

Que sait-on des effets sur l'homme des rayonnements ionisants ?

1. L'évolution des idées

A propos du nucléaire



Xavier Marchandise

Rayonnements ionisants ?

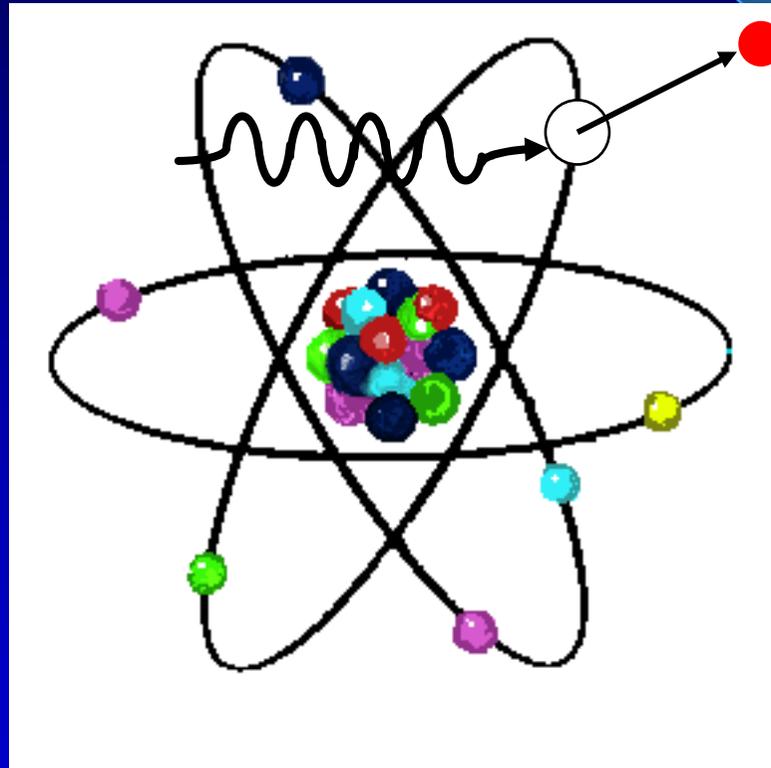
Si particules d'Énergie cinétique
ou photons d'Énergie $> 13,6 \text{ eV}$

H: 13,6 eV

O: 13,4

C: 11,2

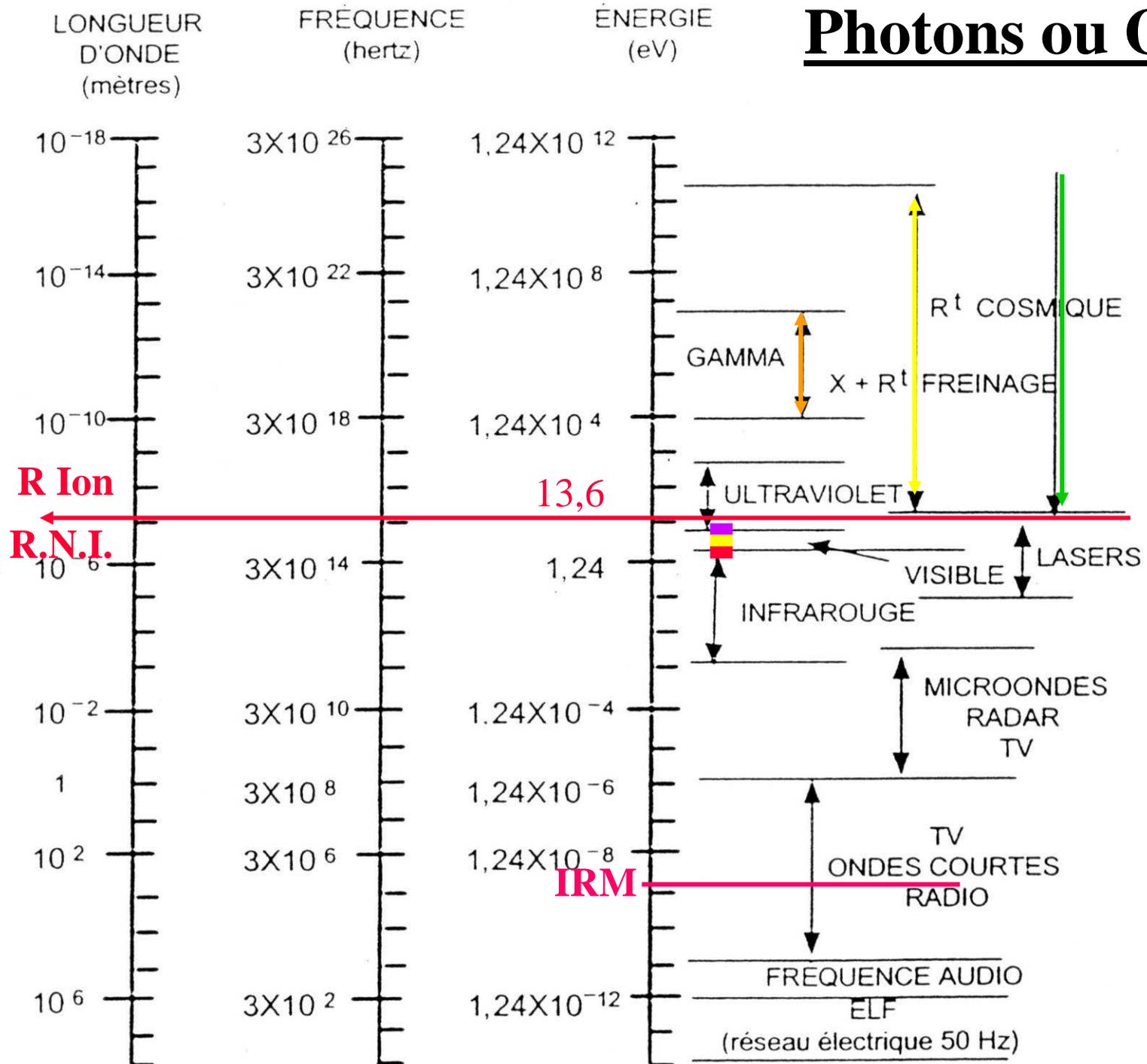
N: 14,2



Photons : certains UV, X, γ ,

Particules : α , β^- , β^+

Photons ou OIEM



UN PLAN DRAGUE D'ENFER

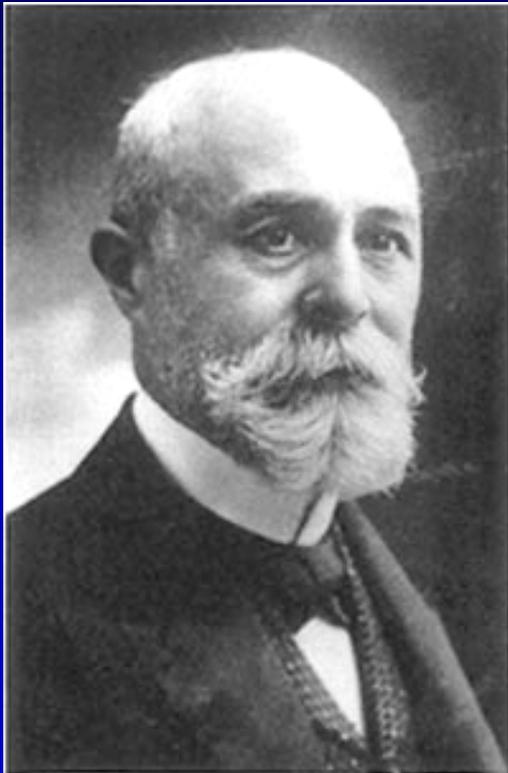
- Le 22/12/1895, Röntgen demande à Anna B. Röntgen sa main pour une pose de 20 min
- Le 28/12/1895 (6 jours après !), il publie sa découverte dans le Bulletin de la Société physico-chimique de Wurtzburg, sous le titre « *Über eine neue Art von Strahlen* » (à propos d'une nouvelle sorte de rayons), - sorte de rayons qui lui vaudront en 1901 le premier Prix Nobel de Physique.
- Les progrès techniques seront rapides.



