

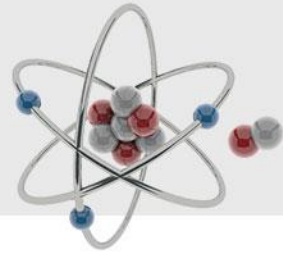


Biophysique des Rayonnements

Dr. S.E. BENTRIDI
s.bentridi@univ-dbkm.dz

3ème Licence Physique Fondamentale

Plan du Cours



Biophysique des Rayonnements

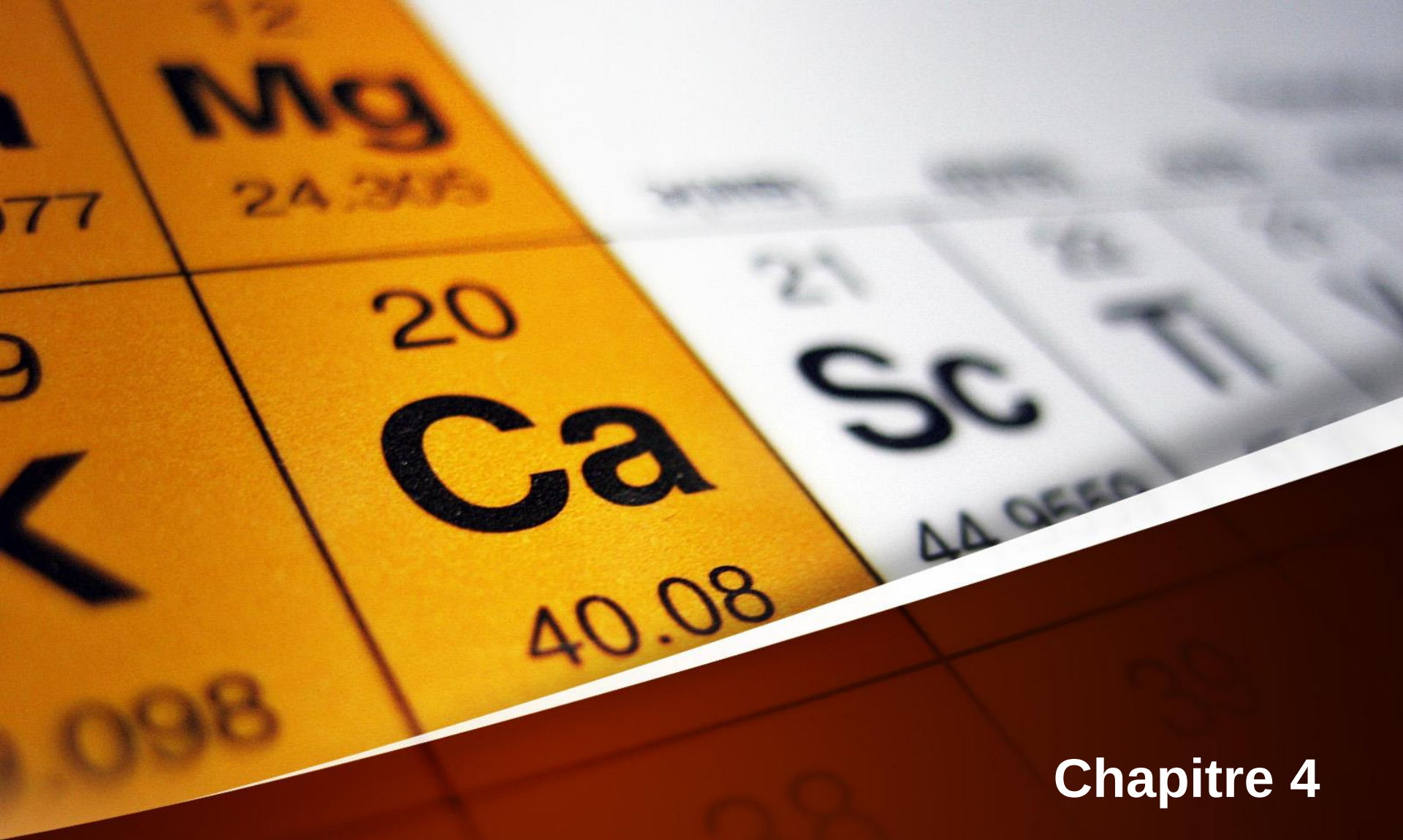
Chapitre 1: Radioactivité et Rayonnements

