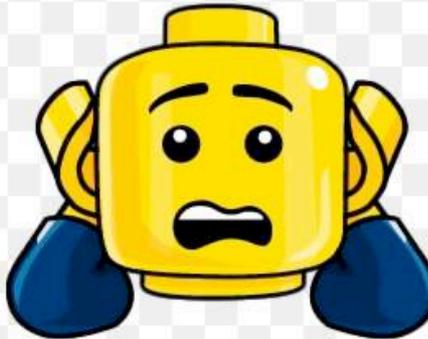


Rayonnements Ionisants

(par delà le bien et le mal)



On ne les
voit pas



On ne les
entend pas



Mais ce n'est
pas une raison
pour ne pas en
parler !



Rayonnements Ionisants

Radioactivité
Rayons X
Radioprotection
Environnement
Santé



Cours 1 : "Ils" sont partout !

05/11

Cours 2 : Tous irradiés ?

12/11

Cours 3 : Vous avez dit "risque" ?

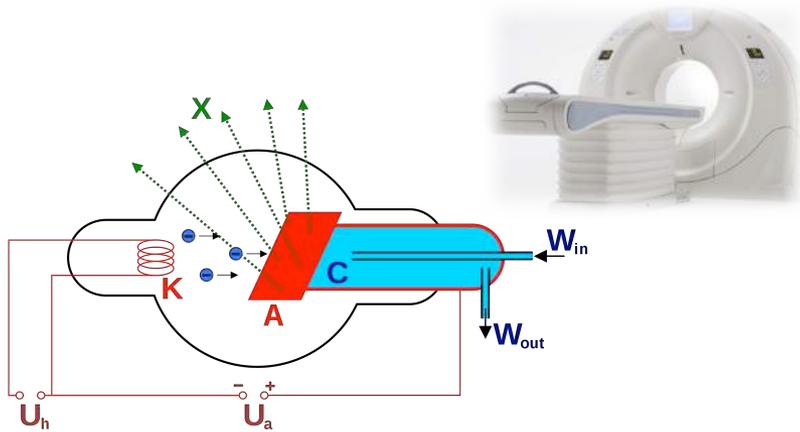
26/11



Physique pour Tous !

Résumé du Cours 1 ("Ils" sont partout !)

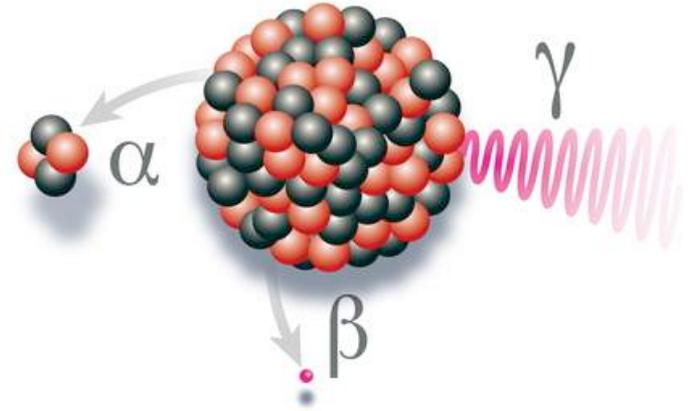
- Principaux types de rayonnements ionisants



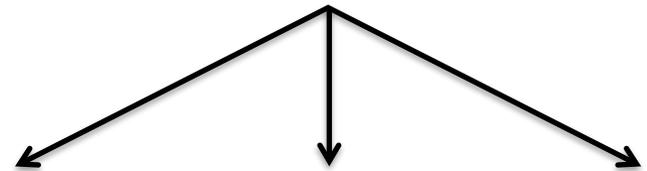
Rayons X



Photons



Radioactivité



**Photons
(gamma)**

**Electrons
(beta)**

**Noyau ^4He
(alpha)**

Physique pour Tous !

Résumé du Cours 1 ("Ils" sont partout !)

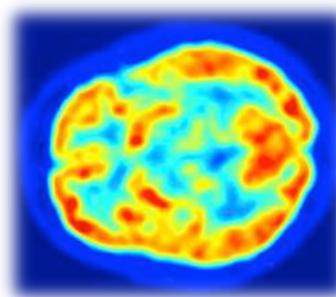
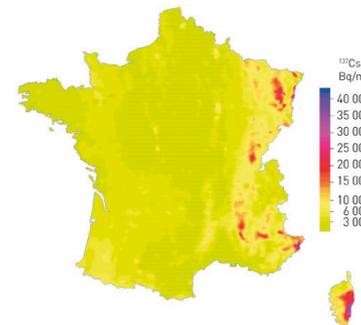
- Principales sources de rayonnements ionisants "au quotidien"



Radioactivité naturelle



Radioactivité artificielle



**Applications
médicales**

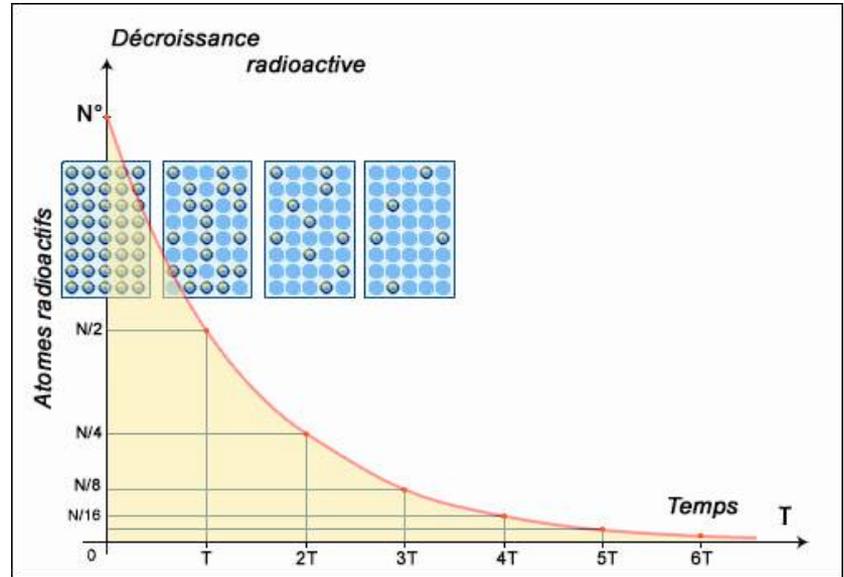
Physique pour Tous !

Résumé du Cours 2 (Tous irradiés ?)

- Activité radioactive :



1 Becquerel [Bq]
=
1 désintégration / seconde

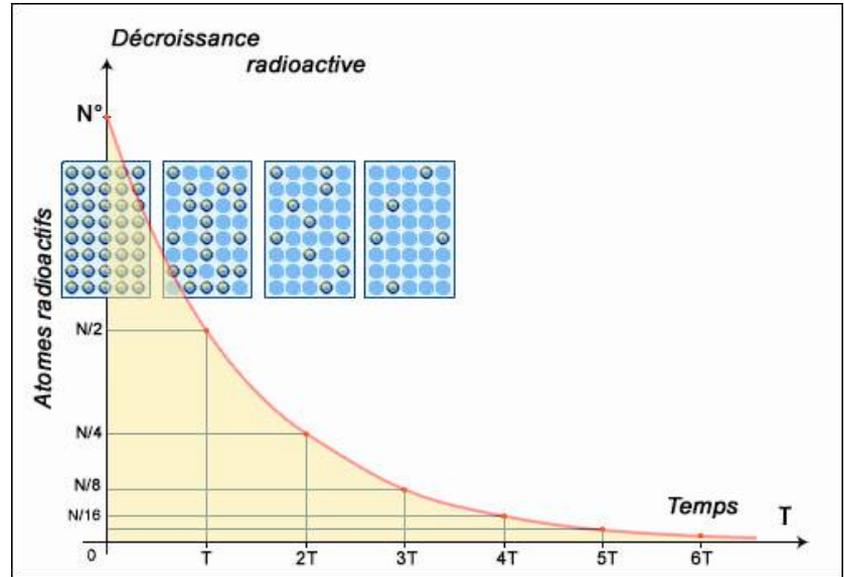


Résumé du Cours 2 (Tous irradiés ?)

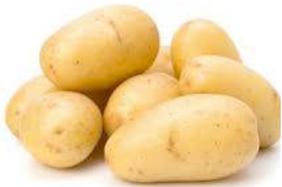
- Activité radioactive :



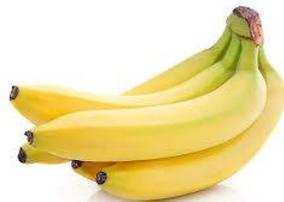
1 Becquerel [Bq]
=
1 désintégration / seconde



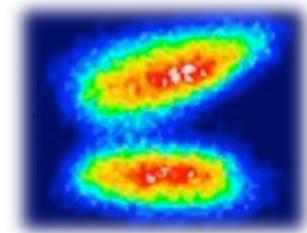
- Ordres de grandeur



130 Bq / kg



2 à 30 Bq / L



10^7 - 10^{10} Bq

Physique pour Tous !

Résumé du Cours 2

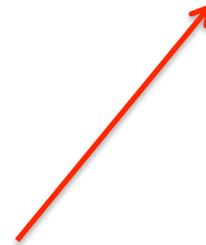
- Dose de rayonnements :



Dose physique [Gray] = Energie déposée par kilogramme de matière



Dose biologique [Sievert] = Dose [Gray] x Efficacité Biologique Relative (EBR)



dépend du type de rayonnement :

- photon, électron = 1
- proton = 2
- alpha = 20

Résumé du Cours 2

- Dose de rayonnements :



Dose physique [Gray] = Energie déposée par kilogramme de matière



Dose biologique [Sievert] = Dose [Gray] x Efficacité Biologique Relative (EBR)

- Ordres de grandeur



(1 journée)

10^{-6} Sv (μ Sv)



10^{-3} Sv (mSv)



10^3 Gy (kGy)

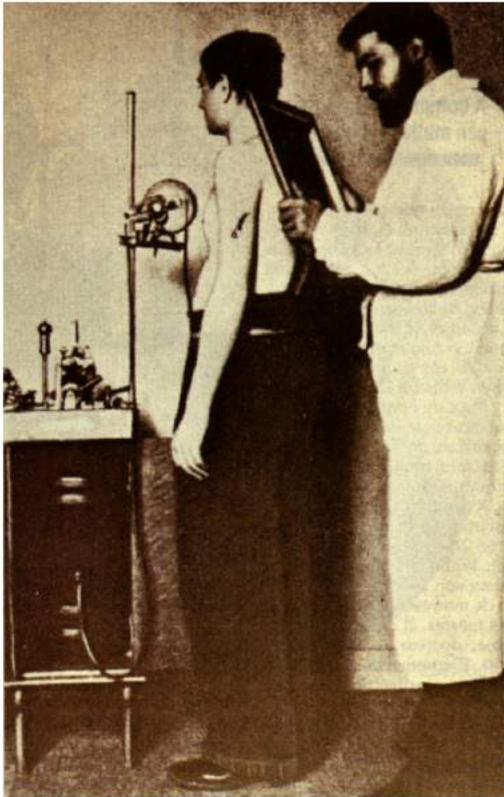


Physique pour Tous !

La Radioprotection

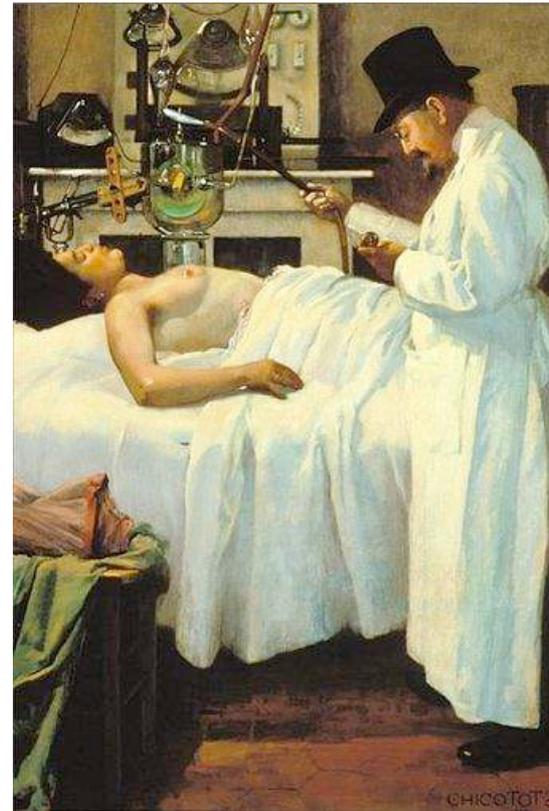
Histoire de la radioprotection

- Découverte des rayons X (1895) et de la radioactivité (1896)
- Premières applications médicales dès 1897



Crédit : Institut Curie

A. Bécquère (1897)



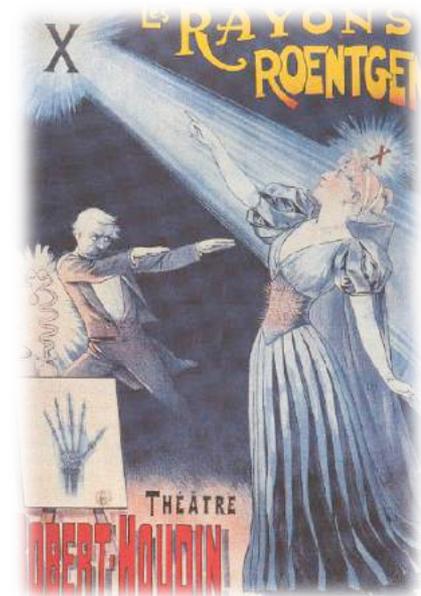
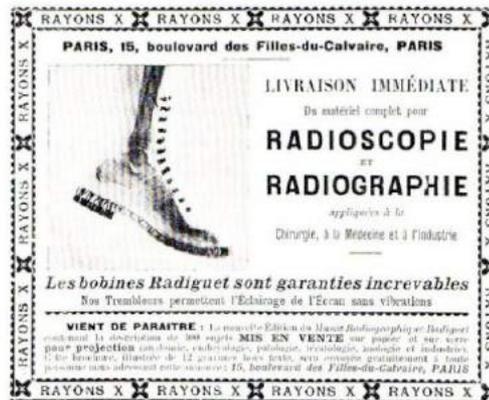
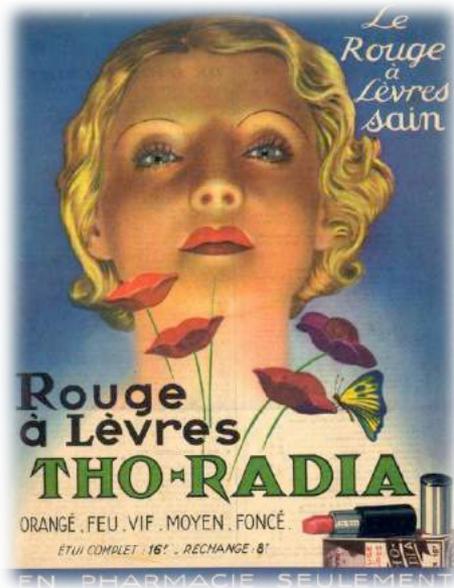
Crédit : Assistance Publique, Paris

G. Chicotot (1907)

Physique pour Tous !

Histoire de la radioprotection

- Découverte des rayons X (1895) et de la radioactivité (1896)
- Premières applications médicales dès 1897
- L'euphorie du Radium et des rayons X au début du XX^{ème} siècle



Physique pour Tous !

Histoire de la radioprotection

- Puis la prise de conscience des risques ...
- Effets des **fortes expositions** aux rayonnements identifiés dès 1896



Radiodermite des mains
(radiologues)



Stèle en hommage aux premiers
radiologues (Hambourg)

Crédit : Wikipédia

Physique pour Tous !

Histoire de la radioprotection

- Puis la prise de conscience des risques ...
- Effets des **fortes expositions** aux rayonnements identifiés dès 1896
- Effets des **faibles expositions** aux rayonnements à partir des années 1920

562 LA FÉDÉRATION HORLOGÈRE SUISSE

L'heure dans l'Obscurité par le RADIUM
Montres avec Aiguilles
et
Cadrans Radio-Lumineux
AUX SELS DE RADIUM
Livrées avec ou sans la marque LIP
Durée lumineuse indéterminée



Nous **garantissons** que nos cadrans et nos aiguilles doivent leur propriété lumineuse **au radium**, sans avoir besoin d'être exposés à la lumière, préalablement. Ils sont, au contraire, d'autant plus lumineux qu'ils sont plus longtemps dans l'obscurité.

Nous mettons nos Clients en garde contre les cadrans lumineux à bon marché, qui ne sont lumineux qu'à la condition d'être **d'abord** exposés à la lumière, qui perdent leur propriété lumineuse dans l'obscurité et dont la matière phosphorescente (sulfure de zinc ou autre) s'use rapidement en perdant tout pouvoir lumineux. H 12114 C 3734

LIPMANN Frères Besançon, Usine de la Mouillère
Paris, 96, Boulevard de Sébastopol



Excès de cancers de la mâchoire chez les "Radium Girls" (environ 2%)

Physique pour Tous !

