à faibles doses (140 gènes) inclut la plupart du temps les gènes de l'homéostasie, la communication de cellules, signalisation, la membrane, le cytosquelette, la synthèse d'ARN et de protéine, la chromatine, le métabolisme énergétique, le stress, la mort de cellules et le transport mais rarement des gènes de la réparation d'ADN.



EFFETS CELLULAIRES

Effets des faibles doses

Avant il était admis de dire qu'il n'y avait aucun effet détectable dans une cellule irradiée à un niveau d'exposition d'un mSv.

Maintenant les possibilités d'analyse offertes sur l'ARN et du protéome montrent des modifications détectables. De même des modifications signalées aux cellules voisines par les cellules impactées.

Il faut préciser qu'il n'a pas été mis en évidence à ce niveau d'exposition (1 mSv) d'augmentation de la mutagénèse.



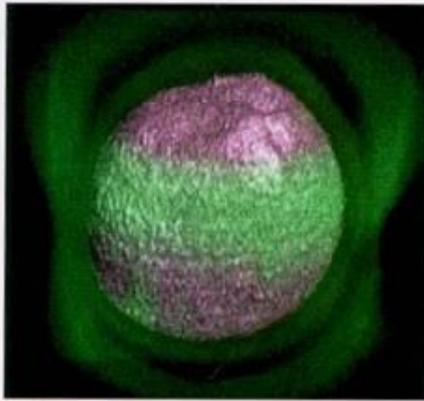
EFFETS CELLULAIRES

Effets des faibles doses

Maintenant la cellule réagit à de très faibles niveaux d'irradiation :

- En stimulant des mécanismes de défense,
- En induisant une apoptose de cellules dont l'ADN a été endommagé.

Chromosomes uniformément distribué



• Chromosomes et noyau fragmentés et rétracté



EFFETS CELLULAIRES

Réponse cellulaire :

Mécanismes de défense fortement non linéaires

La réponse de cellules semble donc dépendre :

- De la dose,
- Du débit de dose
- Du type cellulaire,
- De la concentration de dommage cellulaire,
- De la surveillance immunologique.



EFFETS CELLULAIRES

Effets des faibles doses:

Ce qui commence à apparaître en matière de recherche aujourd'hui :

Une défense au moindre coût

Pour de très faibles doses (quelques mGy)
et débit de dose (< 5 mGy/min).

- Pas de signalisation supplémentaire,
- Pas de réparation des lésions complexes,
- Mort cellulaire,
- Fonction de l'hypersensibilité à très faible dose.



EFFETS CELLULAIRES

Pour quelques mGy de plus:

Signalisation et communication inter cellulaire,
Pas d'induction de système de réparation,
Réparation des lésions simples,
Les lésions complexes conduisent à l'apoptose.

De quelques mGy à 100 – 200 mGy:

Signalisation ,
Induction de système de réparation (dont l'efficacité diminue avec la dose),
Réparation et apoptose en compétition.



EFFETS CELLULAIRES

Au-delà de 100 – 200 mGy:

Réparation impérative pour la fonction tissulaire,
Les lésions complexes sont réparés avec RISQUE
D'ERREUR,
L'effet cancérogène augmente,
Le risque de cancer est le prix de la réparation,
Certains tissus sont protégés par un taux élevé d'apoptose.

Au-delà de 500 mGy:

Prolifération stimulée afin de compenser les morts cellulaires,
Avec une augmentation lors de la réparation de RISQUES
D'ERREUR,
Liés au facteur épigénétique.



EFFETS CELLULAIRES

A noter aussi :

Un processus de protection cellulaire induit par des faibles doses d'irradiation à bas TLE

Des travaux récents ont prouvé que les faibles doses éliminent sélectivement des cellules cancéreuses.

- Portess Di et al – Cancer Res 2007
- Bauer G 2007 Int Journal radiation Biolog

Se rapproche du phénomène d'hormésis.



EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

- Effets cellulaires
- **Effets liés à l'exposition**
- **Effets déterministes**
- Effets stochastiques
- Observations de la CIPR
- Les sources d'exposition de l'être humain
- Les principes fondamentaux de la radioprotection



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

EFFETS DÉTERMINISTES

À SEUIL

PRÉCOCES

(quelques jours à quelques mois)

**GRAVITÉ FONCTION DE LA DOSE
ET DU DÉBIT DE DOSE**



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Exposition de la peau:

En une seule exposition à fort débit de dose

5 Gy < D > 10 Gy :

Érythème (coup de soleil)

10 Gy < D > 20 Gy :

Radiodermite (brûlure du second degré)

20 Gy < D :

Radionécrose (risque de cancérisation)

Sur une longue durée

D > 20 Gy : modifications esthétiques



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Exposition de la peau:

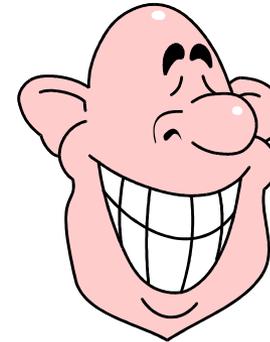
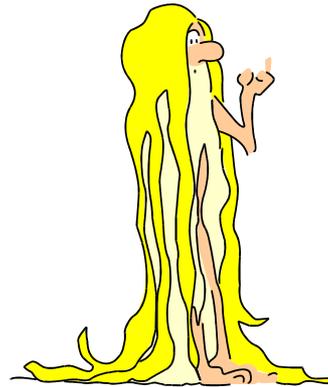
Poils et cheveux

4 Gy < D :

Épilation temporaire

15 Gy < D :

Épilation définitive



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

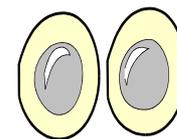
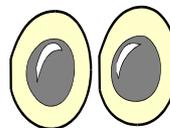
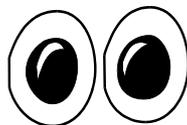
Exposition de l'œil:

AVANT

dose unique

$2 \text{ Gy} < D$:

cataracte au bout de 5 ans
(quelques semaines si $D \nearrow$)



dose fractionnée

$2 \text{ Gy} < D$:

cataracte chez certains sujets exposés en quelques semaines

$16 \text{ Gy} < D$:

cataracte chez tous les sujets exposés



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

MAINTENANT

La Commission Internationale de Protection Radiologique a passé en revue les études épidémiologiques en 2011 montrant qu'il pouvait y avoir des effets de réaction des tissus, à retard (après l'exposition), et où les doses de seuil (anciennement les effets déterministes donc) pourraient être inférieures à celles précédemment considérées.