LA RADIOACTIVITE

le 28/12/1896...!

Les Prix Nobel de physique de 1903



Henri Becquerel



Pierre Curie



Marie Curie
+ PN de Chimie 1911

ATTENTION !

- En 1901, H. Becquerel, ayant transporté sur lui 6 heures durant un tube scellé contenant un sel de radium très concentré – mis à sa disposition par P. Curie – présente des brûlures.
- Aussitôt P. Curie expose volontairement son bras, une demie journée à un sel de radium.
La brûlure durera 2 mois.
- Cf. aussi les résultats de des doigts de (Bordeaux).



- Peu après sa brûlure, P. Curie étudie l'action du radium sur les animaux.

Les médecins sont rapidement convaincus : le radium détruit préférentiellement les cellules porteuses de certaines formes de cancers.

Ce sera la curiethérapie,

- En 1906, Claudius-Regnaud à Lyon, irradie des « incurables » avec des résultats « très encourageants »...

NB : autres temps : Radium 226 # Radium 223

- Fin 1920, Marie Curie tombe malade.

Tuberculose (?)

Elle meurt à 67 ans, en 1934, d'une leucémie « sans doute causée par les radiations du radium qu'elle a subies sans en connaître alors les dangers pour la santé, ce même radium qui, par la suite, sauvera tant de vies ».

DOUBLE ERREUR

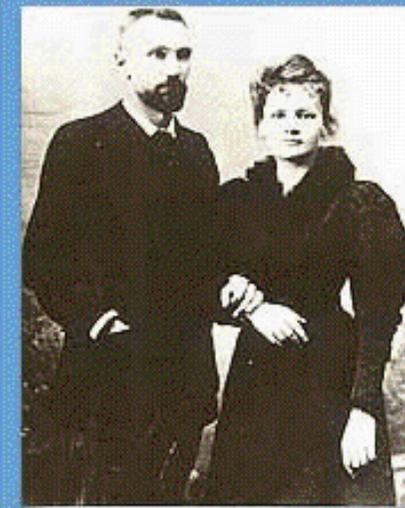


- « Pour les besoins du front, Marie Curie avait proposé des postes de radiologie mobiles utiles au diagnostic médical.

Dès 1914, elle « donnait des cours sur les rayons X et encadrait des travaux pratiques à l'Institut du Radium. »

En 1916, elle passe son permis de conduire.

Loie Fuller, 1902



CRÈME THO-RADIA POUDRE
THO-RADIA
EMBELLISSANTES PARCE QUE CURATIVES
à base de thorium et de radium selon la formule du
DOCTEUR ALFRED CURIE
CRÈME Le Pot. 15g POUDRE 10g

1920

ZOË
le soda atomique
donne une énergie infinie * * *
* * * comme la pile atomique

1950

Radio-*v*

1930

Paratonnerres radioactifs *la chasse est ouverte!*



nes...

Foire de Bordeaux 1949

DU BECQUEREL A LA RADIOPATHOLOGIE

Le Becquerel mesure une quantité de radioactivité

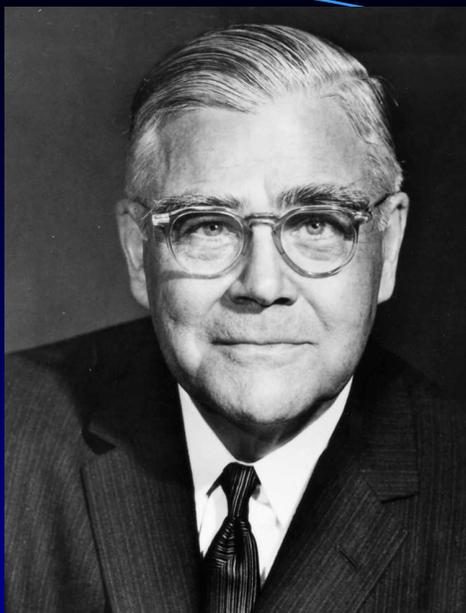
- 1 Bq = 1 désintégration (mutation) par seconde
- Il est au curie ce que le mm est à la circonférence de la terre
- Le corps humain contient 8.000 Bq (^3H , ^{14}C , ^{40}K ...)

Chaque désintégration libère plus ou moins d'énergie (J/Kg)

La source ... émet des Bq ... qui délivrent plus ou moins d'énergie (Gy)



... et exposent aux lésions (Sv)



Dose absorbée, le Gray

dépense quelques eV pour créer un ion dans l'eau, à peu près autant en excitations inutiles.

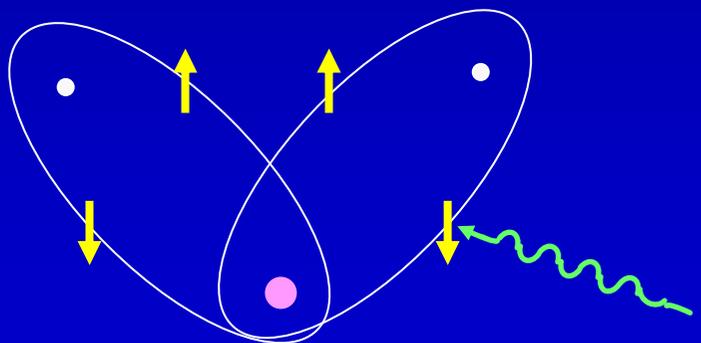
Particules de 1 J crée 200 millions de milliards d'ions.

De cet ordre, les effets biologiques dépendent de la concentration d'ions créés dans la cellule, donc de la

densité d'énergie localement absorbée, exprimée en J/kg

- L'unité utilisée est le Gray, $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} / \text{kg}$, dose importante

Le Gy a remplacé le rad, 100 fois plus petit.



De fait, le J/kg radiologique, le Gy, est biologiquement bien plus dramatique que les autres J/kg :

1 J élève 1 kg d'eau de moins de $1/4000^\circ$ mais 5 Gy ($\Delta T = 1/800^\circ$) tue l'homme 1 fois sur 2 !

Dose radio-biologique

Les ions créés à partir de l'énergie déposée par les R. ionisants sont d'abord dangereux par l'atteinte des acides nucléiques :

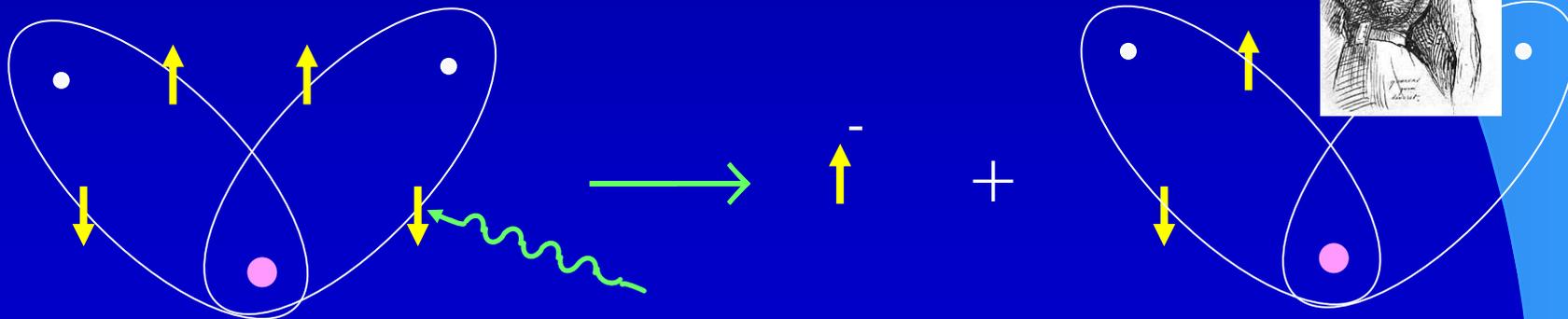
- atteinte directe (1 Gy \Rightarrow 2.000 lésions des AN),
- ou atteinte indirecte :
 - les très nombreuses molécules d'**eau** dans les tissus donnent naissance à des **radicaux libres** agressifs qui vont altérer secondairement les acides nucléiques,
 - la diffusion de ces radicaux est limitée par une brève espérance de vie - sauf en présence d'**oxygène**.

