

Rayonnements ionisants et risques nucléaires

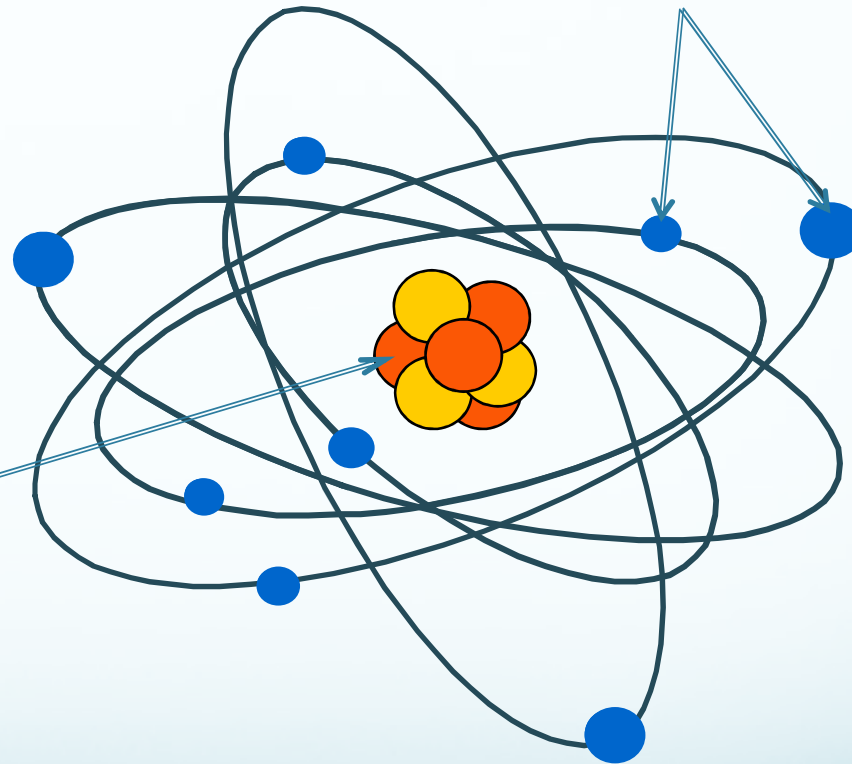
- Radioactivité et rayonnements ionisants
 - Modes d'exposition, notion de dose
- Principes de radioprotection, valeurs limites de la CE
 - Effets biologiques
- Expositions d'origine naturelle, industrielle, médicale

La matière formée d'atomes

1 atome = 1 noyau
formé de **protons** ^{Electrons}
positifs et de **neutrons**
neutres
entouré d'un **cortège**
électronique
d'**électrons négatifs**

Noyau

Protons et neutrons s'appellent
des **nucléons**

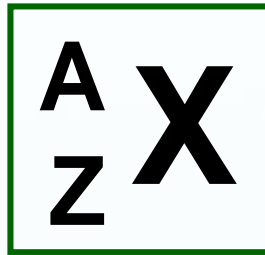


Molécules

- L'association d'atomes forment des molécules :
- Ex : 2 atomes d'hydrogène plus un atome d'oxygène
= une molécule d'eau H_2O

1 de carbone plus 2 d'oxygène = CO_2 gaz carbonique

Écriture et symboles



X symbole chimique : une majuscule suivie éventuellement d'une minuscule

A nombre de masse = nombre de nucléons

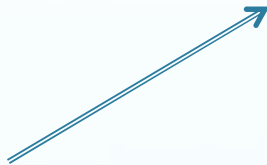
Z numéro atomique = nombre de protons
= nombre d'électrons

Écriture et symbole

Nombre de masse =
protons + neutrons



Numéro atomique =
nombre de protons



← Symbole de
l'élément Carbone



écriture

- L'azote s'écrit **N** (du latin Nitrogenium)
- Le sodium **Na** (Natrium en latin)
- Le chlore **Cl** le mercure **Hg** (Hydrargyrum en latin)
- Le béryllium **Be** l'étain **Sn** (Stannum en latin)
- Le phosphore **P**
- Le tungstène **W** (comme Wolfram en allemand)

Familles/ élément chimique

Le nombre de protons définit la famille et les caractéristiques chimiques de l'élément

exemples :

1 proton → Hydrogène (H)

2 protons → Hélium (He)

3 protons → Lithium (Li)

6 protons Carbone (C)

92 protons Uranium (U)

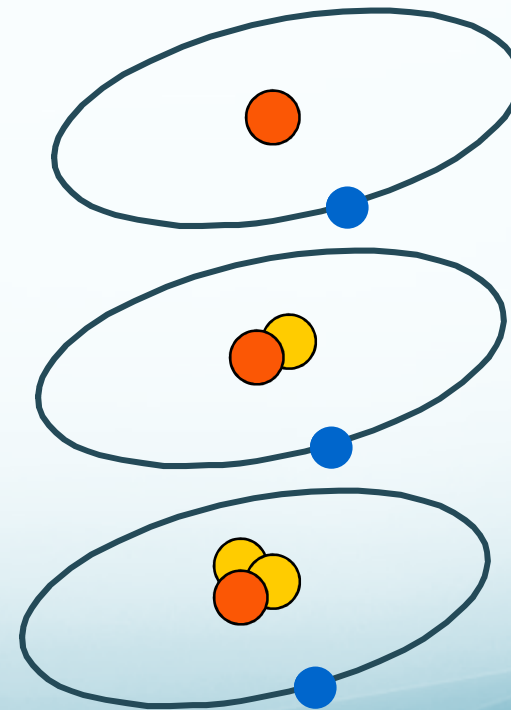
94 protons Plutonium (Pu)

Même famille

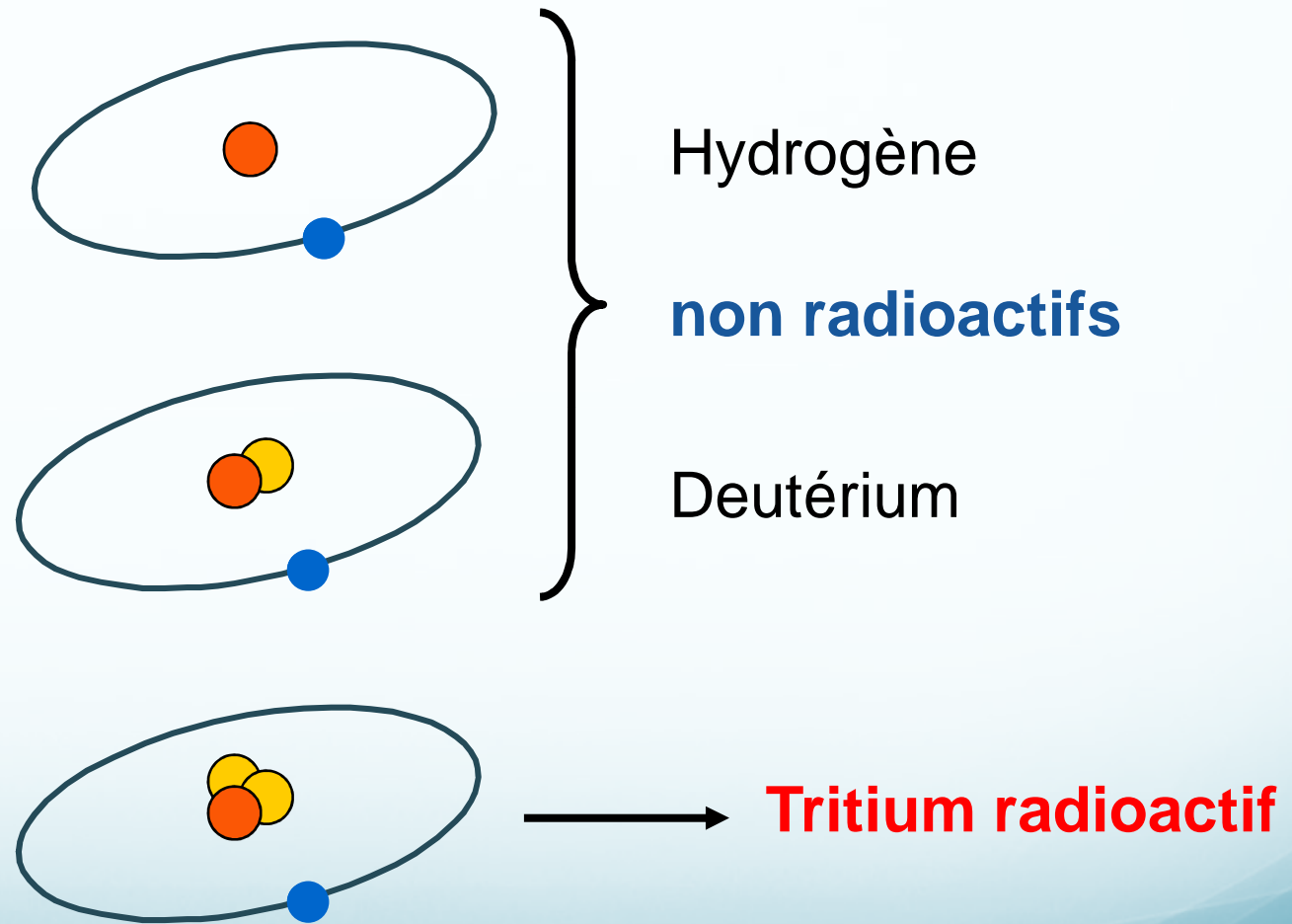
Tous les atomes ayant le même nombre de protons appartiennent à la même famille appelée **élément chimique**

Même caractéristiques chimiques mais caractéristiques physiques différentes

exemples de l'**hydrogène**



Isotopes de l'Hydrogène



Isotopes du carbone

- Sur ces 4 isotopes, **seul le carbone 12 est stable**
- Le carbone 14 est utilisé pour faire de la datation géologique

Qu'est ce que la radioactivité

- C'est un phénomène naturel depuis l'origine de l'univers (14 mds d'années = $14 \cdot 10^9$ ans) lorsque les atomes se sont formés.
- Bâti sur un même modèle : un noyau (protons + neutrons) entouré d'électrons, certains atomes sont stables et **demeurent identiques toute leur vie**, **d'autres sont instables (radionucléides)**, et **se transforment en un autre atome plus stable**, en éjectant de l'énergie sous forme de rayons et de particules. On parle de **désintégrations**.
- Il faut parfois plusieurs transformations successives pour arriver à la stabilité parfaite.

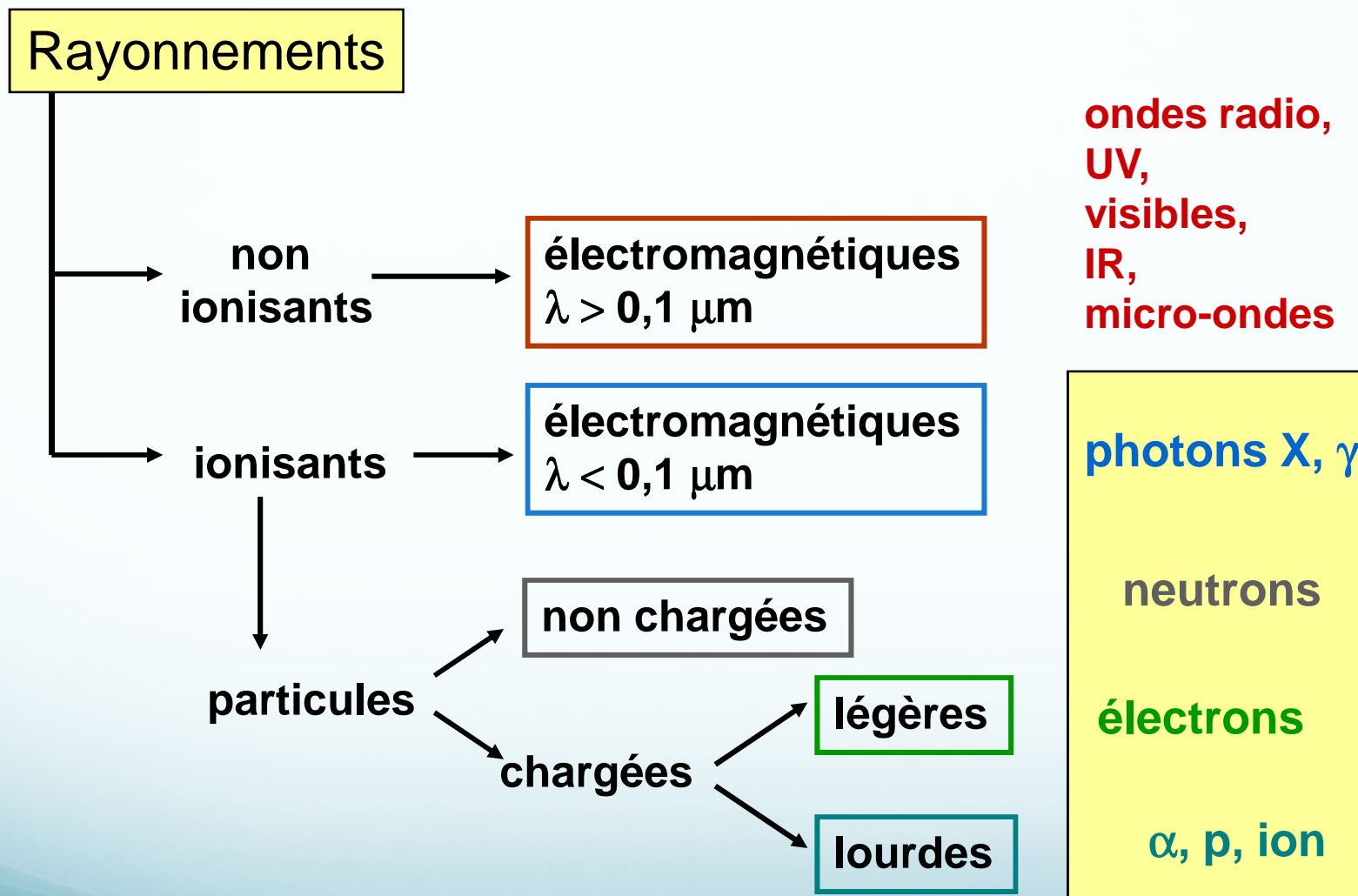
Radioactivité et rayonnements ionisants

Ces rayonnements et particules, par leur énergie, sont capables lorsqu'ils interagissent avec la matière et en particulier le tissu vivant, **d'arracher des électrons**, (ionisation) et de **modifier les atomes et molécules et de perturber le fonctionnement des cellules** rencontrés sur leur parcours.