Radioprotection des travailleurs

1928 : Création de la « *Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium* » (CIPR)

(aujourd'hui la « *Commission Internationale de Protection Radiologique* »)



Radioprotection des travailleurs

1928 : Création de la « *Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium* » (CIPR)

(aujourd'hui la « *Commission Internationale de Protection Radiologique* »)

1930 : émergence de l'idée d'un **seuil de tolérance** en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet indésirable



Rolf Sievert (1896-1966)

⇒ on cherche à limiter l'apparition des effets des fortes expositions

⇒ seuil de tolérance \approx **500 mSv /an**

Radioprotection des travailleurs

1928 : Création de la « *Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium* » (CIPR)

(aujourd'hui la « *Commission Internationale de Protection Radiologique* »)

1930 : émergence de l'idée d'un **seuil de tolérance** en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet indésirable

1949 : mise en place d'un **seuil d'exposition maximale** permissible



Robert Stone (1895-1966)

⇒ on cherche à limiter le risque de cancers radio-induits

⇒ seuil d'exposition ≈ **150 mSv /an**

Radioprotection des travailleurs

1928 : Création de la « *Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium* » (CIPR)

(aujourd'hui la « *Commission Internationale de Protection Radiologique* »)

1930 : émergence de l'idée d'un **seuil de tolérance** en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet indésirable

1949 : mise en place d'un **seuil d'exposition maximale** permissible

1977 : principe **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable*)

⇒ on ne peut pas réduire indéfiniment le seuil d'exposition des travailleurs (sauf à interdire l'utilisation des rayonnements ionisants)

Radioprotection des travailleurs

1928 : Création de la « *Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium* » (CIPR)

(aujourd'hui la « *Commission Internationale de Protection Radiologique* »)

1930 : émergence de l'idée d'un **seuil de tolérance** en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet indésirable

1949 : mise en place d'un **seuil d'exposition maximale** permissible

1977 : principe **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable*)

⇒ on ne peut pas réduire indéfiniment le seuil d'exposition des travailleurs (sauf à interdire l'utilisation des rayonnements ionisants)

⇒ on doit donc chercher à maintenir l'exposition des travailleurs aussi faible que possible tout en tenant compte des critères socio-économiques

Radioprotection des travailleurs

1928 : Création de la « *Commission Internationale de Protection Contre les Rayons X et le Radium* » (CIPR)

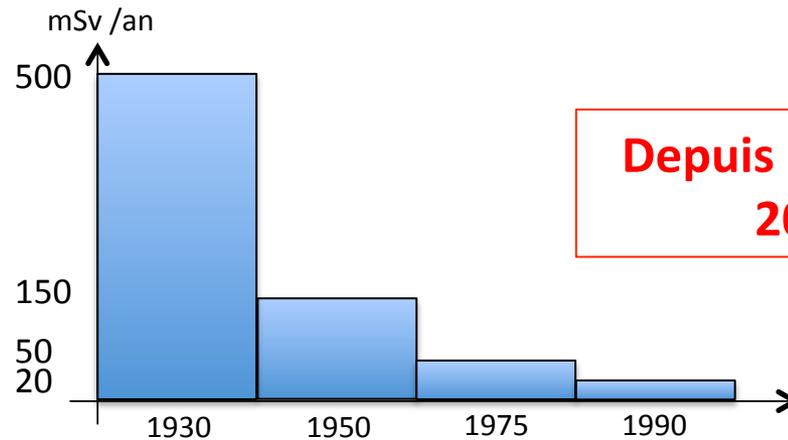
(aujourd'hui la « *Commission Internationale de Protection Radiologique* »)

1930 : émergence de l'idée d'un **seuil de tolérance** en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet indésirable

1949 : mise en place d'un **seuil d'exposition maximale** permissible

1977 : principe **ALARA** (*As Low As Reasonably Achievable*)

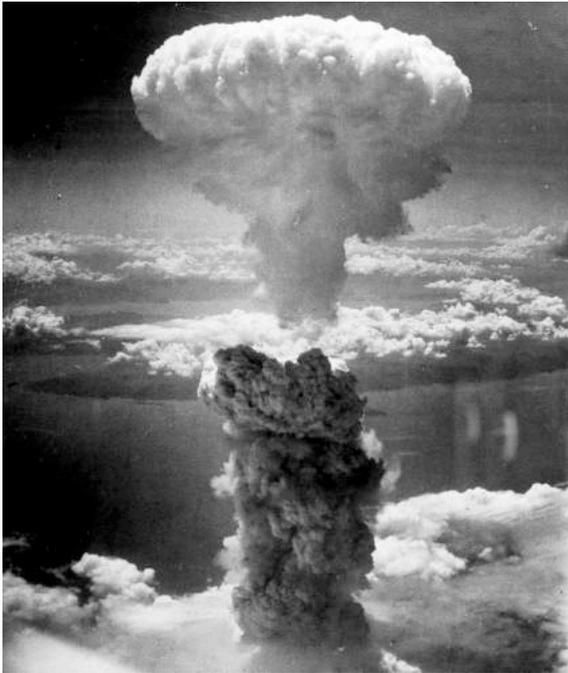
Evolution des limites d'exposition pour les travailleurs (CIPR)



Physique pour Tous !

Radioprotection des populations

- Prise en compte du risque pour les populations :
 - bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki (1945)
 - essais nucléaires atmosphériques (années 1950-1990)



Bombardement de Nagasaki



Essai nucléaire de Castle Bravo (Atoll de Bikini)

Radioprotection des populations

- Prise en compte du risque pour les populations :
 - bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki (1945)
 - essais nucléaires atmosphériques (années 1950-1990)

1955 : création de l'UNSCEAR (*United Nation Specific Committee on Effects of Atomic Radiations*) pour le suivi mondial de l'exposition de la population



Radioprotection des populations

- Prise en compte du risque pour les populations :
 - bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki (1945)
 - essais nucléaires atmosphériques (années 1950-1990)

1955 : création de l'UNSCEAR (*United Nation Specific Committee on Effects of Atomic Radiations*) pour le suivi mondial de l'exposition de la population



⇒ Limites d'exposition pour la population de 5 mSv / an, puis 1 mSv / an (1991)

Depuis 2003 en France :
1 mSv / an

(hors exposition naturelle et examens médicaux)

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants

Utilisation non justifiée si une autre solution équivalente existe



Energie nucléaire



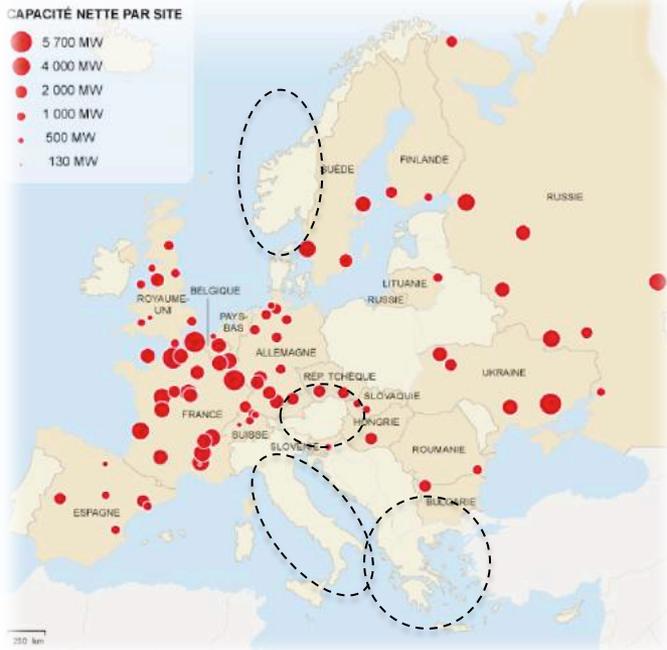
Imagerie médicale

Physique pour Tous !

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants

Utilisation non justifiée si une autre solution équivalente existe



Energie nucléaire



Imagerie médicale

Physique pour Tous !

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants
- **Principe 2** : optimisation de la protection

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants
- **Principe 2** : optimisation de la protection

Réduire autant que raisonnablement possible l'exposition des individus



Durée
d'exposition



Distance de la source de
rayonnements



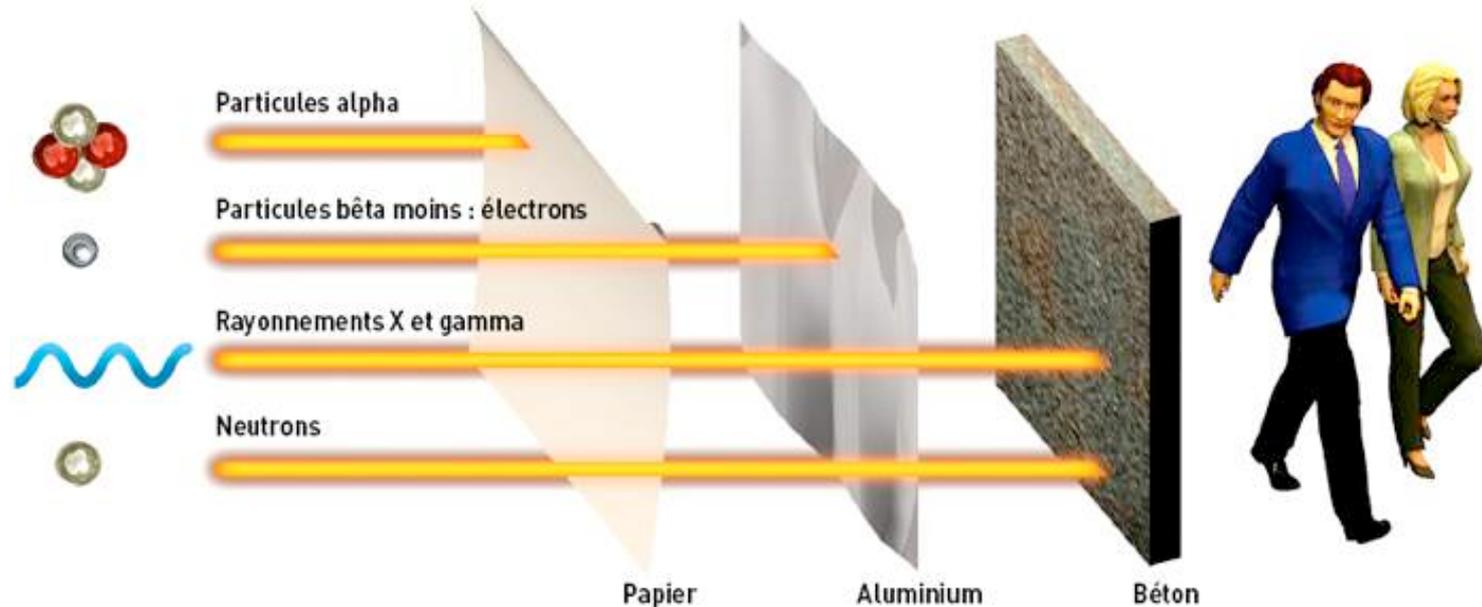
Utilisation
d'écrans de
protection

Physique pour Tous !

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants
- **Principe 2** : optimisation de la protection

Réduire autant que raisonnablement possible l'exposition des individus



Credit:CEA

Physique pour Tous !

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants
- **Principe 2** : optimisation de la protection
- **Principe 3** : limites individuelles d'exposition

Principes de la radioprotection

- **Principe 1** : justification de l'utilisation des rayonnements ionisants
- **Principe 2** : optimisation de la protection
- **Principe 3** : limites individuelles d'exposition

Valeur maximale de dose annuelle

Travailleurs (environ 400 000 en France)

20 mSv / an *

Autres (public)

1 mSv / an

(* femme enceinte : 1 mSv pendant la totalité de la grossesse)

Comment ces limites sont-elles calculées ???

Pourquoi la limite n'est pas de 0 mSv / an ?

Pourquoi la limite public est-elle inférieure à la dose moyenne de radioactivité naturelle ?

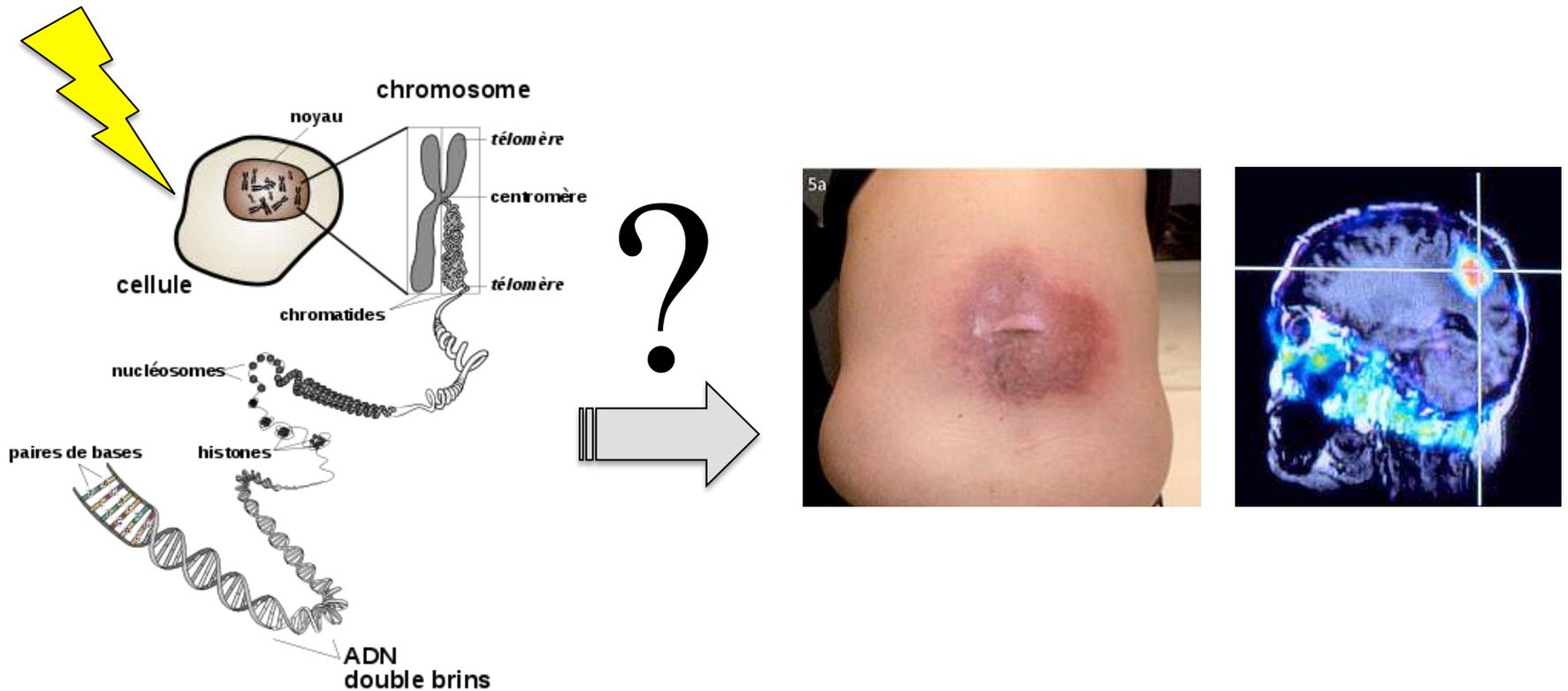


Physique pour Tous !

Calcul du risque

Radiobiologie

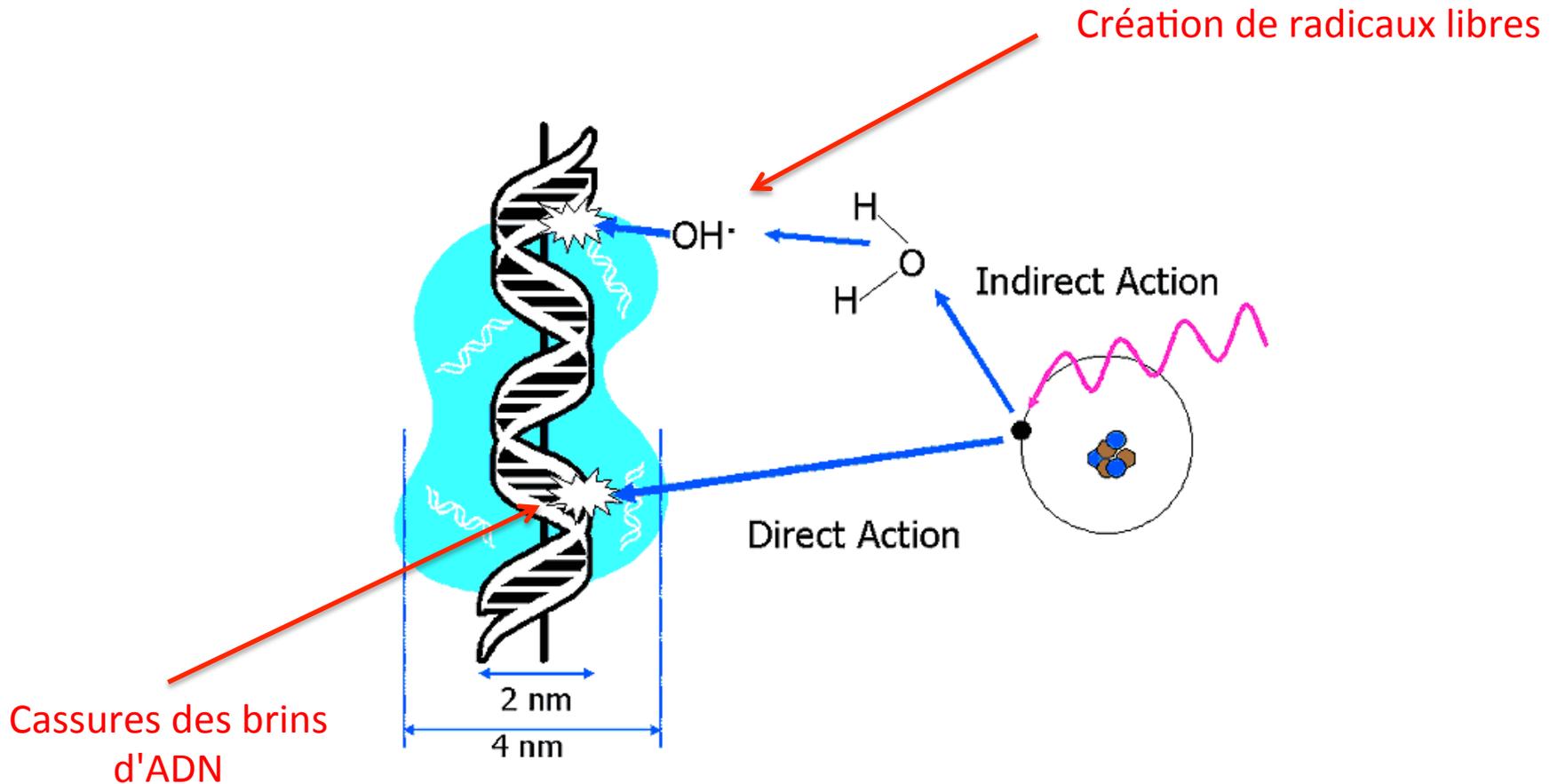
- L'étude des effets des rayonnements sur le vivant :
 - s'étend sur une échelle temporelle de 10^{-18} sec à plusieurs dizaines d'années
 - rassemble de nombreuses disciplines (physique, chimie, biologie, médecine)



Physique pour Tous !