Pour l'œil, le seuil est maintenant considéré à 0.5 Gy et plus à 15 Gy !

(publication du 21 avril 2011)



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Pour l'exposition professionnelle dans des situations prévues d'exposition, la Commission recommande maintenant une limite équivalente de dose pour l'œil de 20 mSv par an.

Cela pourrait être ramené à 100 mSv sur 5 ans sans dépasser une année les 50 mSv , comme ce qui se fait pour la dose efficace.



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Exposition des gonades :

Dose unique à fort débit de dose

Stérilité temporaire

0,3 Gy

Stérilité définitive

5 Gy

Profondeur

1 cm



3 Gy

7 Gy
ou moins

7 cm



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Exposition globale (corps entier):

- 1 à 7 Gy :
syndrome hématopoïétique
- 7 à 15 Gy :
syndrome gastro-intestinal
- > 20 Gy :
syndrome nerveux

Dose létale 50 %
Mortelle dans les 60 jours
en l'absence de traitements
médicaux

DL 50% = 4,5 Gy



EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

- Effets cellulaires
- **Effets liés à l'exposition**
- Effets déterministes
- **Effets stochastiques**
- Observations de la CIPR
- Les sources d'exposition de l'être humain
- Les principes fondamentaux de la radioprotection



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

EFFETS STOCHASTIQUES
liés aux faibles doses

SANS SEUIL

TARDIFS
(plusieurs années)

PROBABILITÉ D'APPARITION
FONCTION DE LA DOSE



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Pour différencier les effets biologiques **déterministes** et **aléatoires** Jean-Baptiste FLEUTOT, qui était inspecteur du DSND qui utilisait cette image (quand nécessaire).
Les effets **aléatoires** c'est le loto.



Le loto : vous achetez un ticket vous avez une chance de gagner. En achetant dix tickets vous augmenter la probabilité de gagner c'est tout. Même avec mille tickets vous n'êtes pas obligé de gagner. Et le gain d'une grille sera le même avec un ou mille tickets. Le côté tardif tient justement à la probabilité de gagner dans ce cas là (une chance sur quatorze millions).

Donc pas de seuil, la probabilité augmente avec la dose, et c'est un effet tardif.



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

EFFETS SOMATIQUES : **CANCERS**

EFFETS GENETIQUES

Quelques chiffres généraux

EFFETS SOMATIQUES

EFFETS GENETIQUES

TAUX NATURELS D'APPARITION

30 %

10 %

Sur 1 million de personnes, 300 000 vont déclarer un cancer au cours de leur vie



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

EFFETS SOMATIQUES : **CANCERS**

EFFETS GENETIQUES

Les sources

HIROSHIMA NAGASAKI (90 000 personnes)

Patients traités par irradiation

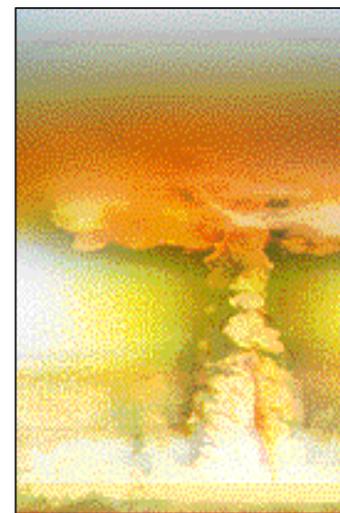
Travailleurs exposés

Exemples :

Mineurs d'uranium,

étude INWORKS sur les travailleurs

du nucléaire en Europe.



Expérimentation animale



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

HIROSHIMA et NAGASAKI:

240 000 morts

Environ 90 000 personnes suivies

Dose moyenne : 200 – 300 mGy

36 500 personnes ayant une dose < 5 mGy

263 personnes ayant une dose > 3 Gy



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

HIROSHIMA et NAGASAKI:

Leucémies

Sur 50 000 personnes

249 cas de leucémies,

176 décès par leucémies,

87 décès en excès.

Relation dose – effet linéaire quadratique

Excès de risque relatif de décès par leucémie : + 4,6 par Sv

Pour les tumeurs solides

Excès de risque relatif de décès par leucémie : + 0,4 par Sv



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Etude INWORKS

Les résultats de l'étude INWORKS publiés le 21 octobre 2015 sur le site web de la revue « British Medical Journal » concernent le risque de décès par cancer autre que leucémie (Richardon et al., BMJ 2015).

Les 308 297 travailleurs inclus dans l'étude INWORKS ont fait l'objet d'un suivi épidémiologique en moyenne pendant 27 ans.

La dose moyenne reçue par les travailleurs est de 25 milliSieverts (mSv) cumulés sur la durée de l'activité professionnelle, dont la moyenne est de 15 ans. La dose annuelle moyenne liée à leur exposition professionnelle est inférieure à 2 mSv.



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Plus de 94 % des individus de cette cohorte ont cumulé moins de 100 mSv.

Parmi les 6 % d'individus dont la dose cumulée a dépassé 100 mSv, 75 % ont été embauchés avant les années 1970 et leur dose cumulée moyenne est de 223 mSv.

Au total, plus de 66 600 décès ont été enregistrés dans la cohorte, dont 19 064 par cancer autre que leucémie.



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

A partir de la relation dose-risque estimée, en analysant à l'intérieur de cette cohorte les taux de décès par cancer hors leucémies en fonction de l'âge et de la dose cumulée, et sous l'hypothèse que cette relation est causale, il apparaît que la proportion de décès attribuable à l'exposition externe aux rayonnements au sein de la population d'INWORKS est de l'ordre de **1%** de l'ensemble des 19 064 décès par cancer hors leucémie observés.



