

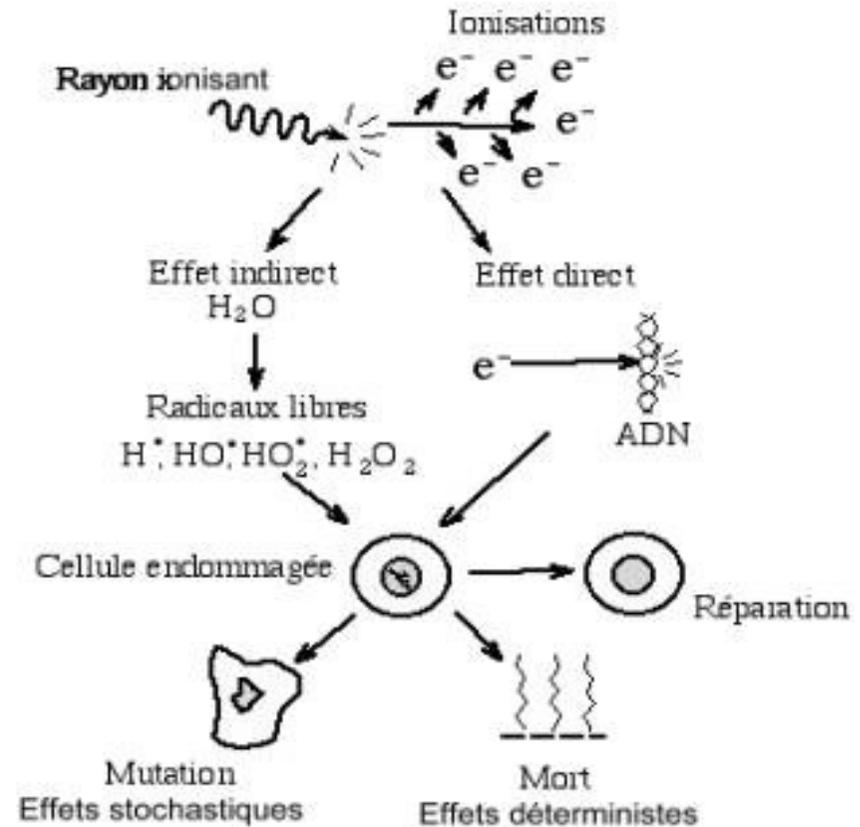
Notions de physique et d'ingénierie nucléaires

Cours 5 : radioprotection

Effets biologiques des rayonnements ionisants :

Disproportion de la très faible quantité d'énergie déposée par rapport à la gravité potentielle des effets biologiques : 5 Gy en irradiation globale (taux de mortalité de 50%) entraîne l'élévation de 1,2 m °C de la température du corps !

Les effets indirects (création de radicaux libres par la radiolyse de l'eau) sont prépondérants