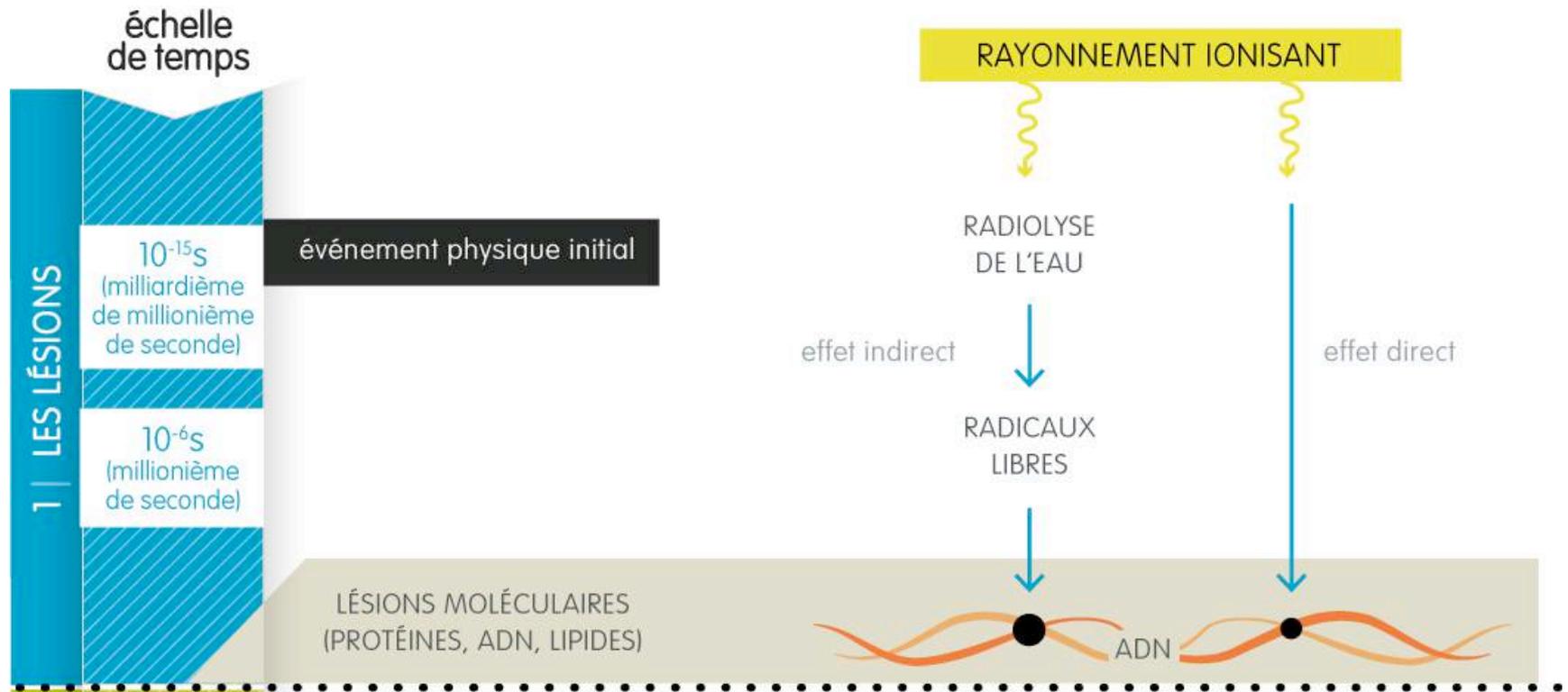
Radiobiologie

- Deux mécanismes d'attaque des rayonnements sur les cellules :



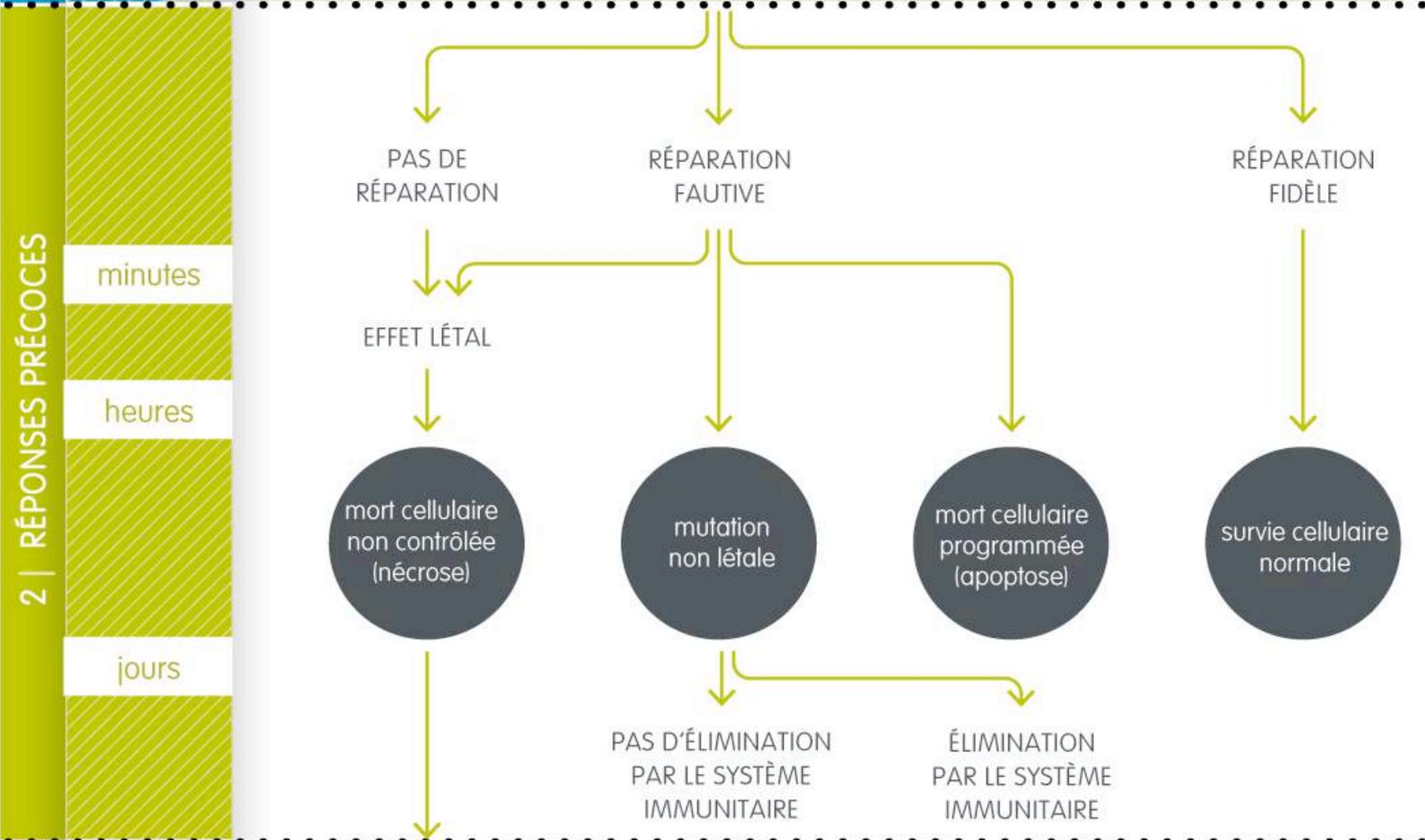
Radiobiologie

Arbre des évolutions possibles de la cellule

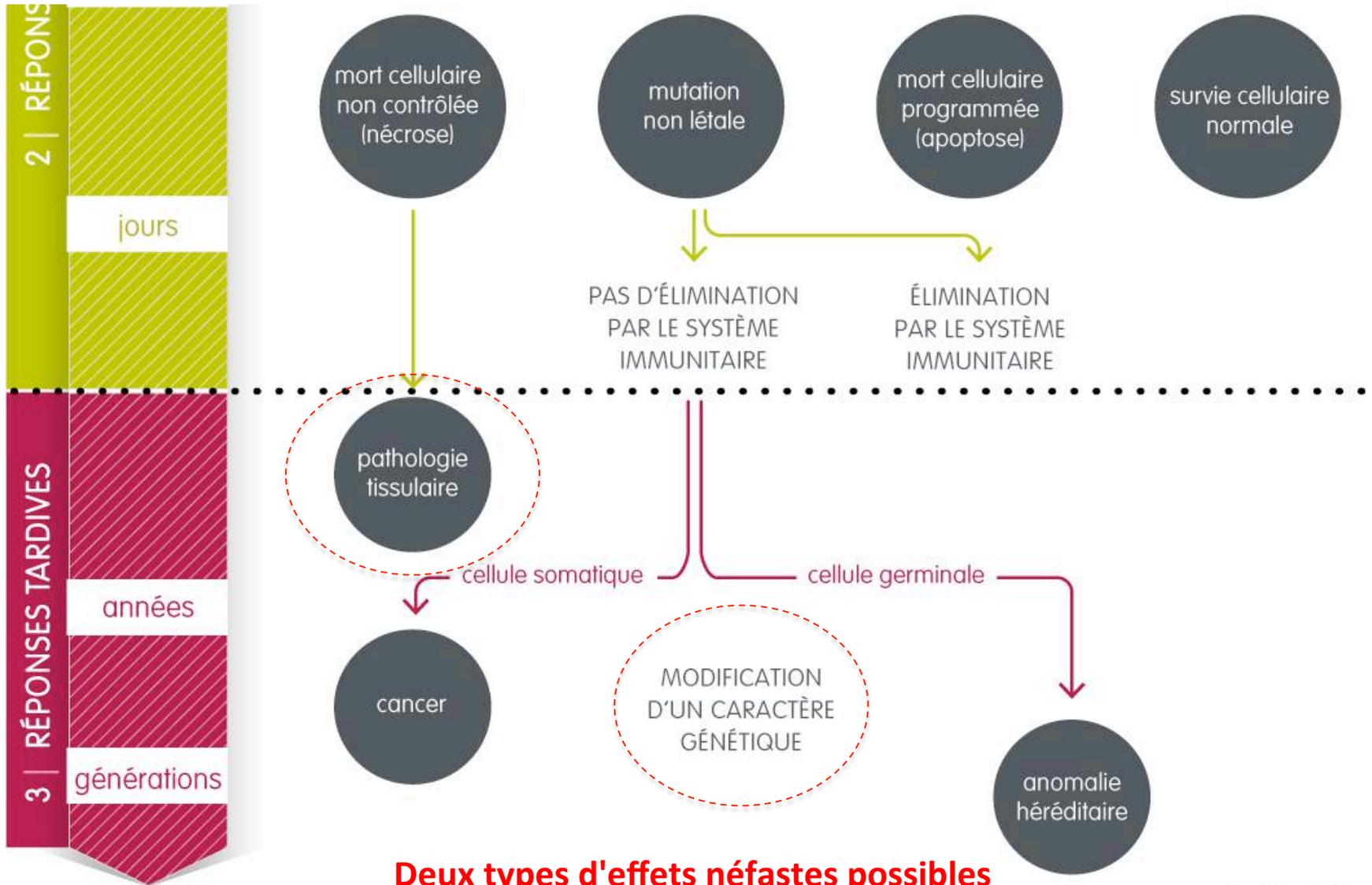


Physique pour Tous !

Radiobiologie



Radiobiologie



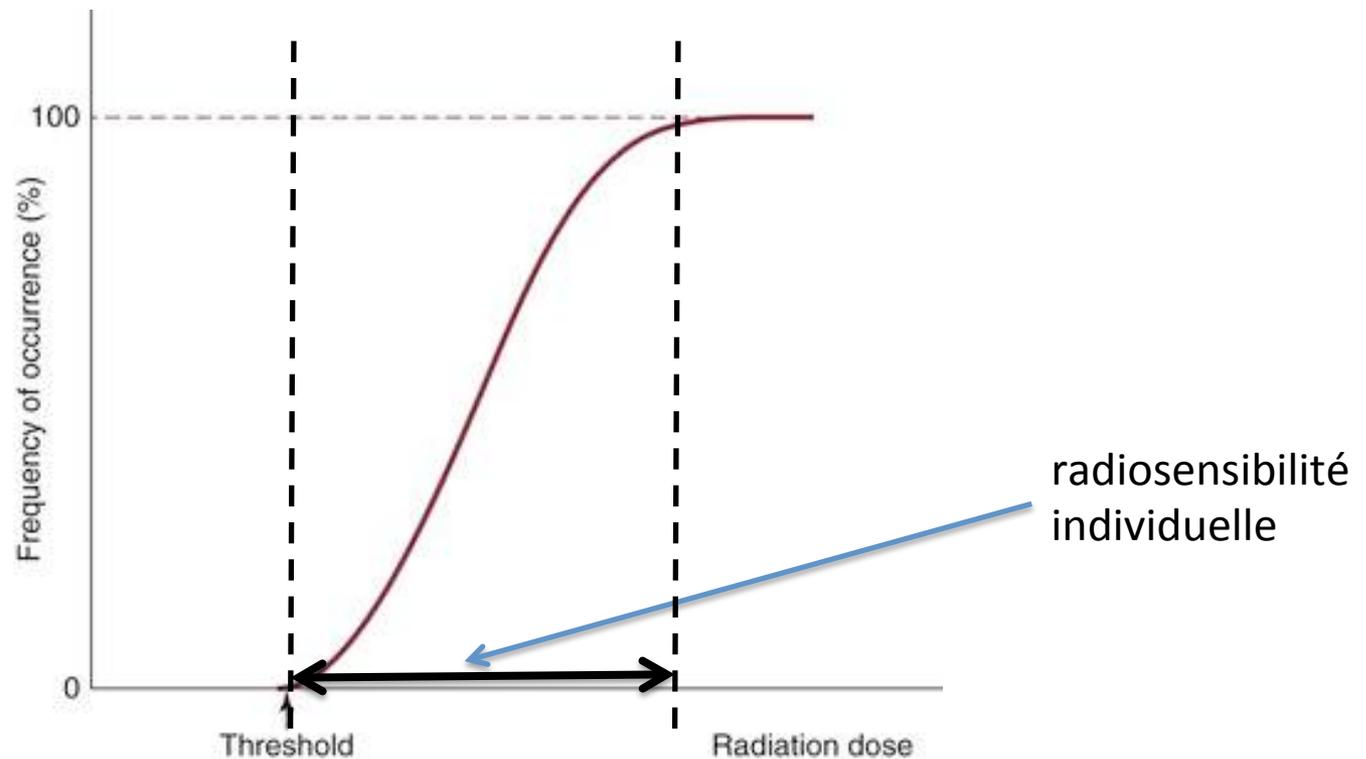
Deux types d'effets néfastes possibles

Crédit : CEA

Physique pour Tous !

Effets déterministes

- Effets apparaissant après une **forte exposition** aux rayonnements
- Unité de dose : le **Gray (Gy)**
- Effets qui apparaîtront chez 100% des individus exposés au-dessus d'un certain seuil de dose (**déterministe**)



Effets déterministes

- Effets apparaissant après une **forte exposition** aux rayonnements
- Unité de dose : le **Gray (Gy)**
- Effets qui apparaîtront chez 100% des individus exposés au-dessus d'un certain seuil de dose (**déterministe**)



Erythème : 2 Gy (peau)



Cataracte : 5 Gy ou 0.1 Gy/an
(cristallin)



Stérilité : 4 Gy (gonades)



Décès : 10 Gy (corps entier)

Physique pour Tous !

Exemples : la radiothérapie

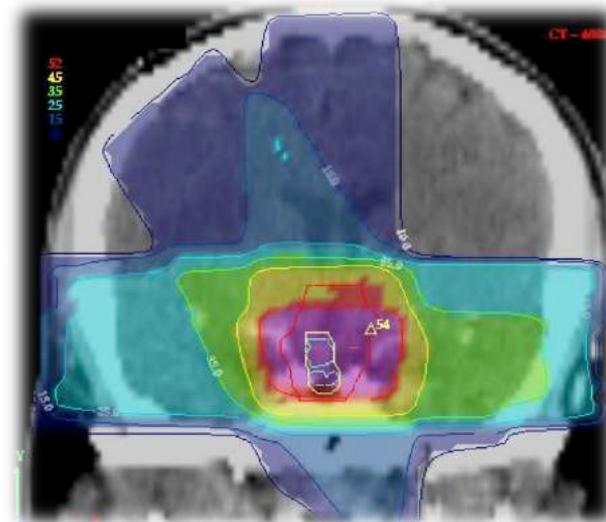
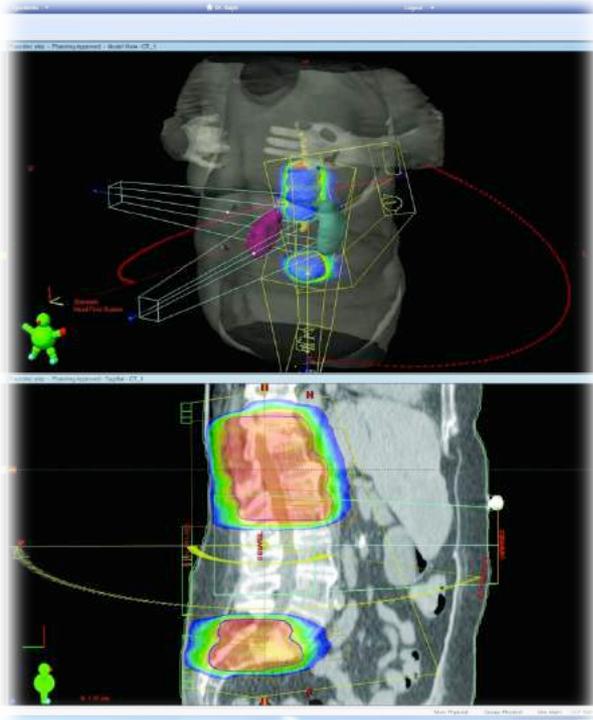
- Destruction des cellules cancéreuses par des photons / électrons



Physique pour Tous !