Par exemple **ils peuvent casser des brins de l'ADN**, qui s'ils sont mal réparés donneront lieu à des mutations et des cancers

On les appelle des **rayonnements ionisants** pour les différencier des autres rayonnements (optiques, télévision, téléphonie, wifi, radar, micro-ondes) etc...

Rayonnements



Caractériser la radioactivité

- Quatre éléments sont essentiels pour caractériser un radionucléide :
- **L'activité** : en Becquerels (Bq) désintégrations/s
- **La période** : temps au bout duquel on a $A/2$
- **Le type de particules** ou rayonnements émis
- **L'énergie des rayonnements** émis en kiloélectronvolts ou en megaélectronvolts (keV ou MeV)
- **Donc il faudra identifier le radionucléide avant de pouvoir estimer le risque qu'il induit.**

Activité

- C'est le nombre de désintégrations par seconde.
- Elle s'exprime en **becquerels. (Bq)**
- 1 Bq correspond à 1 transformation nucléaire par seconde. C'est une trop petite unité.
- L'ancienne unité était le curie (Ci)
- 1 Ci vaut 37 GBq soit 37 milliards de becquerels. C'était une trop grosse unité.

Périodes

Radioactive: temps au bout duquel l'activité d'un radionucléide a diminué de moitié

Biologique : temps au bout duquel l'organisme a éliminé la moitié de la substance incorporée

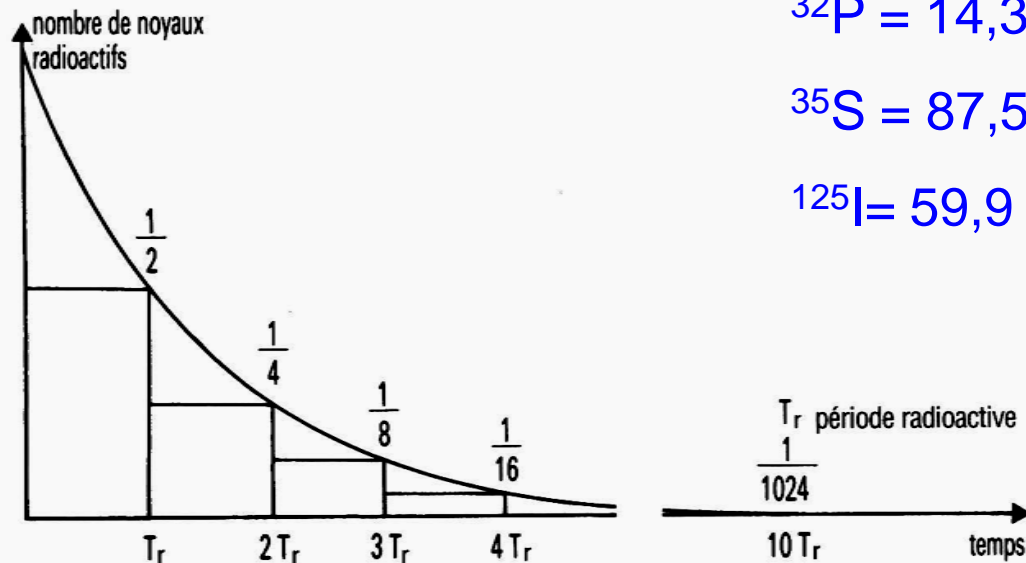
Effective : temps effectif, dû à la contribution des 2 périodes précédentes, au bout duquel l'activité des substances radioactives incorporées dans l'organisme a diminué de moitié.

RADIOACTIVITE/période

L'énergie du rayonnement: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

La période radioactive: C'est le temps au bout duquel le nombre de noyaux radioactifs aura diminué de moitié

$$A = A_0 \times e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{T_r}}$$



$^3\text{H} = 12,3 \text{ ans}$

$^{14}\text{C} = 5730 \text{ ans}$

$^{32}\text{P} = 14,3 \text{ jours}$

$^{35}\text{S} = 87,5 \text{ jours}$

$^{125}\text{I} = 59,9 \text{ jours}$

$^{131}\text{I} = 8,1 \text{ jours}$

$^{137}\text{Cs} = 30 \text{ ans}$

$^{226}\text{Ra} = 1600 \text{ ans}$

$^{239}\text{Pu} = 24400 \text{ ans}$

$^{238}\text{U} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ ans}$

$^{40}\text{K} = 1,3 \cdot 10^9 \text{ ans}$

$^{99\text{m}}\text{Tc} = 6 \text{ heures}$

Substances radioactives incorporées

Exemple de période effective:

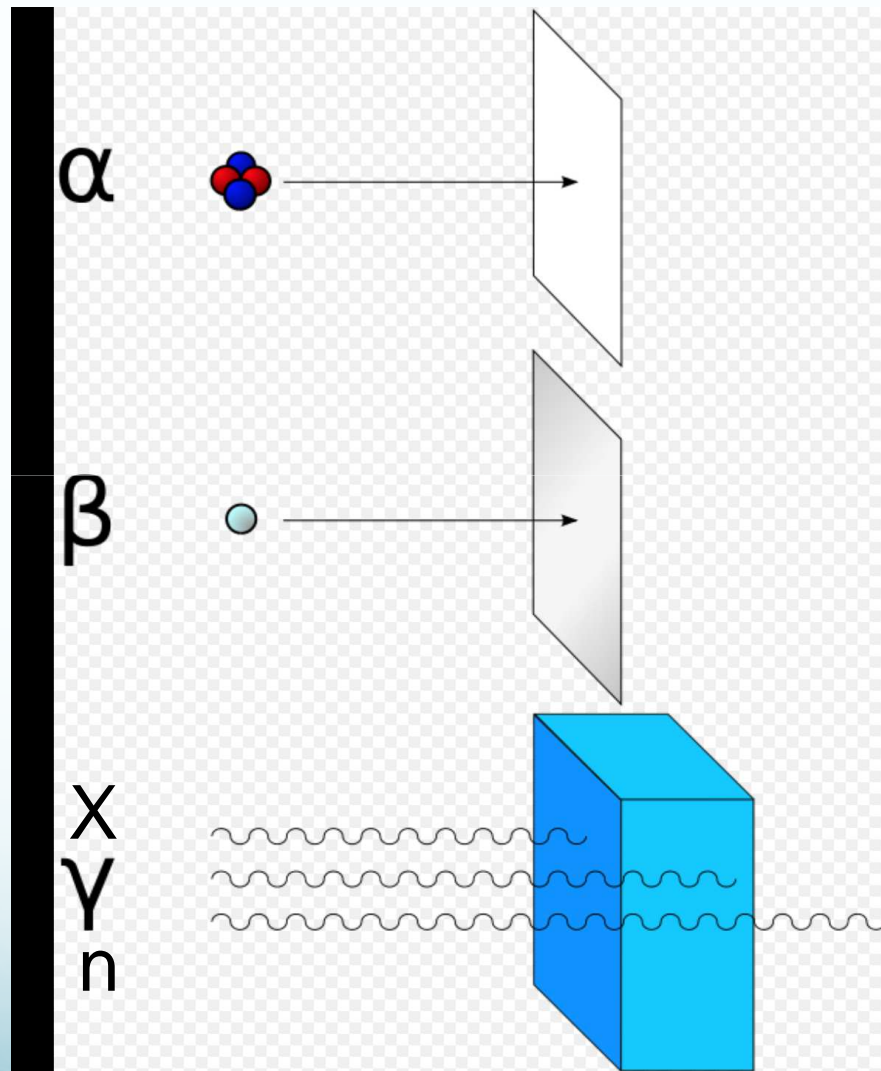
Radionucléide	Période Radioactive	Période Biologique	Période Effective
^3H	12,3 ans	10 jours	10 jours
^{14}C	5600 ans	10 jours	10 jours
^{32}P	14,3 jours	257 jours	13,5 jours
^{131}I	8,1 jours	138 jours	7,6 jours
^{137}Cs	30 ans	70 jours	70 jours
^{239}Pu	24400 ans	178 ans	177 ans
^{241}Am	465 ans	55 ans	49,3 ans

Remarque: Plus la période T_r ou T_b est petite, plus la période T_{eff} en est voisine

Types de rayonnements émis

- α Alphas = noyaux d'Hélium ionisés
- β Bêtas = électrons, (négatifs ou positifs)
- γ Gammas = rayonnement électromagnétique provenant du noyau
- X = rayons X provenant du cortège électronique
- n = neutrons, produits par la fission de l'Uranium par ex
- p = protons dans certaines réactions nucléaires
- Artificiellement on peut accélérer et produire d'autres particules dans des installations génératrices de RI

Pénétration dans la matière



α arrêtés par
feuille de papier

β arrêtés par
2mm Al ou
8mm Plexiglass

γ Et X, atténués par qq
cm de pb

Neutrons atténués par
qq m de béton ou mat.
hydrogénées

Multiples

- kilo k x 1000 = 10^3
- méga M x 1 000 000 = 10^6
- giga G x 1 000 000 000 = 10^9
- téraT = 10^{12}
- péta P = 10^{15}
- exa E = 10^{18}

Sous multiples

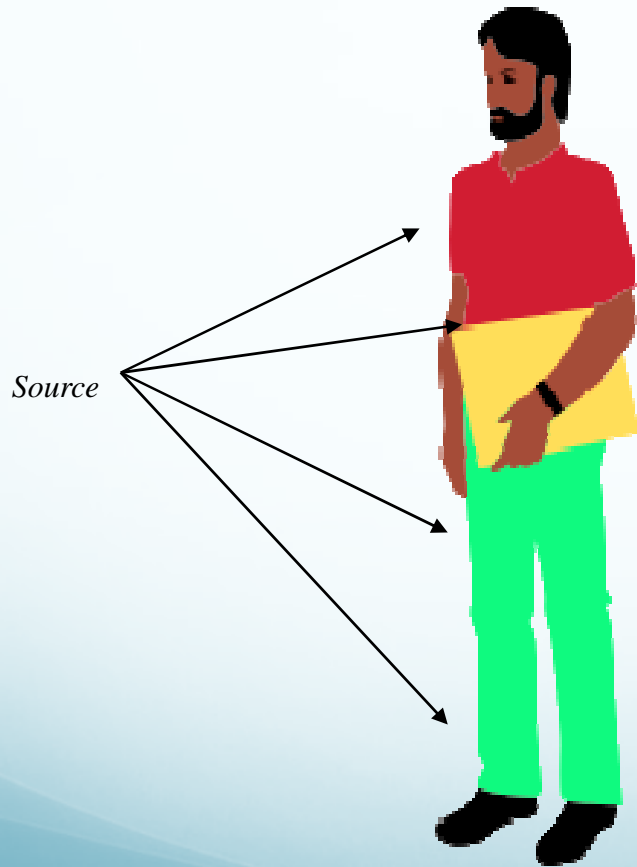
- milli m $1/1000 = 10^{-3}$
- micro μ $1/1\ 000\ 000 = 10^{-6}$
- nano n $1/1\ 000\ 000\ 000 = 10^{-9}$
- pico p $= 10^{-12}$
- femto f $= 10^{-15}$
- ato a $= 10^{-18}$

- Les doses sont souvent en mSv, micro sievert (μ Sv) et nano sievert (nSv)

Les modes d'exposition

- Ces rayonnements différents animés d'une certaine énergie plus ou moins grande peuvent atteindre l'organisme, globalement ou partiellement, de l'extérieur , c'est :
- **L'exposition externe** ou irradiation
- ou de l'intérieur si certains radionucléides ont réussi à pénétrer à l'intérieur de l'organisme (voie cutanée, inhalation ou ingestion) par suite de la contamination externe des surfaces, de l'air ou des aliments. C'est alors :
- **L'exposition interne**
- **L'exposition totale est la somme des deux**

Exposition externe



- La source est située à l'extérieur de l'organisme*. On peut s'en protéger par des écrans ou par l'éloignement.