Mais, qu'est-ce qu'un radical libre ?

LES RADICAUX LIBRES

porteurs d'un électron moléculaire non couplé à un électron de spin opposé, cet électron est à très haute réactivité chimique (électron célibataire « quaerens quem devoret »).

Exemple : radiolyse de l'eau



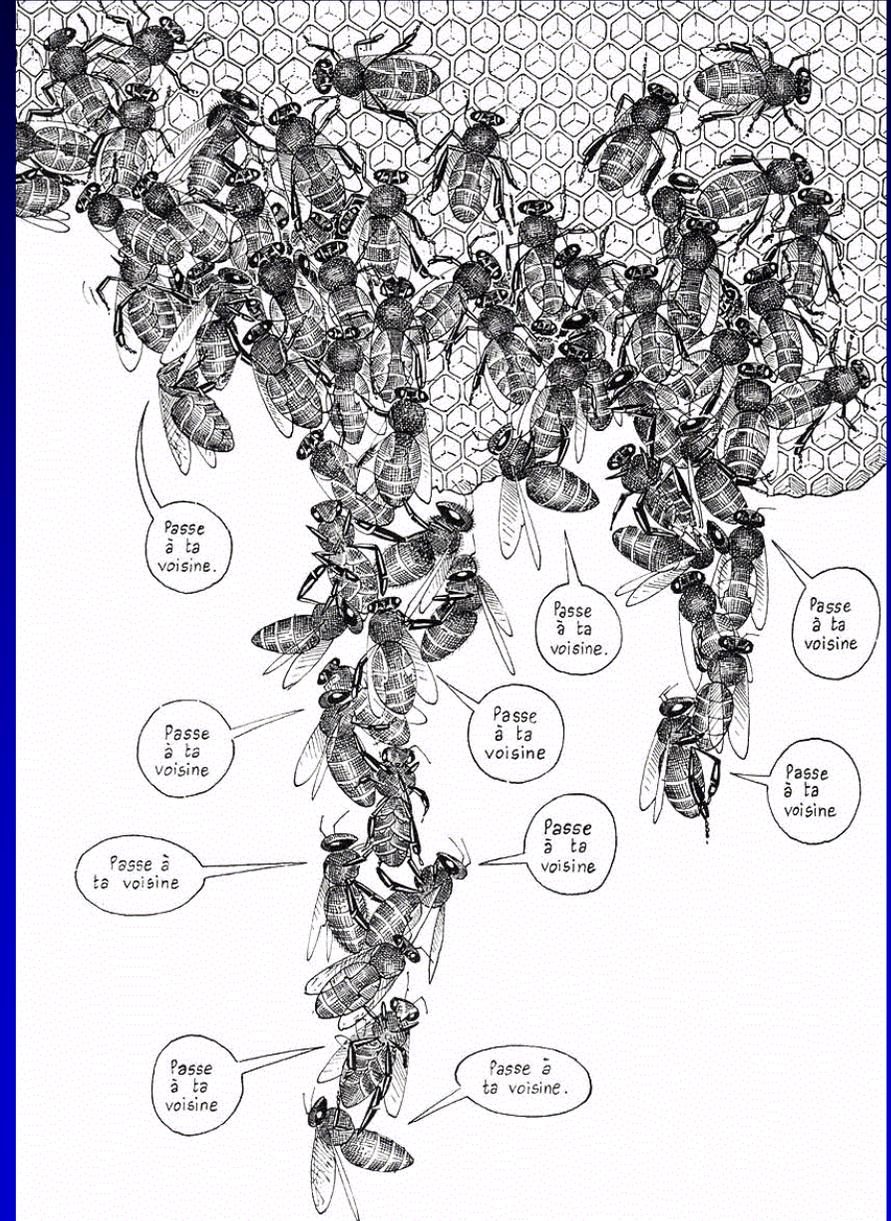
Effet radio-biologique

- La diffusion des radicaux libres de l'eau est limitée par leur brève espérance de vie, sauf en présence d'oxygène qui les stabilise : peroxydes, eau oxygénée...
- Deux remarques :
 - L'effet oxygène augmente la radiosensibilité, d'où la radiorésistance des tissus et des tumeurs sous-oxygénées
 - Le taux de radicaux libres spontanés évolue (vieillesse, inflammation chronique ...), susceptible de créer des lésions de macromolécules biologiques.
- Tous les radicaux libres créés ne sont pas efficaces, mais ils font naturellement apparaître en moyenne

8.000 lésions d'acides nucléiques par cellule et par heure (2 par seconde)

Effet radio-biologique

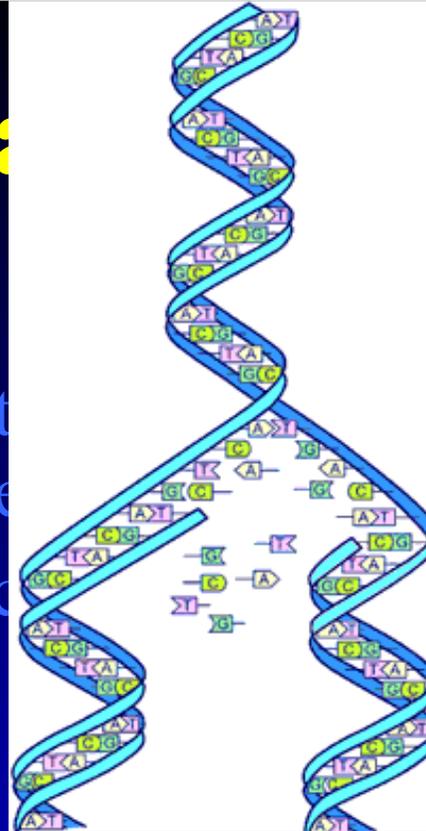
- Or, pratiquement toutes ces lésions nucléiques seront complètement et parfaitement réparées.
- En effet les systèmes enzymatiques cellulaires de **réparation** nucléique sont très anciens, variés (> 80), co-opératifs, et très particulièrement efficaces.
- De plus, ils **s'adaptent** à la demande.



Effet radio-induit

Biologique

- Les systèmes enzymatiques de réparation nucléique sont nombreux et très efficaces. Ils seraient même susceptibles de s'adapter.
- La plupart des lésions radio-induites sont rapidement et parfaitement réparées.

