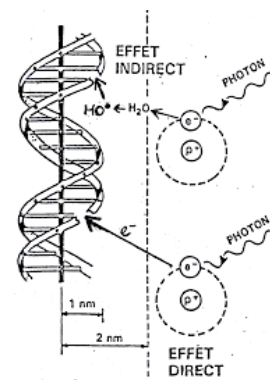


Chapitre III : Radiobiologie

Cours Radiobiologie Radioprotection



Dr. Lezzar

Table des matières



| | |
|---|----|
| Introduction | 3 |
| I - Effets déterministes et stochastiques | 4 |
| 1. Les effets déterministes ou obligatoires | 4 |
| 2. Les effets stochastiques ou aléatoires | 5 |
| II - Effets moléculaires d'une irradiation | 6 |
| III - Effets cellulaires d'une irradiation | 7 |
| IV - Courbe de suivi cellulaire | 8 |
| V - Conséquence global d'une irradiation sur l'organisme | 10 |
| VI - Irradiation ou contamination | 11 |

Introduction



Les effets biologiques des rayonnements ionisants dépendent de nombreux facteurs tels que la dose, le débit de dose, le type et l'énergie du rayonnement, le type de cellule ou de tissu, etc. Il faut par ailleurs distinguer les deux catégories d'effets d'une irradiation : les effets déterministes qui sont précoces et n'existent que pour de fortes doses ; les effets stochastiques plus tardifs et surtout liés à une irradiation par des doses faibles.

Notons que nous sommes tous et à tout moment soumis à un rayonnement : venant de rayonnement cosmique, du potassium contenu dans nos os, des retombées de l'industrie nucléaire sans compter l'exposition médicale principale.

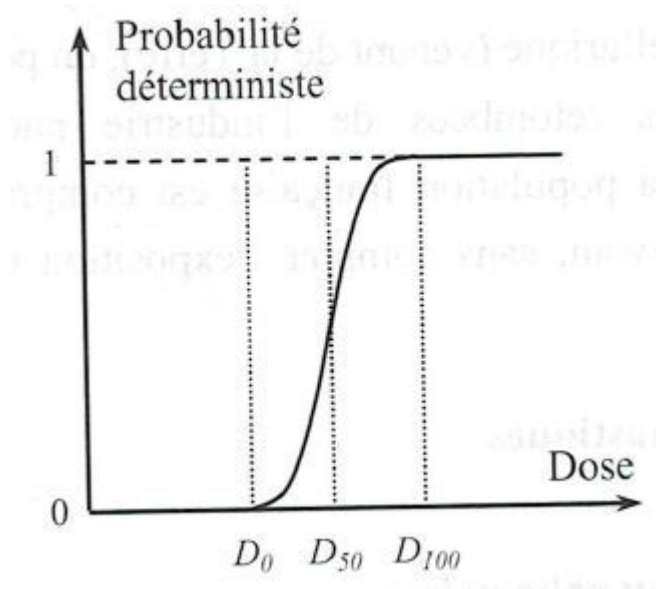


Effets déterministes et stochastiques

I

1. Les effets déterministes ou obligatoires

Ils surviennent rapidement (quelques jours à quelques mois) après l'irradiation et ont lieu lorsque la dose reçue dépasse un certain seuil, qui est variable d'un individu à l'autre mais qui au niveau d'une population donnée est comprise entre deux valeurs.



Définition : Dose minimale

Une minimale notée D_0 pour laquelle aucun individu ne présente d'effet.

Définition : Dose maximale

Une maximale notée D_{100} pour laquelle l'ensemble des individus présente un effet.