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Ce qui a pu être observé :

Relations dose-risque observées pour la mortalité par leucémie et par cancers solides associées à une exposition externe chronique aux rayonnements ionisants :

- Relation stable (pas d'hétérogénéité entre pays, peu de variation aux analyses de sensibilité),
- Les risques attribuables dérivés sont faibles (1 % de l'ensemble des cancers observés),
- Les coefficients de risque sont cohérents avec ceux dérivés des survivants des bombardement de Hiroshima et Nagasaki.



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Le point sur les effets stochastiques:

La relation linéaire sans seuil est utile pour l'organisation administrative de la radioprotection.

En revanche son utilisation pour évaluer des risques cancérogènes induit par des faibles doses, en radiologie diagnostique ou dans l'industrie nucléaire, n'est pas basée sur des données scientifiques valides.

Les données montrent la baisse «d'efficacité» de réparation après exposition à des faibles doses et de faibles débits de dose. (plutôt mort cellulaire)



EFFETS LIÉS À L'EXPOSITION

Les résultats des différentes études expérimentales, épidémiologiques et animales soutiennent l'hypothèse qu'il y a **plusieurs relations dose/effet plutôt que seulement une.**

Le concept de la dose collective ne peut pas être employé pour évaluer le risque de cancer dans une population.

Les résultats sont compatibles avec l'une des hypothèses sous-jacente au système de radioprotection actuel qui est l'extrapolation du modèle dérivé des survivants des bombardement de Hiroshima et Nagasaki vers des populations exposés de façon répétée à de faibles doses.



EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

- Effets cellulaires
- Effets liés à l'exposition
- Effets déterministes
- Effets stochastiques
- **Observations de la CIPR**
- Les sources d'exposition de l'être humain
- Les principes fondamentaux de la radioprotection



OBSERVATIONS DE LA CIPR

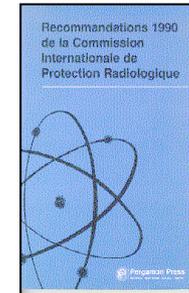
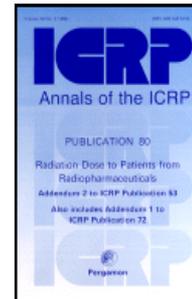
La Commission Internationale
de Protection Radiologique

CIPR

Recommandations sous forme
de publications

**traduction française pour les
textes importants**

experts
cooptés



publication 103

Textes fondés sur les travaux de comités scientifiques
Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des Effets
des Rayonnements Ionisants (**UNSCEAR**).

Comité sur les Effets Biologiques des Rayonnements
Ionisants (**BEIR**).



OBSERVATIONS DE LA CIPR

En 1977 la CIPR revoit le concept de détriment:

Prise en compte de plusieurs éléments contrairement au risque de cancer mortel uniquement retenu avant cette date.

Risque de cancer mortel plus :

Prise en compte des différentes périodes de latence,
Valeurs différentes pour les prévisions de perte de vie,
Risque de cancers non mortels,
Maladie héréditaire grave sur toutes les générations.

DIFFÉRENCE ENTRE POPULATION ET TRAVAILLEURS

Notion de détriment agrégatif

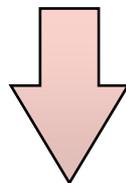


OBSERVATIONS DE LA CIPR

Pourquoi des évolutions entre 1977 et 1990 ?



Nouvelles pathologies
Nouveaux calculs de dose



Nouvelles recommandations CIPR 60

Puis de nouvelles observation entre 1990 et 2007.

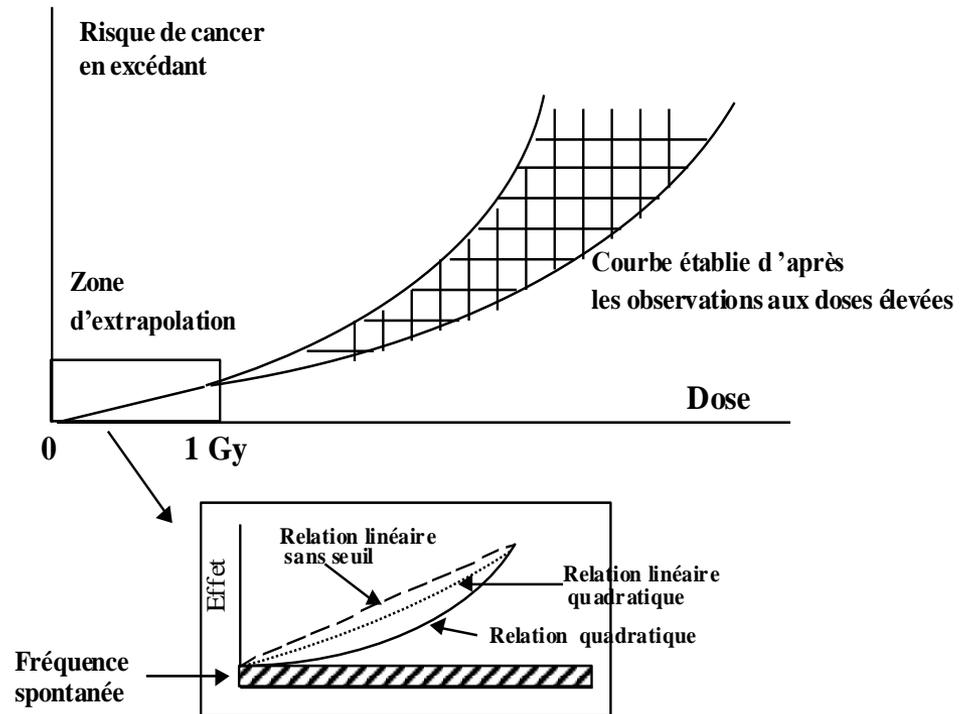
➤ **Nouvelles recommandations CIPR 103**



