

# Les effets biologiques des rayonnements ionisants

## I / Généralités :

Les effets biologique d'une irradiation c'est l'aboutissement d'une longue séries de phénomènes déclenchés par le passage du rayon dans le milieu.

Les rayonnements directement ionisants sont des particules chargées en mouvement :  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\alpha$ , proton.

Les rayonnements indirectement ionisants X et  $\gamma$  le sont par l'intermédiaire des électrons secondaires.

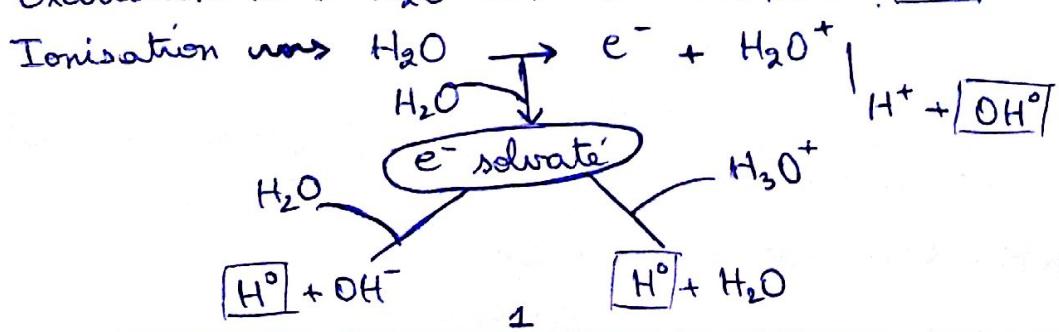
Les neutrons sont ionisants par l'intermédiaire des noyaux atomiques et des photons qu'ils mettent en mouvement.

## II Effets moléculaires : (phénomènes moléculaires)

### ① Mécanismes d'altération directe

Le rayonnement incident peut transferer tout ou une partie de son énergie à la molécule qui devient excitée ou ionisée. Et le retour à l'état fondamental se fait soit par rupture de liaisons covalentes ou émission de fluorescence, aboutissant non seulement à la destruction moléculaire donc la perte de la fonction biologique de la molécule, mais aussi la formation de radicaux libres susceptibles d'altérer indirectement d'autres molécules.

### ② Mécanismes d'altération indirecte : c'est la radiolyse de l'eau.



La radiolyse de l'eau aboutit à la formation de radicaux libres fugaces. (qui ne durent pas) oxydants ( $\text{OH}^\circ$ ) et réducteurs ( $\text{H}^\circ$ ) et polarants ( $e^-$  solvaté)

L'électron va être ralenti et piégé par les molécules d'eau qui l'entourent créant ainsi l'électron solvaté (le polarant) et la réaction se fait dans un sens ou dans l'autre selon le pH du milieu :

pH acide  $\rightarrow$  formation de  $\text{H}^\circ$ .

pH basique  $\rightarrow$  formation de polarant.

⚠ Plus le TEL est élevé, plus la solution est concentrée en radicaux libres.

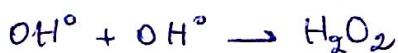
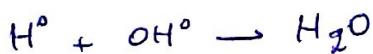
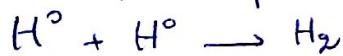
paramètres dont dépendent les radicaux libres.

Nature du R

TEL faible : densité d'ionisation peu élevée et la seule réaction probable  $e^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^\circ + \text{OH}^\circ$

Le devenir des radicaux libres dépend de :

- La nature du rayonnement : pour un TEL élevé, la concentration en radicaux libres est élevée donc la probabilité pour qu'il y ait des réactions est importante :

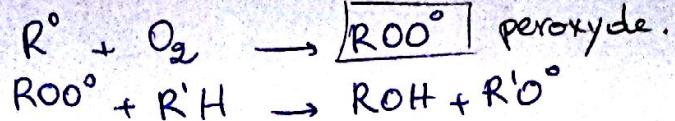


Pour un TEL faible, la densité d'ionisation est peu élevée, les ionisations sont éloignées les unes des autres : la seule réaction probable est :  $\text{H}^\circ + \text{OH}^\circ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

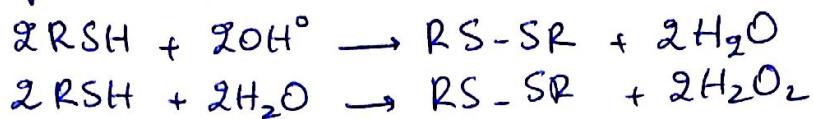
- La présence d'oxygène : l'oxygène augmente l'effet des radiations même si le TEL est faible. L'oxygène multiplie l'effet des radiations par 3. Il agit avec le polarant et avec  $\text{H}^\circ$ .

- La présence de substances organiques : les radicaux libres vont agir avec les substances organiques du milieu et on aura la formation de peroxydes :





Les radicaux peroxydes sont de puissants oxydants toxiques pour les cellules contenant des lipides. Ils entraînent la destruction de ces cellules. Ils agissent avec les groupes sulfurés aussi :



Ce qui est à l'origine de la modification des structures des protéines. C'est l'inactivation enzymatique radio-induite.

## II / Phénomènes cellulaires :

### ① L'action sur les systèmes enzymatiques:

- Desorganisation des chaînes d'oxydoréduction des cytochromes.

- Altération de la membrane des lysosomes fragilisée par les peroxydes et les radicaux libres. (libération dans la cellule des enzymes protéolytiques)

### ② Action sur l'ADN:

3 types de lésions peuvent en résulter :

- Altération des bases : conduisant à des erreurs de lecture du code génétique.

- Rupture simple des chaînes d'ADN.
- Rupture double des chaînes d'ADN.