Exemples : la radiothérapie

- Destruction des cellules cancéreuses par des photons / électrons
- **Dose totale délivrée à la tumeur d'environ 60 Grays**
- **Dose totale délivrée aux tissus sains et organes environnants de plusieurs Grays**



Physique pour Tous !

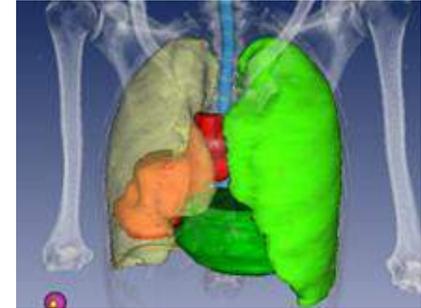
Exemples : la radiothérapie



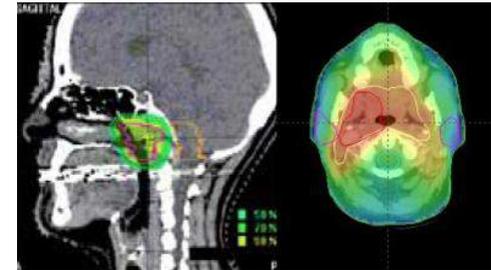
Acquisition des données anatomiques



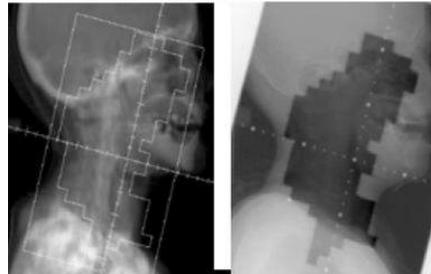
Reconstruction image



Reconstruction de la tumeur et des organes



Planification dosimétrique



Positionnement et vérification par l'imagerie



*Traitement
(\approx 25-30 séances)*

fractionnement (\approx 2 Gy / séance) pour limiter les effets secondaires

Physique pour Tous !

Exemples : la radiothérapie

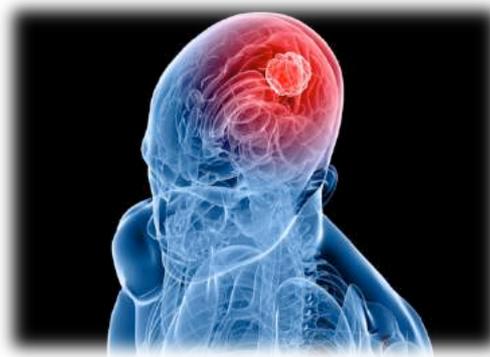
- Certains effets déterministes restent aujourd'hui difficilement évitables :



Erythèmes (cancer du sein)



Vomissements (cancer du colon)

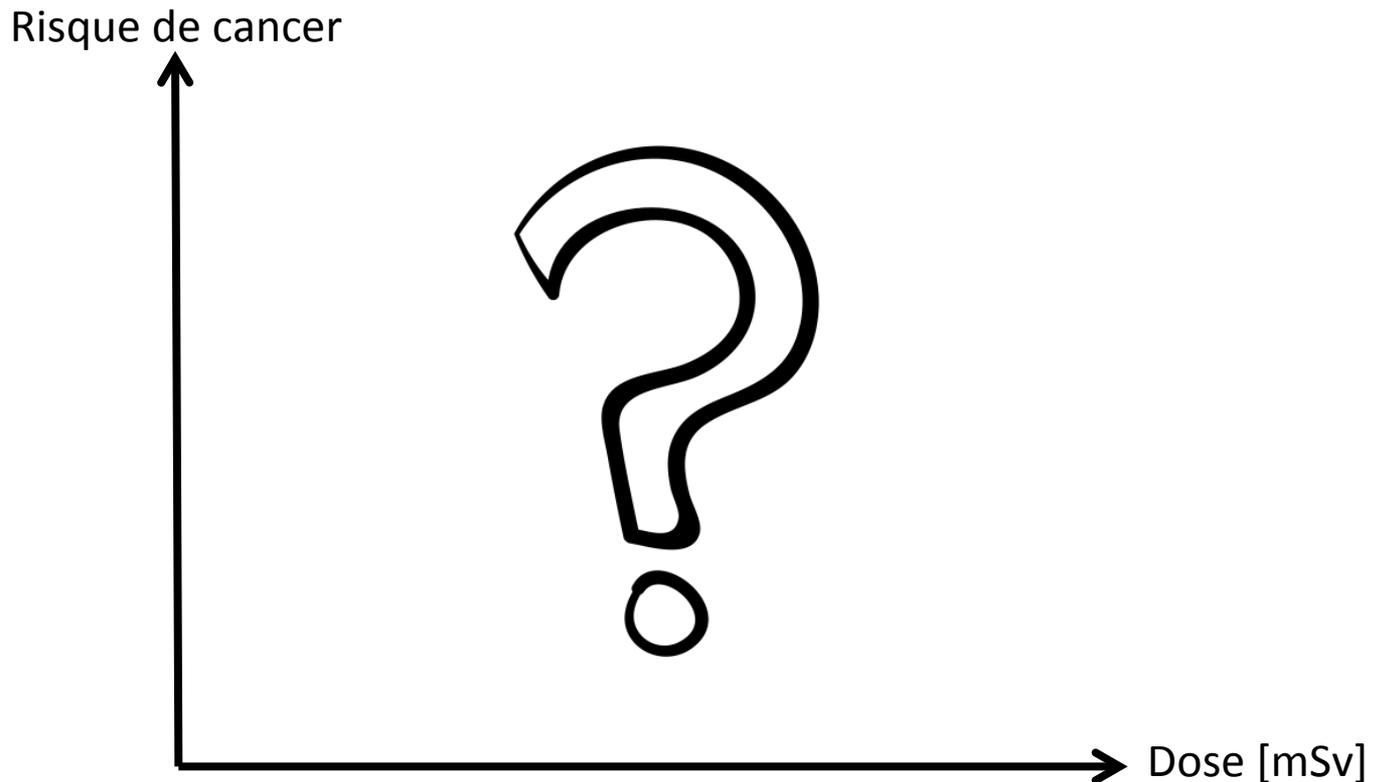


Alopécie (cancer du cerveau)

Physique pour Tous !

Effets stochastiques

- Effets apparaissant après une **faible exposition** aux rayonnements
- Unité de dose : le **Sievert** (Sv)
- Effets (principalement cancers radio-induits) qui apparaîtront avec une certaine probabilité chez les individus (**aléatoire**)



Calcul du risque

- Le calcul du risque nécessite de quantifier la relation dose-risque
- Données provenant majoritairement du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki (*Life Span Study*)



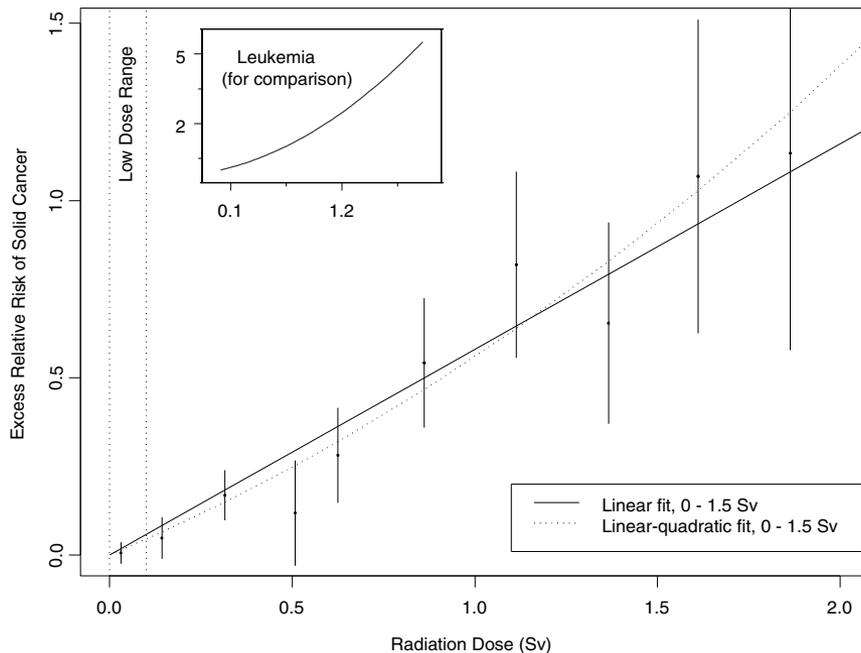
Credit:Keystone

Physique pour Tous !

Calcul du risque

- Le calcul du risque nécessite de quantifier la relation dose-risque
- Données provenant majoritairement du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki (*Life Span Study*)

Fortes expositions (> 100 mSv) :

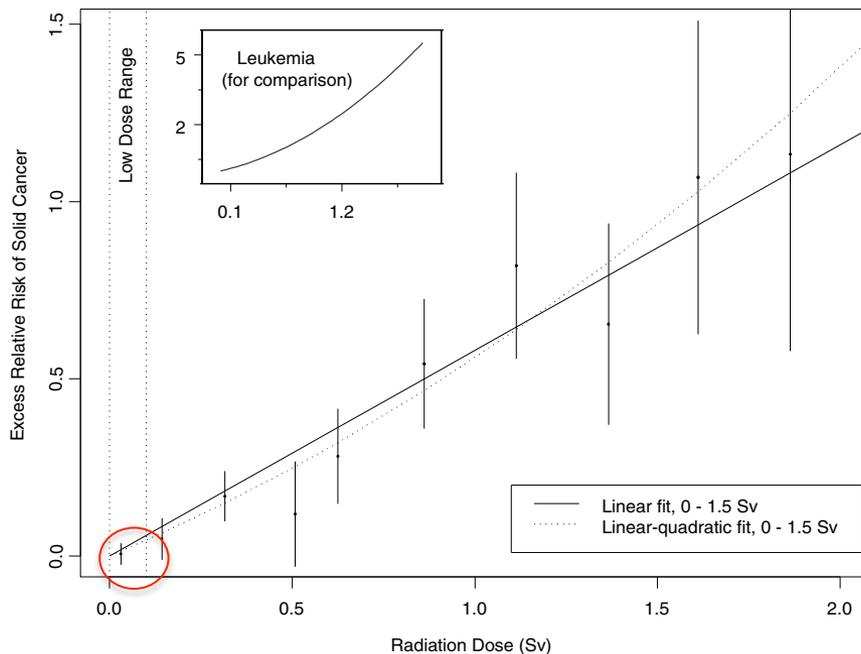


Relation linéaire entre la dose de rayonnements et le risque de cancer

Calcul du risque

- Le calcul du risque nécessite de quantifier la relation dose-risque
- Données provenant majoritairement du suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki (*Life Span Study*)

Faibles expositions (< 100 mSv) :

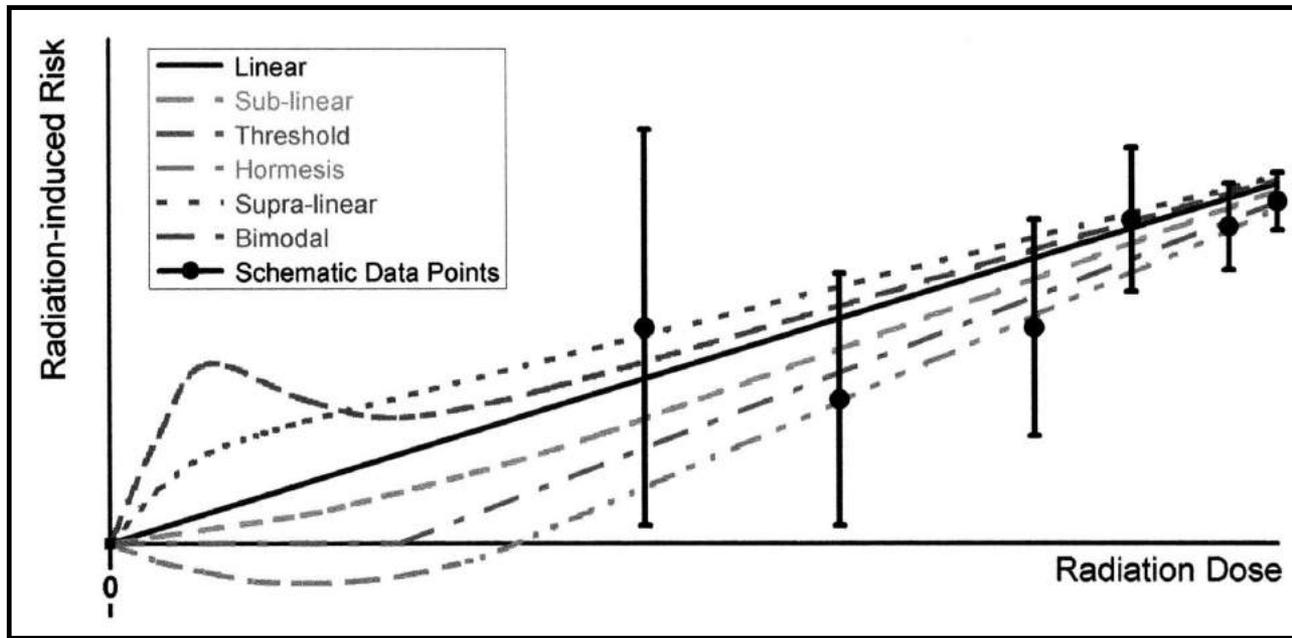


???

Relation dose-risque
indéterminée

Modèles dose - risque

- Le calcul du risque nécessite de quantifier la relation dose-risque :
 - fortes expositions (dose > 100 mSv) ⇔ relation linéaire
 - faibles expositions (dose < 100 mSv) ⇔ relation indéterminée

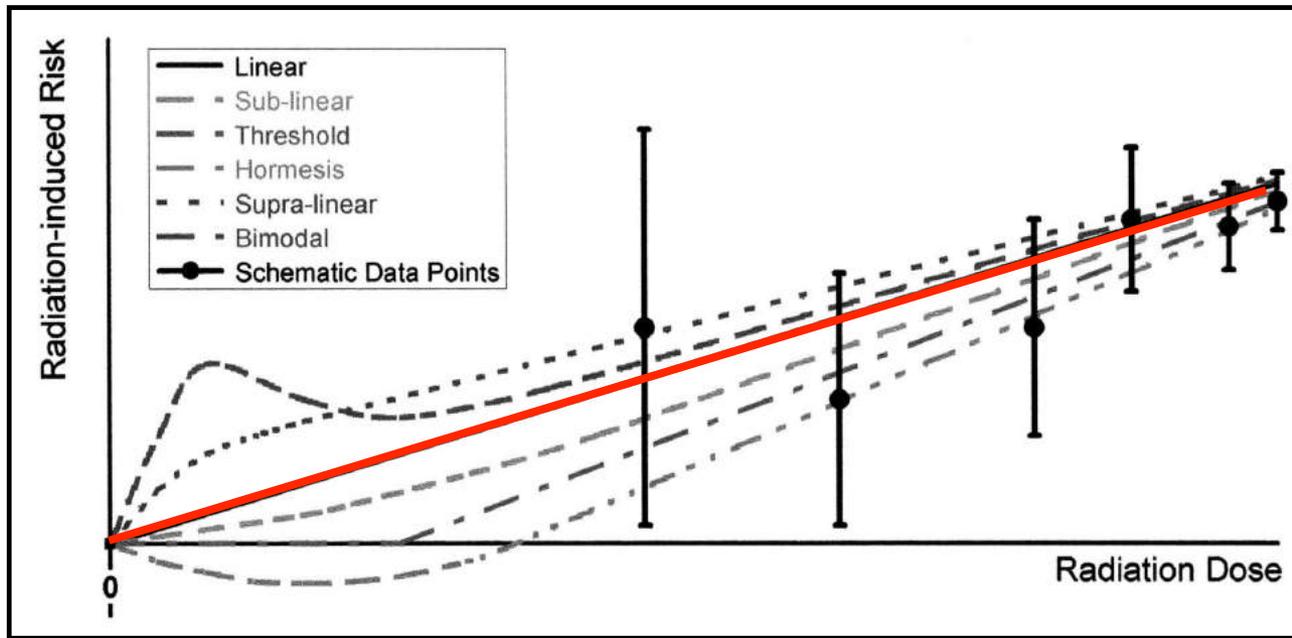


Comment mettre en place une réglementation à partir de connaissances scientifiques encore incertaines ?

Physique pour Tous !