Remarque

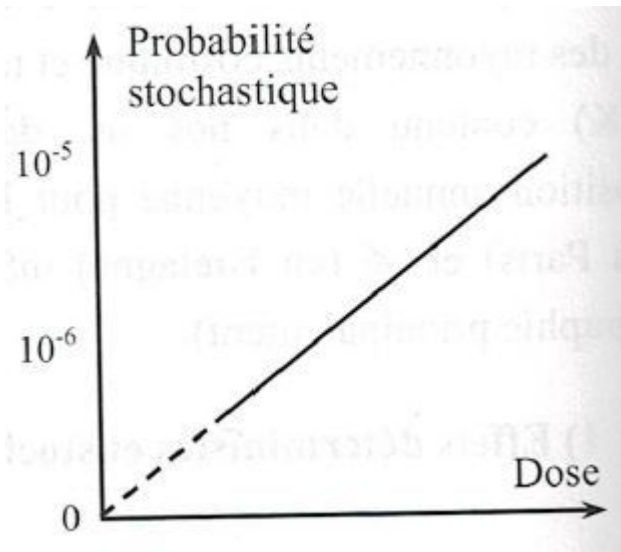
Par analogie la dose pour laquelle 50 % des individus présente un effet et de façon épidémiologique est notée D_{50} .

☞ Exemple

Pour une population le seuil est d'environ 200 mSv. La gravité des effets biologiques est directement proportionnelle à la dose.

2. Les effets stochastiques ou aléatoires

Ces effets se manifestent plus longtemps supérieur à 6 mois après l'irradiation et de manière aléatoire, car avec un déterminisme extrêmement variable selon les individus on parle de susceptibilité individuelle. Pour une population donnée. Ces effets ne s'expriment donc qu'en terme de risque et leur probabilité augmente avec la dose, mais pas leur gravité.



☞ Exemple

Pour de forte dose, les principaux risques sont la survenue d'un cancer ou d'une anomalie génétique, et sont d'autant plus importants que la dose est forte.

Pour les doses faibles, la contribution de l'irradiation par rapport aux autres facteurs de risque (hérédité, mode de vie, profession) est très difficile à évaluer.

📦 Complément

Ceci permet en partie d'expliquer pourquoi n'existe pas de seuil défini pour ses effets stochastiques.

Effets moléculaires d'une irradiation

II

Au niveau moléculaire les effets d'un rayonnement (excitation ionisation) peuvent-être directs s'il touche l'ADN, les protéines. Ce qui représente environ 20 % des lésions. et indirect via la radiolyse de l'eau : les milieux biologiques est constitué d'environ 80 % d'eau, ce sont statistiquement les molécules d'eau qui vont subir le plus des radiations et former des radicaux libres très réactif, à durée de vie très courte : le radical hydroxyle (HO^*) et le radical hydrure (H^*). $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^* + \text{HO}^*$

Complément

Ces radicaux vont se distribuer de façon hétérogène le long de la trajectoire du rayonnement et se combiner pour former des molécules soit inerte (H_2O ou H_2). $\text{H}^* + \text{HO}^* \rightarrow \text{H}_2\text{O} / \text{H}^* + \text{H}^* \rightarrow \text{H}_2$

Soit extrêmement nocives est à plus long durée de vie (H_2O_2 à TLE élevé ou HO^*_2 à TLE faible). $\text{HO}^* + \text{HO}^* \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 / \text{H}^* + \text{O} \rightarrow \text{HO}^*_2$

Ces molécules nocifs vont ensuite diffusés dans le milieu et réagir avec les molécules des cellules de façon nuisible.

Rappel

Le rayonnement a TEL élevé sont les α , protons et neutrons, et ceux a TLE faible, les photos et électrons.

Effets cellulaires d'une irradiation



Les principales cibles du rayonnement au niveau de la cellule sont l'ADN, les membranes cellulaires et les protéines. Ses effets peuvent être décrits en fonction de la dose reçue

Conseil

- Les très faibles doses n'ont aucune conséquence car les lésions qu'elle génère ne représente qu'une fraction faible de l'ensemble des lésions créés : les cellules se réparent efficacement.
- Aux faibles doses, les cellules ont une réaction physiologique pour répondre aux mauvaises réparations qui peuvent s'accumuler ou à la mort cellulaire. Là encore, pas ou peu de conséquences pour la cellule. C'est d'ailleurs l'un des modes d'action de la radiothérapie.
- Pour les doses de quelques dizaines de mSv, le cycle cellulaire est perturbé entraînant un retard dans la mitose, ce qui peut déboucher sur une activation des divisions cellulaires, avec ou sans anomalie.
- À partir d'une certaine dose seuil, l'accumulation d'erreurs entraîne des altérations de la régulation du cycle cellulaire, il y a risque de cancer radio-induit.
- Au forte dose, on observe un effet de mort cellulaire différée qui est d'autant plus important que le tissu touché et à renouvellement rapide. C'est l'effet principal recherché en radiothérapie