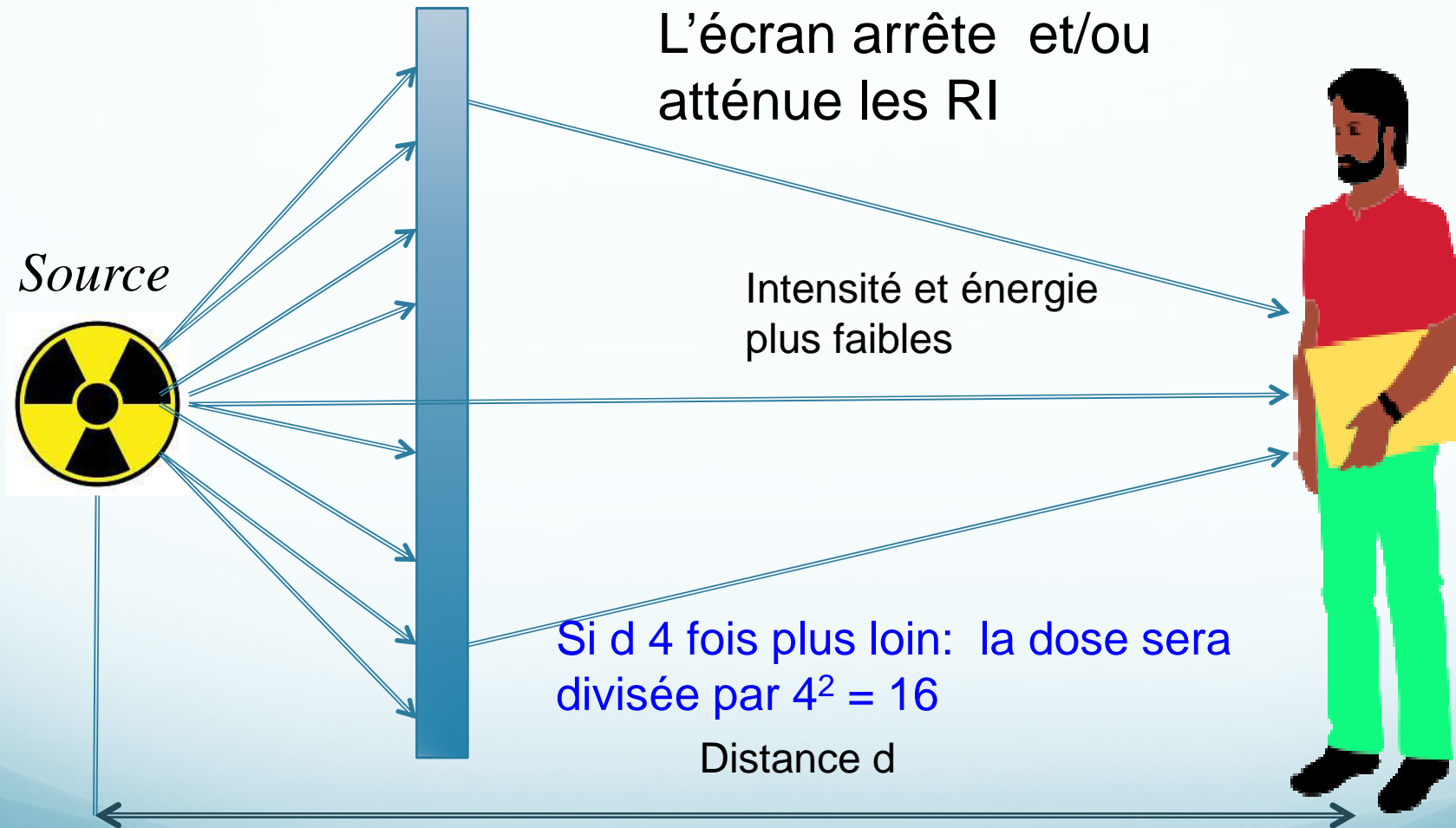
L'effet instantané cesse avec la fin de l'exposition . Il peut y avoir des conséquences à court ou moyen terme. On est pas radioactif soi-même

(*ou au contact externe pour SS)

Moyens de protection en cas d'exposition externe

- Les 3 paramètres fondamentaux : **T D E**
- **Temps** : Proportionnalité simple
- **Distance** : intensité inversement \propto au carré de la distance .
Si la distance est multipliée par 2, le débit de dose est divisé par $2^2 = 4$
- **Ecrans** : de z faible pour les β (plexi,Al), élevé pour X et γ (Pb,U), riches en hydrogène pour les neutrons (eau, béton, paraffine)

Exposition externe

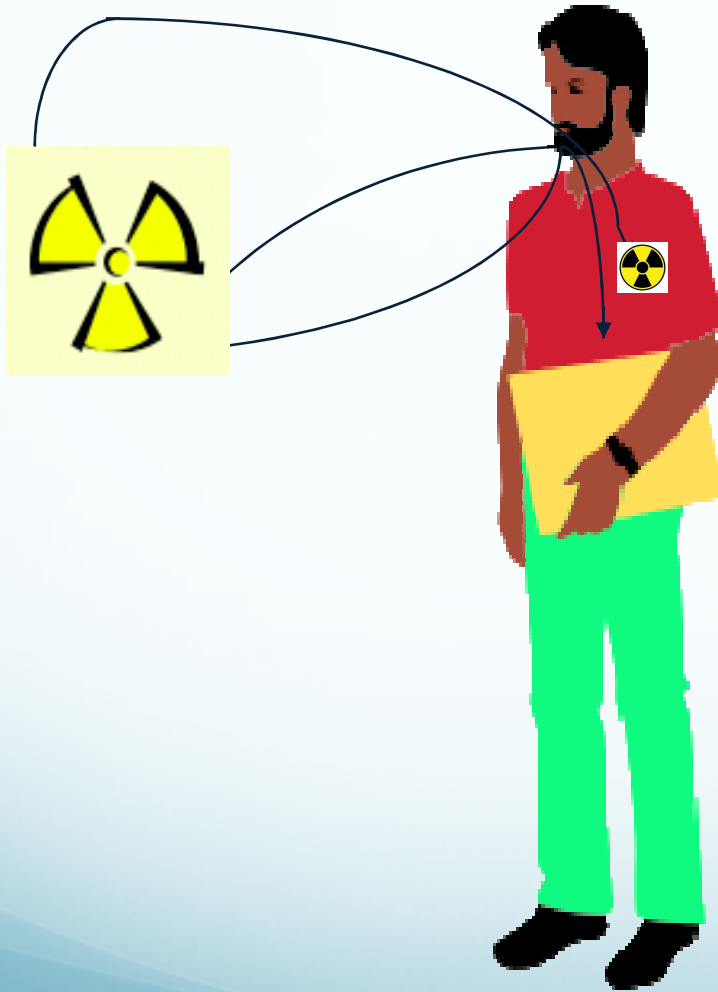


Protection par les écrans

Cas des rayonnements électromagnétiques: photons

Radionucléide	Plomb		Fer		Béton	
	Epaisseur moitié (cm)	Epaisseur dixième (cm)	Epaisseur moitié (cm)	Epaisseur dixième (cm)	Epaisseur moitié (cm)	Epaisseur dixième (cm)
137Cs	0,65	2,2	1,6	5,4	4,9	16,3
60Co	1,1	4,0	2,0	6,7	6,3	20,3

Exposition interne



- C'est la **conséquence** d'une **incorporation de radionucléide dans l'organisme** par suite d'une contamination de l'air, des surfaces et vêtements de travail ou de la peau. **L'élimination ne dépend que de la période effective dans les organes cibles.**

La contamination radioactive

- C'est la présence indésirable de substance(s) radioactive(s) :
- - sur les **surfaces des locaux**, murs , **sols**, plafonds, **surfaces de travail**, matériels, mobiliers, ustensiles
- - sur les **vêtements de travail** et de protection
- - sur la **peau**
- - dans des milieux comme **l'air, l'eau, les aliments**, le sol, la faune, la flore...

Modes d'incorporation

- On distingue trois voies :
- **Inhalation** : contamin. atmosphérique et surfacique
- **Ingestion** : contamin. surfacique , aliments,
- **Cutanée**: contamin. surfacique et blessures, substances chimiques dont la présentation permet un passage à travers la peau sans qu'il y ait blessure : voie percutanée)

Définitions des contaminations

- La contamination est souvent le résultat d'une manipulation sans précaution de SNS, d'une mauvaise pratique, d'une absence d'étude du poste de travail, ou d'un incident ou accident sur une source scellée ou une installation industrielle.
- On distingue:
 - - la contamination surfacique en Bq/m^2
 - - la contamination atmosphérique ou volumique en Bq/m^3
 - - la contamination corporelle en Bq/cm^2

La contamination atmosphérique

- La contamination atmosphérique de l'air conduit à une **exposition interne** par la **voie de l'inhalation**.
- Elle est souvent la conséquence d'une contamination surfacique labile ou de dépôts (vent, pluie) lors d'accidents d'installations industrielles.
- Sa concentration doit être mesurée ou estimée (en Bq.m⁻³)
- Pour certains gaz et vapeurs , **il faut tenir compte de l'exposition externe par immersion dans le nuage**.

La contamination corporelle

- elle peut être **externe** ou **interne**
- La contamination **externe** entraîne une **exposition externe de la peau** et éventuellement une incorporation de radionucléide à l'intérieur de l'organisme (voie percutanée* et voie orale). Elle est permanente tant qu'elle n'est pas décelée.
- Il existe des moyens de décontamination : lavage doux avec savons, solvants appropriés...
- attention : eau tritiée, iodes, solvants chim. du sebumpeau.
- **Protection** : gants, blouse, tenue étanche, lunettes, charlotte ou chapeau

Contamination corporelle interne

- C'est l'incorporation de substances radioactives à l'intérieur du corps, engendrant une exposition interne permanente des différents tissus et compartiments. Elle décroît selon le métabolisme de l'organisme vis à vis de la présentation physico chimique du radionucléide et de sa période radioactive.
- Les moyens de décontamination restent limités: augmentation du cycle de l'eau, chélateurs ...
- Protection : masque, tenue étanche vinyle ou alimentée en air en surpression

Comment quantifier et mesurer ces RI?

- Très tôt on s'est aperçu des effets nocifs des RI.
- Travailleuses de l'industrie horlogère, extraction de la pechblende, utilisation des rayons X, utilisation militaire et industrielle ...
- Il a donc fallu développer des grandeurs de radioprotection et des détecteurs capables de les mesurer, plus élaborés que l'observation des seuls premiers symptômes délétères.
- **C'est la notion de dose, une grandeur physique qui devra s'appliquer également aux effets sur l'homme**

Notion de dose absorbée

- La grandeur physique est le gray (Gy) qui caractérise l'énergie cédée E (J) par les RI à une masse de matière m (kg)
- $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
- C'est une notion très générale définie sans aucune hypothèse sur les caractéristiques des rayonnements ou de la matière envisagée.

Notion de dose équivalente dose efficace

- Or on s'est aperçu qu'une même dose absorbée D en GRAY avait **des effets différents sur la matière vivante**, selon le type de rayonnement et son retentissement sur l'organisme en fonction du type de tissu exposé aux RI
- On a donc défini deux nouvelles grandeurs évaluées en SIEVERT (Sv) :
- **la dose équivalente notée H** qui prend en compte la qualité du rayonnement
- **La dose efficace E** qui tient compte des conséquences **sur la santé globale en fonction du tissu exposé**

Dose équivalente et efficace

- On définira la dose équivalente H_T à un tissu comme le produit de la dose absorbée D_T par un facteur de **pondération radiologique** W_R tenant compte de la caractéristique du rayonnement considéré :
- $H_T = D_T \times W_R$
- Et pour tenir compte du type de tissu on multipliera cette dose équivalente par un autre facteur de **pondération tissulaire** W_T caractérisant la radiosensibilité de ce tissu: ce sera la dose efficace
- $E = \text{somme des } (H_T \times W_T)$

Grandeurs de radioprotection

Dose absorbée: (D) elle traduit la cession d'énergie à la matière. Unité le gray. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$

Dose équivalente: (H) C'est le produit de la dose D par un facteur de pondération radiologique W_R évaluée en sievert (Sv) = dose partielle à 1 ou plus. tissus

Dose efficace: (E) C'est le produit de la dose équivalente H par un facteur de pondération tissulaire W_T qui traduit la vulnérabilité d'un tissu particulier. Evaluée en Sv également.
Traduit le retentissement sur l'organisme entier.

Facteur de pondération radiologique CIPR 60

Rayonnements (R)	Valeur de W_R
Photons	1
Electrons et muons	1
Neutrons, $E < 10$ keV	5 (!CIPR 103)
Neutrons, $10 \leq E \leq 100$ keV	10 (!)
Neutrons, 100 keV $< E \leq 2$ MeV	20 (!)
Neutrons, 2 MeV $< E \leq 20$ MeV	10 (!)
Neutrons, $E > 20$ MeV	5 (!)
Protons (autres que protons de recul), énergie > 2 MeV	5 (2 CIPR 103)
Particules alpha, produits de fission, noyaux lourds.	20

Facteurs de pondération tissulaire

Tissu ou organe (T)	Valeur de W_T
Gonades	0.20 (0,08)*
Moelle rouge	0.12
Colon	0.12
Poumons	0.12
Estomac	0.12
Vessie	0.05 (0,04)
Poitrine	0.05 (sein 0,12)
Foie	0.05 (0,04)
Œsophage	0.05 (0,04)
Thyroïde	0.05 (0,04)
Peau	0.01
Surface des os	0.01
Reste	0.05

* Nelles. Valeurs
de la CIPR 103
en bleu

Exemple

Délivrer une dose de 10 mGy de gammas sur la thyroïde

- Dose équivalente $H_{\text{thyr.}} = 10 \times W_{R\gamma} = 10 \times 1 = 10 \text{ mSv}$

- Avec des neutrons de 100keV/2MeV on aurait :

- $H_{\text{thyr.}} = 10 \times W_{R \text{ neutr}} = 10 \times 20 = 200 \text{ mSv}$

- Dose efficace E_1 dans le cas 1 :

- $E_1 = 10 \times W_T \text{ thyr} = 10 \times 0,04 = 0,4 \text{ mSv}$

- Dans le cas 2 : $E_2 = 200 \times 0,04 = 8 \text{ mSv}$

retentissement
sur l'organisme
entier

Nouvelles limites max dans la directive Euratom 2013/59

Type de dose catégorie	Equivalente peau extrémités	Equivalente cristallin	Efficace
Public	50	15	1
Etudiants 16/18	150	15	6
Trav. Cat B	150	15	6
Femmes enceintes			<1mSv pour l'enfant
Trav. Cat A	500	>15 et ≤ 20	20

Les 3 principes de radioprotection

- Les valeurs limites précédentes ne prennent pas en compte l'exposition naturelle ni médicale.
- Seul cas d'un risque, où la philosophie des principes implique de ne pas atteindre les valeurs limites fixées réglementairement.
- Ce n'est pas le cas du risque chimique.
- Obligation de déclaration d'incidents même si la limite de dose n'a pas été atteinte.
- Inscription de ces principes dans le C. du travail et le C. de la santé publique

Principes de radioprotection

Une philosophie

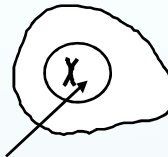
- **Justification** : toute pratique doit apporter un avantage suffisant par rapport au détriment
- **Optimisation** : maintenir l'exposition au niveau le plus bas que raisonnablement possible. Principe ALARA
- **Limitation** : Maintenir strictement toute exposition en dessous des valeurs limites réglementaires

Effets Biologiques

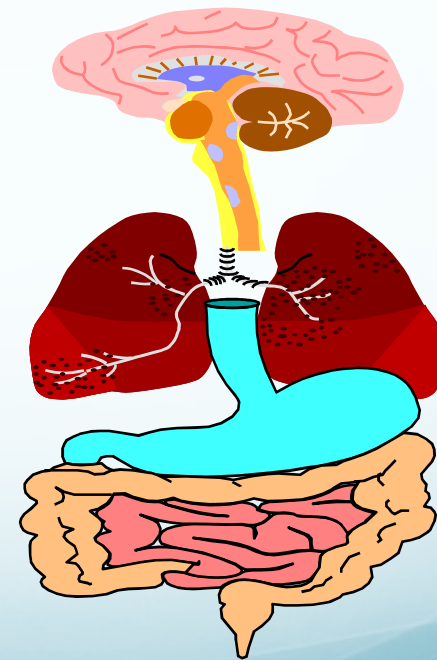
LA RADIOBIOLOGIE

Le corps humain est composé:

- D'atomes: Hydrogène, Oxygène, Carbone, Azote....
- 60 à 70 % H₂O
- De cellules: 10¹² Cellules / Kg
- D'ADN: 30000 Gènes
- De tissus
- D'organes
- De systèmes:
Circulatoire, Digestif, Respiratoire...