OBSERVATIONS DE LA CIPR

Estimation du risque
des faibles doses

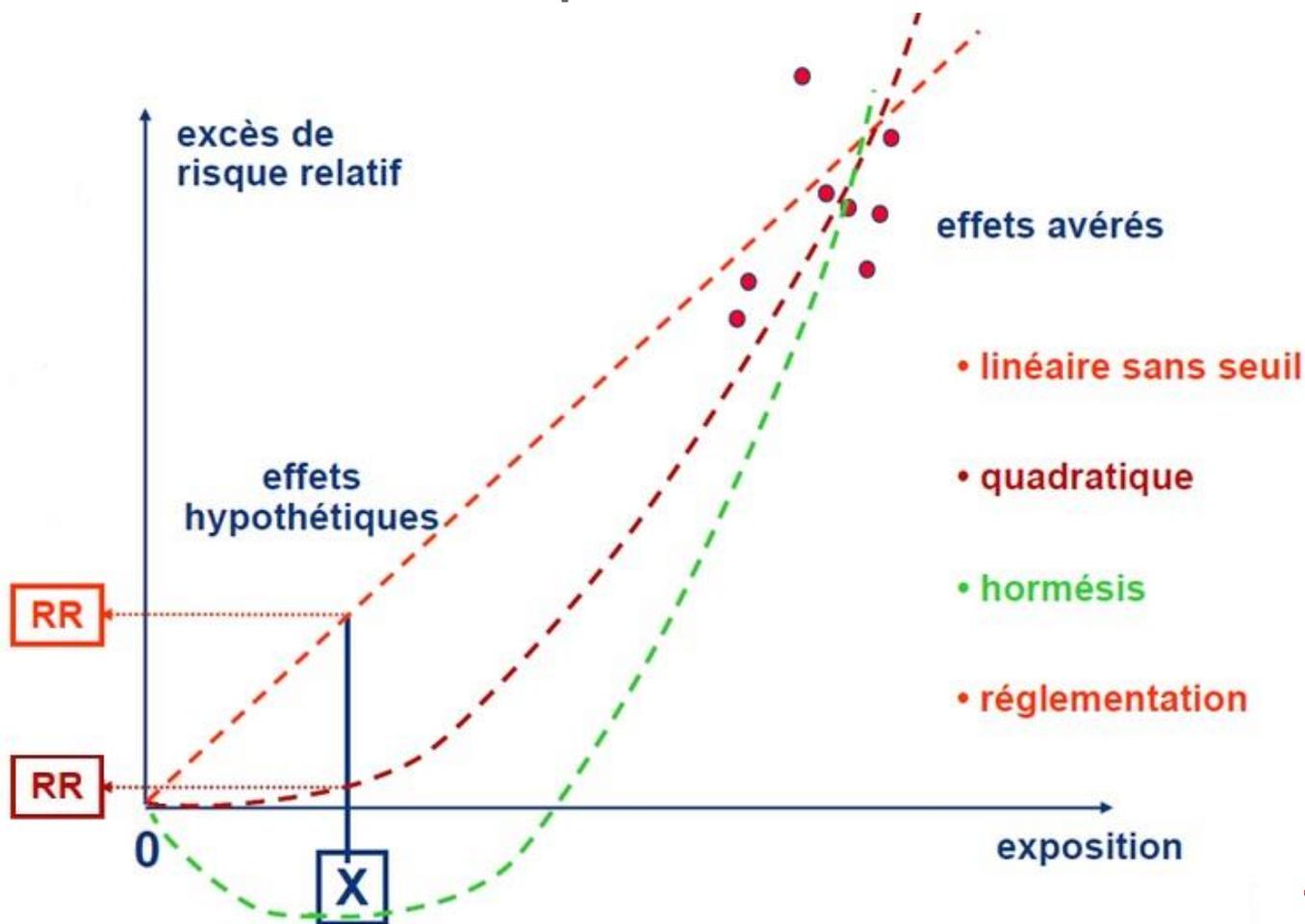
La relation linéaire
sans seuil est
actuellement utilisée
pour gérer le risque
radiologique



Facteur de risque pour une exposition globale
= pente de la droite

OBSERVATIONS DE LA CIPR

Estimation du risque des faibles doses



OBSERVATIONS DE LA CIPR

Facteurs de risque CIPR 60

FACTEURS DE RISQUE (actuels)			
Population		Travailleurs	
Cancer mortel	$5.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$	Cancer mortel	$4.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Effets héréditaires	$1.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$	Effets héréditaires	$0,6.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Détriment agrégatif			
Cancer mortel	$5,92.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$	Cancer mortel	$4,74.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Effets héréditaires	$1,33.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$	Effets héréditaires	$0,8.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$
Total	$7,3.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$	Total	$5,6.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$



OBSERVATIONS DE LA CIPR

La relation linéaire sans seuil a été et est toujours employée pour évaluer l'effet des faibles et des très faibles doses.

Il est communément admis que c'est une hypothèse prudente pour gérer les risques liés aux RI.

Cette approche est devenu petit à petit un dogme, mais la validité de ce modèle est remis en cause :

- Les analyses des données animales ont montré l'absence d'un effet cancérigène en-dessous de 100 mSv,
- Complexité de la carcinogénèse et diversité des réponses cellulaires après irradiation,
- Réaction cellulaire par différents mécanismes.