Courbe de suivi cellulaire

IV

Les effets des rayonnements sur une cellule répondent principalement de son mode d'application et de son TLE. Le tableau suivant l'étal des différents rayonnements.

| Rayonnement | α | β | X, γ | neutrons |
|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| TLE | 150 keV/ μm | $\sim \text{keV}/\mu\text{m}$ | $\sim \text{keV}/\mu\text{m}$ | variable |
| Parcours dans le tissu | qques μm | $\sim 1 \text{ mm}$ | $\sim 10 \text{ cm}$ | $\sim 10 \text{ cm}$ |

Méthode

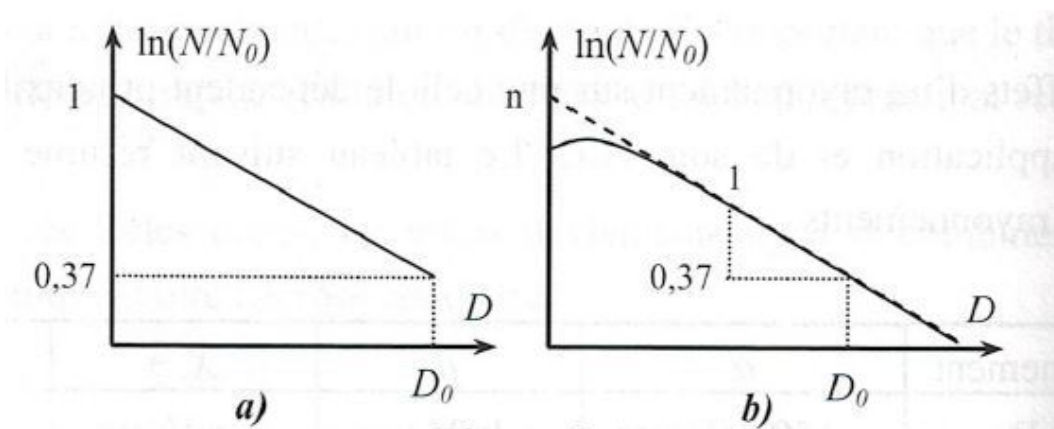
Expérimentalement, on a observé que la proportion de cellule survivante à une irradiation diminue lorsque la dose D augmente. La courbe de survie et la représentation de ce phénomène sur un plan statique. On note S le taux de survie des cellules. Si N est le nombre de cellule survivante est N_0 le nombre initial de cellule, on définit ce taux de survie comme : $S = N/N_0$


Pour décrire sa variation on utilise des modèles mathématiques qui décrivent deux principaux types de courbes. Les courbes exponentiel concerne les cellules simple et repose sur l'hypothèse de la cible létale. Elles sont observées principalement pour des rayonnements à TLE élevé. C'est courbe son du type :

$S = e^{-D/D_0}$ Ou D_0 est la dose létale moyenne, c'est-à-dire la dose pour laquelle le taux de survie est égale à 37%. On remarque alors que l'on peut établir la relation. $D_{50} = D_0 * \ln 2$.

Les courbes avec épaulement repose elle sur l'hypothèse de n cible sublétale. Elles sont du type :

$$S = 1 - (1 - e^{-D/D_0})^n$$



 *Complément : Le facteur influençant les courbes de survie*

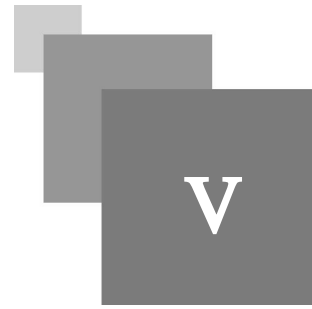
Le facteur influençant les courbes de survie (changement de pente) par exemple sont :

Le TLE : pour des TLE faible on observe en général des courbes avec épaulement, avec des n allant jusqu'à la dizaine. Pour des TLE plus élevé la courbe devient nettement exponentielle d'une manière générale, la survie est d'autant plus faible que le tel est élevé.