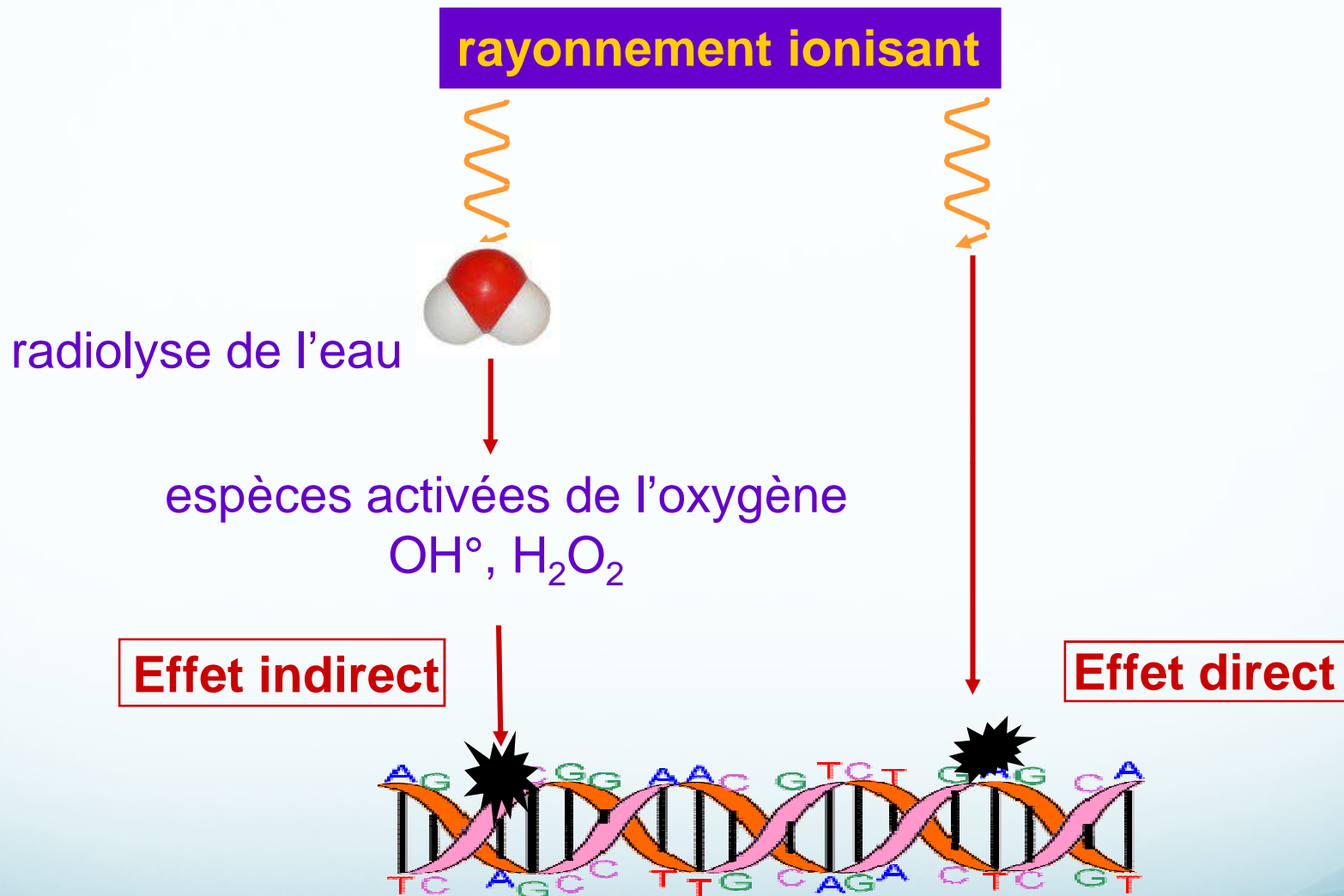
noyau



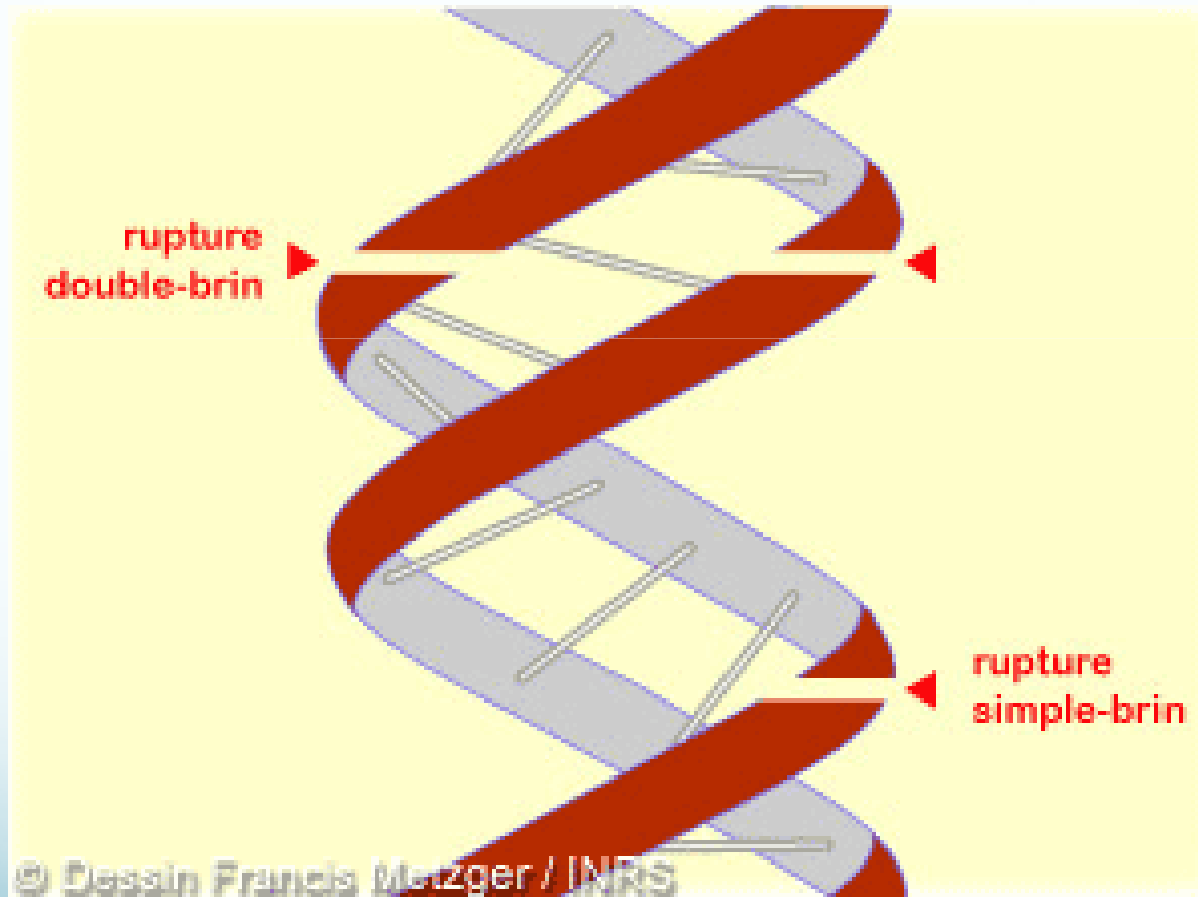
Origine des effets biologiques des RI

- Phénomènes élémentaires
 - Interactions physiques (qqpicosec) cassure de l'ADN
 - Réactions radiochimiques= poisons cellulaires
 - ex: radiolyse de l'eau d'imbibition
 - deux radicaux libres $\text{OH}^\circ \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
 - c'est de l'eau oxygénée, oxydant puissant qui fait exploser la cellule
 - Atteintes moléculaires

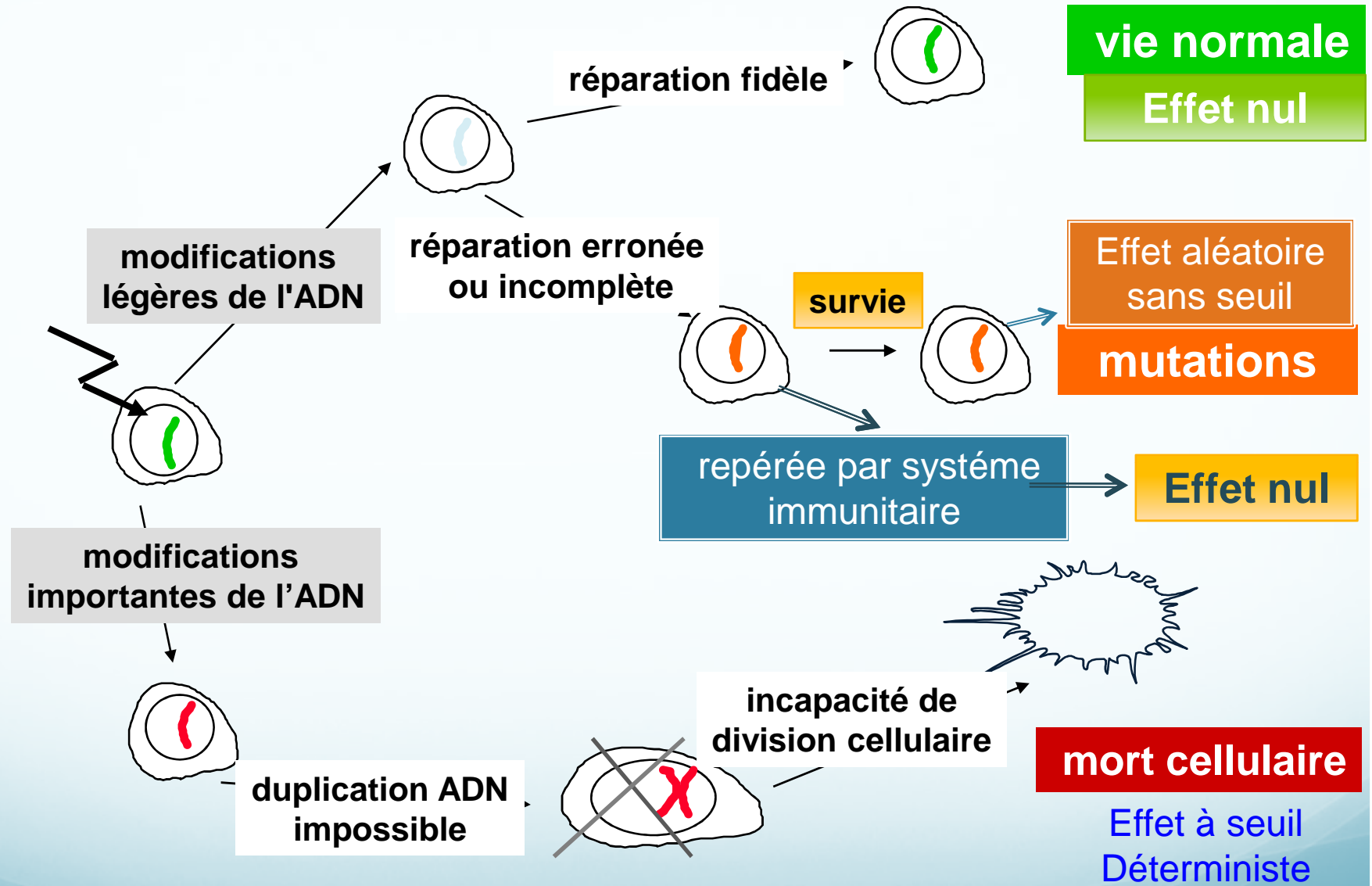
LA RADIOBIOLOGIE



Altérations possibles de l'ADN



LA RADIOBIOLOGIE



Conséquences tissulaires

- Dépendent de la cinétique cellulaire et du schéma d'organisation des tissus
- 2 facteurs ont un rôle essentiel
 - Durée de vie des cellules
 - différenciation

RENOUVELLEMENT CELLULAIRE

Cellules	Durée de vie	Pertes/ production
musculaire	Celle de l'individu	Quelques centaines/jour
sanguines	hématies	250 milliards/jour
Globules blancs	24h	15 milliards
intestinales	4 jours	100 milliards/jour
épithéliales	3 à 4 semaines	1,5 g/jour

La radiosensibilité d'un tissu est :

(Loi de Bergonie et Tribondeau 1906)

- Proportionnelle à sa **capacité de multiplication**
- Inversement proportionnelle à son **degré de différenciation**

Le tissu embryonnaire est donc très sensible aux RI !