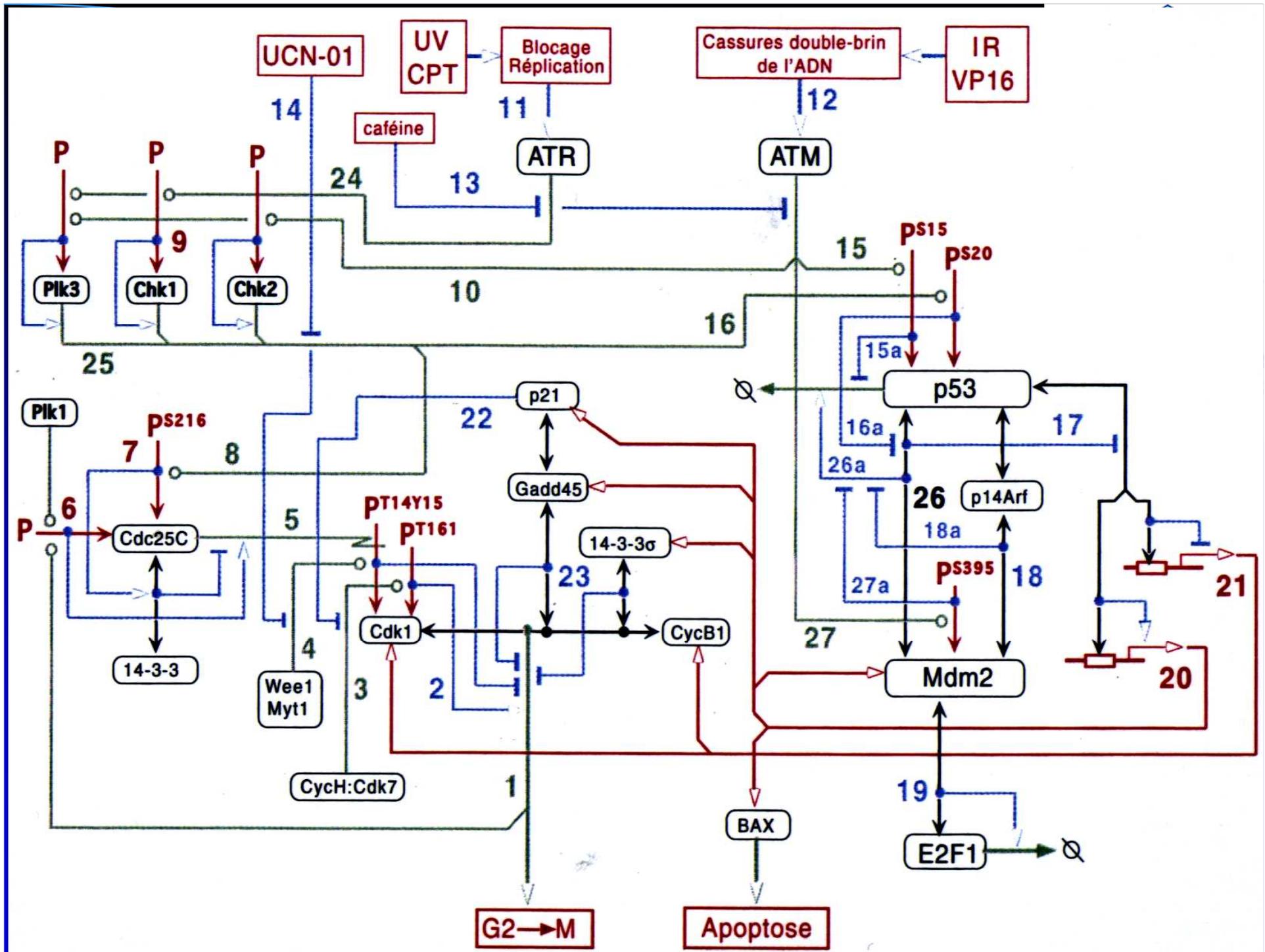


Les systèmes enzymatiques de réparation nucléique sont nombreux et très efficaces. Ils seraient même susceptibles de s'adapter.

La plupart des lésions radio-induites sont rapidement et parfaitement réparées.

Mais il existe une importante particularité des lésions d'ADN radio-induites : c'est la grande fréquence des lésions **double brin**, plus délicates à réparer faute de « patron » normal.

- Aussi, lorsque la division doit se déclencher, la cellule vérifie que la voie est libre. La **protéine p53**, « gardienne du génome », joue là un rôle essentiel.

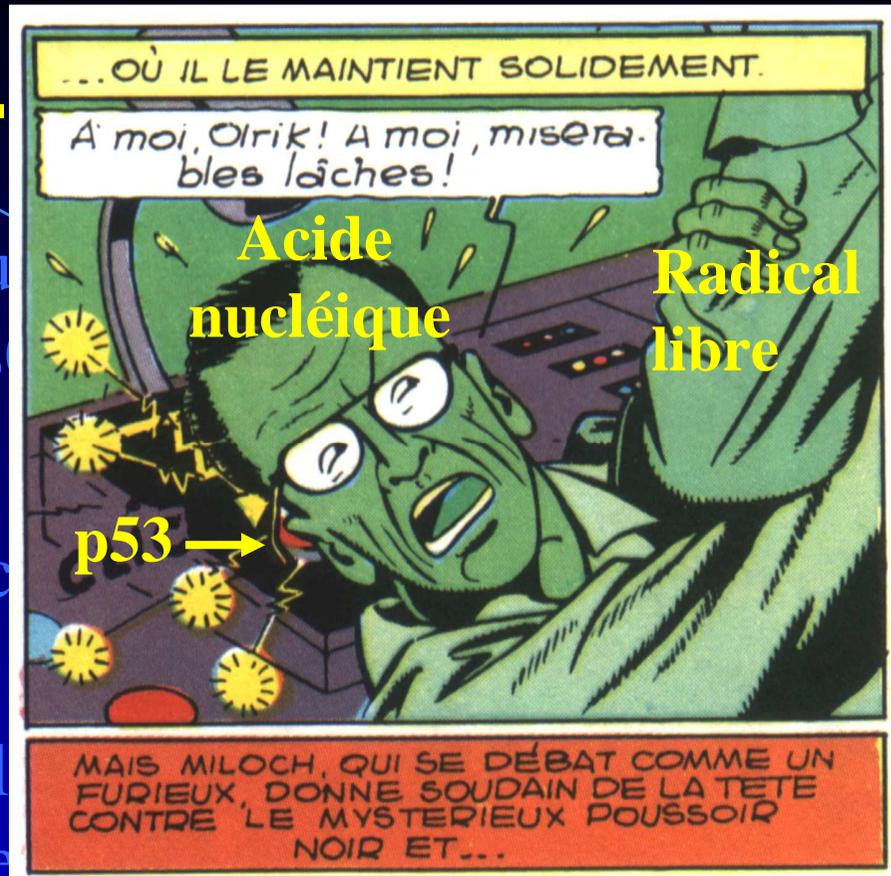


Effet radio-

- Mais les systèmes enzymatique nucléique sont nombreux (> 80) Ils seraient même susceptibles
- La plupart des lésions seront réparées.

Il existe une particularité des lésions induites : c'est la fréquence de

- En cas de lésions cellulaires dangereuses, la **p53** peut déclencher la mort programmée de la cellule : **apoptose, phénomène normal : ne faire courir aucun risque.** A condition que la p53 ne soit pas elle-même lésée ou en petite forme (radiosensibilité individuelle).



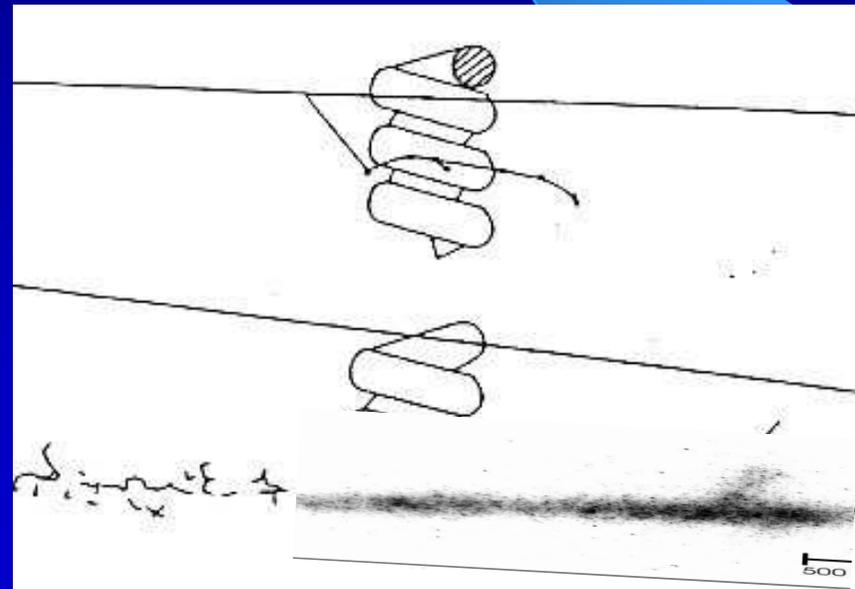
Effet radio-biologique

Pour une dose absorbée donnée (en Gy),
la probabilité d'un effet biologique **dû à une lésion
non ou mal réparée** d'acide nucléique, va dépendre