Modèles dose - risque

- Le calcul du risque nécessite de quantifier la relation dose-risque :
 - fortes expositions (dose > 100 mSv) ⇔ relation linéaire
 - faibles expositions (dose < 100 mSv) ⇔ relation indéterminée

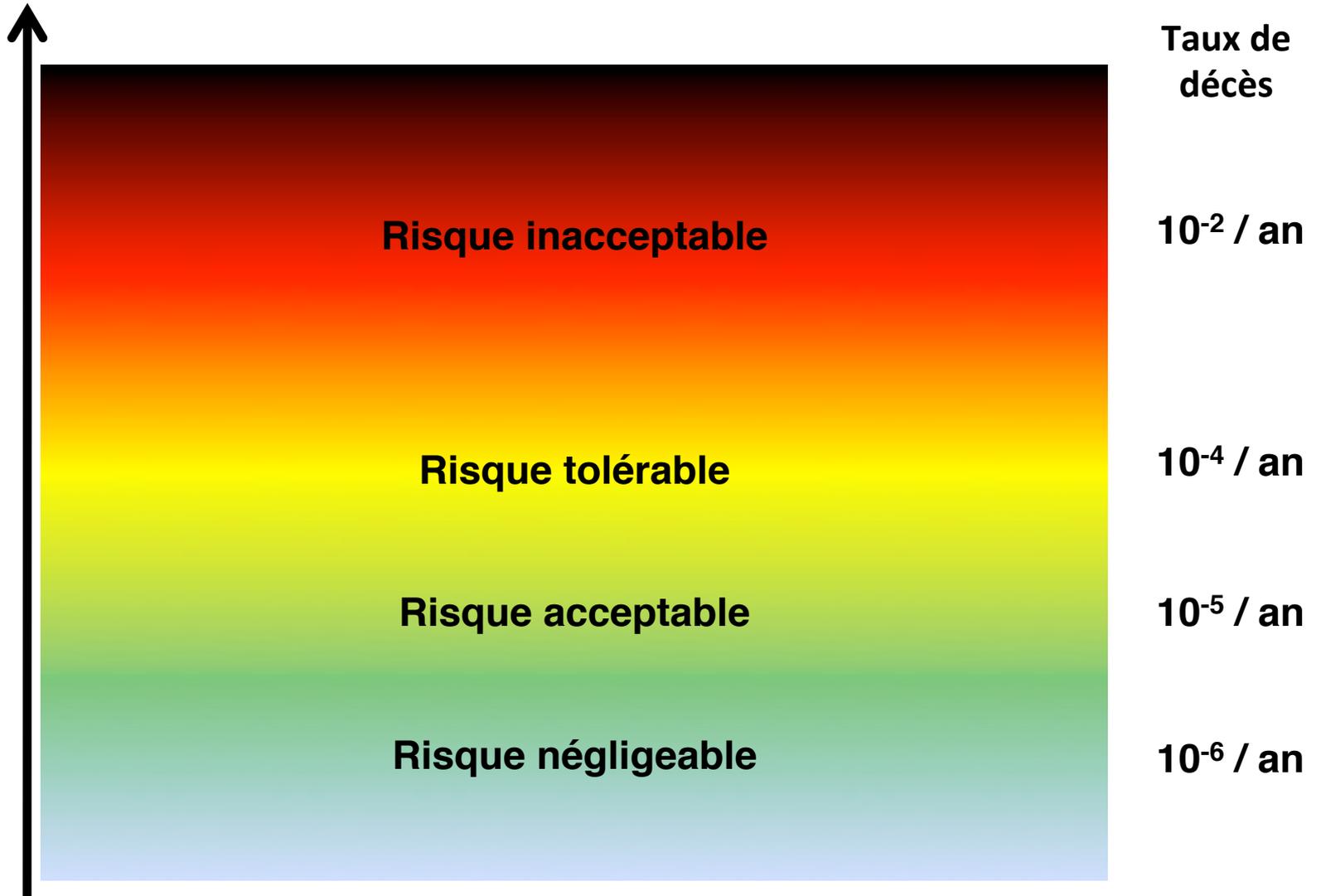


Application d'un **modèle linéaire sans seuil**

Risque de cancer = 0.5% / 100 mSv

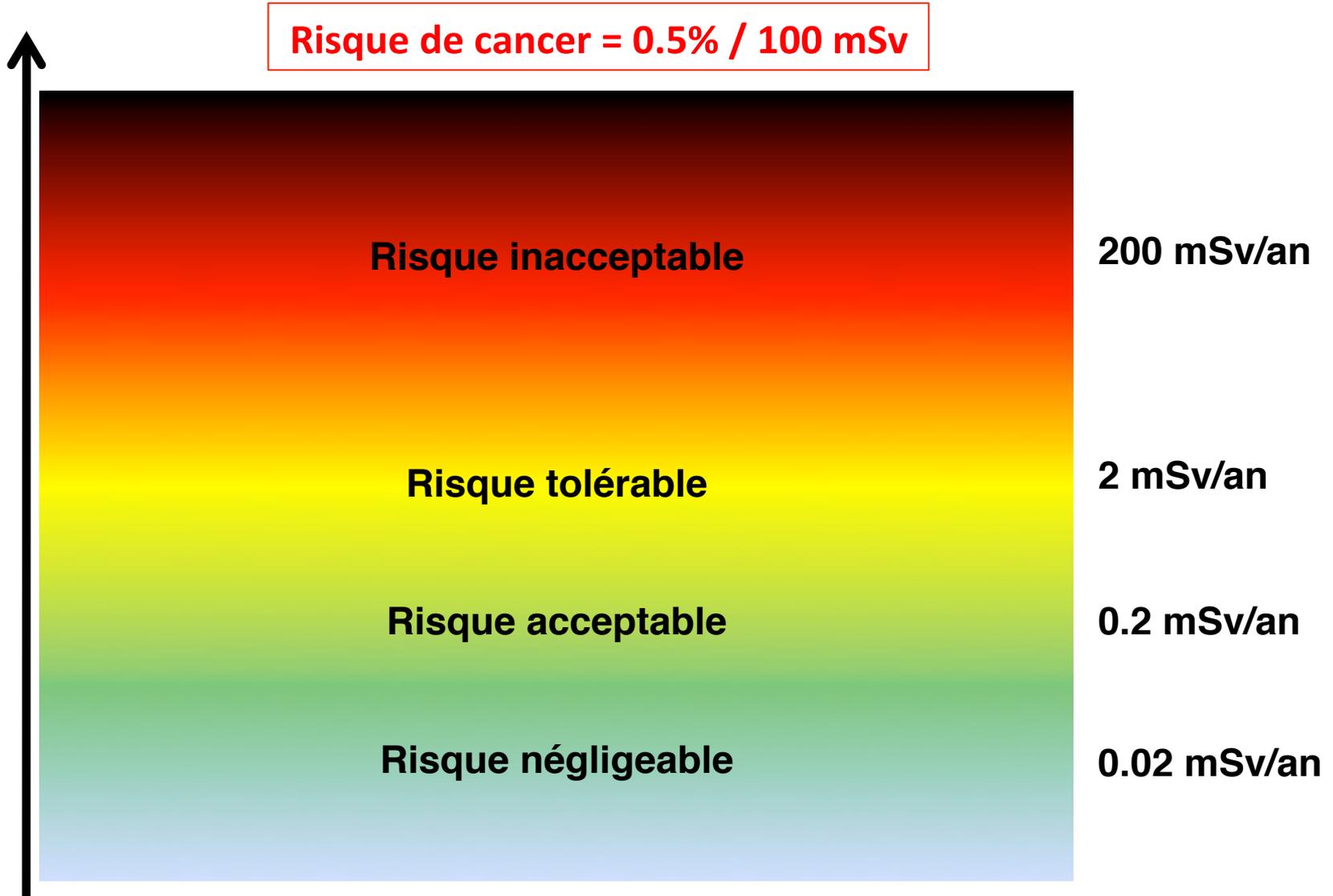
Physique pour Tous !

Echelle de risque



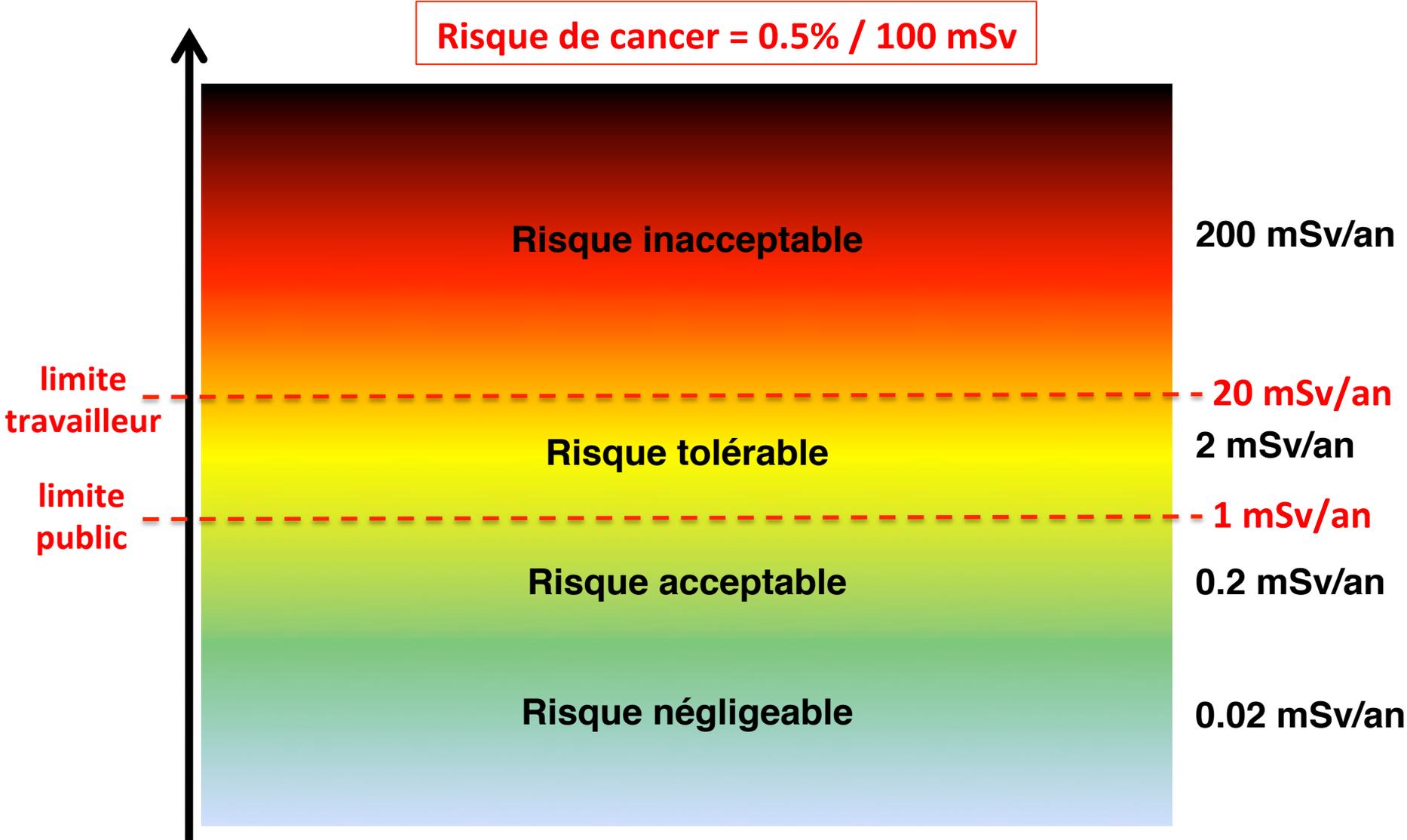
Physique pour Tous !

Echelle de risque



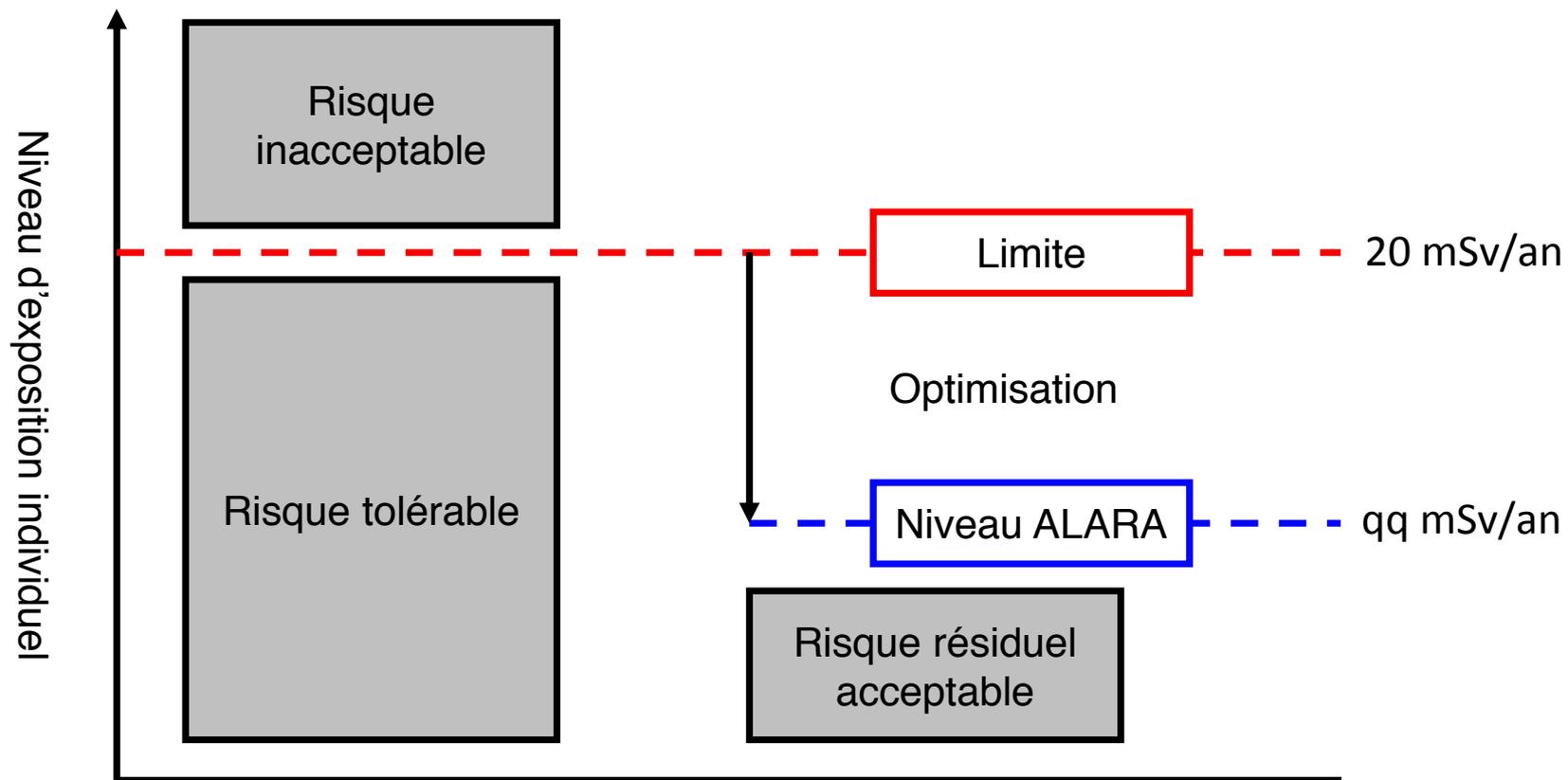
Physique pour Tous !

Echelle de risque



Protection des travailleurs

- La limite d'exposition n'est pas un **seuil de risque** !



Dose moyenne des travailleurs en France ≈ 0.25 mSv/an (maximum ≈ 12 mSv/an)

Protection des populations

- Contrôle des rejets des installations nucléaires



Physique pour Tous !