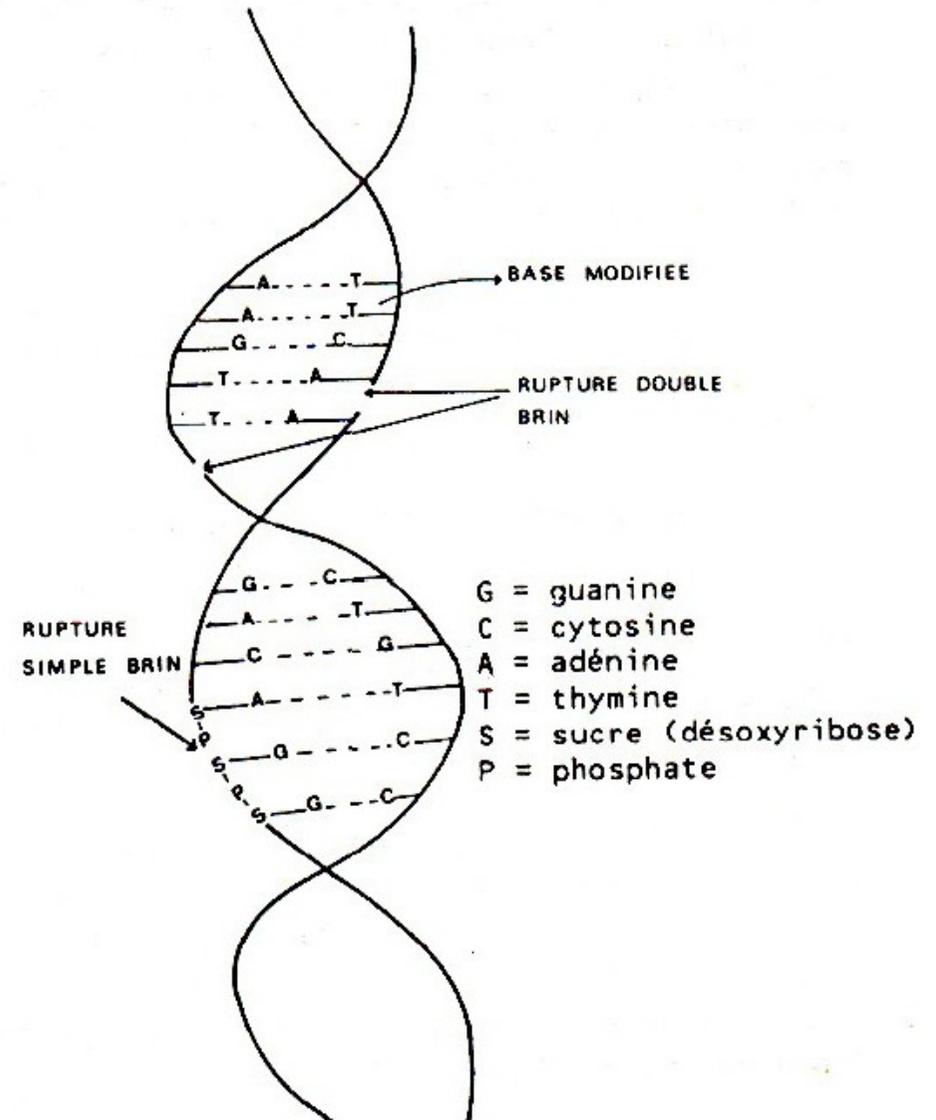


Lésions de l'ADN des cellules :

Elles sont à l'origine de la plupart des dysfonctionnements de la cellule

Les radiations ionisantes peuvent entraîner directement ou indirectement par l'agression des radicaux libres :

- des ruptures simples ou doubles brins ;
- des altérations des bases ;
- des altérations des sucres ;
- des modifications de la structure de la molécule d'ADN.



Effets cellulaires :

Mort cellulaire :

- Pour de très fortes irradiations ($>10 \text{ Gy}$), mort cellulaire immédiate dans les heures qui suivent la radioexposition.
- Pour des irradiations plus faibles ($<2-3 \text{ Gy}$), mort cellulaire différée jusqu'à la mitose et l'enclenchement de l'apoptose (effet recherché en radiothérapie)

Si l'irradiation n'entraîne pas la mort cellulaire, des **altérations des fonctions cellulaires** peuvent néanmoins apparaître :

- perméabilité cellulaire modifiée ;
- réduction de la mobilité cellulaire ;
- réduction de la synthèse de l'ARN et des protéines ;
- retard ou suppression de la mitose (responsable des syndromes hématopoïétiques et gastro-intestinaux liés à l'exposition du corps entier) ;
- retard de la croissance cellulaire.