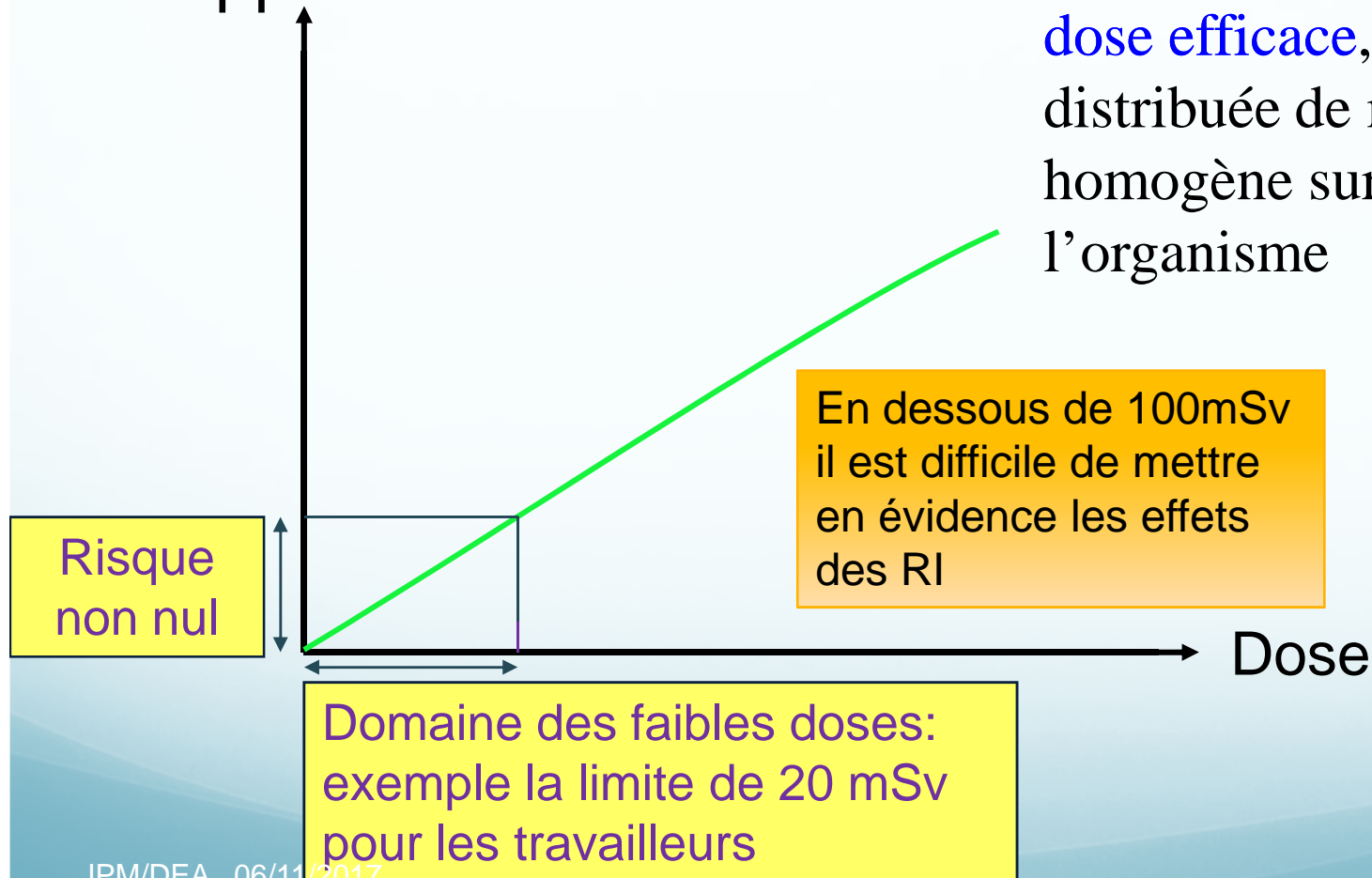
Effets biologiques

- Ils sont de deux types
- **Aléatoires**: cancers, leucémies, effets génétiques
- La probabilité d'apparition augmente avec la dose et le débit de dose, mais pas la gravité
- Temps de latence élevé 10 à 20 ans(sauf thyroïde j.)
- La relation est supposée linéaire et sans seuil, c'est une hypothèse majorante du risque

Effets Biologiques aléatoires

Probabilité d'apparition

On les mesure en terme de **dose efficace**, censée être distribuée de manière homogène sur l'ensemble de l'organisme



Facteur d'excès de risque

- l'hypothèse d'une relation linéaire entre la dose et l'effet estimé en termes de risque de survenue d'un cancer sur la vie entière conduit à retenir un excès de risque de :
- 0,5% de mortalité par cancer solide sur la durée de vie moyenne pour une exposition additionnelle de 100 mSv.
- 1 mSv entraînerait 5 excès de cancer pour 100.000 personnes exposées
- Il y a près de 385.000 nouveaux cas de cancers en France par année et 149.500 décès par cancer sur 587.000 décès /an.
- Un excès de risque de 1% sur la durée de vie équivaut à 1 cas supplémentaire pour 100 personnes exposées.

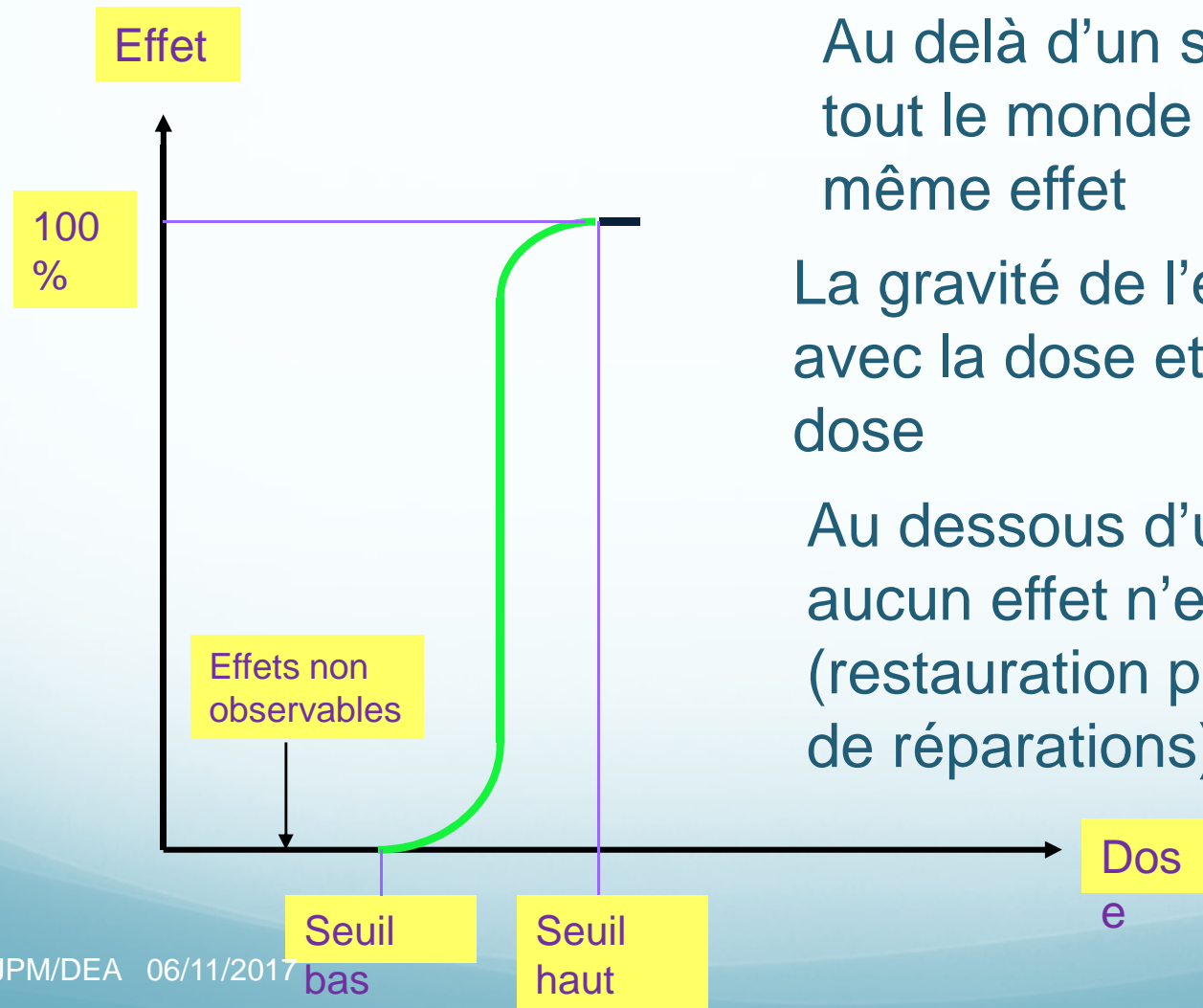
NOMBRES DE DECES PAR CANCER, OBSERVES ET ATTENDUS (Hiroshima et Nagasaki, 1950-1990)

Dose au colon (Gy)	Nombre de sujets	Nombre de décès	
		Pop. exposée	Pop. témoin
0 (< 0.005)	36 459	3 013	3 055
0.005 - 0.1	32 849	2 795	2 710
0.1 - 0.2	5 467	504	486
0.2 - 0.5	6 308	632	555
0.5 - 1.0	3 202	336	263
1.0 - 2.0	1 608	215	131
> 2.0	679	83	44
	86 572	7 578	7 244

Effets biologiques

- **Effets déterministes non aléatoires**
- erythèmes(6 Gy en une seule fois, perte de la fertilité, des cheveux, cataracte, atteinte des globules rouges et blancs plaquettes...
- **Ils sont réversibles**, d'apparition **plutôt précoce**
- **Leur gravité croît avec la dose et le débit de dose**
- **Il existe un seuil** ,variable (possibilité de prévention)
- Pour une même dose tout le monde présente les mêmes symptômes. On les mesure en dose équivalente.

Effets biologiques non aléatoires



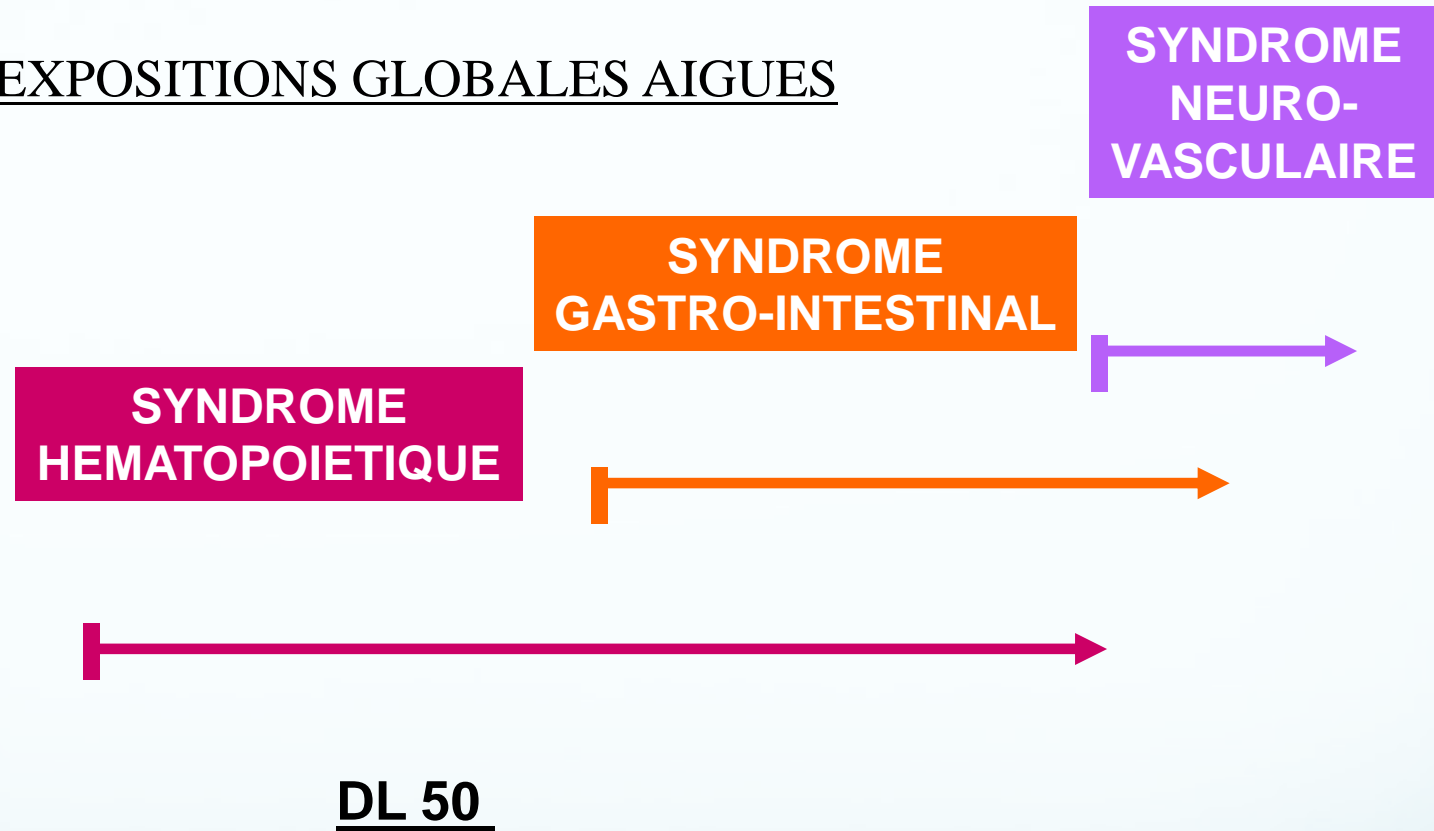
Au delà d'un seuil haut, tout le monde présente le même effet

La gravité de l'effet s'accroît avec la dose et le débit de dose

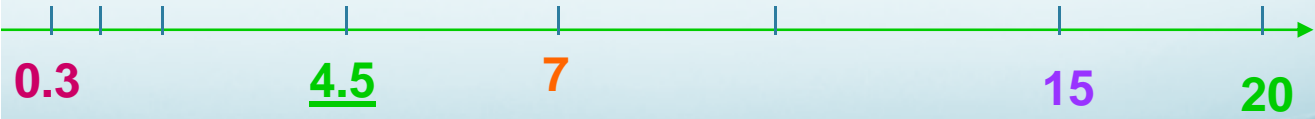
Au dessous d'un seuil bas aucun effet n'est observable (restauration par le système de réparations)