Protection des populations

- Contrôle des rejets des installations nucléaires
- Problématique de la gestion des déchets radioactifs

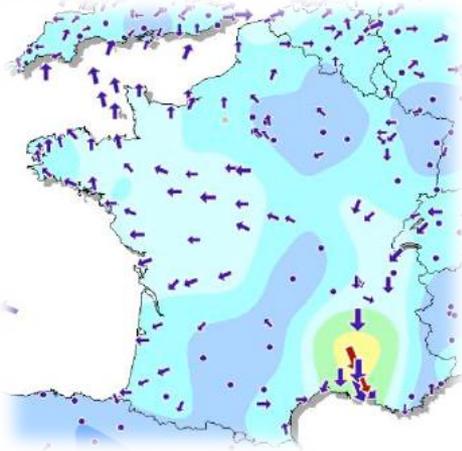


Protection des populations

- L'impact sanitaire est évalué par un calcul de la dose potentiellement reçue par les personnes les plus exposées

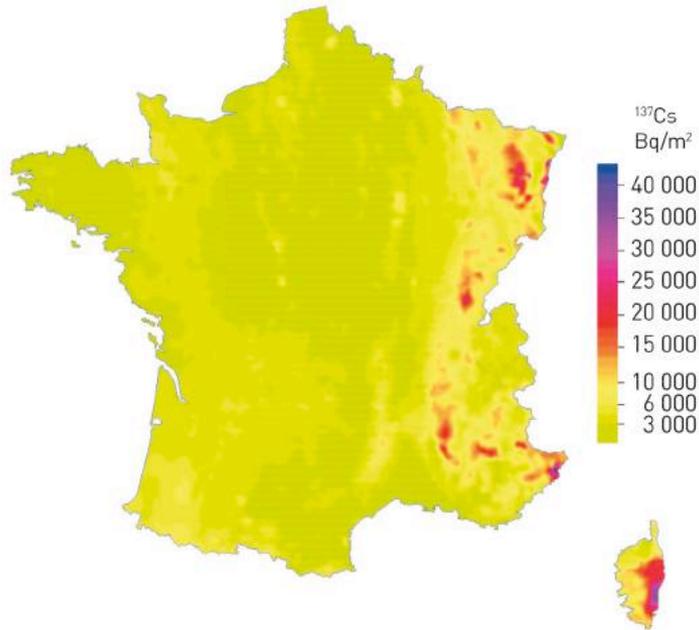
Protection des populations

- L'impact sanitaire est évalué par un calcul de la dose potentiellement reçue par les personnes les plus exposées
- 1^{ère} étape du calcul : transfert des radionucléides dans l'environnement
 - transfert atmosphérique
 - dépôt sur les sols
 - dilution dans les milieux aquatiques
 - transfert à la faune et la flore

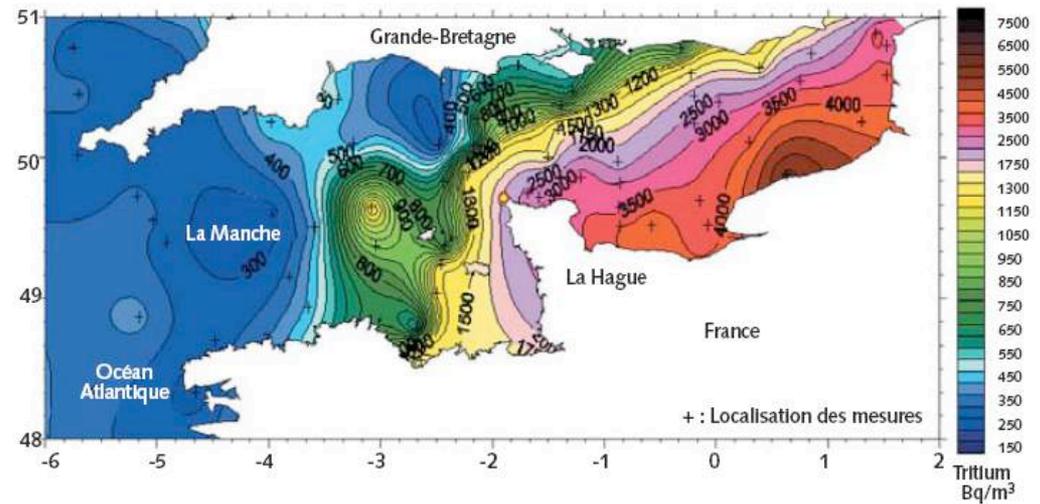


Protection des populations

- Réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement (www.mesure-radioactivite.fr)
- Réseau OPERA-AIR (radioactivité atmosphérique)



Dépôt de ^{137}Cs dans les sols - IRSN



Suivi des rejets de ^3H de l'usine de La Hague (IRSN)

Protection des populations

- 2^{eme} étape du calcul : estimation de la dose efficace
 - exposition externe : rejets atmosphériques et dépôts sur les sols
 - exposition interne : inhalation de l'air et ingestion de denrées alimentaires



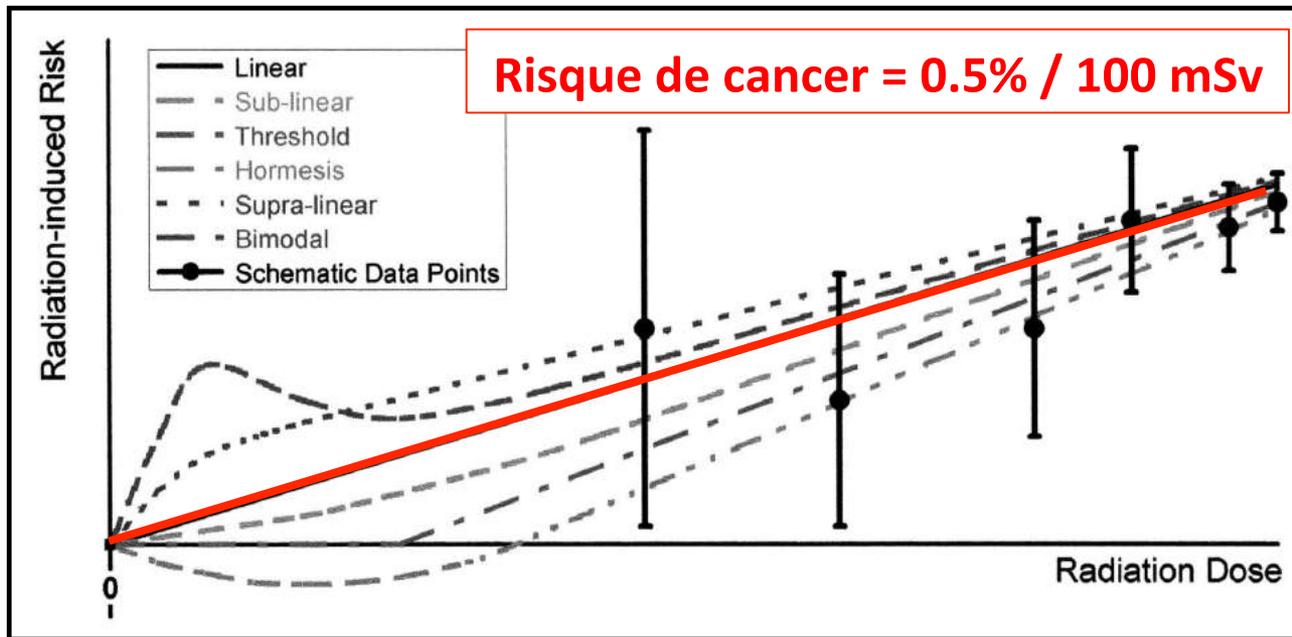
(voir cours 2 pour le calcul de dose à partir de l'activité radioactive)

La dose prévisionnelle maximum ne doit pas dépasser la limite de 1 mSv/an

Controverses scientifiques

Modèle linéaire sans seuil

- La grande majorité des expositions aux rayonnements ionisants concernent des doses (très) inférieures à 100 mSv
- La réglementation en radioprotection est donc principalement construite sur le **modèle linéaire sans seuil**



Modèle linéaire sans seuil

- La grande majorité des expositions aux rayonnements ionisants concernent des doses (très) inférieures à 100 mSv
- La réglementation en radioprotection est donc principalement construite sur le **modèle linéaire sans seuil**
- Mais ce modèle n'est pas encore prouvé scientifiquement :

"The LNT (Linear No Threshold) model is not universally accepted as biological truth, but rather, because we do not actually know what level of risk is associated with very-low-dose exposure, it is considered to be a prudent judgment for public policy aimed at avoiding unnecessary risk from exposure"

(CIPR 2007)

Un modèle controversé

- Les résultats les plus récents proviennent d'études épidémiologiques :
 - imagerie médicale (scanner, ...)
 - travailleurs (industrie nucléaire, ...)
 - radioactivité naturelle (radon, ...)



Un modèle controversé

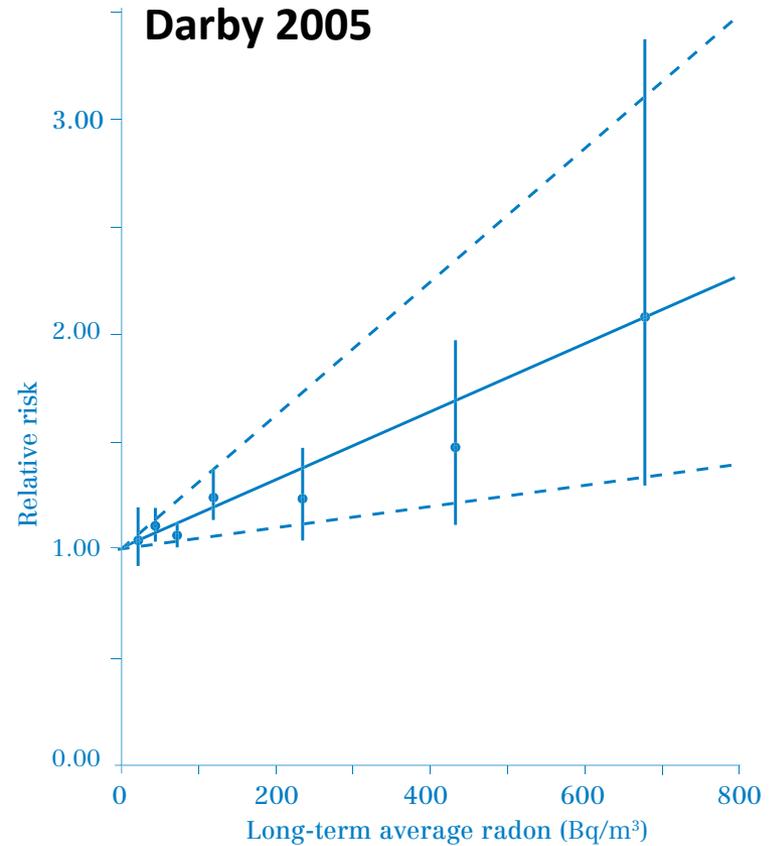
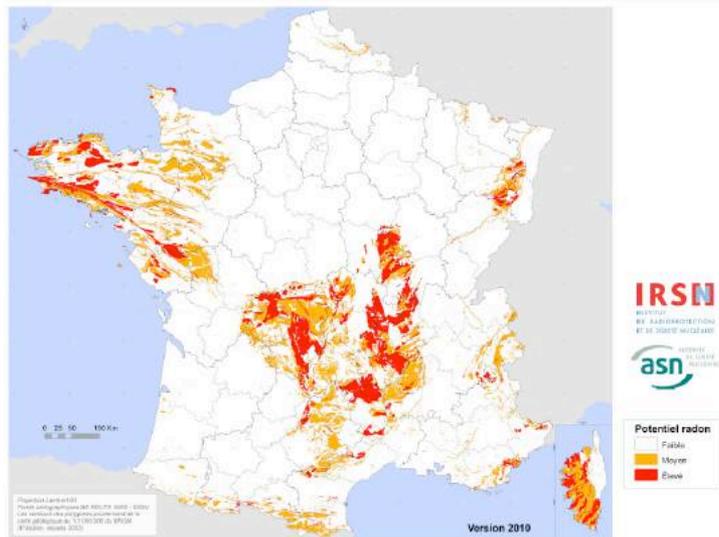
- Plusieurs études semblent mettre en évidence une relation linéaire sans seuil pour les faibles doses

Un modèle controversé

- Plusieurs études semblent mettre en évidence une relation linéaire sans seuil pour les faibles doses

Radon :

20000 personnes, 9 pays européens



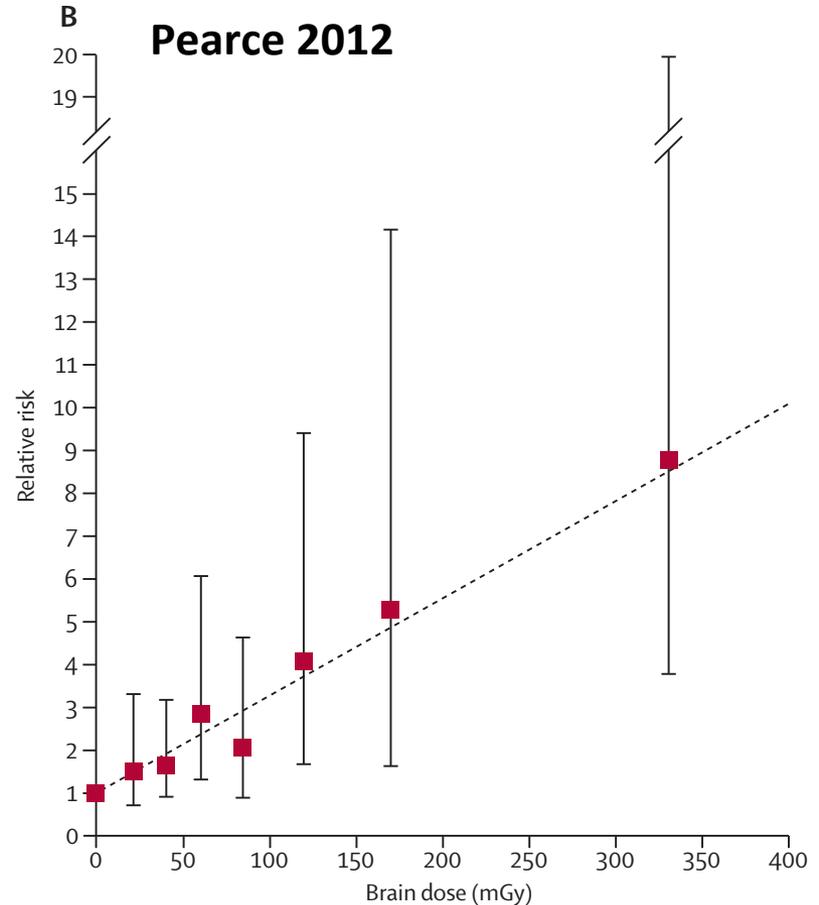
Physique pour Tous !

Un modèle controversé

- Plusieurs études semblent mettre en évidence une relation linéaire sans seuil pour les faibles doses

Scanner :

180000 personnes, Grande-Bretagne



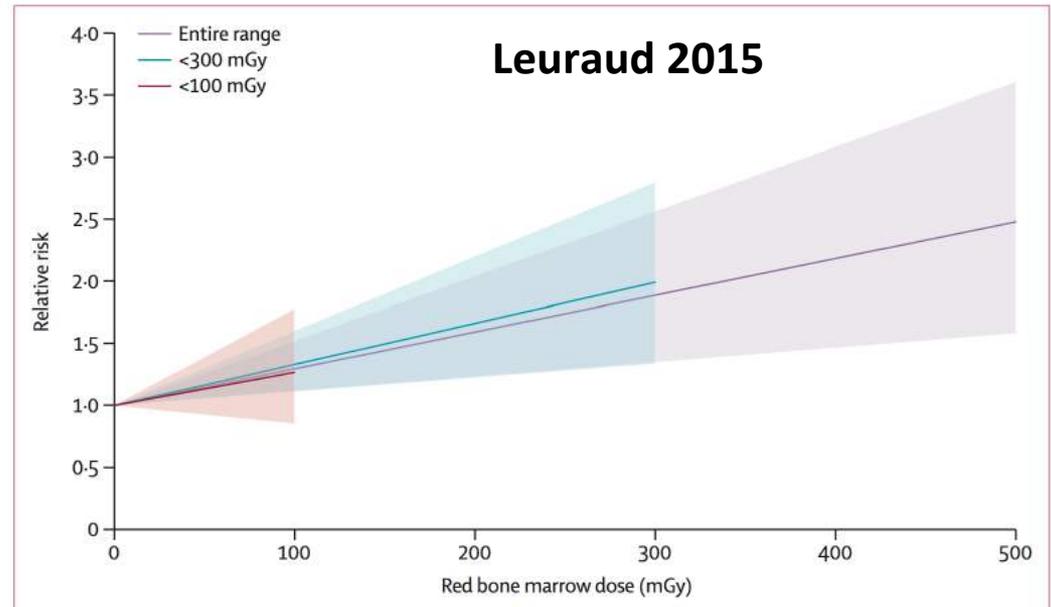
Physique pour Tous !

Un modèle controversé

- Plusieurs études semblent mettre en évidence une relation linéaire sans seuil pour les faibles doses

Industrie nucléaire :

300000 personnes, France/USA/GB



Physique pour Tous !

Un modèle controversé

- Mais aucune ne permet de valider réellement le modèle linéaire sans seuil pour les doses < 100 mSv

Un modèle controversé

- Mais aucune ne permet de valider réellement le modèle linéaire sans seuil pour les doses < 100 mSv

Radon :

20000 personnes, 9 pays européens

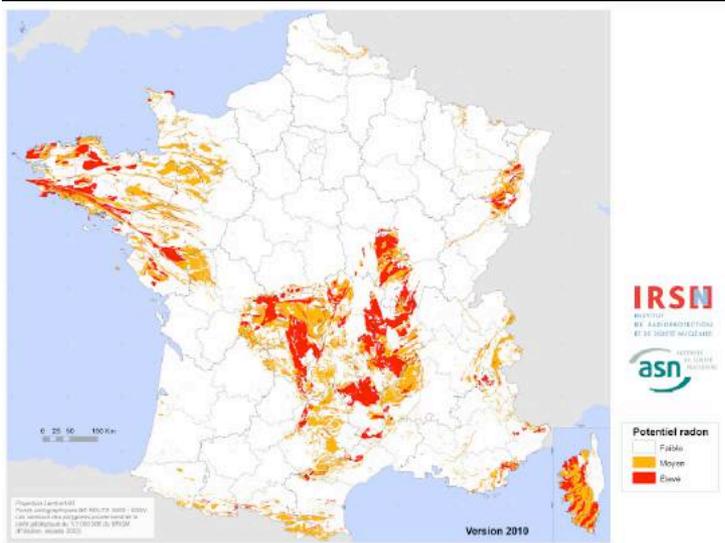
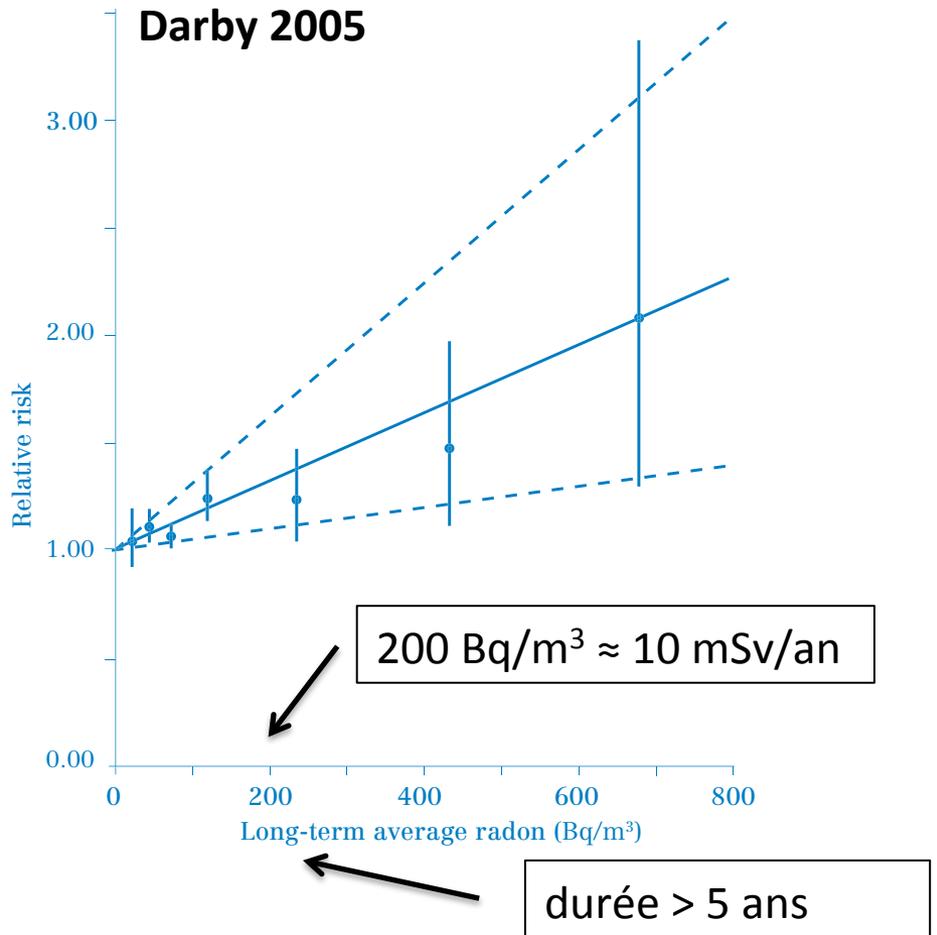