Par ailleurs une irradiation peut générer une **mutation génétique** qui peut être transmise si le nouveau gène est dominant -> **peut donner lieu à l'apparition de cancers. Cette possibilité augmente avec la dose déposée.**

Dosimétrie : Radioexposition globale

Dose absorbée D : énergie par unité de masse déposée dans la matière (ici un tissu biologique) par les rayonnements qui la traversent :

$$D = \Delta E / m \quad \text{en J/kg ou Gy (Gray)}$$

Equivalent biologique de dose absorbée H : les effets biologiques des rayonnements diffèrent selon la nature et l'énergie des rayonnements . Pour en tenir compte, on introduit le facteur de qualité Q_R qui dépend de la nature et de l'énergie des rayonnements.

$$H = D \cdot Q_R \quad \text{en Sievert (Sv)}$$

$Q_R = 1$ pour les rayons X et γ ainsi que les rayons β .

$Q_R \approx 20$ pour des α de 5 MeV .

$Q_R \approx 10$ pour des neutrons de 10 MeV .

Radioexposition locale ou tissulaire (norme ICRP 60)

Pour un tissu T et un rayonnement R donnés :

Dose absorbée : D_{TR} en Gy par le tissu ou l'organe T soumis au rayonnement R .

Dose équivalente biologique : $H_{TR} = W_R \cdot D_{TR}$ en Sv.

où : W_R est le facteur de pondération du rayonnement R .

Attention l'ordre des mots compte ! La dose équivalente n'a pas la même définition que l'équivalent de dose !

$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{TR}$ est la dose équivalente totale biologique reçue par le tissu ou l'organe T soumis aux différents rayonnements R .

Pour calculer la dose efficace E reçue par un organisme constitué de nombreux organes :

$E = \sum_T W_T \cdot H_T = \sum_R \sum_T W_R \cdot W_T \cdot D_{TR}$ où : W_T est le facteur de pondération tissulaire du tissu T .

$\sum_T W_T = 1$ de sorte que si $H_T = 1$ Sv partout dans le corps, $E = 1$ Sv également.

Facteur de pondération tissulaire pour les différents organes du corps humain.

Tissu ou organe	Facteur de pondération tissulaire Q_T
Gonades	0,20
Moelle rouge	0,12
Colon	0,12
Poumons	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Seins	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface des os	0,01
Autres	0,05

ici $Q_T = W_T$

Attention, ce sont les recommandations de IRCP 60 qui ont changé dans IRCP 103.

Gonades : 0,08
Autres : 0,12
Sein : 0,12

Taux de survie d'une population de cellules humaines d'un même type irradiées

$S = N(D) / N_0$ est la fraction de cellules survivantes à une dose D .