OBSERVATIONS DE LA CIPR

Nouvelles recommandations CIPR 103

Changement de facteur de pondération W_T

TISSU OU ORGANE	Facteur de pondération pour les tissus w_T valeur donnée en %
Moelle osseuse (rouge), Colon, Poumon, Estomac, Sein, Autres tissus	12
Gonades	8
Vessie, Foie , Œsophage , Thyroïde	4
Surface des os, Cerveau* , Glandes salivaires* , Peau	1
Total	100

* Organes ajoutés par rapport à la CIPR 60



OBSERVATIONS DE LA CIPR

D'où changement des facteurs de risque CIPR 103

FACTEURS DE RISQUE (actuels)			
Population		Travailleurs	
Total	$6.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$	Total	$4.10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$



EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

- Effets cellulaires
- Effets liés à l'exposition
- Effets déterministes
- Effets stochastiques
- Observations de la CIPR
- **Les sources d'exposition de l'être humain**
- Les principes fondamentaux de la radioprotection



LES SOURCES D'EXPOSITION

EXPOSITION EN FRANCE

Comprise entre 2,5 et 4 mSv par an

exposition naturelle externe : 0,9 mSv
(cosmique, tellurique)

exposition naturelle interne : 1,5 mSv
(descendants du Radon)
selon la région (voir carte)

exposition médicale : 0,4 à 1,2 mSv

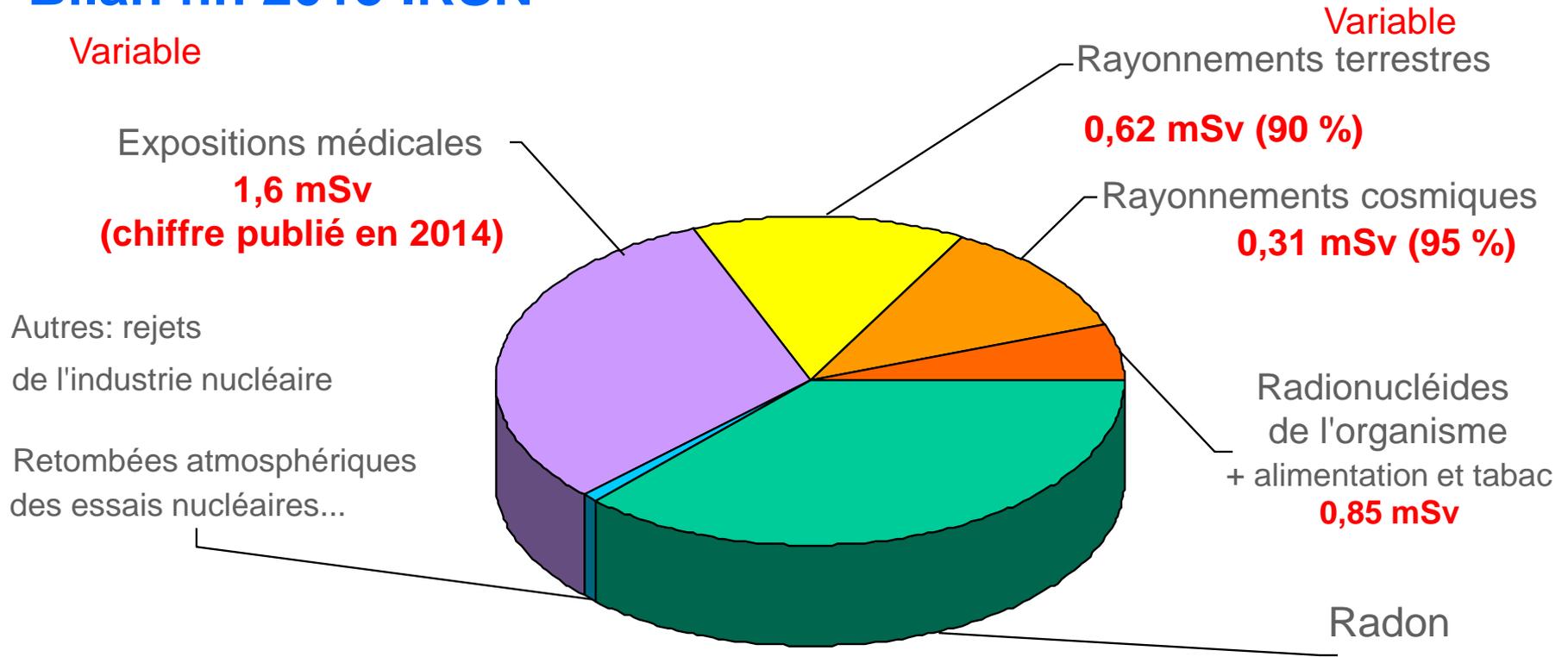
exposition domestique : 0,01 mSv

exposition industrielle : 0,002 à 0,05 mSv



LES SOURCES D'EXPOSITION

Bilan fin 2015 IRSN



EXPOSITION EN FRANCE : 2,5 à 4,5 mSv

soit 6 à 10 μ Sv/jour

70 % naturelle – 79 % médicale

Variable
0,54 à 3,15 mSv
Max : 20 mSv localement



LES SOURCES D'EXPOSITION

En moyenne, les actes de diagnostic médical conduisent en France à une dose efficace égale à environ :

1,6 millisievert (mSv) **médical**
en moyenne par an et par individu.

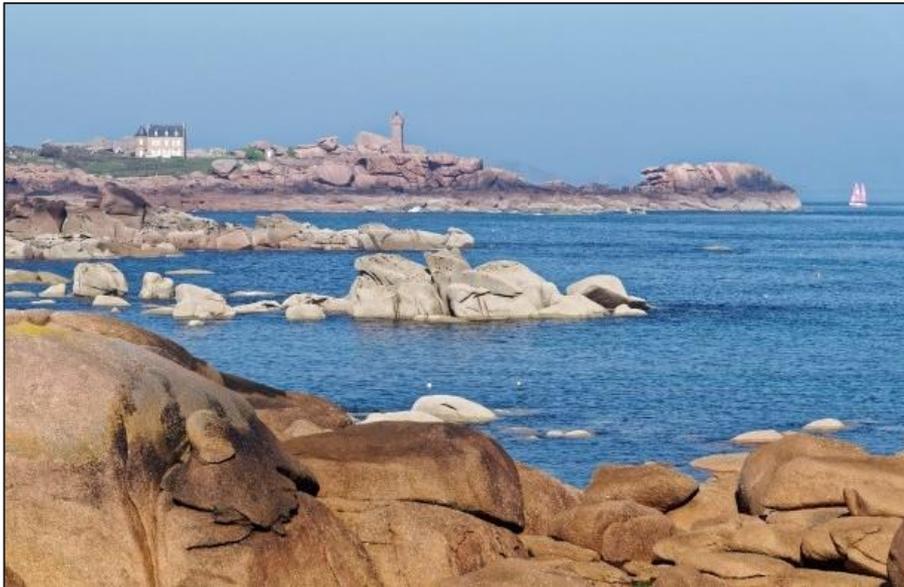
Cette valeur se situe dans le tiers supérieur des valeurs moyennes des pays de l'Union Européenne et est très inférieure à celle du pays européen dont la population est la plus exposée, la Belgique (2,7 mSv par an et par habitant). Parmi les patients concernés par au moins un acte en 2012, l'exposition individuelle cumulée sur l'année est très hétérogène et inférieure à 1 mSv pour la grande majorité d'entre eux.