Figure 1 : Carte du potentiel radon des formations géologiques à l'échelle 1:1 000 000, version 2010

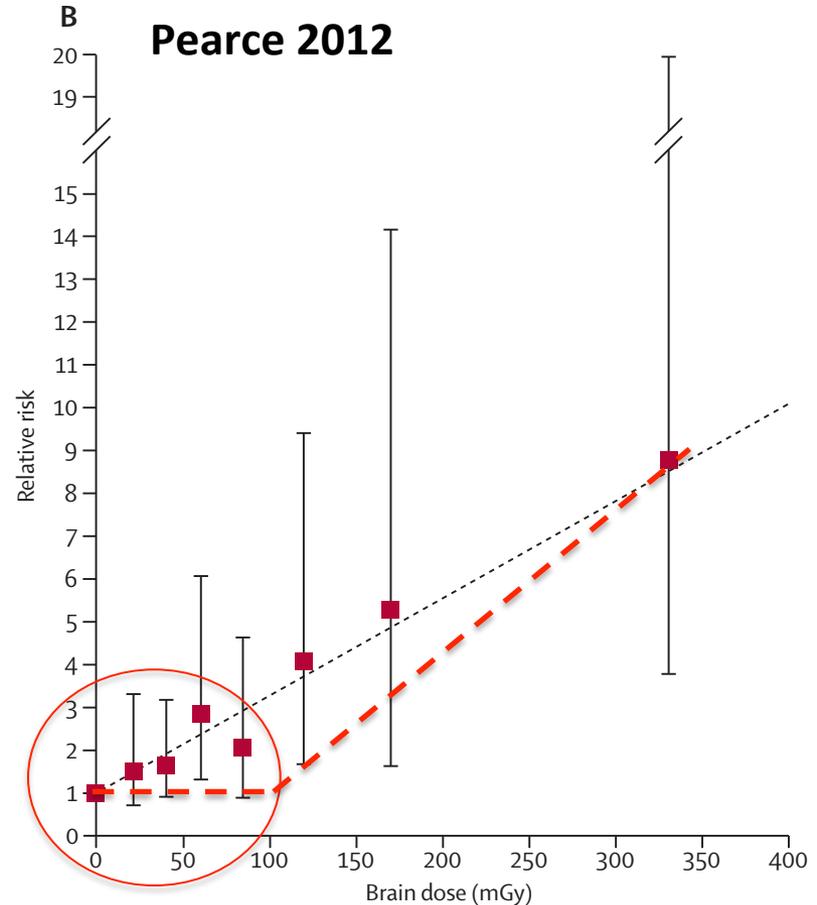


Un modèle controversé

- Mais aucune ne permet de valider réellement le modèle linéaire sans seuil pour les doses < 100 mSv

Scanner :

180000 personnes, Grande-Bretagne



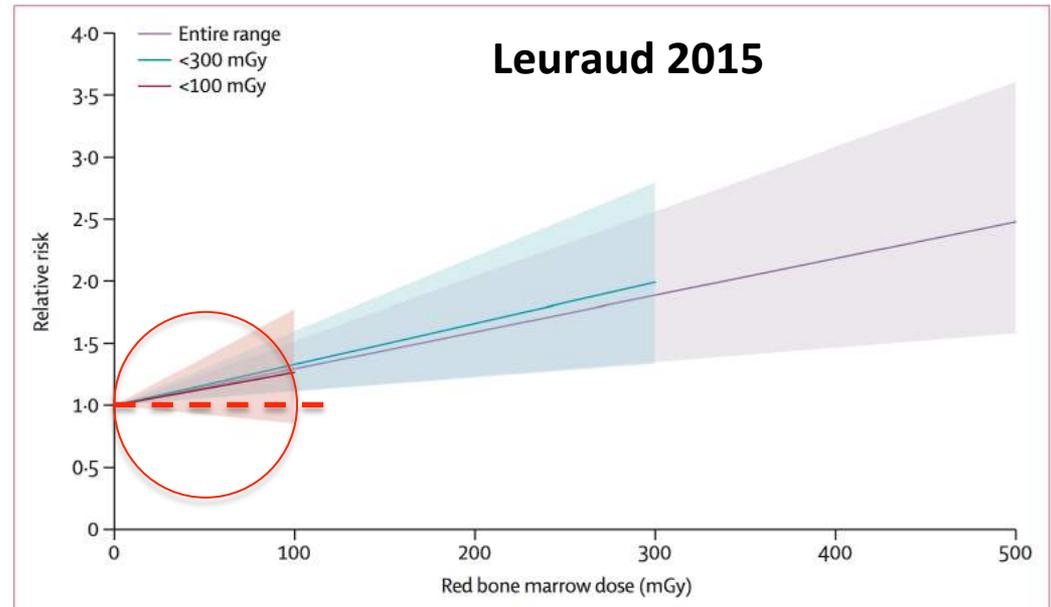
Physique pour Tous !

Un modèle controversé

- Plusieurs études semblent mettre en évidence une relation linéaire sans seuil pour les faibles doses

Industrie nucléaire :

300000 personnes, France/USA/GB

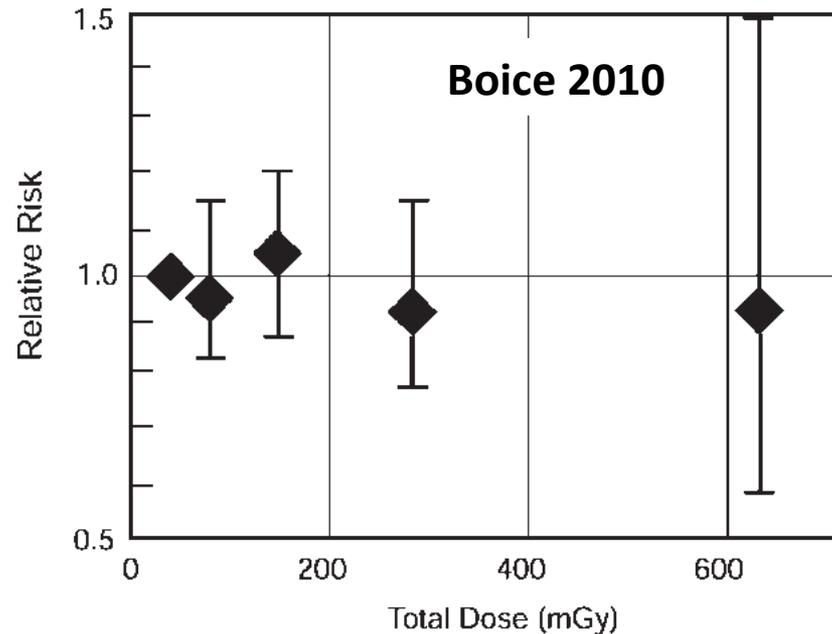


Physique pour Tous !

Un modèle controversé

- Certaines études obtiennent même des résultats en opposition avec le modèle linéaire sans seuil

Radioactivité naturelle (Chine, Inde, ...) :



Un modèle controversé

- La mise en évidence épidémiologique d'un excès de risque de cancer lié aux rayonnements ionisants reste très difficile :

Un modèle controversé

- La mise en évidence épidémiologique d'un excès de risque de cancer lié aux rayonnements ionisants reste très difficile :

Taux "naturel" d'occurrence des cancers

En France :

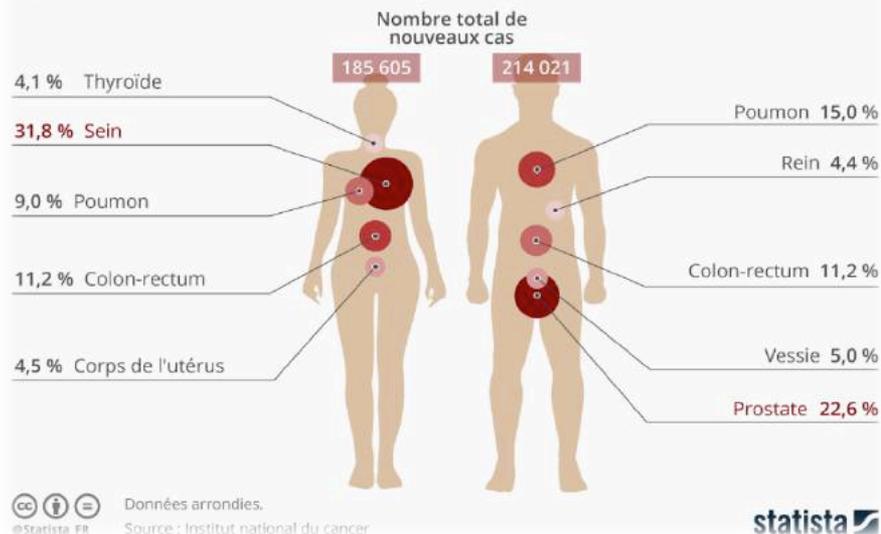
400 000 nouveaux cancers / an
150 000 décès / an

Risque global de cancer :

≈ 20% (1 personne sur 5)

Les cancers les plus fréquents

Types de cancer les plus fréquemment diagnostiqués en France (2017)



Physique pour Tous !

Un modèle controversé

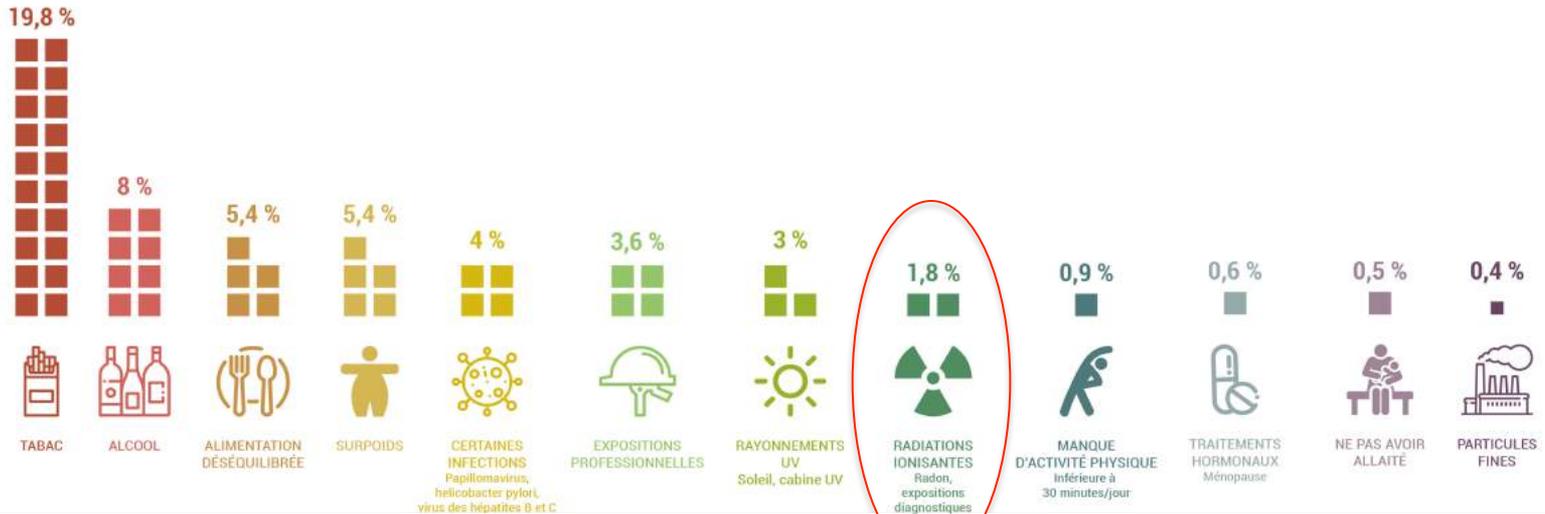
- La mise en évidence épidémiologique d'un excès de risque de cancer lié aux rayonnements ionisants reste très difficile :

Facteurs de risque

Proportion des cancers liés aux principaux facteurs de risque

(Source : CIRC / INCa 2018)

Total
=
53,4 %



Physique pour Tous !

Un modèle controversé

- La mise en évidence épidémiologique d'un excès de risque de cancer lié aux rayonnements ionisants reste très difficile :

Biais épidémiologiques

Exemple du biais protopathique :

- la maladie (cancer) peut être antérieure (voir à l'origine) de l'exposition aux rayonnements ionisants



Pour quelle raison le patient vient-il passer un examen scanner ?

Principe de précaution ?

- Le modèle linéaire sans seuil est un outils de gestion du risque radiologique, il est souvent associé au **principe de précaution**

"L'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable"

(Loi Barnier du code de l'environnement (2 février 1995))

Principe de précaution ?

- Le modèle linéaire sans seuil est un outils de gestion du risque radiologique, il est souvent associé au **principe de précaution**
- 3 visions des choses possibles :
 - 1) Application incomplète du principe de précaution



Accident nucléaire



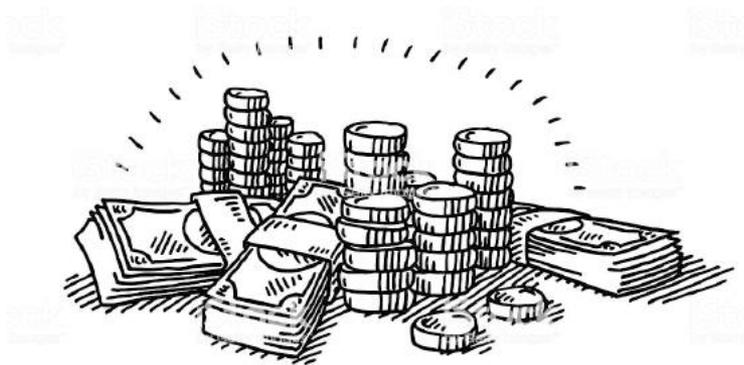
Déchets radioactifs

Pourquoi la limite n'est pas de 0 mSv / an ?

Principe de précaution ?

- Le modèle linéaire sans seuil est un outils de gestion du risque radiologique, il est souvent associé au **principe de précaution**
- 3 visions des choses possibles :
 - 1) Application incomplète du principe de précaution
 - 2) Application extrême du principe de précaution

Pourquoi la limite public est-elle inférieure à la dose moyenne de radioactivité naturelle ?



Coût économique de la radioprotection



Sur-protection par rapport à d'autres risques (exemple : pollution)

Principe de précaution ?

- Le modèle linéaire sans seuil est un outils de gestion du risque radiologique, il est souvent associé au **principe de précaution**
- 3 visions des choses possibles :
 - 1) Application incomplète du principe de précaution
 - 2) Application extrême du principe de précaution
 - 3) Application juste du principe de précaution (au vu des connaissances scientifiques et des incertitudes actuelles)



Débats de société

Imagerie médicale

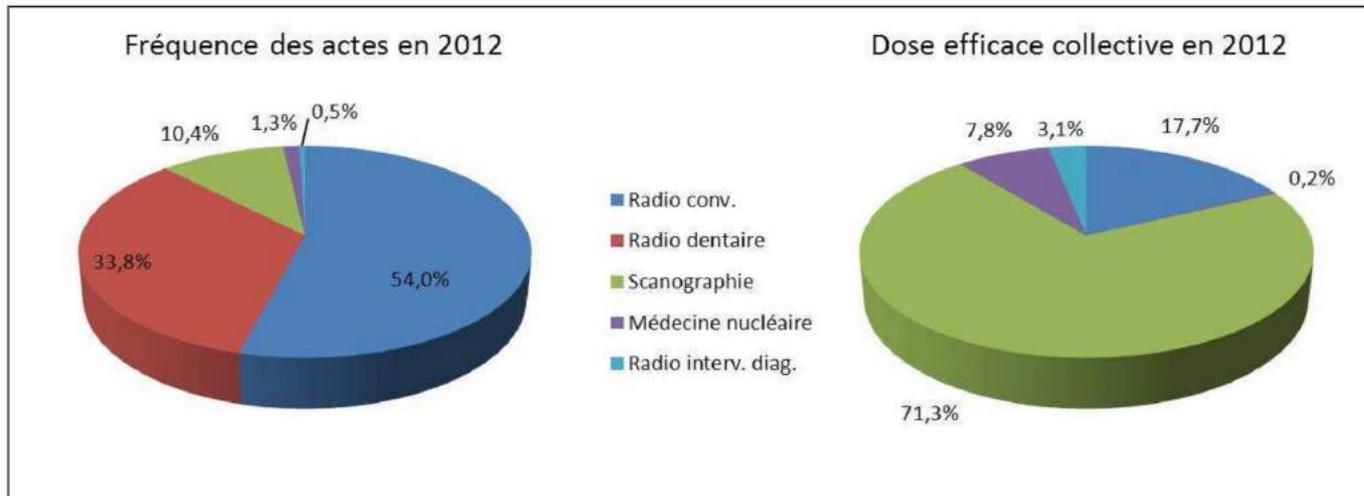
- Le scanner est-il une technique à risque ?