Application: Radioactivité du corps humain

Chapitre 2: Physique des Rayons-X

Chapitre 3: Interaction Rayonnements-Matière

Chapitre 4: Éléments de radioprotection et Radiobiologie

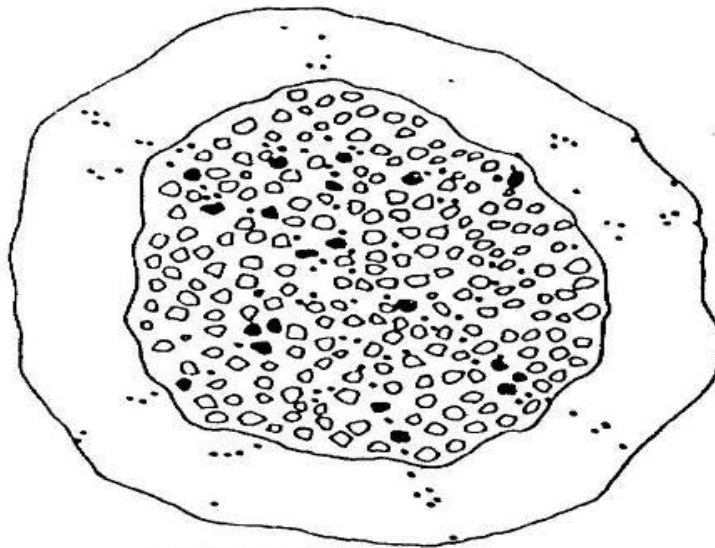


Chapitre 4

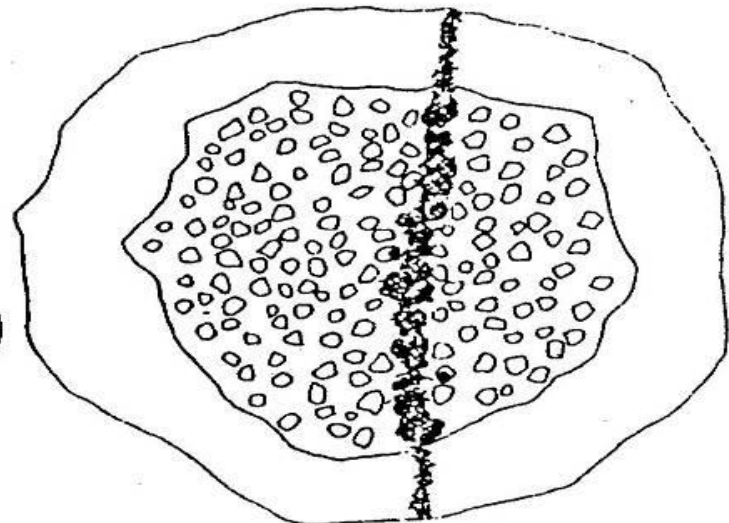
Éléments de radioprotection et Radiobiologie

Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants

IONIZATION PATTERN GENERATED IN CELLS BY AN
ABSORBED DOSE OF 10 mGy (1 RAD) CELL DIAMETER $\approx 5 \mu\text{m}$



1 MeV Gamma Rays
~ 150 ion pairs in a substantially
random array. The pattern in all
other cells is similar.



1 MeV Neutrons
~ 6500 ion pairs in a substantially
linear array. This occurs in about
2% of the cells. 98% of the
cells receive no energy.

Transfert d'énergie Rayonnement - Matière

Ionisation: $E_{ray} > W_{liaison}$ l'électron est arraché de l'atome, celui-ci est ionisé

Excitation: $\Delta E_n < E_{ray} < W_{liaison}$ l'électron obtient suffisamment d'énergie pour passer au niveau énergétique supérieure (moins lié) mais il reste attaché à l'atome. L'atome est excité.

Transfert thermique: $E_{ray} < \Delta E_n$ l'énergie cinétique de l'atome est augmentée (Mouvement de translation, vibration ou rotationnel).

Statistiquement, pour chaque ionisation, on a 3 excitations et un nombre plus important de transfert thermique

Transfert d'énergie Rayonnement - Matière

Exemple: L'énergie moyenne pour provoquer une ionisation dans l'eau est de $33,85\text{eV}$

Pour un électron d'une énergie cinétique de 1 MeV, combien peut-on avoir d'ionisation et d'excitation?

Solution:

En moyenne, un électron de 1 MeV, peut provoquer:

$$N_{ion} = \frac{10^6}{33,85} \cong 3 \times 10^4 \text{ ionisations}$$

Ainsi qu'un nombre d'excitations:

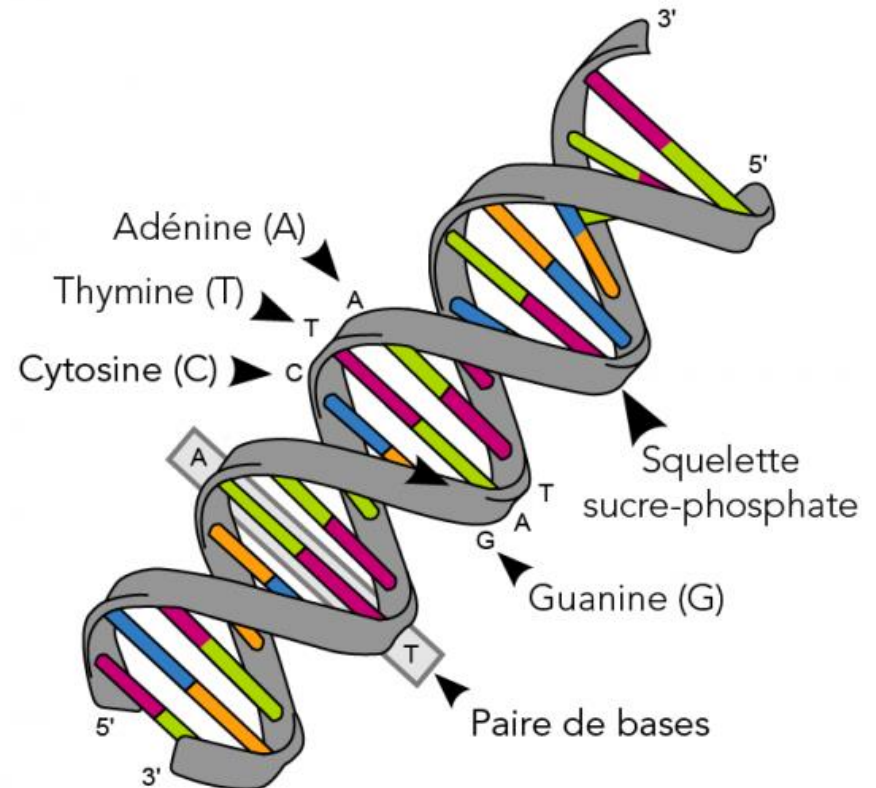
$$N_{exc} = 3N_{ion} = 9 \times 10^4 \text{ excitations}$$

Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants

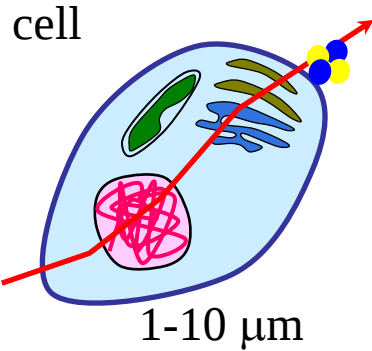
Définition:

Chacune de nos cellules contient de l'acide désoxyribonucléique (ADN). Cette importante molécule est semblable à un manuel d'instructions pour notre corps.

Elle dit constamment à nos cellules ce qu'elles doivent faire, et comment procéder. Les cellules de chaque organisme vivant contiennent toutes de l'ADN.



Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants

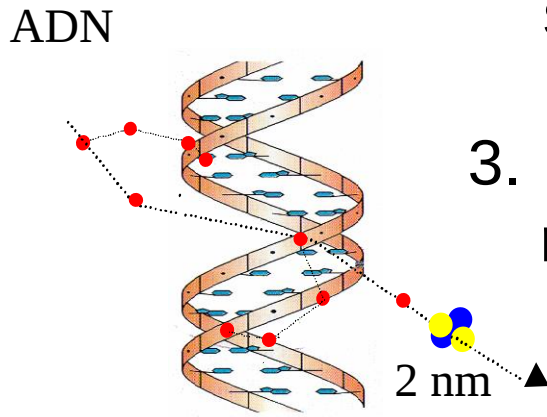


Un Rayonnement Ionisant :

1. peut passer directement à travers la cellule sans causer aucun dommage à l'ADN.

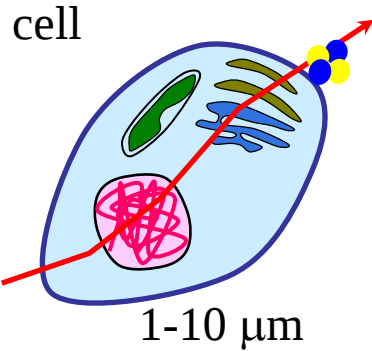
2. Il peut endommager l'ADN de la cellule, qui se réparera spontanément.

3. Il peut réduire la capacité de la cellule de répliquer l'ADN de façon appropriée.



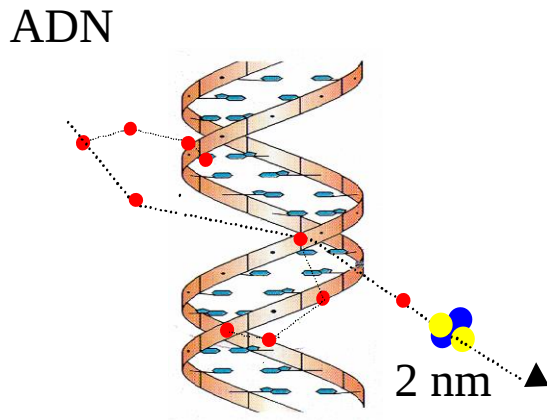
4. Il peut endommager gravement l'ADN au point de détruire la cellule. C'est ce qu'on appelle l'apoptose (mort cellulaire).

Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants



A retenir:

La mort d'une cellule n'est pas préoccupante, puisque des millions de nos cellules sont détruites chaque jour. Toutefois, la destruction en même temps d'un trop grand nombre de cellules pourrait entraîner la mort de l'organisme.