1) de la densité spatiale des ionisations, les Gy

particule à densité
d'ionisation faible >
 β, γ, X

particule à densité
d'ionisation élevée >
 α, p, n



Effet radio-biologique

- Donc pour une dose absorbée donnée (en Gy), l'effet biologique, dû à une lésion non réparée d'acide nucléique, va dépendre

1) de la densité spatiale des ionisations,

mais encore

2) de la fréquence d'exposition du matériel génétique
(loi de Bergonié-Tribondeau, sensibilité tissulaire),

et aussi

3) de l'oxygénation du milieu (effet oxygène)

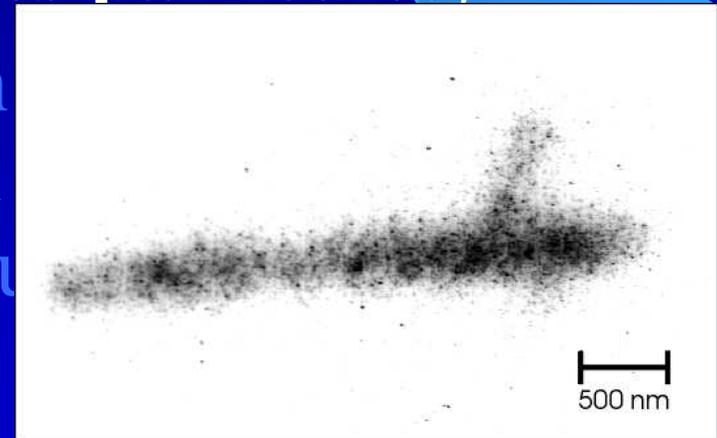
4) de la densité temporelle des ionisations (débit de dose)
etc...



Dose radiobiologique (sievert : Sv)

Pour les effets d'irradiations localisées, on applique à la dose absorbée en Gy

1. un facteur W_R de pondération du rayonnement, égal à 1 pour les β , les γ et les X, supérieur et jusque 20 pour les α et autres particules,
2. un facteur W_T de pondération en fonction de la sensibilité du tissu (la somme de tous les W_T d'un système entier).



$$\text{Dose efficace (Sv)} = \text{Dose absorbée (Gy)} \cdot W_R \cdot W_T$$

Dose radiobiologique (sievert : Sv)

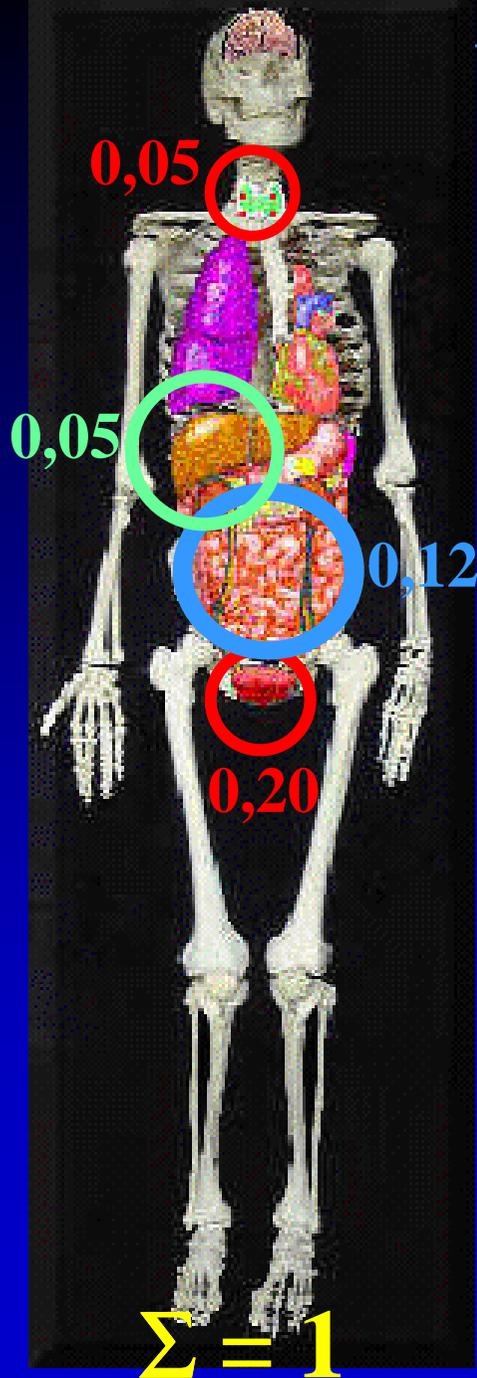
Pour les effets des irradiations localisées, on applique à la dose absorbée en Gy

1. un facteur de pondération du rayonnement W_R égal à 1 pour les électrons ou les photons, supérieur et jusque 20 pour d'autres particules,
2. un facteur de pondération tissulaire W_T , inférieur à 1, fonction de la sensibilité du tissu irradié.

La somme de tous les W_T d'un sujet = 1 (corps entier).

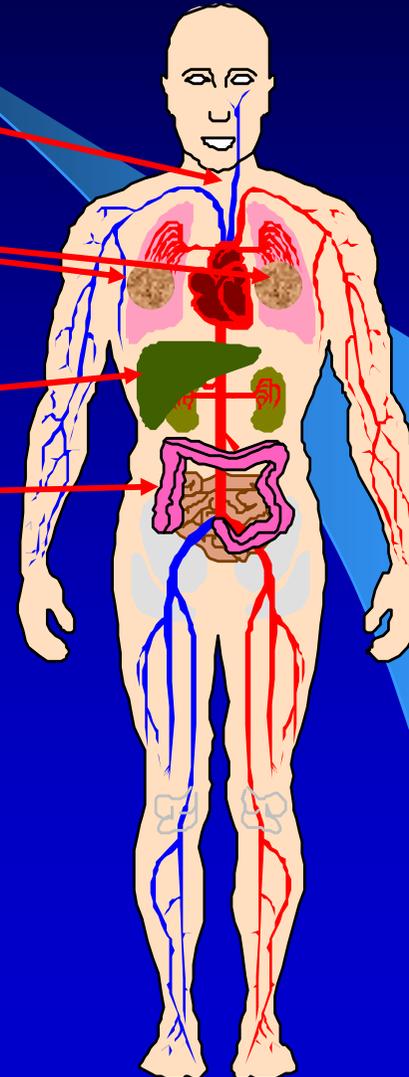
Dose efficace (Sv) =

Dose absorbée (Gy) $\cdot W_R \cdot W_T$

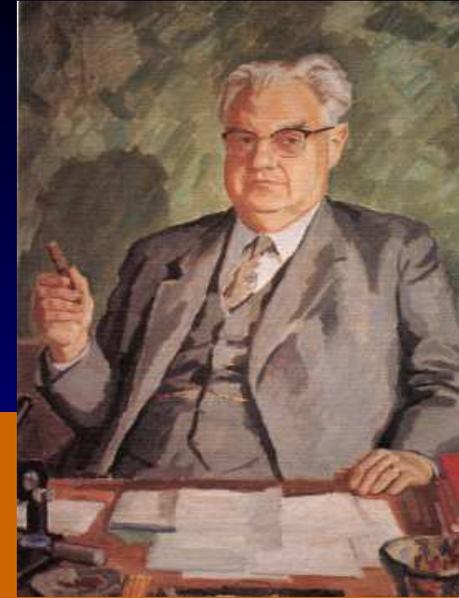


W_T : facteurs pondération tissulaire (évolution récente 1990 - 2007)