EFFETS DETERMINISTES

EXPOSITIONS GLOBALES AIGUES

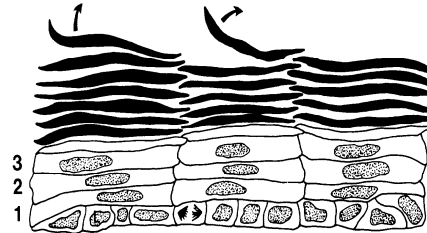


**DOSE
(Gy)**



EFFETS DETERMINISTES

SEUILS POUR LES EXPOSITIONS LOCALISEES



PEAU	Exposition Aigüe (Gy)
Fragilisation, atrophie	1
Erythème (rougeur)	3 à 6
Phlyctène (cloque)	4 à 8
Epilation provisoire	>5
Epilation définitive	15

EFFETS DETERMINISTES

Les yeux: Le cristallin est la partie la plus sensible

Œil	Dose seuil (Gy)
Opacité détectable	1 - 2
Gêne de la vision	10
Cataracte chez 100% des sujets	16

Les organes sexuels

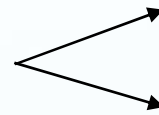
Organes sexuels	Dose seuil (Gy)	
	Homme	Femme
Stérilité provisoire	0,3	3
Stérilité définitive	5	7

EFFETS TERATOGENES

Exposition

0-9 j

avant nidification

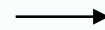


avortement inaperçu

**développement
sans malformations**

10j - 2ème mois

***mise en place
des organes***



malformations

2ème - 4ème mois

***mise en place
du système nerveux***



maldéveloppements

Tableau n°6 Affections provoquées par les R.I

DÉSIGNATION DES MALADIES	DÉLAI de prise en charge.	LISTE INDICATIVE DES PRINCIPAUX travaux susceptibles de provoquer ces affections.
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë.	30 jours.	Tous travaux exposant à l'action des rayons X ou des substances radioactives naturelles ou artificielles, ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment :
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique.	1 an.	Extraction et traitement des minerais radioactifs ; Préparation des substances radioactives ;
Blépharite ou conjonctivite.	7 jours.	Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs ;
Kératite	1 an.	Préparation et application de produits luminescents radifères ;
Cataracte	10 ans.	Recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires ;
Radiodermites aiguës.....	60 jours.	Fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X ;
Radiodermites chroniques.	10 ans.	Travaux exposant les travailleurs au rayonnement
Radio-épithélite aiguë des muqueuses.	60 jours.	
Radiolésions chroniques des muqueuses.	5 ans.	
Radionécrose osseuse.....	30 ans.	

bopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë.	
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique.	1 an.
Blépharite ou conjonctivite.	7 jours.
Kératite	1 an.
Cataracte	10 ans.
Radiodermites aiguës.....	60 jours.
Radiodermites chroniques.	10 ans.
Radio-épithélite aiguë des muqueuses.	60 jours.
Radiolésions chroniques des muqueuses.	5 ans.
Radionécrose osseuse.....	30 ans.
Leucémies	30 ans.
Cancer broncho-pulmonaire primitif par inhalation.	30 ans.
Sarcome osseux.....	50 ans.

l'action des rayons X ou des substances radioactives naturelles ou artificielles, ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment :

Extraction et traitement des minerais radioactifs ;
Préparation des substances radioactives ;
Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs ;
Préparation et application de produits luminescents radifères ;
Recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires ;
Fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X ;
Travaux exposant les travailleurs au rayonnement dans les hôpitaux, les sanatoriums, les cliniques, les dispensaires, les cabinets médicaux, les cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anticancéreux ;
Travaux dans toutes les industries ou commerces utilisant les rayons X, les substances radioactives, les substances ou dispositifs émettant les rayonnements indiqués ci-dessus.

Effets biologiques/thyroïde

- Aucune étude n'a montré, en France, de variation de l'augmentation des cancers de la thyroïde après l'accident de Tchernobyl en 1986.
- L'augmentation apparente de l'incidence de ces pathologies est constatée depuis 1976, soit bien avant Tchernobyl, et dans des régions comme les Etats-Unis qui ont été épargnées par le nuage.
- Elle est sans doute liée à l'amélioration des techniques diagnostiques et à l'attention accrue de dépistage des médecins généralistes ainsi qu'à d'autres facteurs non encore identifiés (alimentation, pollution ...)

Exposition moyenne de l'homme

Les doses liées à l'ensemble des expositions présentées dans cet exposé sont qualifiées de « faibles doses » et sont donc associées seulement à des effets stochastiques potentiels

Naturelle

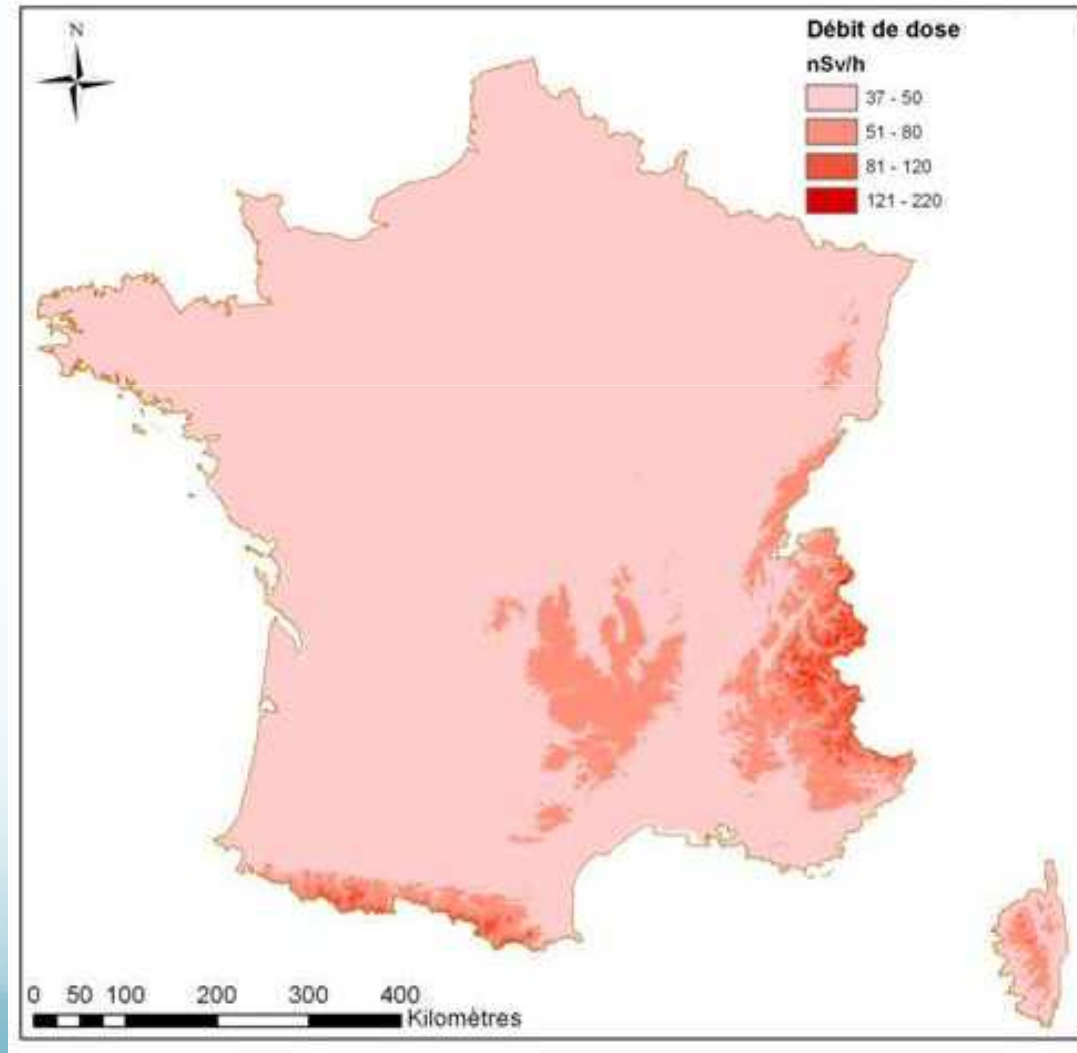
- Cosmique externe et interne
- Tellurique externe et interne cas du radon 222
- eau et aliments
- Médicale radiodiagnostic (hors radiothérapie)
- Industrielle et retombée essais militaires

Rayonnement cosmique

- rayonnement isotrope de très grande énergie, constitué de particules et de photons provoquant sur les premières couches de l'atmosphère des particules et photons secondaires.
- Il provient de la galaxie. Il croît avec l'altitude (facteur 2 tous les 1500m) et décroît avec la latitude.
- 1500m : 0,66 mSv à lat. 50° et 0,4mSv à l'équateur
- 3000m : 1,28 mSv et 0,9mSv
- Valeur moyenne en France : 0,32 mSv (var:0,3/1,68)

Débit de dose/altitude

Document Bilan
exposition
IRSN/2015



Dose trajets avion

- Du fait de l'altitude 9 000 à 12 000m, les trajets en avion induisent des doses, faibles mais à prendre en compte pour les personnels navigants soumis à une exposition professionnelle (dose moyenne de 2 mSv/an)
- Paris-Nice 0,003 mSv Paris-New-York 0,04mSv
- Paris-Berlin 0,004mSv Paris-Tokyo 0,06 mSv
- 8 A/R au Japon \longrightarrow 1 mSv (dose public)
- Dose moy. de 0,55mSv/an pour les voyageurs fréquents 10 à 30 vols par an rappelons que le radon c'est 1,4 mSv

Radioactivité naturelle cosmique induite par réactions

Elle est liée à la formation de **cosmonucléides** comme

${}^3\text{H}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^{22}\text{Na}$, due à l'action des rayonnements de grande énergie provenant du soleil et des étoiles sur les premières couches de la troposphère

Ces RN contribuent à la dose par incorporation et se rajoutent aux RN naturels U, TH, K, Rb

Origines de la radioactivité

Naturelle fossile

Elle est liée à la présence d'éléments radioactifs à période très longue qui ont subsisté depuis leur naissance stellaire

- ^{238}U 4,5 milliards d'années
- ^{232}Th 14 milliards d'années
- ^{40}K 1,3 milliard d'années

et ^{87}Rb dans une moindre mesure

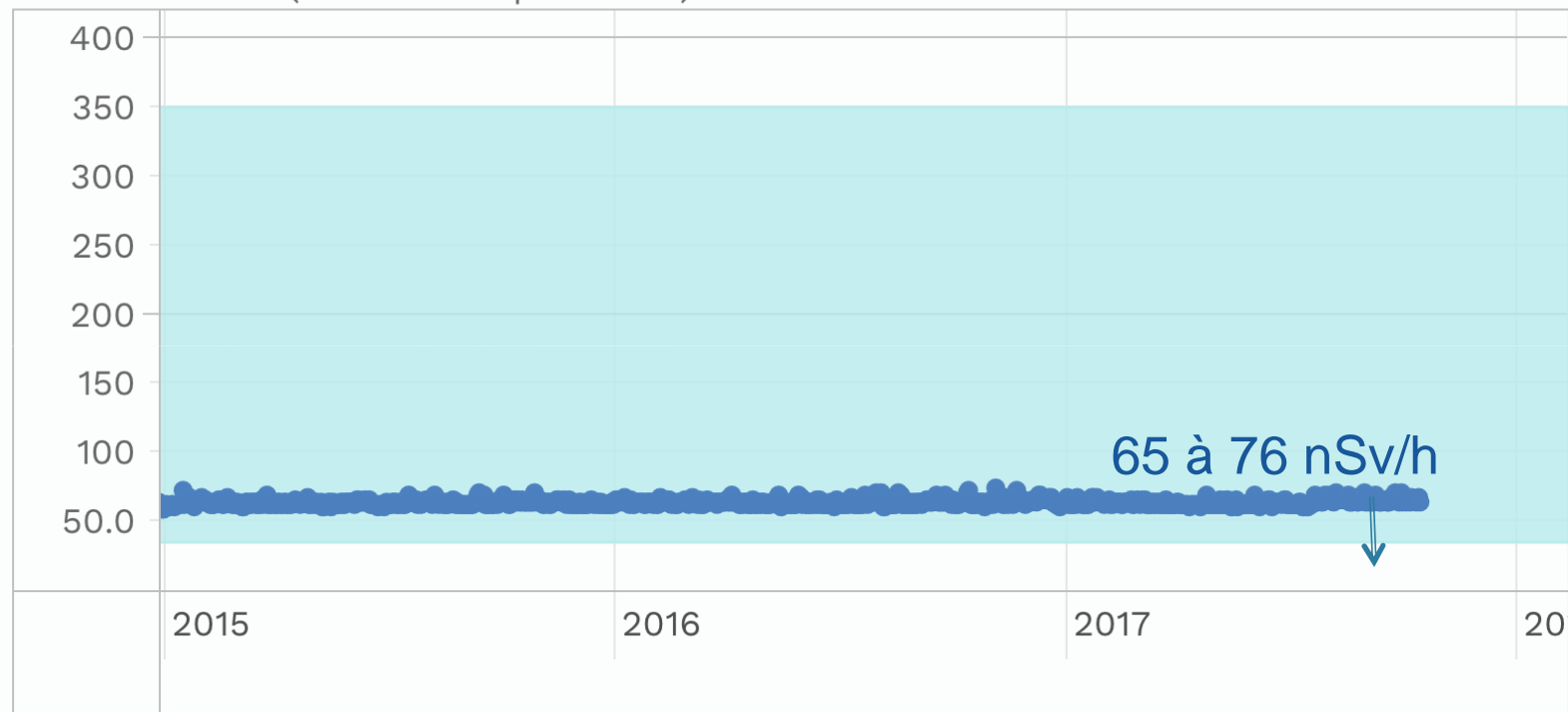
Activité moyenne de la croûte terrestre: 1800Bq/kg