Le débit de dose : les réparations étant en équilibre dynamique avec l'apparition des lésions, plus le débit de dose est faible et plus la cellule a le temps de se réparer.

Le fractionnement de la dose : lorsque la dose est délivrée en plusieurs fois, les lésions peuvent se réparer entre deux fractions et seul l'élision l'étale d'emblée porte à conséquence. Un bébé fait peut-être obtenu avec une dose total plus importante, principes très utilisé radiothérapie.

Conséquence global d'une irradiation sur l'organisme



On considère une dose globale répartie sur l'organisme, on peut distinguer les effets en fonction de la dose reçu :

$D < 0,25$ Gy : aucune conséquence aucun symptôme.

$0,25 < D < 1$ Gy : chute légère et réversible des lymphocytes.

$1 < D < 2$ Gy : nausées, vomissement et céphalées après quelques heures et pouvant durer jusqu'à 48 heures, chute des lymphocytes. Guérison spontanée dans la plupart des cas.

$2 < D < 5$ Gy : nausées et vomissements précoces, asthénie et fièvre chute brutale est importante supérieur à 50 % des lymphocytes.

$5 < D < 15$ Gy : troubles digestifs une neurologique grave.

$D > 15$ Gy : réaction cutanée état de choc œdème cérébral conduisant à la mort.

Irradiation ou contamination

VI

Un être humain peut être irradié ou contaminé par une source radioactive.

Il est IRRADIÉ s'il est « ATTEINT » DEPUIS L'EXTÉRIEUR par les rayonnements issus de la source.

Il est contaminé si des particules radioactives SE DÉPOSENT sur lui ou bien si elles SONT INGÉRÉES OU INHALÉES.

Définition : Irradiation

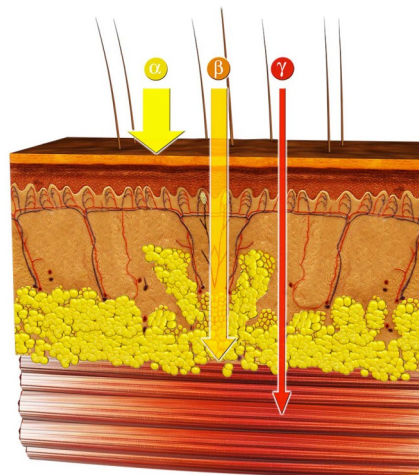
On parle d'irradiation lorsque la source radioactive est située à l'extérieur du corps et que ces rayonnements traversent l'organisme ou une partie de celui-ci. L'irradiation s'arrête lorsque l'on s'éloigne de la source. La personne ne transporte aucune radioactivité après avoir été irradiée, elle subit uniquement les éventuels effets produits par les rayonnements.

Complément : En irradiation

Le rayonnement alpha ne pénètre pas plus profondément que les premières cellules de la couche supérieure de la peau.

Le rayonnement bêta est plus pénétrant et peut atteindre les couches internes et provoquer des brûlures.

Les rayons gamma pénètrent au-delà des couches de la peau, à l'intérieur du corps.



Définition : Contamination

On parle de contamination interne lorsque des éléments radioactifs pénètrent à l'intérieur du corps par inhalation, ingestion ou encore par blessure avec des objets contaminés.

Le corps ne fixe pas définitivement les particules radioactives. Selon leur nature, le temps de leur passage dans le corps est plus ou moins long.

Ce n'est pas parce que la personne a été contaminée en interne ou irradiée qu'elle présente un risque pour ses proches.

Complément

Le rayonnement alpha ne pénètre pas plus profondément que les premières cellules de la couche supérieure de la peau. Le rayonnement bêta est plus pénétrant et peut atteindre les couches internes et provoquer des brûlures. Les rayons gamma pénètrent au-delà des couches de la peau, à l'intérieur du corps.