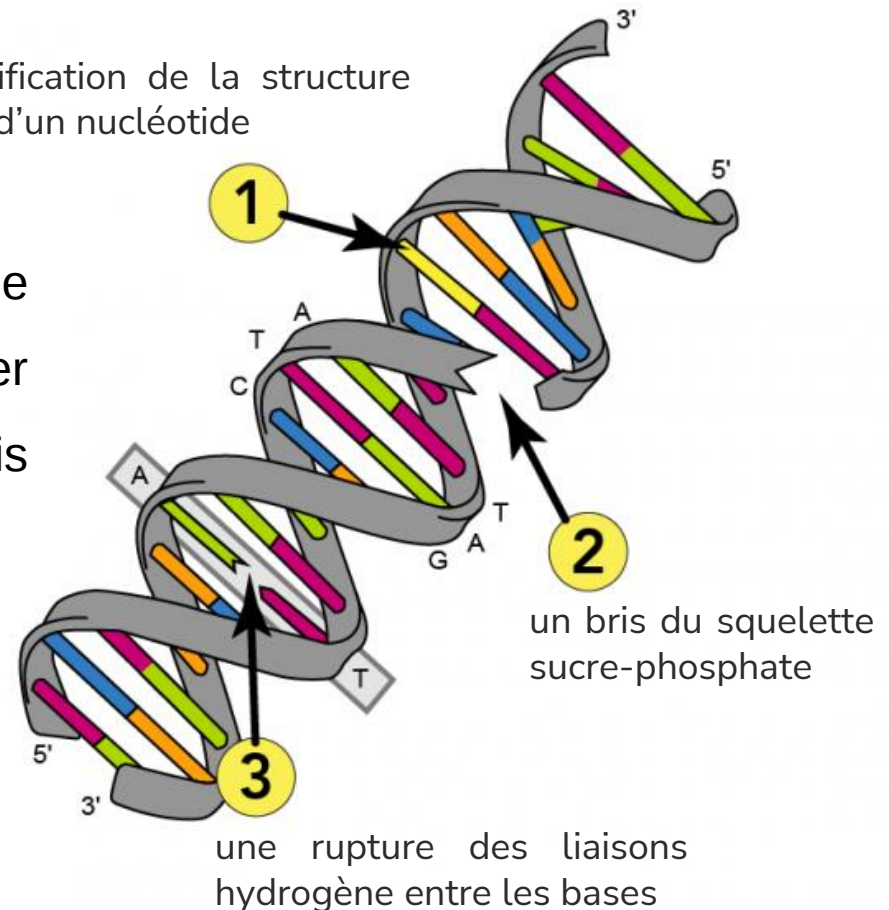


L'action directe

L'action directe est également susceptible d'endommager des structures cellulaires essentielles, et parfois, de provoquer l'apparition d'un cancer.

Une modification de la structure chimique d'un nucléotide

Les particules alpha et bêta, de même que les rayons X, sont capables de modifier une molécule d'ADN de l'une des trois façons suivantes, en causant :

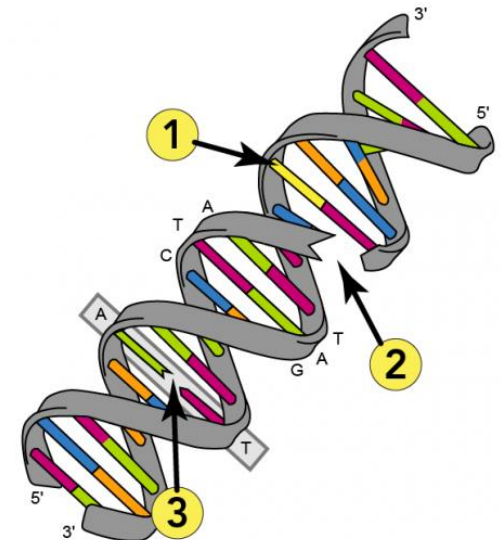


L'action directe

L'action directe peut endommager l'ADN ou provoquer des mutations. Ce sont deux choses différentes:

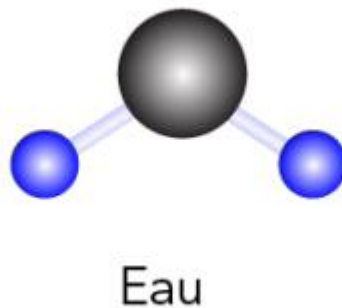
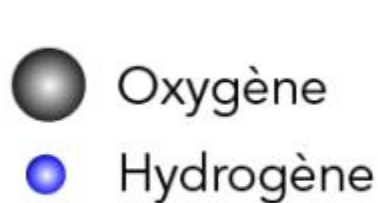
Les lésions de l'ADN comportent des dommages physiques. Ceux-ci comprennent des modifications à la structure chimique de la molécule d'ADN (numéros 2 et 3 sur le schéma).

Les mutations de l'ADN mettent en cause des changements dans la séquence des paires de bases (numéro 1 sur le schéma). Une lésion de l'ADN non réparée est susceptible de provoquer des mutations. Ces mutations empêcheraient notamment les gènes de produire les protéines appropriées, une conséquence très dommageable pour l'organisme.



L'action indirecte

Le rayonnement ionisant peut également exercer une influence sur d'importantes molécules autres que l'ADN. Par exemple, il peut détruire les liaisons qui maintiennent les molécules d'eau ensemble, libérant ainsi des ions hydrogène (H^+) et hydroxyle (HO^-) que l'on désigne par le nom de radicaux libres.