LES SOURCES D'EXPOSITION

ÉMANATIONS GAZEUSES DES FAMILLES RADIOACTIVES NATURELLES

naturelle



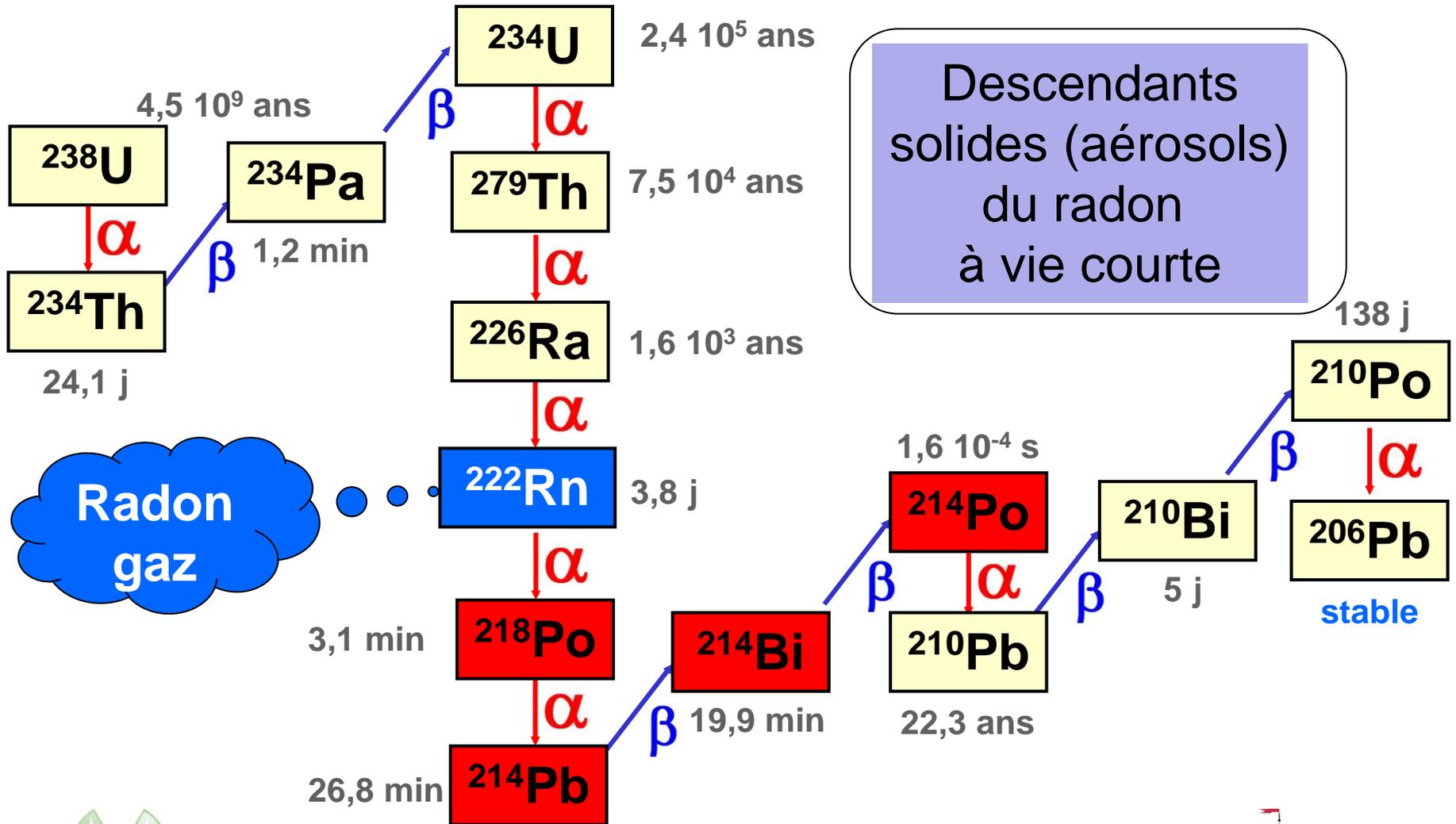
dose annuelle
1,3 mSv

RADON

venant des milieux
granitiques



LES SOURCES D'EXPOSITION



LES SOURCES D'EXPOSITION

Bien que présent en quantité infinitésimale dans l'atmosphère, le radon est un gaz radioactif. Un fois inhalé, le radon continue sa décroissance radioactive à l'intérieur des poumons. Ses descendants solides irradient les cellules les plus sensibles des bronches.

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a reconnu en 1987 le radon comme **cancérogène pulmonaire humain**.