Exposition Tellurique

- Ces radionucléides dits « primordiaux » constituent des familles radioactives: les chaînes de l'U 235, 238 et du Th 232 sont à l'origine d'une exposition externe, différente selon les régions, il faut y ajouter la contribution du K40 et du Rb87, le total variant de:
 - 0,29 mSv à 2 mSv/an
 - Moyenne pour la population en France : 0,62 mSv
 - Région de Kerala (Indes): 30 mSv/an

Débit de dose moyen à sathonay camp

Dose ambiante (nanosievert par heure)



70 nSv/h \longrightarrow 0,6 mSv/an

L'homme est radioactif

Outre les **4600Bq de ^{40}K** dans le corps humain dûs aux 145 g de Knat. qui contient 0,012% de ^{40}K radioactif, il y a aussi 12 kg de carbone dont la proportion en ^{14}C est de 260 Bq/kg de carbone

- Activité : $12 \cdot 260 = \mathbf{3200 \text{ Bq de } ^{14}\text{C}}$ soit $16\mu\text{Sv/an}$
- **Au total avec d'autres radionucléides Rb87 et H3 c'est env 10.000Bq pour un homme de 75 kg**
- Avec le ^{40}K , la dose annuelle délivrée = 0, 19mSv
- Cette dose est identique pour un enfant de 25 kg, avec seulement 1607 Bq de ^{40}K (J/kg)
- **c'est le DARI :Dose Annuelle de Rayonnement Interne**

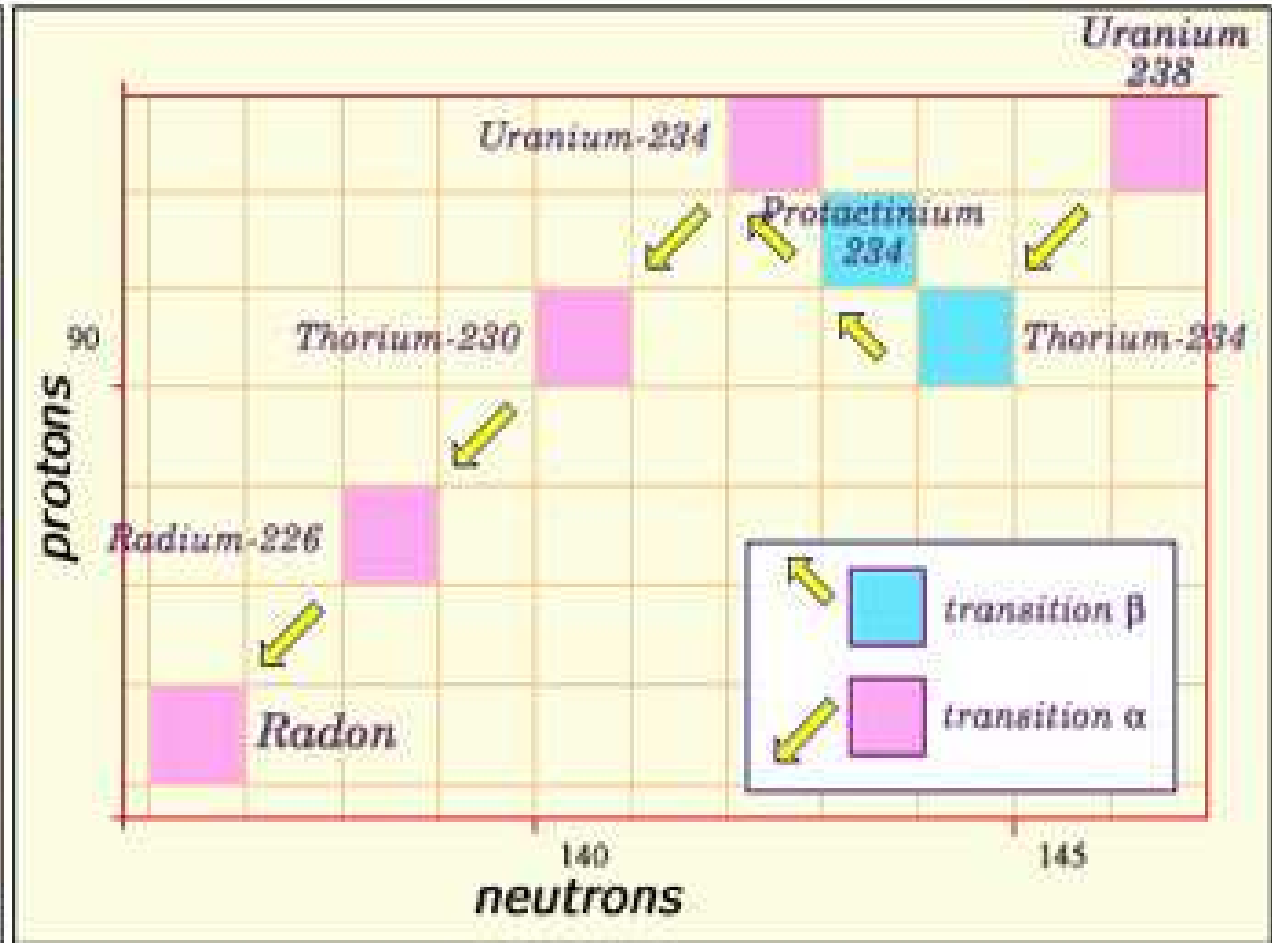
Exposition par incorporation de radionucléides

- Les denrées alimentaires et les eaux de boisson contiennent donc naturellement les radionucléides cités précédemment d'orig. tellurique ou cosmogéniques
- Cosmos : 0,2 mSv^{40K} : 0,18 mSv
- Descendants des chaînes U et Th : 0,32 mSv à 2,32 mSv)
- la variabilité est due à la conso de poissons/fruits de mer 0,13 à 2,13
- Tabac de 0 à 0,3 mSv (gros fumeur)
- eau : 0,01 à 0,03 mSv/an
- Moyenne de 0,55 mSv/an

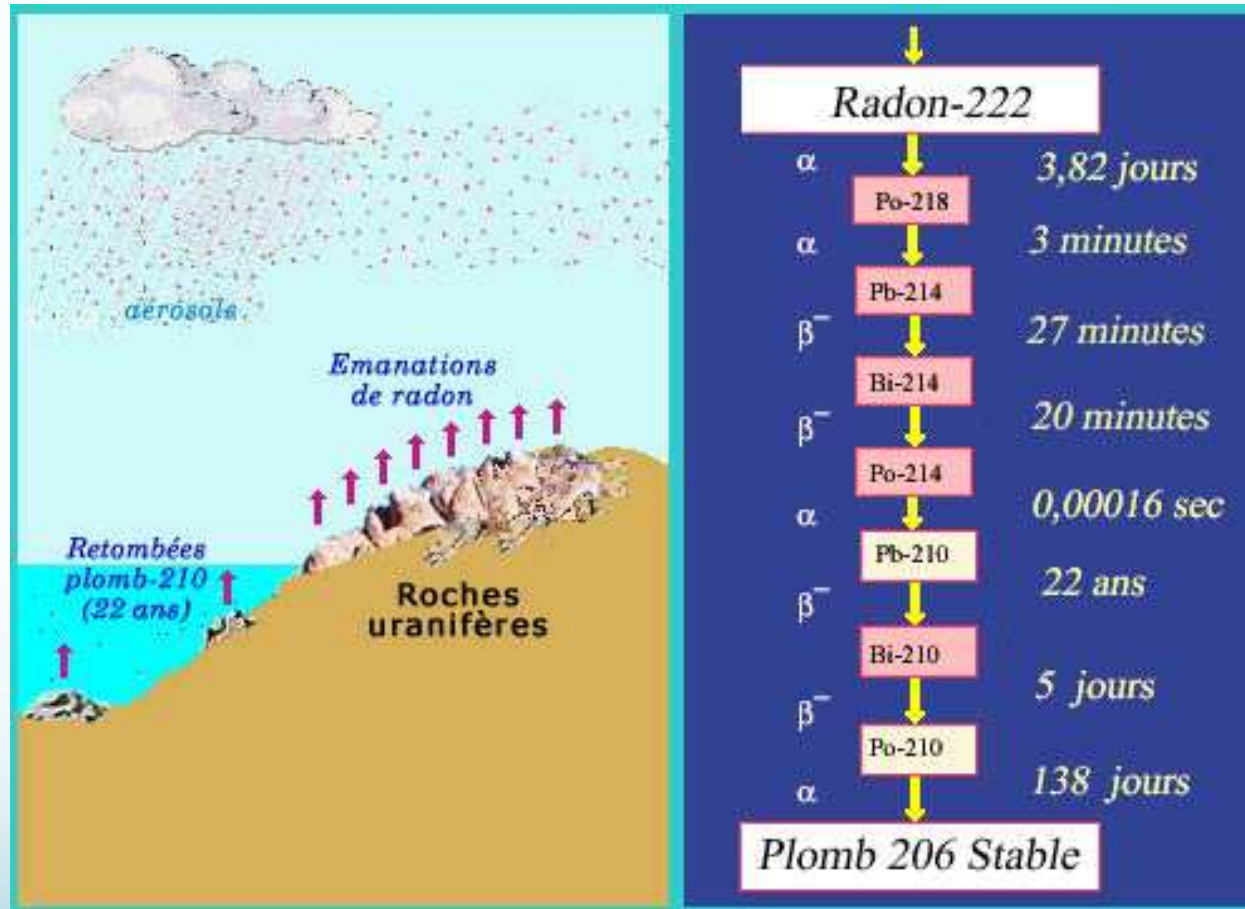
Exposition au radon

- Le radon ^{222}Rn est un gaz radioactif issu de la chaîne de l'U238 dont l'activité dépend de la teneur des sols.
- Ce sont ses **descendant solides** émetteurs alpha et bêta à vie courte qui sont principalement responsables de la dose lorsqu'ils sont inhalés et irradient en profondeur les bronchioles du poumon.
- Il émane du sol et se concentre dans les bâtiments..
- La ventilation et l'étanchéisation des locaux permettent de diminuer les concentrations. Une réglementation spécifique implique des mesures et des dispositions en cas de dépassement de valeurs entre 400 et 1000 Bq/m³.