| | | |
|-------------|------|----------------------|
| 0,04 | 0,05 | Thyroïde |
| | 0,12 | Poumon |
| 0,12 | 0,05 | Seins |
| | 0,05 | Oesophage |
| | 0,12 | Estomac |
| | 0,05 | Foie |
| | 0,12 | Côlon |
| | 0,05 | Vessie |
| 0,08 | 0,20 | Gonades |
| | 0,01 | Peau |
| | 0,12 | Moelle osseuse rouge |
| | 0,01 | Surfaces osseuses |
| | 0,05 | Reste de l'organisme |



intérêt et limites de la dose efficace (Sv), les acquis de H/N



bien adaptée aux besoins de la radioprotection

unité additive

- exemple

| | W_R | W_T | % |
|--|----------|-------------|--------------|
| RX : 100 mGy / 50 dm² peau | 1 | 0,01 | 30 % |
| ¹³¹I : 10 mGy / thyroïde | 1 | 0,04 | 100 % |

dose efficace = $(100 \times 1 \times 0,01 \times 0,30) + (10 \times 1 \times 0,04)$
dose efficace = 0,7 mSv

sans signification de probabilité aux faibles doses (< 100 mSv)

indicateur de risque tardif (ex. leucémies),

effets cancérigènes des rayonnements

leucémies : influence de la dose (H/N)

- influence de la dose sur les décès par leucémie**

| <u>dose mSv</u> | <u>observés</u> | <u>excès</u> | <u>% excès</u> |
|-----------------|-----------------|--------------|----------------|
| 5 - 200 | 70 | 10 | 14 % |
| 200 - 500 | 27 | 13 | 48 % |
| 500 - 1000 | 23 | 17 | 74 % |
| > 1000 | 56 | 47 | 84 % |
| total | 176 | 87 | 49 % |

Noter les niveaux des doses et le type d'effet, domaines du Sv

intérêt et limites de la dose efficace (Sv)

bien adaptée aux besoins de la radioprotection

unité additive

- exemple

| | W_R | W_T | % |
|---|-------|-------|-------|
| RX : 100 mGy / 50 dm ² peau | 1 | 0,01 | 30 % |
| ¹³¹ I : 10 mGy / thyroïde | 1 | 0,04 | 100 % |
| dose efficace = (100 x 1 x 0,01 x 0,30) + (10 x 1 x 0,04 x 1) | | | |
| dose efficace = 0,7 mSv | | | |

indicateur de risque tardif (connu > 100 mSv)

sans valeur probabiliste aux faibles doses

ne tient compte ni de l'âge, ni du sexe, ni du débit de dose, ni...

effets cancérigènes des rayonnements

cancers solides : cancer thyroïdien (H/N)

- **risque de cancer thyroïdien**

| âge | nb de cas | RR |
|---------|-----------|-------|
| 0 - 9 | 33 | 9,5 |
| 10 - 19 | 51 | 3,0 |
| 20 - 39 | 75 | 0,3 |
| 40 et + | 66 | - 0,2 |

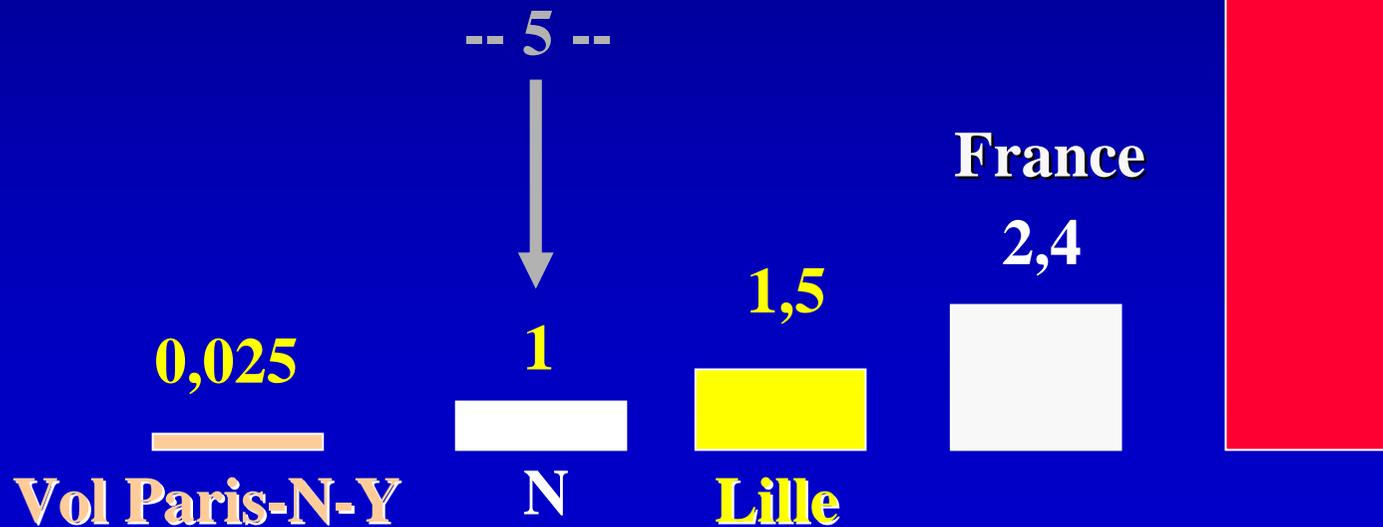
Irradiation naturelle annuelle

(millisieverts)

Variabilité!

Auvergne
7,0

45 **Tamil Nadu**



Exposition naturelle et artificielle

Les composantes de l'exposition humaine (UNSCEAR*)

Exposition naturelle

radionucléides de l'organisme
0,23 mSv (6,5 %)

rayonnements
cosmiques
0,39 mSv (11 %)

rayonnements
telluriques
0,46 mSv (13,2 %)

2,4 mSv

radon
1,3 mSv (37 %)

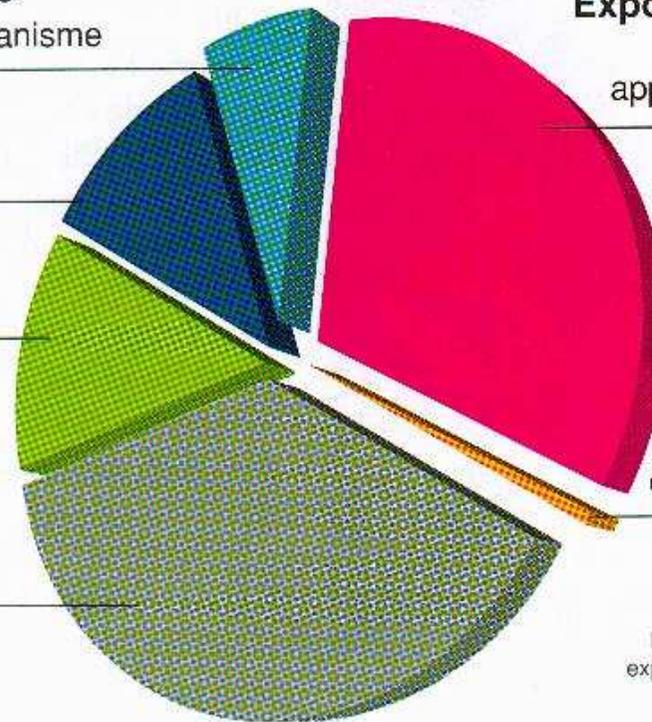
Exposition artificielle

applications médicales
1,1 mSv (31,3 %)