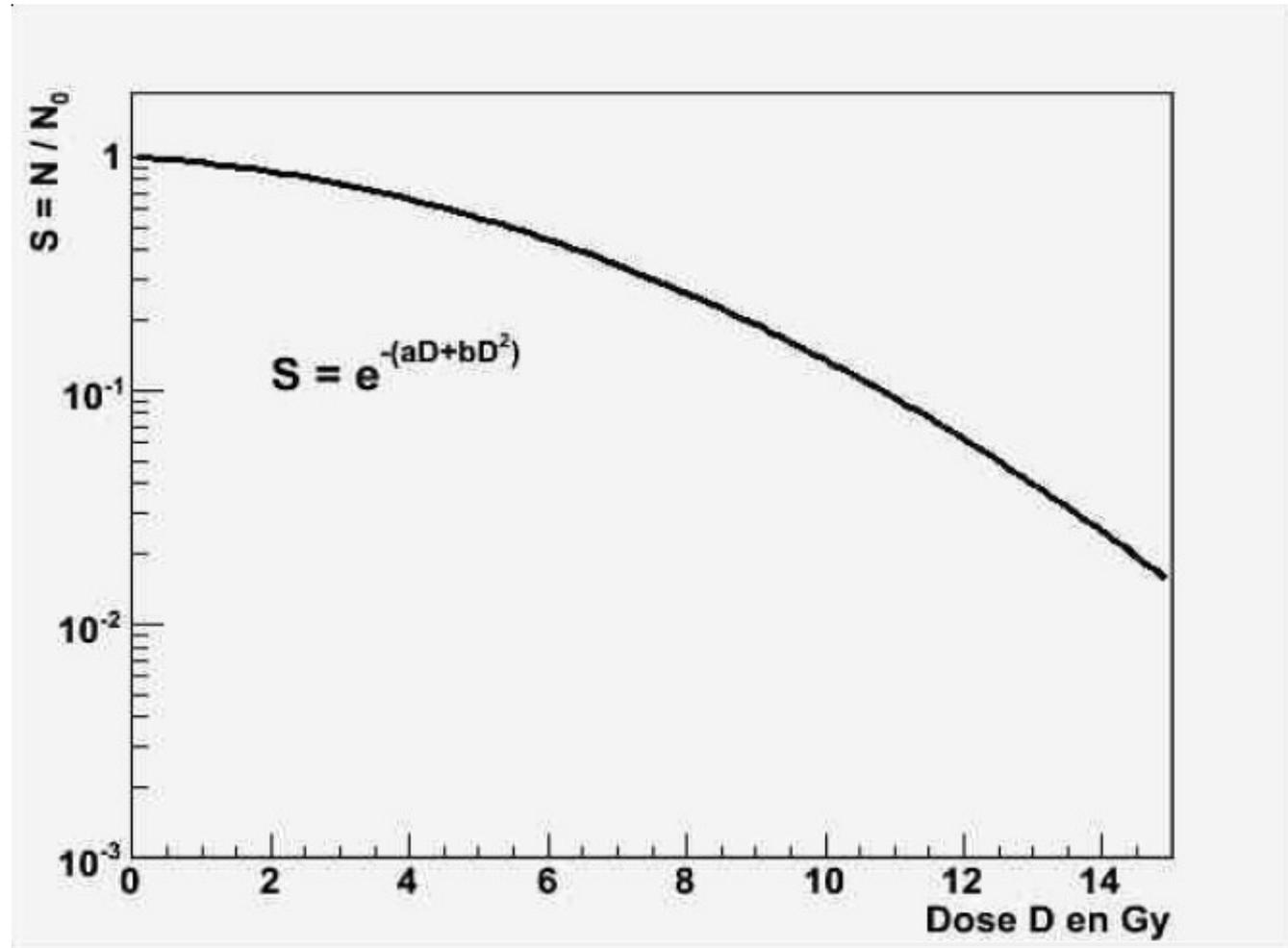
$$N_0 = N(D=0)$$

S suit une loi exponentielle du type :

$$S = e^{-(aD + bD^2)}$$

où D est la dose en Gy

a et b sont des constantes



Débit de dose : dose absorbée par unité de temps (Gy / s)