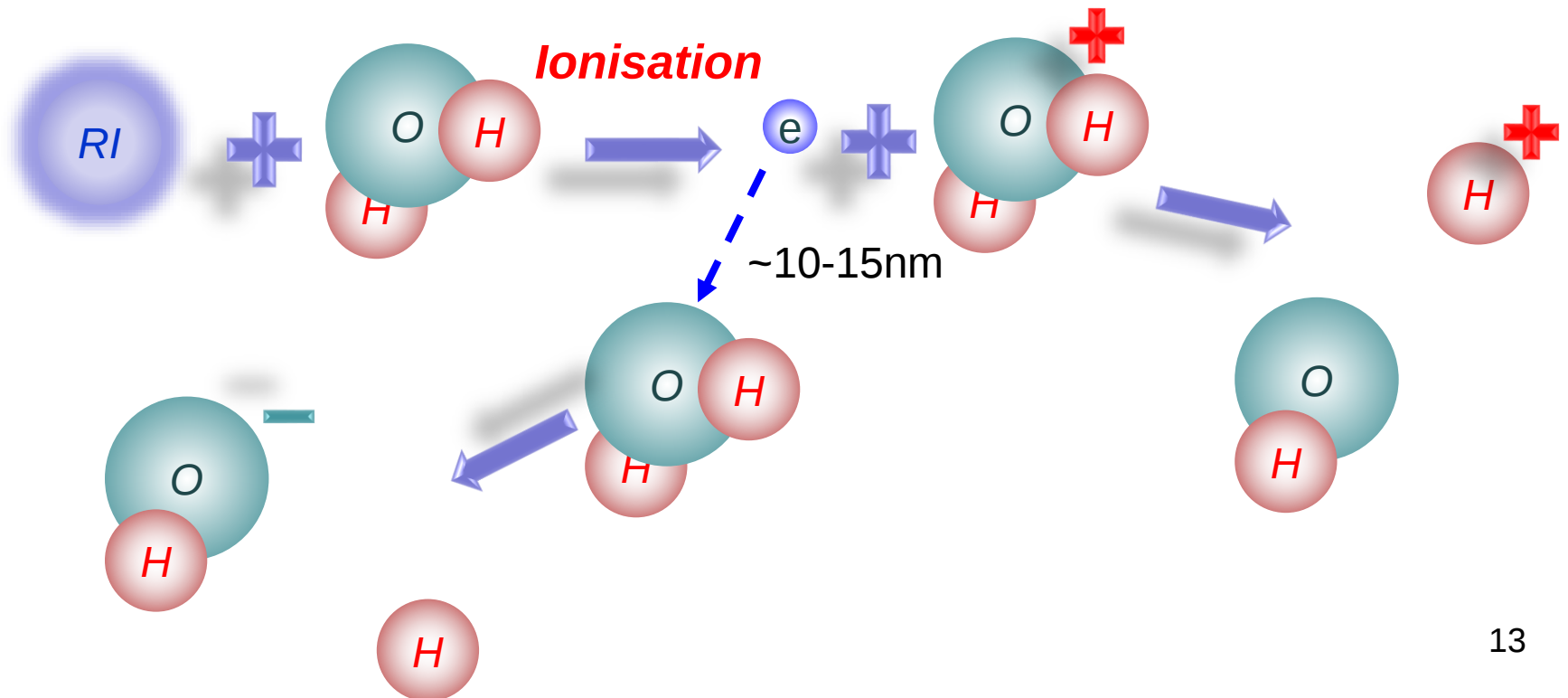
Radicaux libres



L'action indirecte

Les réactions physico-chimiques:

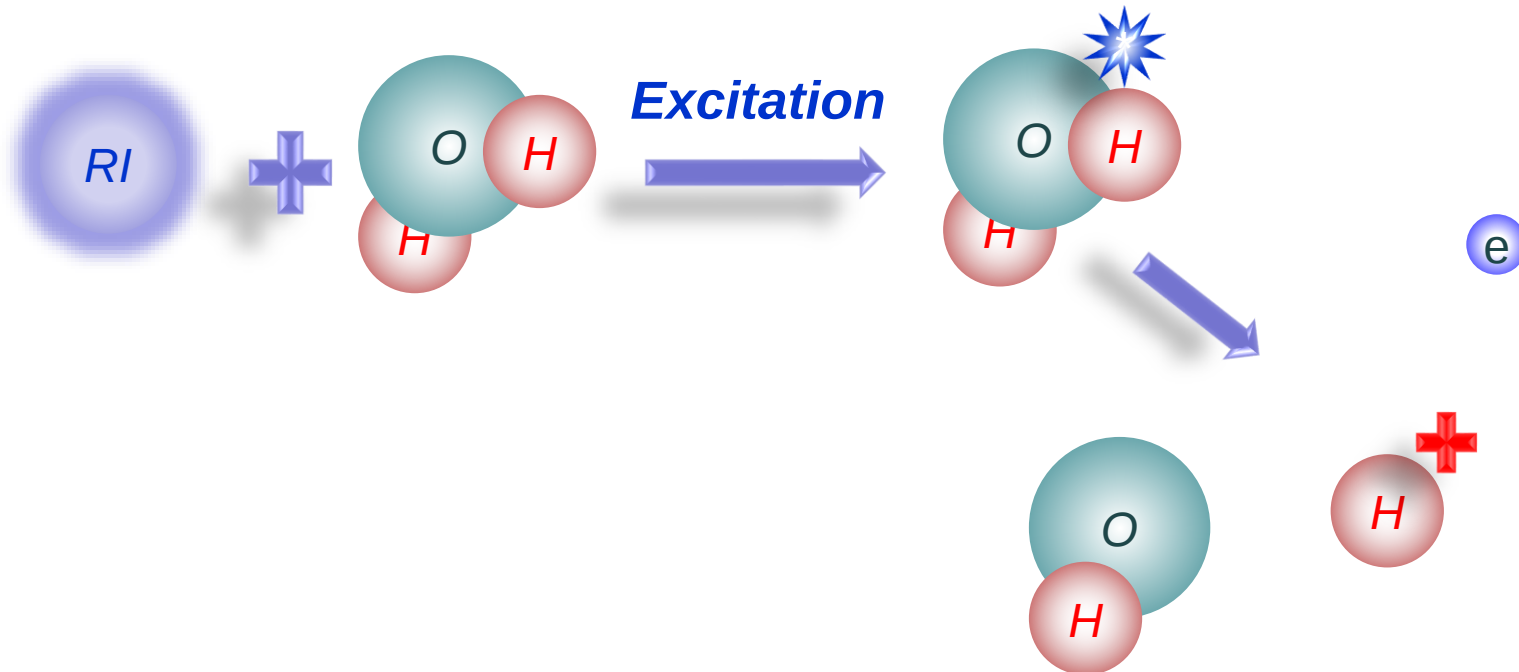
Ce sont des réactions radiochimiques résultant des interactions physiques et qui surviennent dans des délais très brefs de l'ordre de 10^{-12} s.