1,1 mSv

autres
(rejets de l'industrie,
retombées atmosphériques...)
0,01 mSv (0,3 %)

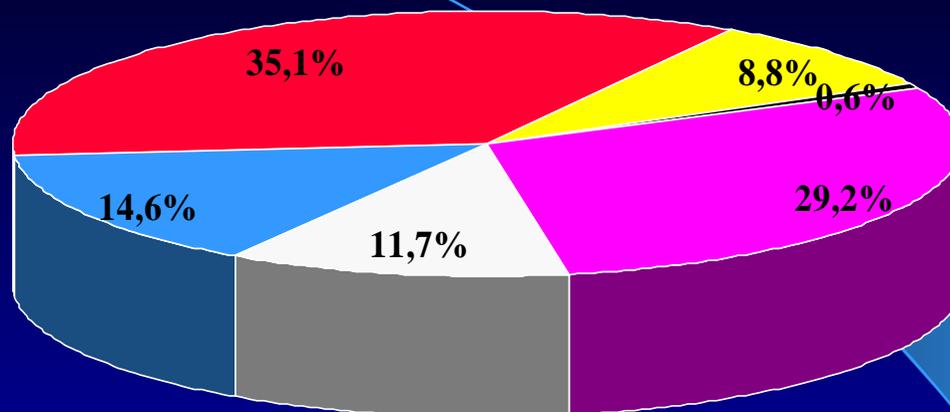
les valeurs indiquées sont des
expositions moyennes annuelles
en France



Causes de l'irradiation moyenne en France

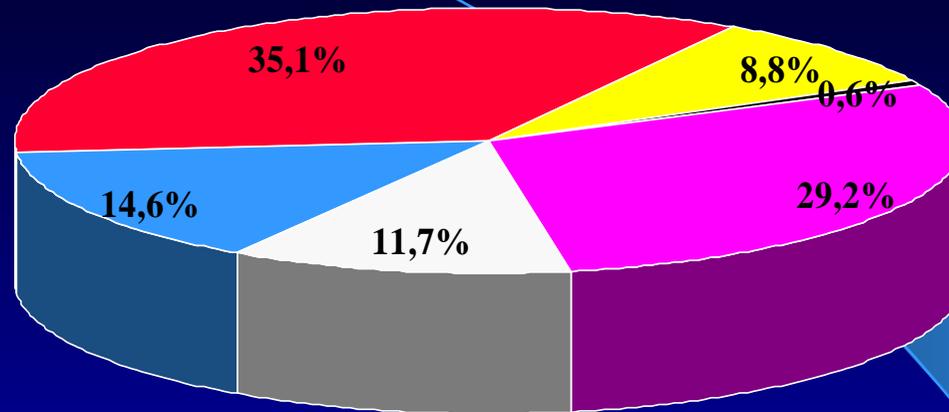
(2,4 mSv naturel + 1,1 mSv médical)

- Cosmique
- Tellurique
- Radon
- Interne
- Industriel
- Médical



Causes de l'irradiation moyenne en France

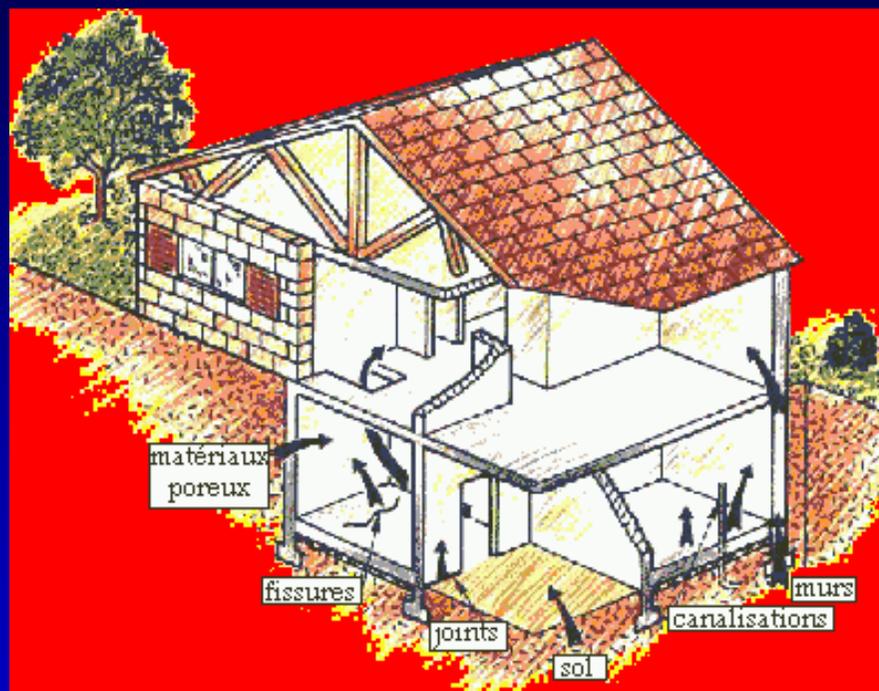
(2,4 mSv naturel + 1 mSv médical)



Le problème du radon 222

- Descend de l'uranium 238 (période 4 milliards d'années) par le radium 226 (puis ^{210}Th et ^{206}Pb)
- Emetteur α , période 4 j, à descendance émettrice α
- Gaz lourd (cf. plomb) émanant des roches granitiques,
- Contamination respiratoire

Radon domestique



Circulaire Radon pour les lieux publics

- $\leq 400 \text{ Bq/m}^3$
- $> 1000 \text{ Bq/m}^3$: action

La CE recommande de ne pas dépasser une concentration de 400 Bq/m^3 dans les habitations

Hum ! Comparaison de risques de cancer du poumon avant 75 ans

- Risque naturel : 0,4 %
- Risque si radon >400 Bq/m³ : 0,7% (x 1,6)
- Risque du fumeur : 10% (x 25)
- fumeur + radon >400 Bq/m³ : 16% (x 40)

ordres de grandeur des doses efficaces

10.000 mSv : mort rapide / irradiation aiguë

6.000 mSv : spontanément 1 mort sur 2

1.000 mSv : signes cliniques nets / irradiation aiguë

100 mSv : faibles doses

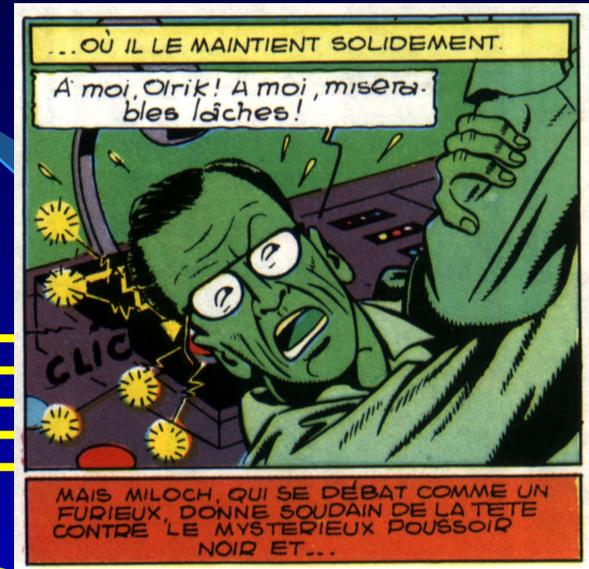
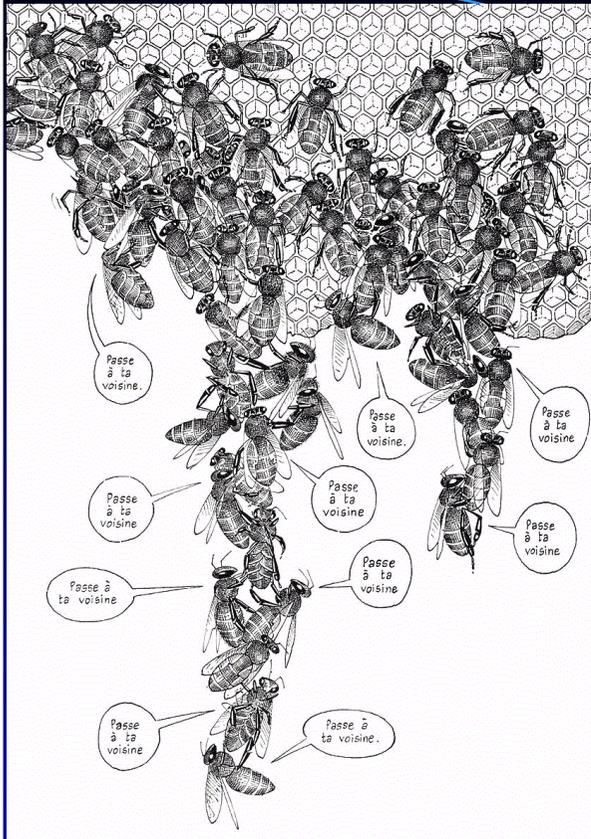
20 mSv : exposition **maximale** des travailleurs exposés