Physique pour Tous !

Imagerie médicale

- Le scanner est-il une technique à risque ?



Google

Autres questions posées

Est-il dangereux de faire un scanner ?

En effet, lorsque l'on **fait** une radiologie ou un **scanner**, on **est** exposé à des rayons X, et leur accumulation, si on **est** amené à en **faire** régulièrement, peut engendrer à terme un risque de cancer. Il n'en **est** pas de même pour l'échographie ou l'IRM qui utilisent des techniques tout à **fait** différentes. 31 mai 2017

Physique pour Tous !

Imagerie médicale

- Estimation du nombre de cancers liés à l'imagerie à partir de la dose moyenne (≈ 2 mSv/an) et du modèle linéaire sans seuil (risque de 0.5% / 100 mSv)



$$\Rightarrow N = 0.005 \times 2/100 \times 70 \times 10^6 = 7000 \text{ cancers / an}$$

Imagerie médicale

- Estimation du nombre de cancers liés à l'imagerie à partir de la dose moyenne (≈ 2 mSv/an) et du modèle linéaire sans seuil (risque de 0.5% / 100 mSv)



$$\Rightarrow N = 0.005 \times 2/100 \times 70 \times 10^6 = 7000 \text{ cancers / an}$$

- Le résultat de ce type de calcul reste **très approximatif** (voir très faux) :
 - dose moyenne / habitant biaisée par les patients âgés
 - modèle linéaire sans seuil encore incertain pour les doses < 100 mSv
- Le calcul du risque de cancer est un enjeu important pour les patients pédiatriques (risque 15 fois plus élevé si l'exposition a lieu à 1 an ou à 75 ans)

Imagerie médicale

- Inquiétudes du corps médical quant aux réactions possibles de la population (anxiété, refus de certains examens diagnostiques, ...)
- **Rapport de l'Académie des Sciences et de l'Académie Nationale de Médecine** publié en 2005 en France (*La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérogènes des faibles doses de rayonnements ionisants*)

"[...] En conclusion, le présent rapport émet des réserves sur l'usage de la RLSS (relation linéaire sans seuil) pour évaluer le risque cancérogène des faibles doses (< 100 mSv). La RLSS peut constituer un outil pragmatique utile pour fixer les règles de la radioprotection pour des doses supérieures à une dizaine de mSv ; mais, n'étant pas fondée sur des concepts biologiques correspondant à nos connaissances actuelles, elle ne peut pas être utilisée sans précaution pour estimer par extrapolation l'effet des faibles et surtout des très faibles doses (< 10 mSv), notamment dans l'évaluation du rapport bénéfice- risque, imposée au praticien dans le cadre de la pratique radiologique."

(Maurice TUBIANA et André AURENGO, 2005)

<http://www.academie-medicine.fr/la-relation-dose-effet-et-lestimation-des-effets-cancerogenes-des-faibles-doses-de-rayonnements-ionisants/>

Accident nucléaire

- Mars 2011 : Séisme puis tsunami au Japon
- Fusion du coeur de 3 réacteurs à la centrale de Fukushima-Daiichi
- Quantités importantes de radio-éléments libérés dans l'atmosphère

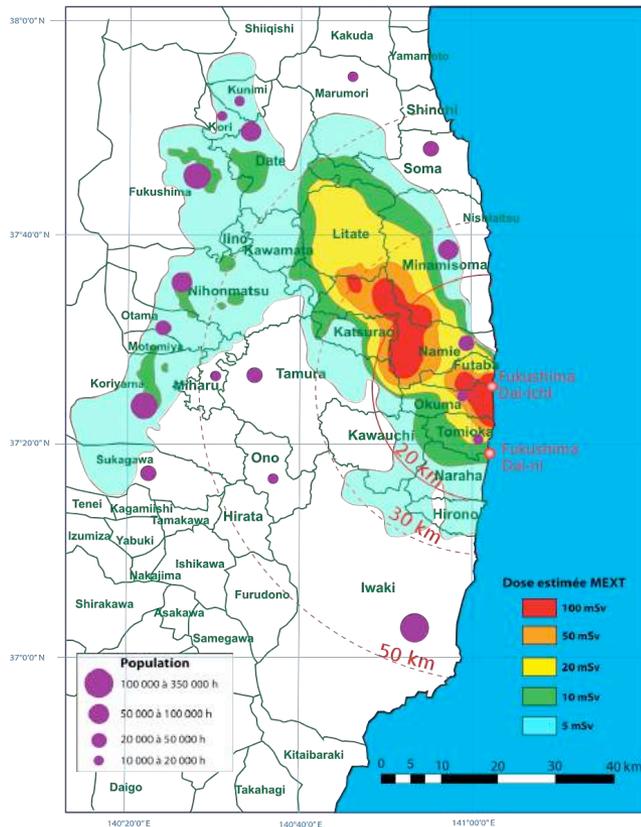


Accident nucléaire

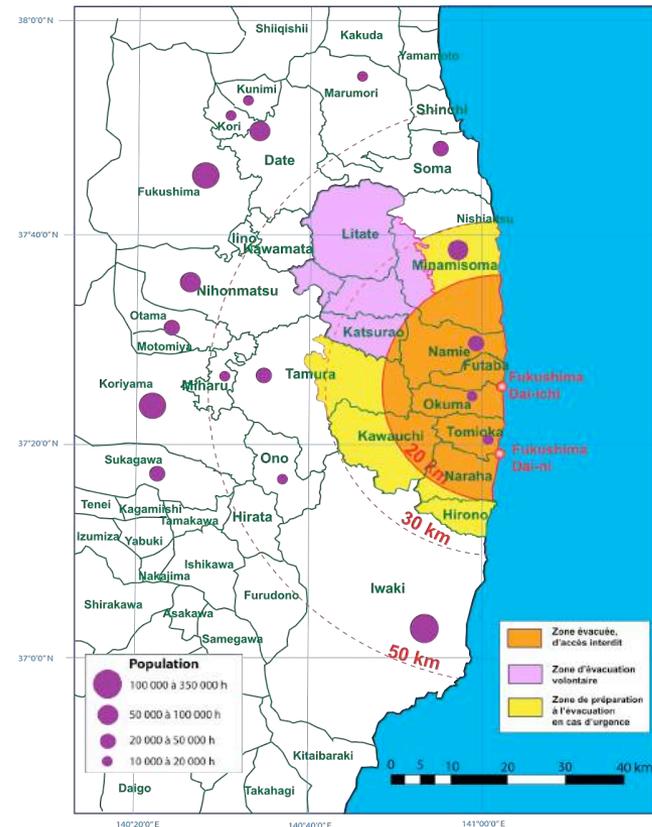
- Evacuation des populations :
 - 110 000 personnes évacuées
 - environ 85000 n'étaient pas rentrées chez elles 5 ans après l'accident

Accident nucléaire

- Evacuation des populations :
 - 110 000 personnes évacuées
 - environ 85000 n'étaient pas rentrées chez elles 5 ans après l'accident



Dose estimée pour la 1ere année



Zones d'évacuation des populations

Accident nucléaire

- Evacuation des populations :
 - 110 000 personnes évacuées
 - environ 85000 n'étaient pas rentrées chez elles 5 ans après l'accident

- Classement des zones aujourd'hui :

Dose > 50 mSv/an : zone interdite



Dose 20-50 mSv/an : déplacement libre possible en journée



Dose < 20 mSv/an : retour possible (habitation / travail)



Accident nucléaire

- Débat sur la gestion de l'évacuation :

1) Opposants à l'évacuation systématique

- non prise en compte de l'avis de chacun (absence de liberté)
- non prise en compte de l'individu (âge, état de santé, ...)
- pas de logique bénéfice-risque (nombres de morts liés à l'évacuation à Fukushima, impact socio-économique, ...)

Accident nucléaire

- Débat sur la gestion de l'évacuation :

1) Opposants à l'évacuation systématique

- non prise en compte de l'avis de chacun (absence de liberté)
- non prise en compte de l'individu (âge, état de santé, ...)
- pas de logique bénéfice-risque (nombres de morts liés à l'évacuation à Fukushima, impact socio-économique, ...)

2) Opposants au maintien des populations dans une zone où l'exposition est de 20 mSv/an

- seuil d'acceptabilité du risque fixé à 1 mSv au niveau international
- droit de chaque individu à la santé (rapport de Anand Grover, rapporteur spécial du Haut-Commissariat aux droits de l'homme des Nations unies)

Accident nucléaire

47. The dose limit of 20mSv/year is being applied by the Government due to the nuclear emergency. In this behalf the Government seeks support from the letter issued to it by the ICRP, recommending a reference level of 1mSv/year to 20mSv/year for determining an area as inhabitable after the nuclear accident.⁹⁴ The ICRP recommendations are based on the principle of optimisation and justification, according to which all actions of the Government should be based on maximizing good over harm.⁹⁵ Such a risk-benefit analysis is not in consonance with the right to health framework, as it gives precedence to collective interests over individual rights. Under the right to health, the right of every individual has to be protected. Moreover, such decisions, which have a long-term impact on the physical and mental health of people, should be taken with their active, direct and effective participation.

49. Health policies put in place by the State should be grounded in scientific evidence. Policies should be formulated so as to minimize the interference with the enjoyment of the right to health. In setting radiation dose limits, the right to health dictates limits that have the least impact upon the right to health of people, taking into account the greater vulnerability of such groups as pregnant women and children. **As the possibility of adverse health effects exists in low-dose radiation, evacuees should be recommended to return only when the radiation dose has been reduced as far as possible and to levels below 1 mSv/year.** In the meantime, the Government should continue providing financial support and subsidies to all evacuees so that they can make a voluntary decision to return to their homes or remain evacuated.

Rapport de Anand Grover, ONU, 2013

Physique pour Tous !

Accident nucléaire

Information in school textbooks

51. The State should ensure accurate and scientifically sound information on radiation and radioactivity is provided to children and, where appropriate, their parents to facilitate informed decision making regarding their health. Additionally, respecting the right to health requires the State to refrain from misrepresenting information in health-related matters. The Special Rapporteur was informed about the Fukushima official curriculum for compulsory radiation education in public schools. The supplementary reading and presentation materials mention that there is no clear evidence of excess risk of diseases, including cancer, when exposed for a short time to radiation levels of 100mSv and below. This gave the impression that doses below 100mSv are safe. As noted above, this is not consistent with the law in Japan, international standards or epidemiological research. Additionally, the Special Rapporteur notes that the textbooks do not mention the increased vulnerability of children to the health effects of radiation. Such information may give children and parents a false sense of security, which may result in children's exposure to high levels of radiation. The Special Rapporteur urges the Government to ensure accurate representation of the health effects associated with nuclear accident and include methods of preventing and controlling health problems in a manner that is effective, age-appropriate and easy to understand.

Rapport de Anand Grover, ONU, 2013

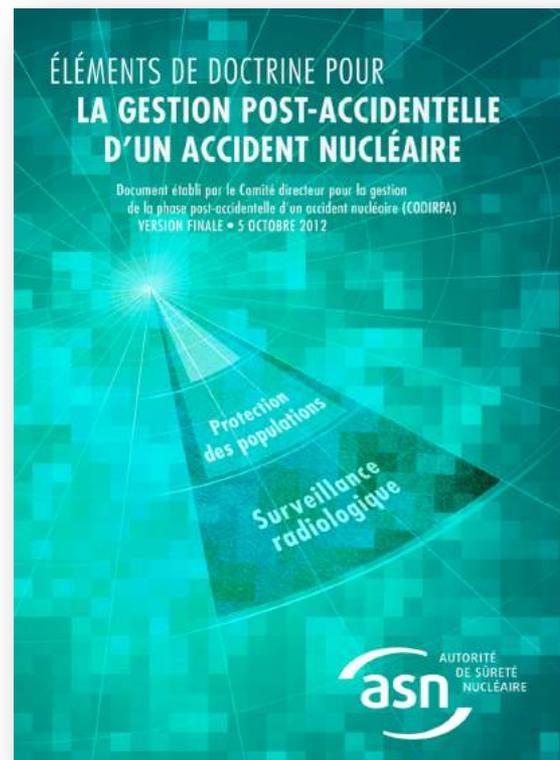
Physique pour Tous !

Accident nucléaire

- Une réflexion qui nous concerne tous ...



<https://www.gouvernement.fr/risques/plan-national-de-reponse-a-un-accident-nucleaire-ou-radiologique-majeur>

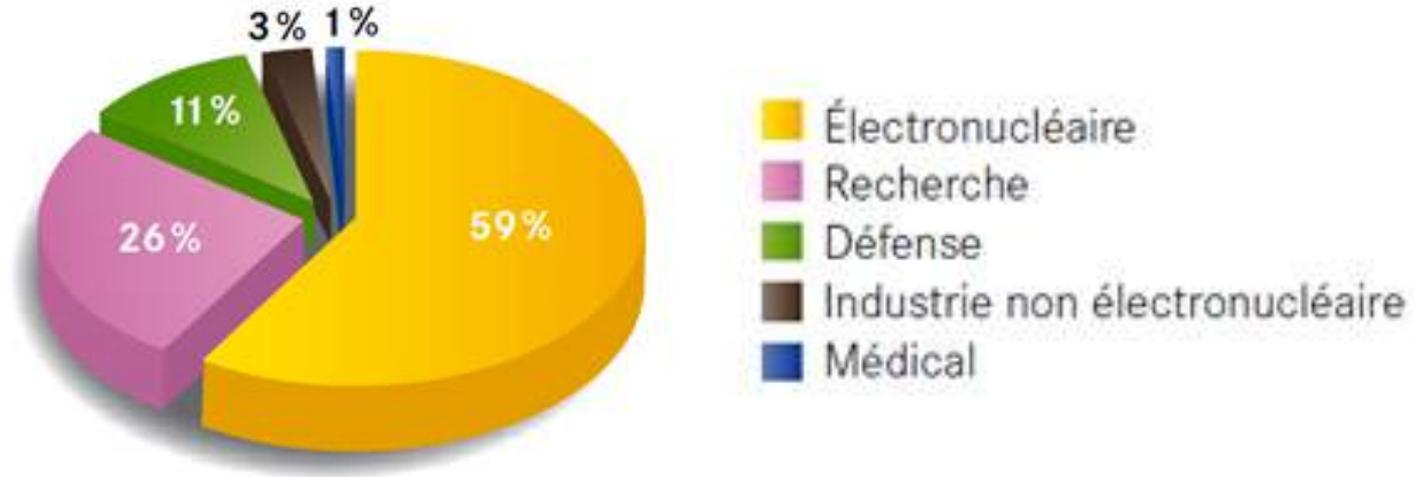


<https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Gestion-post-accidentelle-d-un-accident-nucleaire>

Physique pour Tous !

Déchets radioactifs ?

- La gestion des déchets radioactifs est un enjeu de société en France



Production des déchets radioactifs (ANDRA)

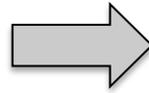
- Agence Nationale de Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA)



www.andra.fr

Déchets radioactifs ?

- La gestion des déchets radioactifs est un enjeu de société en France
- Les déchets faiblement-moyennement radioactifs sont stockés en surface



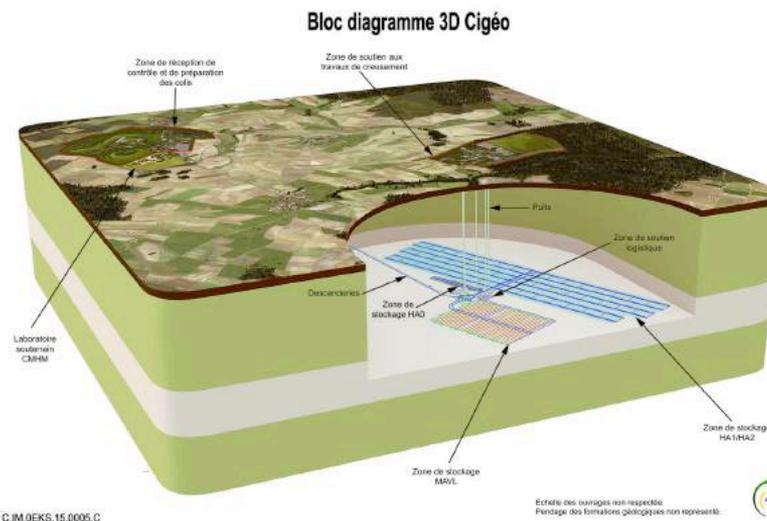
Centre de Stockage de la Manche (CSM)

Déchets radioactifs ?

- La gestion des déchets radioactifs est un enjeu de société en France
- Les déchets faiblement-moyennement radioactifs sont stockés en surface
- Les déchets fortement radioactifs n'ont pas de solution de stockage aujourd'hui (projet CIGEO de stockage en couches géologiques profondes)



Sites de stockage temporaires
(La Hague, Marcoule, Cadarache)



Projet CIGEO

Déchets radioactifs ?

- Débats publics sur le plan de gestion des déchets radioactifs

<https://pngmdr.debatpublic.fr/>

Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016 – 2018



SYNTHÈSE

Physique pour Tous !