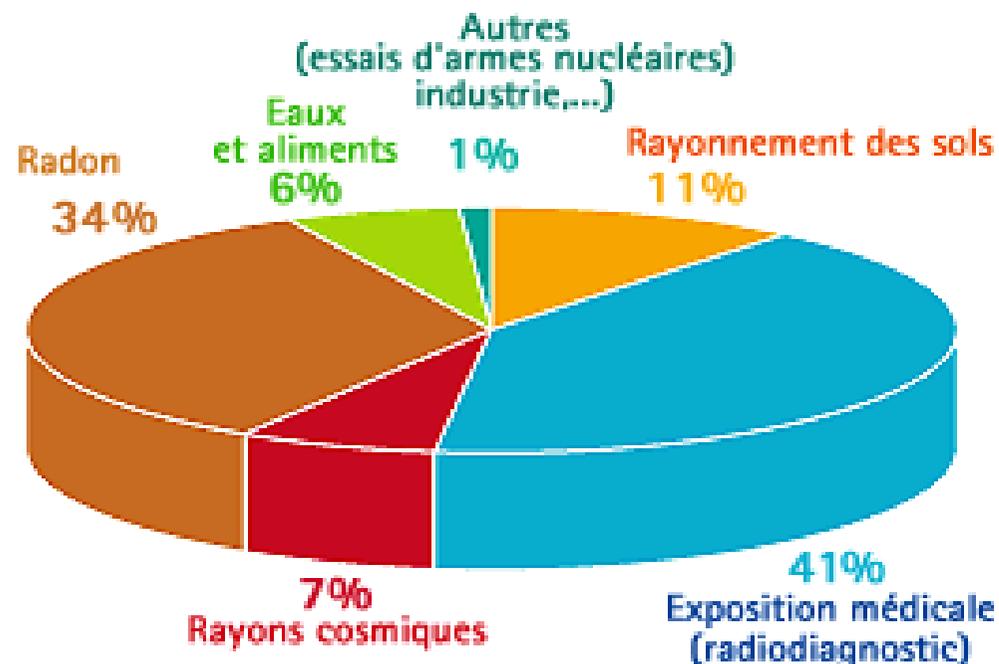
$$\dot{D} = \frac{D}{\Delta t}$$

Débit d'équivalent de dose : équivalent de dose absorbée par unité de temps
(Sv / s)

$$\dot{H} = \frac{H}{\Delta t}$$

Pour une même dose absorbée, un fort débit de dose aggrave les effets biologiques d'une radioexposition .

L'équivalent de dose reçue annuellement par le public est en moyenne de 4 mSv (~ 50% naturelle , ~ 50% artificielle) au niveau de la mer .



Données IRSN

Pour le public, les normes de radioprotection actuelles imposent que la contribution totale de toutes les autres sources ne doit pas dépasser un quart de cette irradiation annuelle moyenne, c-à-d 1 mSv pour un total restant inférieur à 5 mSv .

Il est important de garder à l'esprit que les effets biologiques induits par les rayonnements ne sont pas des quantités physiques précisément mesurables !

Les concepts d'équivalent de dose ou de dose équivalente ne sont donc pas des quantités aussi reproductibles que la dose absorbée. Ils permettent d'établir des règles et des guides généraux de protection vis-à-vis des rayonnements. Mais ils ne doivent en aucun cas être considérés comme des absolus.

Pour d'autres organismes vivants, les facteurs de pondération peuvent être notablement différents, ex : insectes $W_R \approx 0.2 - 0.001$, ce qui traduit une résistance accrue des insectes aux rayonnements en général.

Effets d'une radioexposition aiguë sur un adulte sain :

< 1 Gy , aucun signe clinique chez la plupart des individus

1-2 Gy , nausée , vomissement 3 à 6h après l'exposition

4-5 Gy - Dose qui entraîne une létalité de 50% sur une population du même âge

> 10 Gy Coma et mort en 14-36 h

Zonage des installations nucléaires

zone bleue	de 0.5 à 7.5 μSv reçus en 1h	zone surveillée	Plus de 80 μSv par mois, soit 1 mSv sur 12 mois glissants : ordre de grandeur du rayonnement naturel : limite réglementaire de l'exposition admissible du public aux rayonnements artificiels.	
zone verte	de 7.5 à 25 μSv reçus en 1h	zone contrôlée	Ordre de grandeur des expositions aux rayonnements dans les environnements naturels fortement radioactifs.	
zone jaune	de 0.025 à 2 mSv reçus en 1h	zone contrôlée (spécialement réglementée)	Capacité de réparation de l'ADN des cellules supérieures aux dislocations induites. Vieillessement cellulaire éventuellement accéléré par les radiations (?)	
zone orange	de 2 à 100 mSv reçus en 1h	zone contrôlée (spécialement réglementée)	Taux de cassure double brin de l'ADN ($\sim 1/\text{cGy}$) de l'ordre du taux de réparation (\sim heure). Apparition éventuelle de phénomènes spécifiquement radio-induits aux expositions prolongées.	
zone rouge	plus de 100 mSv reçus en 1h	zone interdite	Cassures double brin de l'ADN supérieures au taux de réparation. Dislocations excédant les capacités de réparation cellulaires. Effets cumulatifs dépendant de la dose totale.	

Pour en savoir plus :

-site web : www.laradioactivite.com

-radiobiologie & radioprotection appliquées :
R. Granier & D.J. Gambini - EM inter