L'action indirecte

Les réactions physico-chimiques:

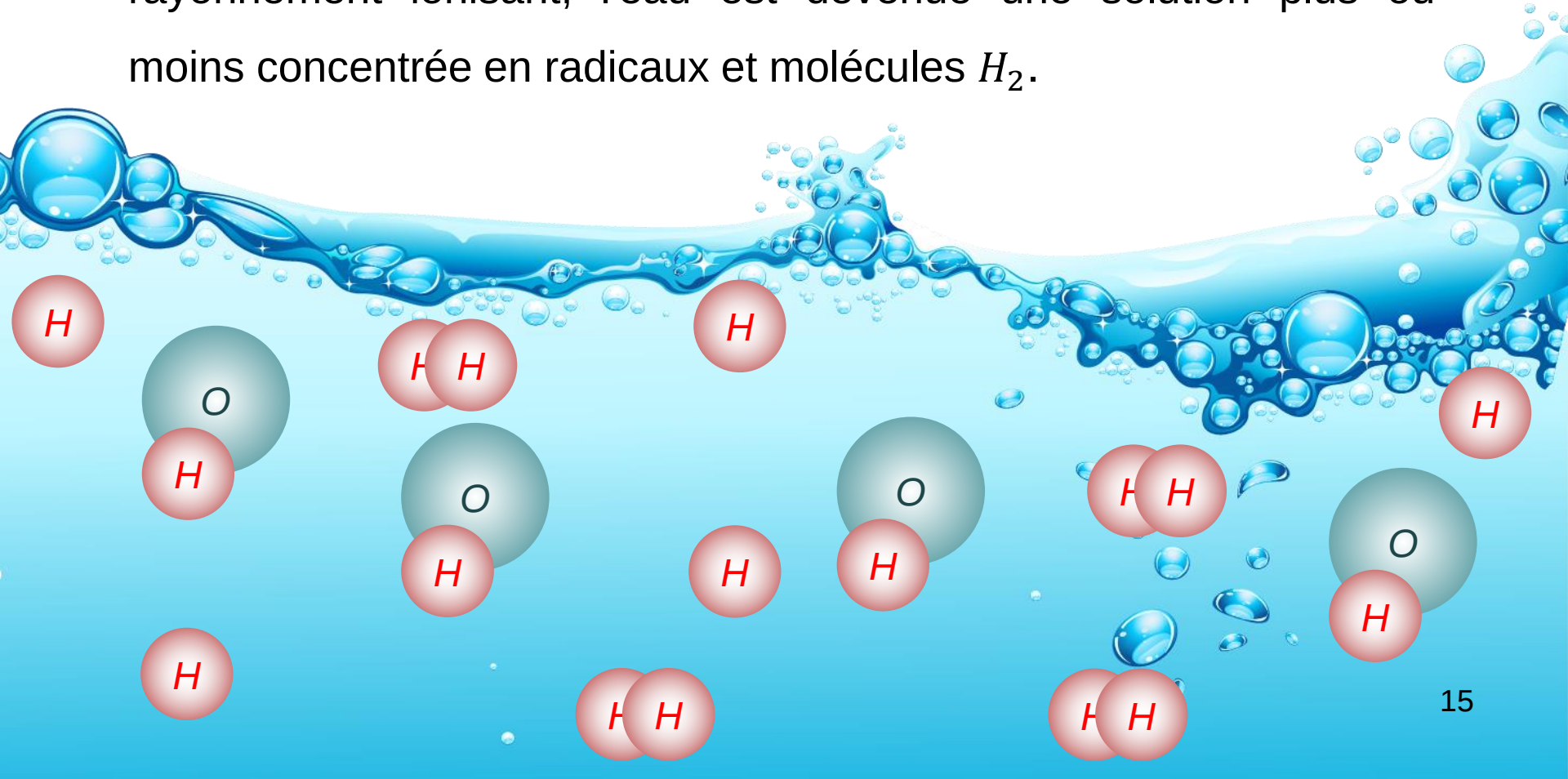
Ce sont des réactions radiochimiques résultant des interactions physiques et qui surviennent dans des délais très brefs de l'ordre de 10^{-12} s.