LES SOURCES D'EXPOSITION

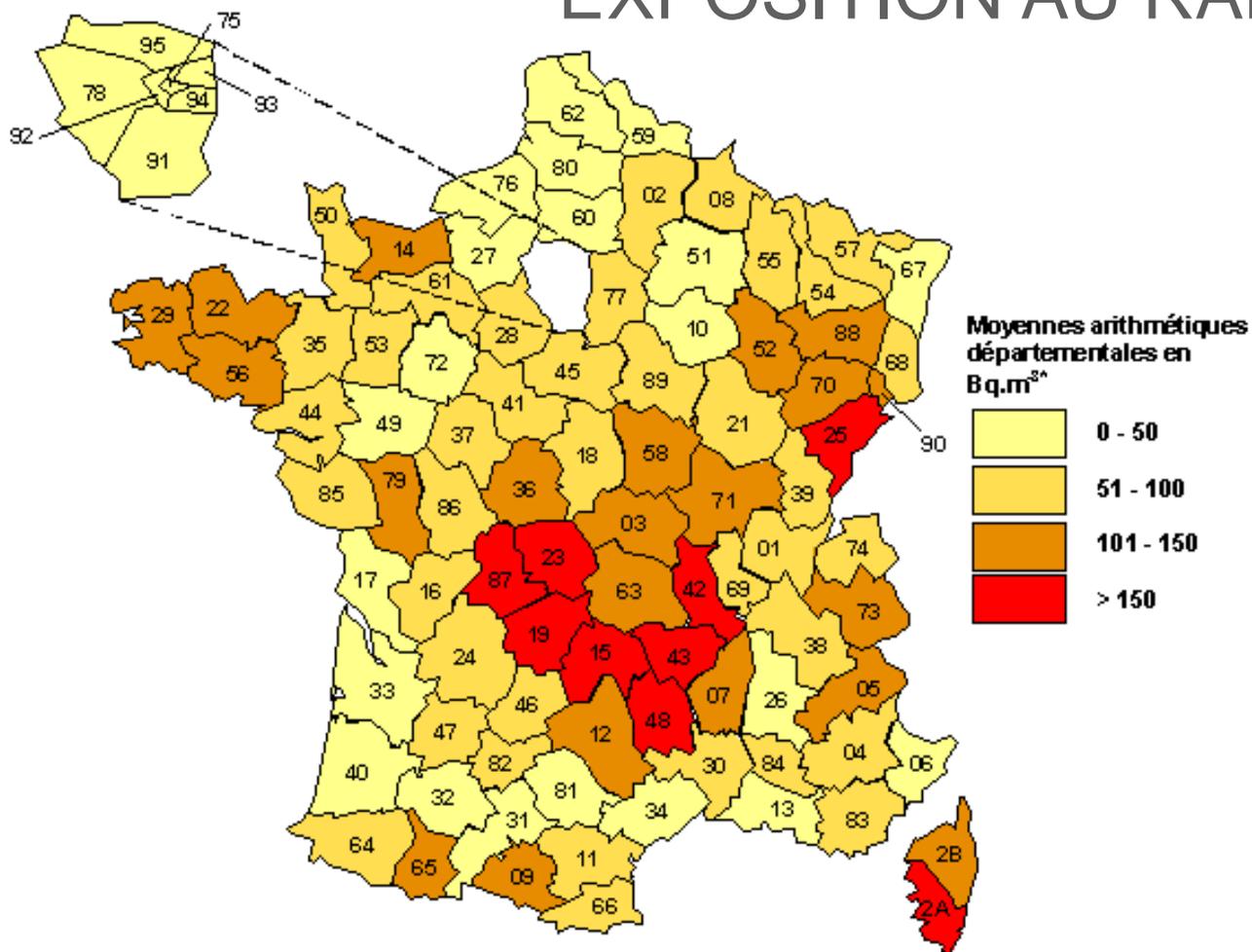
Le radon présente la particularité d'être le plus dense de tous les gaz. Dans des locaux fermés, il reste au niveau du sol et s'accumule dans les espaces clos comme les maisons et notamment dans les caves.

La vigilance s'impose dans les habitations, mais le radon est une source d'irradiation naturelle sur laquelle l'homme peut agir.



LES SOURCES D'EXPOSITION

EXPOSITION AU RADON

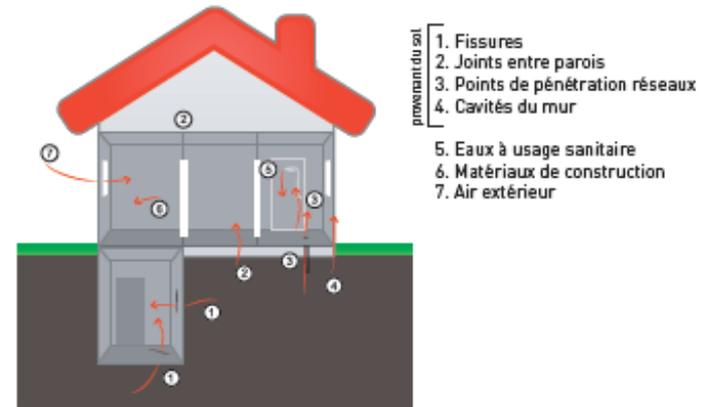


LES SOURCES D'EXPOSITION

EXPOSITION AU RADON

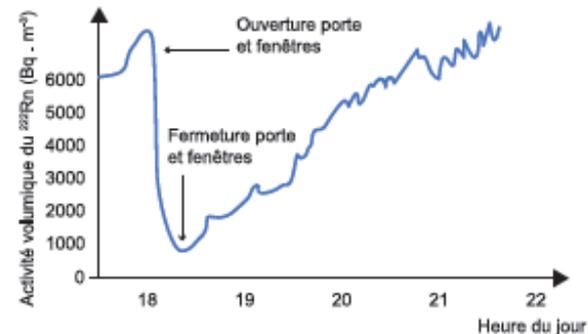
<http://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/batiments/article/radon>

Doc 2. Les voies d'entrées du radon dans un bâtiment



Doc 3. Exemple d'évolution de l'activité volumique du radon dans une maison

L'activité d'un corps radioactif se mesure en becquerel (Bq). Un Bq est égal à une désintégration par seconde au sein de ce corps. Exemple : un morceau de granite de 125 g a une activité volumique d'environ 1 000 Bq.



