

Cours de Biophysique

2023/2024
2^{ème} semestre

Pr. Youssef Mir

Université Privée de la Santé et des Sciences d'Agadir
UPSSA

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Plan

III. EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

III.1. Les réactions radiochimiques

III.2. Les altérations moléculaires

III.3. Les dommages cellulaires

III.4. Les altérations tissulaires

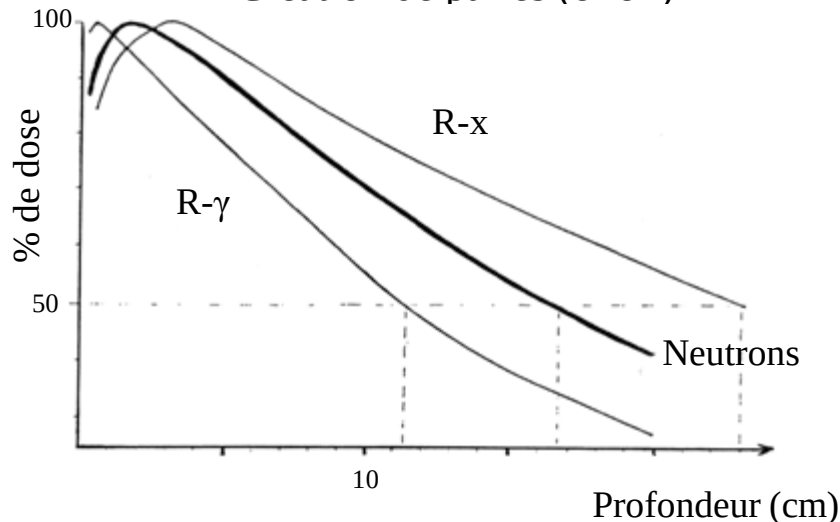
Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les différents types de radiations

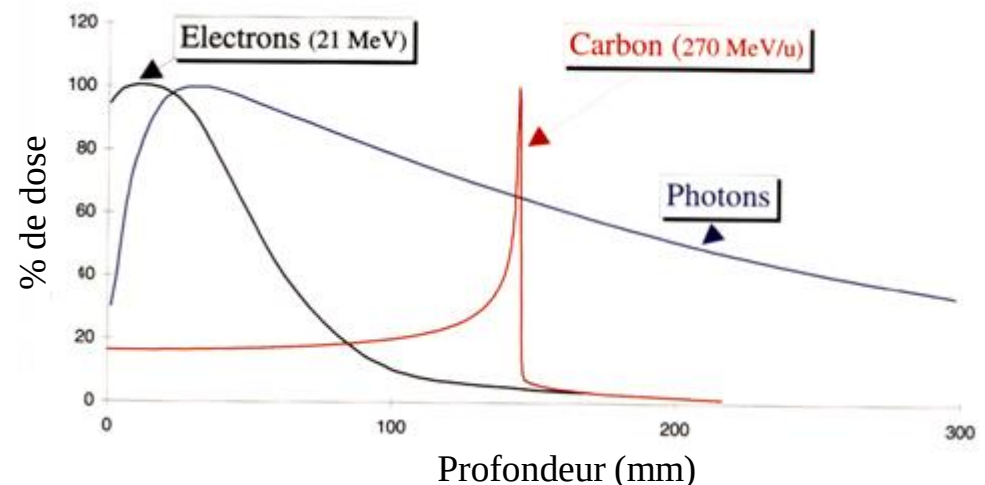
Photons et Particules neutres

- Photons et neutrons
- Indirectement ionisants
- Atténuation exponentielle
- Interactions photons-électrons
 - ✓ Effets photo-électriques
 - ✓ Effets Compton
 - ✓ Création de paires ($e^- e^+$)