### ③ Effets cellulaires : les effets cellulaires proprement dits concernent :

- Le cycle cellulaire : retard de mitose et blockage lors du passage de la phase G<sub>1</sub> à la phase S : par accumulation de la protéine P53 qui joue un rôle dans la régulation du cycle.

- Mort cellulaire : c'est la perte de la capacité de prolifération infinie des cellules.

- Altération de la fonction cellulaire : pour des doses absorbées plus faibles que celles qui provoquent la mort cellulaire. Touchant la perméabilité, la mobilité, la synthèse de l'ARN et des protéines, le cycle mitotique et la croissance cellulaire.

- Altération des systèmes de régulation du cycle cellulaire : qui peut être à l'origine des cancers.

④ Courbe de survie: Elle permet d'analyser l'évolution de l'effectif d'une population cellulaire soumise à des doses variables de rayonnements ionisants.

$$N(D) = N_0 \cdot e^{-\frac{D}{D_0}}$$

$D_0$ : la dose létale moyenne

$N(D)$ : le nombre de survivants après une dose absorbée  $D$ .

$N_0$ : Effectif initial.

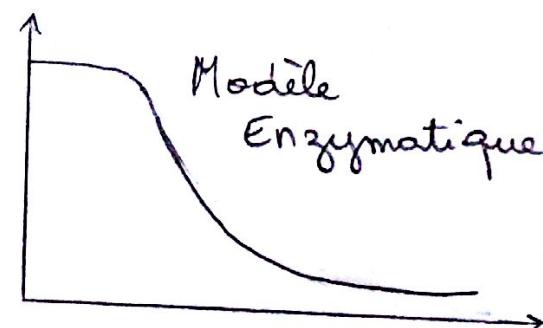
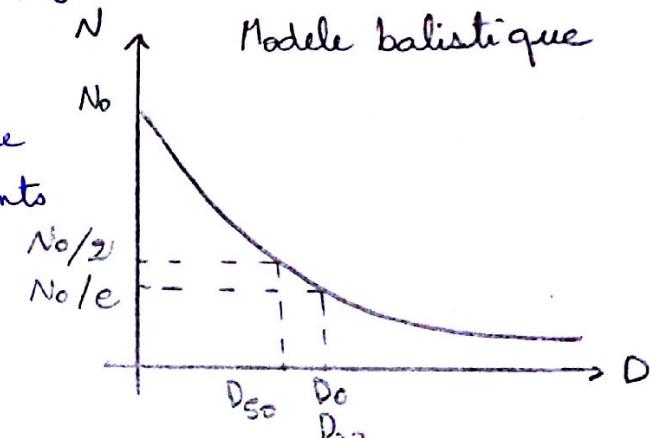
$D$ : Dose absorbée.

$D_0$  ou  $D_{37}$ : c'est la dose qui laisse survivre une fraction  $N/e = 37\%$  des cellules initiales.

$D_{50}$ : c'est la dose qui laisse survivre 50% des cellules initiales:  $D_{50} = D_0 \cdot \ln 2$

⚠ On obtient cette courbe (modèle balistique) si on considère que la population est d'emblée létale.

Par contre, on obtient le modèle enzymatique si on prend en compte la capacité de régénération des cellules: C'est à dire qu'ici, on prend en considération le système enzymatique qui peut réparer en cas de doses faibles (réparation cellulaire). Mais lorsque le pool enzymatique est épuisé et



lorsque les doses sont élevées, la courbe décroît de manière exponentielle, c'est à dire que la réparation n'a pas lieu.

### III / Facteurs de sensibilité:

① Les facteurs liés à l'environnement cellulaire: les radioprotecteurs sont des substances dont l'administration avant irradiation atténue ou supprime les effets des rayonnements et diminue la mortalité (le risque).

Exemples:- la cysteine capte les radicaux OH

- l'acide  $\omega$  amino-caproïque inactive les enzymes protéolytiques.

Il existe aussi des radioprotecteurs biologiques tel que le déplacement du métabolisme cellulaire vers une voie oxygène- indépendante.

- Augmentation de l'activité du système hypophyso-surrénalien → augmentation de l'effet anti-inflammatoire

En contre partie, il existe des radiosensibilisateurs qui augmentent l'effet de l'irradiation tel que l'effet oxygène.

② Les facteurs cellulaires proprement dits:

- Le contenu en ADN: une cellule haploïde est plus sensible qu'une cellule diploïde.

- La phase du cycle cellulaire: la radiosensibilité est maximale à la phase M et minimale à la phase S.  
(métaphase)

- La nature de la cellule: par ordre décroissant de radiosensibilité chez l'Homme, on peut classer les différents tissus de la sorte : Tissu embryonnaire, organes hématopoïétiques, gonades, épiderme, muqueuse intestinale, le tissu conjonctif, le tissu musculaire, le tissu nerveux.

## II / Radiopathologie:

### Effets stochastiques

- Sans seuil (doses faibles)
- Aléatoires
- Effets somatiques et génétiques dans la descendance.
- S'observe pour des doses faibles.
- Dévolution lente
- Effets retardés

### Effets déterministes

- Jamais en dessous d'un seuil
- Non aléatoires
- Obligatoires
- Somatiques précoces
- D'autant plus grave que la dose est élevée
- Non stochastiques.
- Effets à court terme.

### Effets somatiques:

- Diminution de durée de vie
- Carcinogénèse
- Certaines maladies chroniques.

### Effets génétiques:

- Mutations géniques et chromosomiques

### Effets à court terme (déterministes)

- Etat de choc
- Coma
- Brûlures cutanées
- Syndrome Nerveux
- Mort.