Chaîne uranium/radon



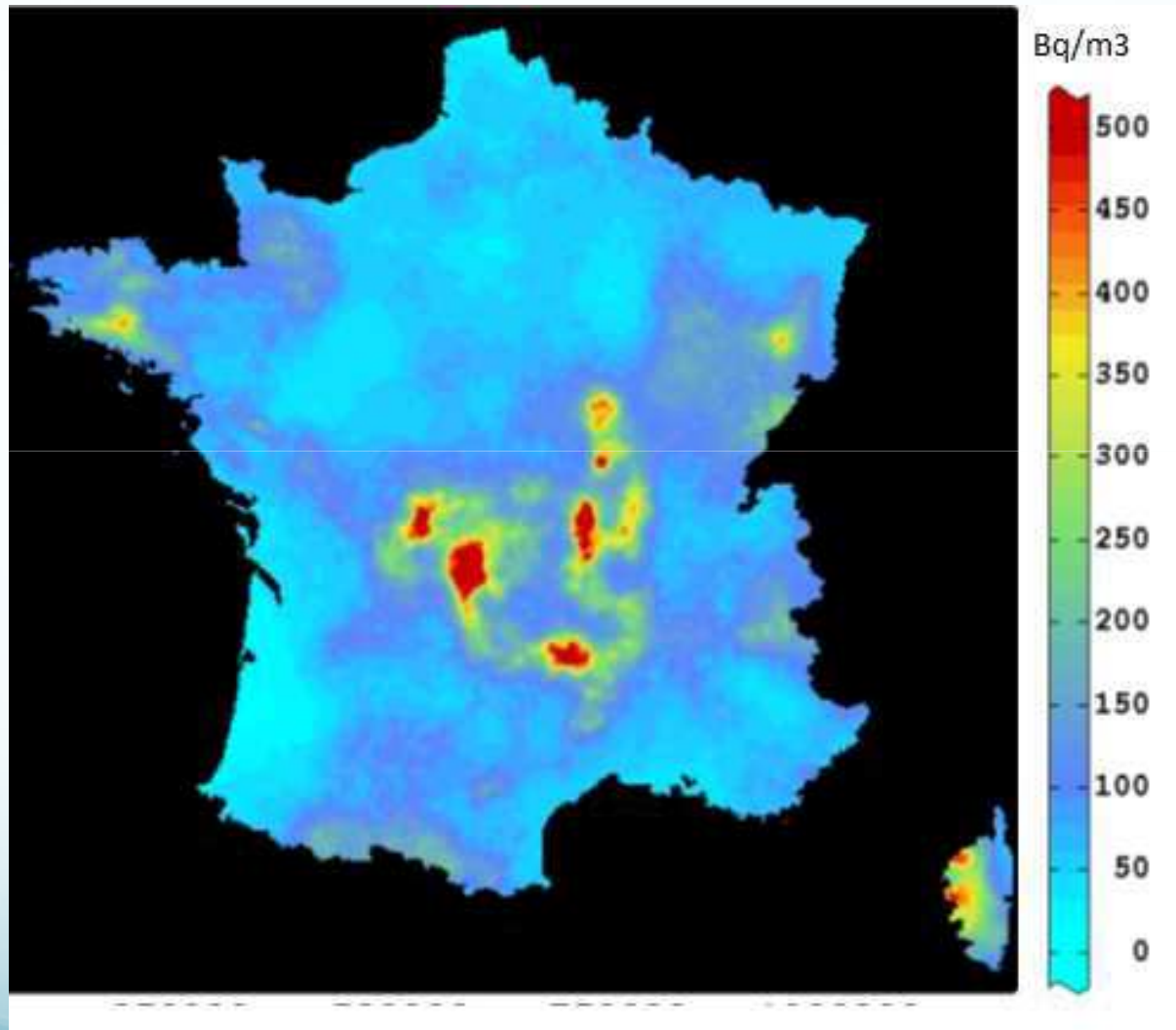
Chaîne de Uranium/radon



Radon

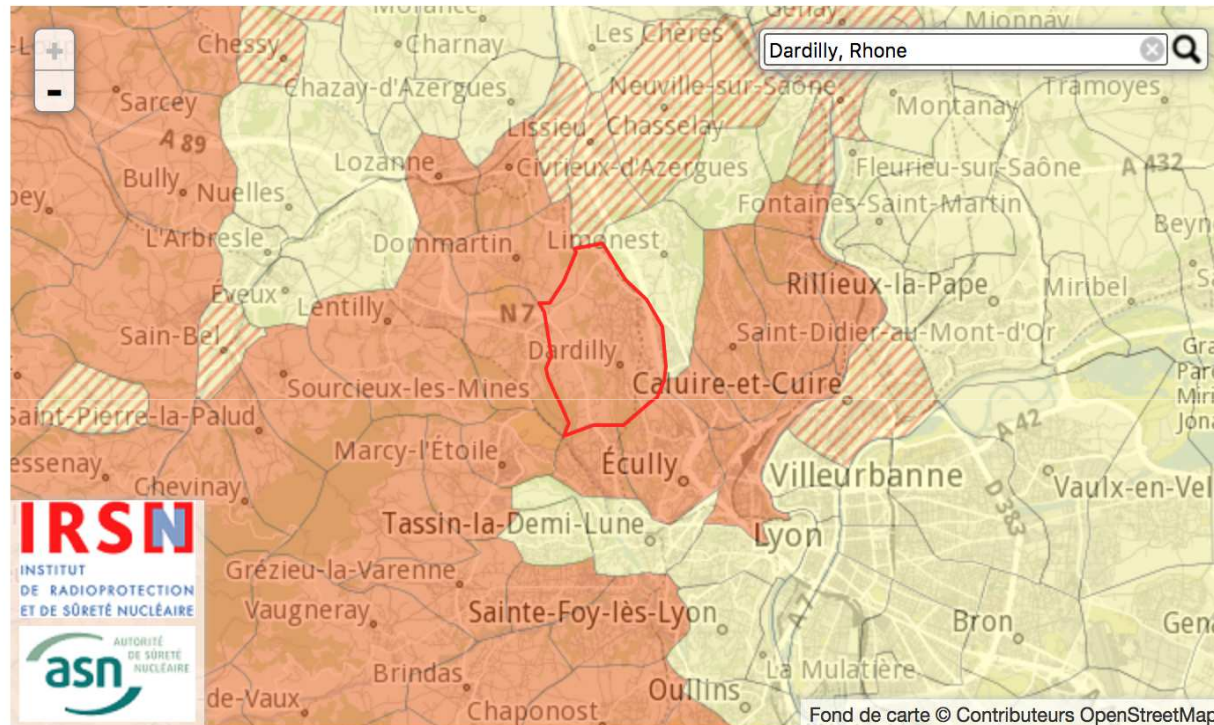
- une dose efficace variant de 0,3 mSv/an à 19,2 mSv/an en fonction des communes
- une dose efficace moyenne pour l'ensemble du territoire évaluée à 1,43 mSv/an,
- Des études épidémiologiques ont démontré que le radon était un problème , nos voisins Suisse, Autriche, Angleterre ont également pris des dispositions de campagnes de mesure et d'information.

Régions /radon



Radon / région

Connaître le potentiel radon de sa commune



Dardilly comme le beaujolais: de l'ordre de 250 à 350 Bq/m3

Radioactivité naturelle

- Poisson 100 Bq/kg
- Pomme de terre 150 Bq/kg
- Huile de table 180 Bq/kg
- Lait 80 Bq/l dont 50 dus au ^{40}K
- Eau de mer 10 Bq/l (eaux minérales: 0,1 à 9)
- Sédiments Isère 1000 Bq/kg
- **Corps humain 9000 Bq/72 kg soit 125 Bq/kg**
- Briques 600 à 1200 Bq/kg

Origine industrielle

- Tchernobyl : En 1986 les doses efficaces reçues par les personnes résidant dans les zones les plus touchées de l'est du pays étaient en dessous de 1 mSv/an, et à ce jour une valeur moyenne inférieure à 0,01 mSv/an.
- Fukushima : Les doses efficaces maximales reçues (adulte) ont été estimées inférieures à 0,002 mSv/an pour l'année 2011 et sont négligeables à ce jour.
- Rejets des installations nucléaires: l'exposition d'un groupe de référence (nombre très limité de personnes) du fait des rejets d'une installation nucléaire est de l'ordre de 0,01 mSv/an.
- Docu : Bilan 2015 IRSN

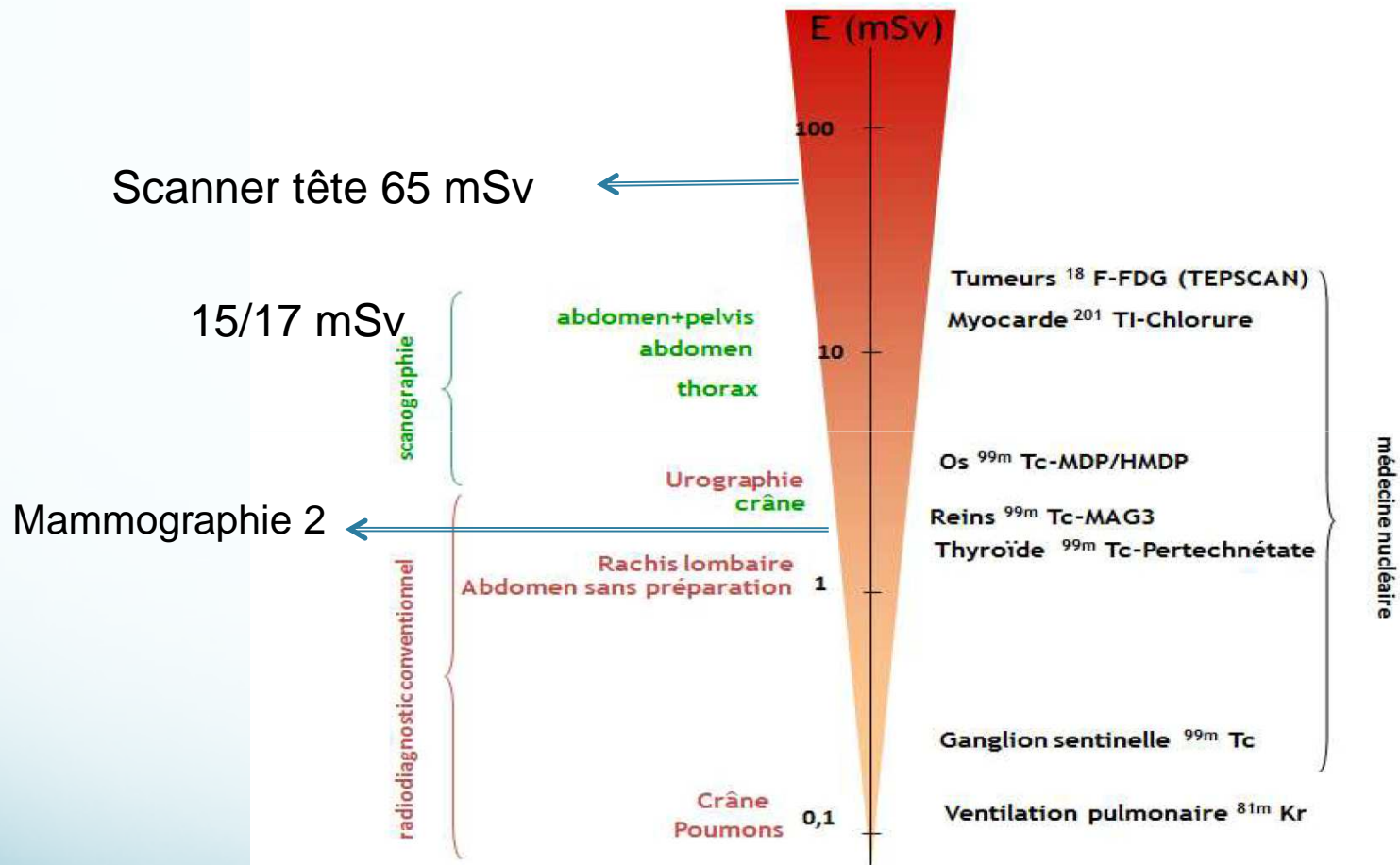
Origine militaire

- Plus de 2400 essais nucléaires, dont 543 essais atmosphériques, ont été réalisés par les Etats-Unis, la Russie, la Grande-Bretagne, la France et la Chine entre 1945 et 1980. La plupart des explosions ont eu lieu dans l'hémisphère nord: 75% des retombées ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr .
- A partir de 1961, les essais atmosphériques laissent progressivement la place aux essais souterrains, moins polluants pour la biosphère. Le dernier tir atmosphérique a eu lieu en Chine le 18 octobre 1980.
- Après un maximum de 0,3 mSv au cours de l'année 1963, la dose efficace annuelle en France liée aux retombées des essais est aujourd'hui
- **de l'ordre de 0,01 mSv.**
- D'après Bilan exposition IRSN 2015

Exposition d'origine médicale

- Sur l'ensemble de la population elle est de l'ordre de 1,6mSv
- Radiographie thoracique 1mSv
- Scanner abdominal 15mSv
- Radio dentaire 0,2mSv
- Scintigraphie thyroïdienne 2mSv (osseuse 6)
- Traitmt. Hyperthyroïdie 1Sv
- Traitmt.cancersqq. dizaines de Gy sur un organe cible localisé : prostate 80 Gy
- Sein : 50 Gy ($E_{\text{eff}} = 50 \times 1 \times 0,012 = 0,6 \text{ Sv} = 600 \text{ mSv}$)

Exposition médicale diagnostic



Bilan exposition IRSN 2015

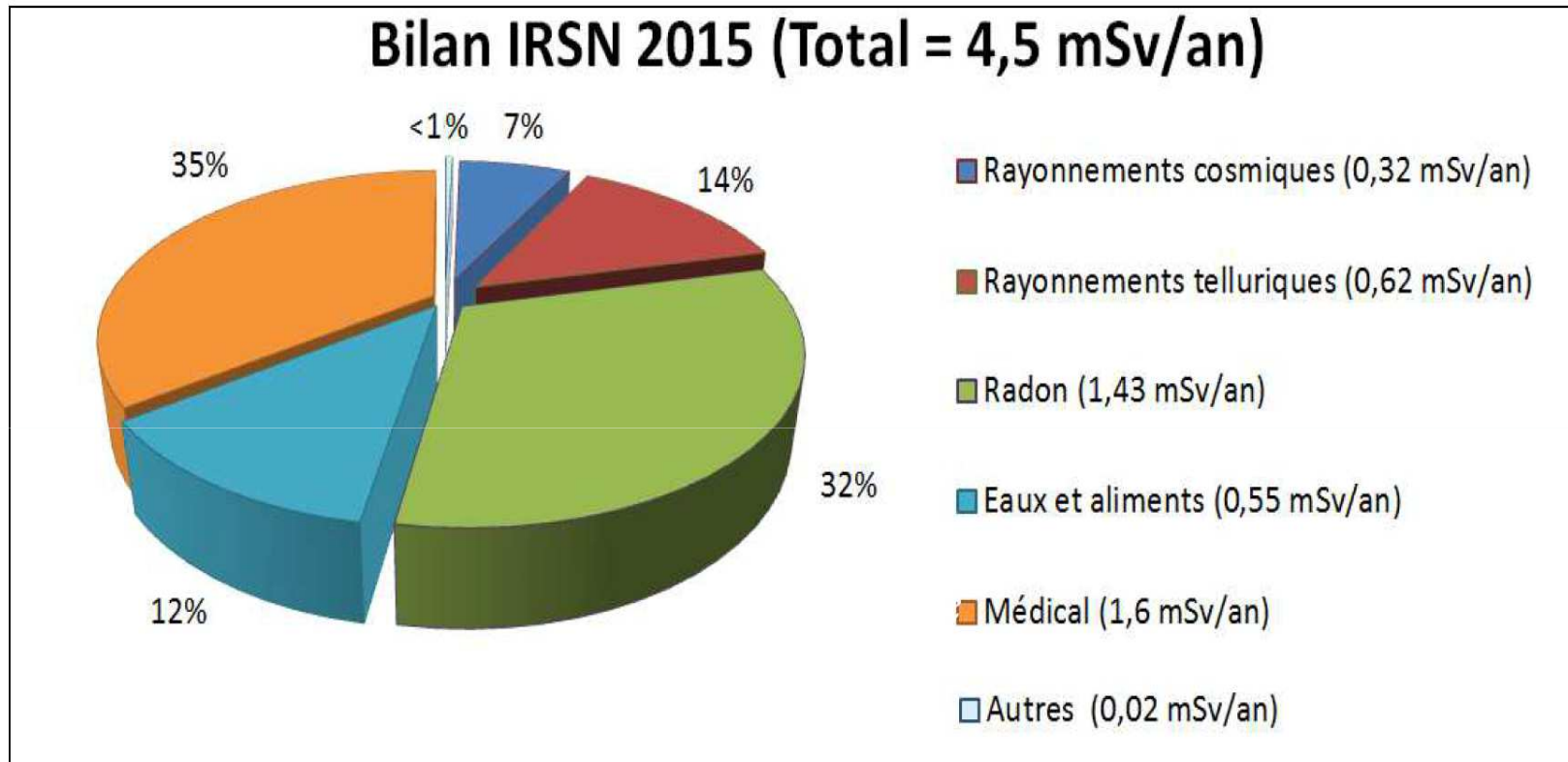


Figure 7 : Bilan de l'exposition moyenne de la population française

documents

- Vous pouvez estimer votre exposition annuelle avec une calculette de l'IRSN ainsi que connaître le potentiel radon de votre commune
- site de [l'irsn.fr](http://irsn.fr)
- De nombreux documents sont également disponibles sur le site de l'ASN : asn.fr

Fin de la première partie

Deuxième partie :
utilisations industrielles et
scientifiques
Déchets nucléaires
classification
stockage profond
réglementation et contrôles