L'action indirecte

Les réactions physico-chimiques:

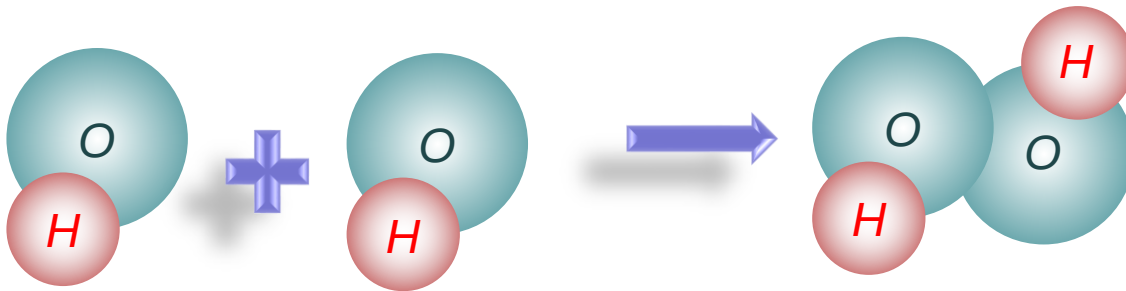
Dans un délais de 10^{-10} à 10^{-9} s après l'interaction avec le rayonnement ionisant, l'eau est devenue une solution plus ou moins concentrée en radicaux et molécules H_2 .



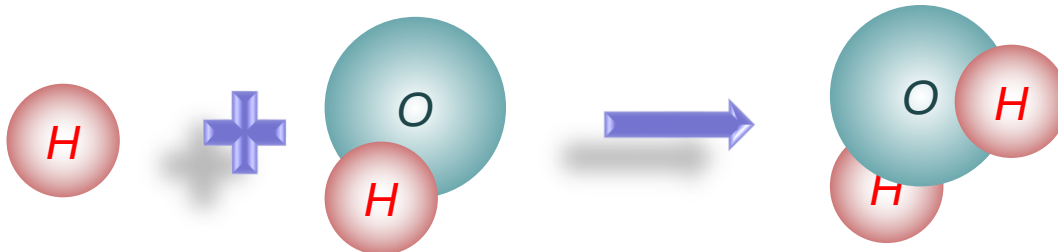
L'action indirecte

L'influence du T.L.E:

Dans le cas où le T.L.E. est élevé, le nombre d'ionisation est grand, donc la probabilité de rencontre entre les radicaux libres formés est élevée

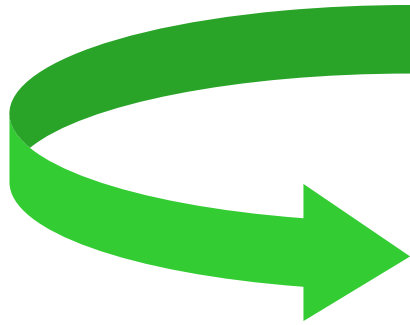


Dans le cas où le T.L.E. est faible, la réaction de recombinaison est la plus probable



Catégories des effets

- Ionisation d 'atomes ou molécules



effets immédiats



**destruction des
tissus**

effets à long terme



cancers



maladies héréditaires

Catégories des effets

Effets déterministes

- Fortes doses
- Délai d'apparition court
- Effets à seuil
- Gravité ↑ avec la dose

Tremper main dans eau chaude (T° seuil)

Effets aléatoires

(stochastiques)

- Faibles doses
- Délai d'apparition long
- Pas de seuil
- Chez les individus atteints : effets identiques quelle que soit la dose
- Probabilité d'apparition ↑ avec la dose

Proba accident en roulant en voiture

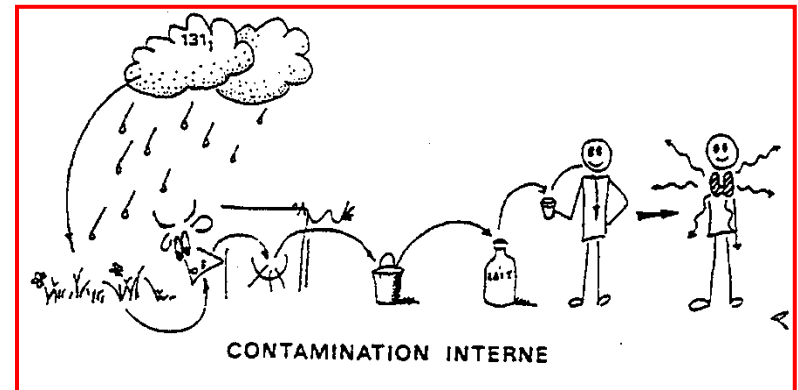
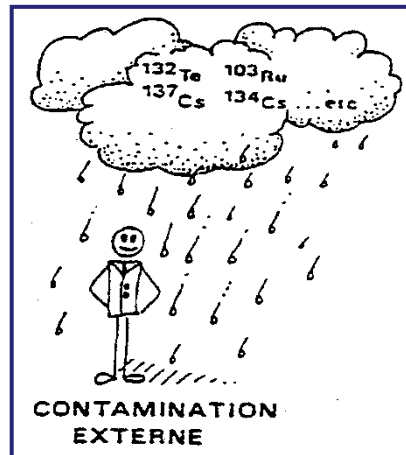
Contamination radioactive