LE RADON DANS LES BÂTIMENTS

EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS

- Effets cellulaires
- Effets liés à l'exposition
- Effets déterministes
- Effets stochastiques
- Observations de la CIPR
- Les sources d'exposition de l'être humain
- **Les principes fondamentaux de la radioprotection**



LES PRINCIPES DE LA RADIOPROTECTION

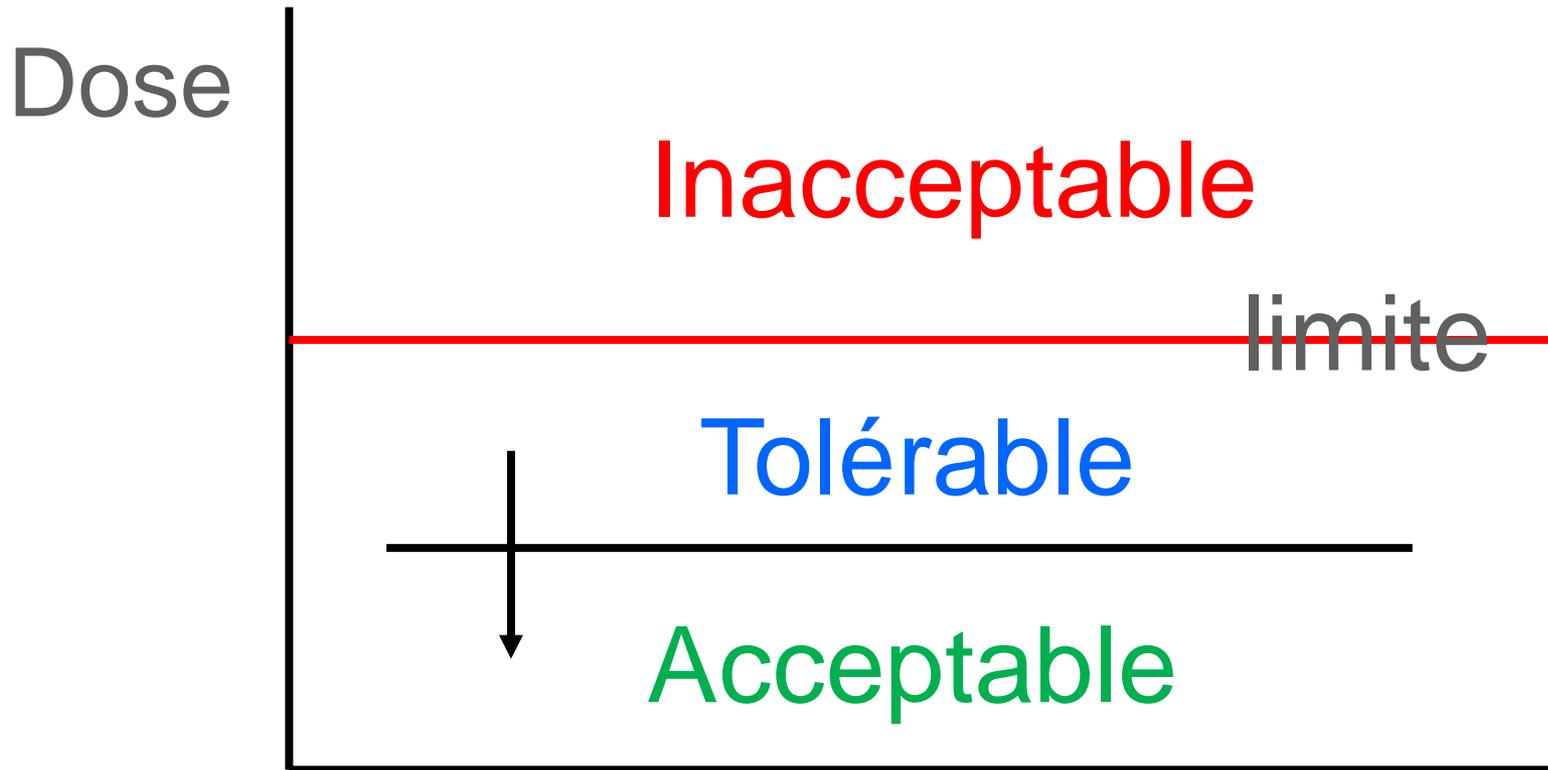
JUSTIFICATION

OPTIMISATION

LIMITATION



LES PRINCIPES DE LA RADIOPROTECTION



LES PRINCIPES DE LA RADIOPROTECTION

OBJECTIFS LIES A LA FIXATION
DE LIMITES A L'EXPOSITION
INDIVIDUELLE

EMPECHER L'APPARITION DE TOUT
EFFET DETERMINISTE

LIMITER L'APPARITION DES EFFETS
ALEATOIRES A UN NIVEAU
"SOCIALEMENT" ACCEPTABLE

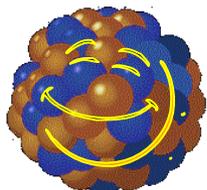


LES PRINCIPES DE LA RADIOPROTECTION

Recommandations de la CIPR

- 500 mSv/an pour empêcher l'apparition de tout effet déterministe.
- 20 mSv/an pour limiter l'apparition de tout effet aléatoire à un niveau socialement acceptable.
(dans la directive européenne: 100 mSv / 5 ans)
- Cas particulier du cristallin : 20 mSv (diminution d'un facteur 7,5 par rapport à la réglementation précédente).





POUR RESUMER



Effets déterministes

à seuil - précoce - gravité ↗ avec la dose

Effets stochastiques

sans seuil - tardif - probabilité ↗ avec la dose
non spécifiques

Effets somatiques : cancers

effets héréditaire

Facteur de risque

Population

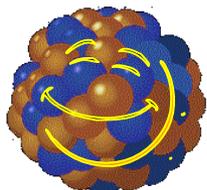
$6 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

Travailleur

$4 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

REMISE EN QUESTION DE LA RELATION LINEAIRE SANS SEUIL





POUR RESUMER



EXPOSITION EN FRANCE

Comprise entre 2,5 et 4 mSv par an

Principes de radioprotection

Justification - **Optimisation** - **Limitation**

500 mSv/an pour empêcher l'apparition de tout effet déterministe.

20 mSv/an pour limiter l'apparition des effets stochastiques à un niveau socialement acceptable.