en moy } **5 mSv** : exposition annuelle à Clermont-Ferrand
2,4 }
mSv } **1,5 mSv** : exposition annuelle à Lille, Paris, Marseille...

1 mSv : limite annuelle **légal**e pour la population

1 mSv : exposition annuelle moyenne médicale

en France



Réparation normale

Mutation

Mort cell.

Effets sans seuil

Effets à seuil

Cellule germinale = mutation héréd.

Cellule somatique = cancer

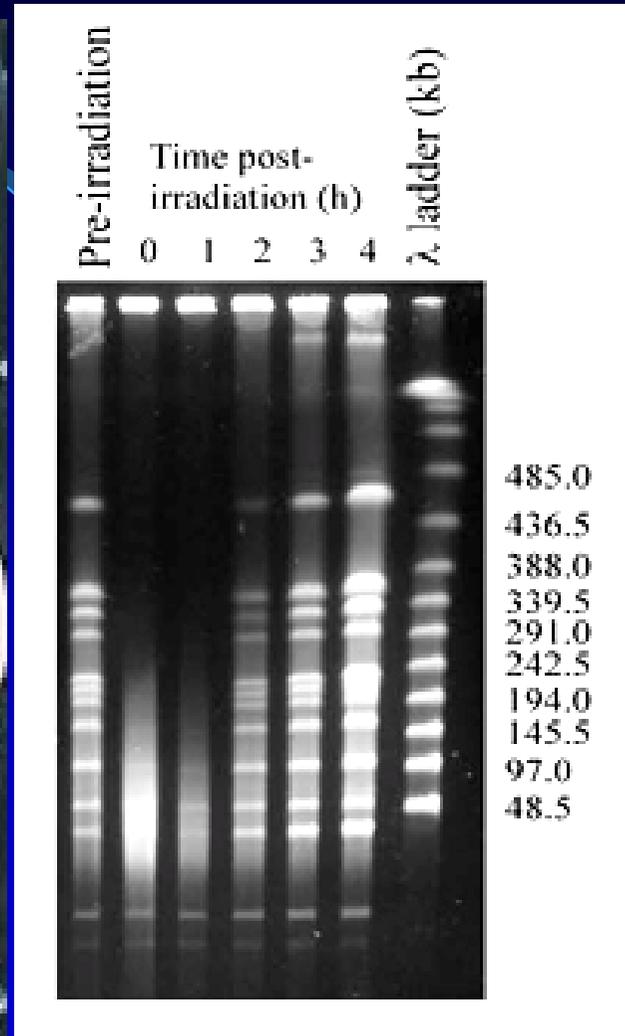
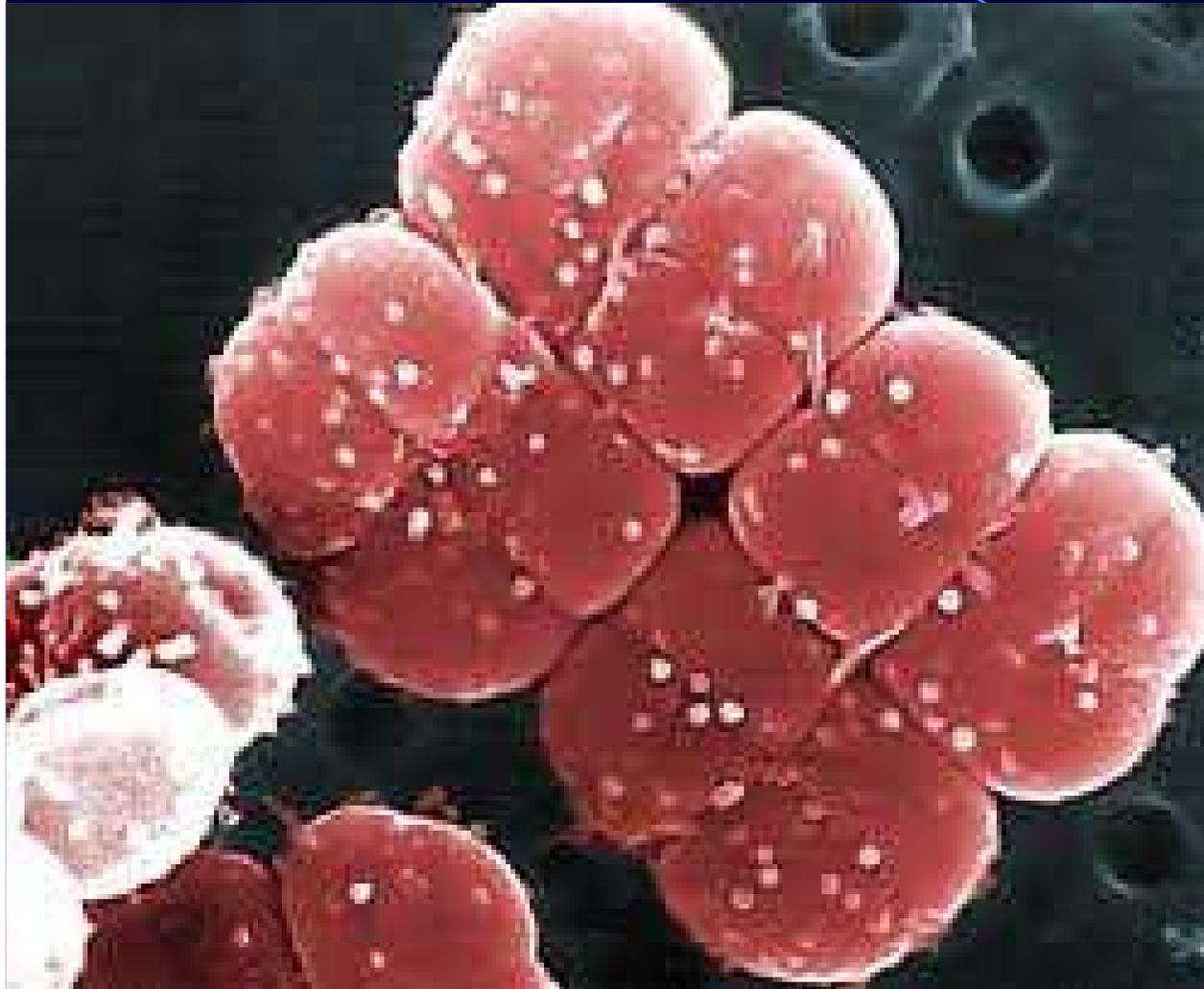
RThpie

Malform

ET LE CHAMPION EST...*

*And the winner is...

... *Deinococcus radiodurans*



dite « Conan the bacteria »