- dès que l'organisme est susceptible d'entrer en contact direct avec une substance radioactive, on parle d'Irradiation ou contamination radioactive

Voies respiratoires,
digestives, transcutanées,
voies directes par blessure

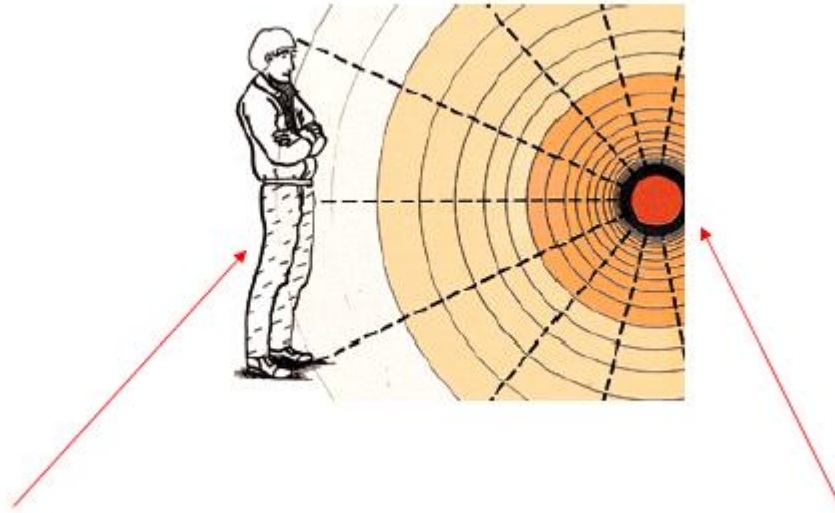
Contamination **externe** ou **interne**

Dépôt sur
peau, cheveux



Calcul de dose absorbée - Dosimétrie

Définition des unités



La cible

La source

Calcul de dose absorbée – Dosimétrie

Dose absorbée

tenir compte des effets dans la matière

Dose absorbée $D = \frac{dE[J]}{dm[kg]}$

1 Gy = 1 Gray = 1 J/kg

Ancienne unité: rad = Roentgen Absorbed Dose 1 Gy = 100 rad

Calcul de dose absorbée – Dosimétrie

Dose équivalente ou Equivalent Dose

tenir compte de la nature du rayonnement

Dose équivalente : $H = W_R D$

W_R : poids du rayonnement (weight en anglais) ou facteur de pondération radiologique

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Sievert} = W_R \times 1\text{Gy}$$

Pour une même dose absorbée, effet biologique des R_α est 20 fois plus important que celui des R_γ

Ancienne unité: Roentgen Equivalent Man $1\text{Sv} = 100\text{rem}$

Calcul de dose absorbée – Dosimétrie

Dose équivalente ou Equivalent Dose

facteurs de pondération radiologique (W_R)

RBE Relative Biological Efficiency

Nature	Energie	W_R
Photons	toutes	1
Electrons	toutes	1
Neutrons	<100 keV	10
	100 keV-2 MeV	20
Particules alpha		20

Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants

Débit de dose

Tenir compte du temps d'irradiation

- **Débit de dose [sv/h]** : dose reçue après un certain temps

$$10 \mu Sv/h = 1 \text{ mrem/h}$$

Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants

Dose efficace

Tenir compte de la radio-sensibilité du tissu / organe touché

- Dose efficace

$$E[Sv] = \sum_i (H_T \times W_T)_i = \sum_i (D \times W_R \times W_T)_i$$

W_T : facteur de pondération tissulaire

W_R : facteur Radiologique

Les Effets Biologiques des Rayonnements Ionisants

Dose efficace

facteurs de pondération tissulaire (W_T)

Organe	W_T
Gonades	0,20
Seins	0,05
Moelle osseuse	0,12
Colon	0,12
Poumons	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Thyroïde	0,05
Os	0,01
Peau	0,01
Reste de l'organisme	0,05
Total	1,00

Quelques chiffres

- En Europe, la dose reçue se situe entre: **2 à 6 mSv /an.**
- Elle dépend essentiellement de la composition géologique du sous-sol et de l'altitude.
- Probable que cette dose provoque un certain nombre d'effets génétiques (mutations).
- Cependant ce nombre est beaucoup plus petit que celui provoqué par d'autres agents, tels alcool, médicaments, et il n'est pas mesurable.

Quelques chiffres

- Exposition **de courte durée** (heures, jour) **beaucoup plus dangereuse** / longue période (années).
- Pour D reçues sur courte période: aucun effet si **$D < 0,15 \text{ Sv}$** .
- Les premiers symptômes de maladies (fatigue, maux de tête, vomissements) apparaissent avec **$D \geq 0,5 \text{ Sv}$** ,
- Alors qu'une dose **$D > 6 \text{ Sv}$** est mortelle dans tous les cas.