Particules chargées

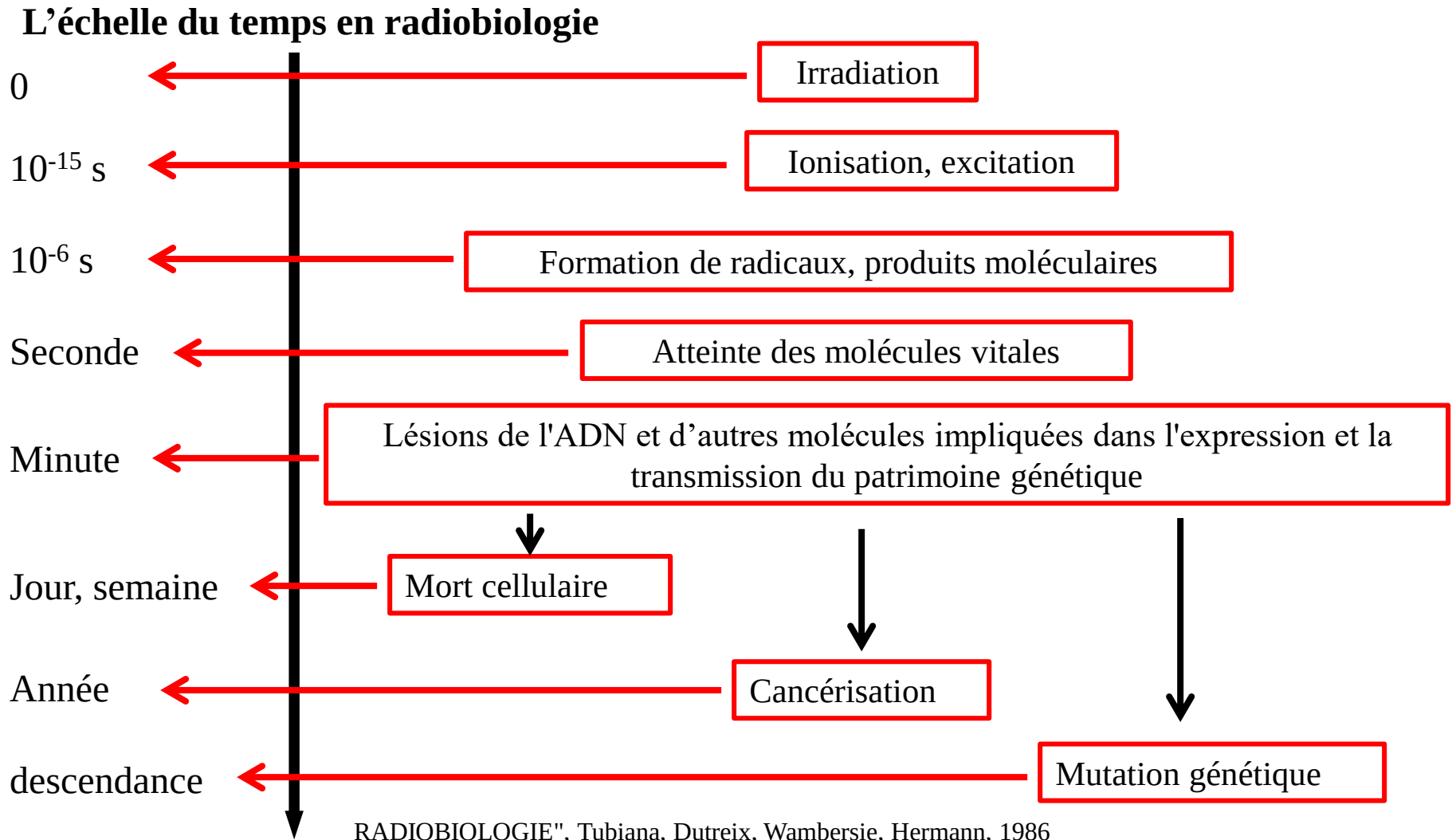
- Électrons, protons, alpha et ions
- Directement ionisants
- Pouvoir de ralentissement
- Interaction particules chargées-électrons
 - ✓ Mise en mouvement des électrons par les forces de Coulomb



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les réactions radiochimiques



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

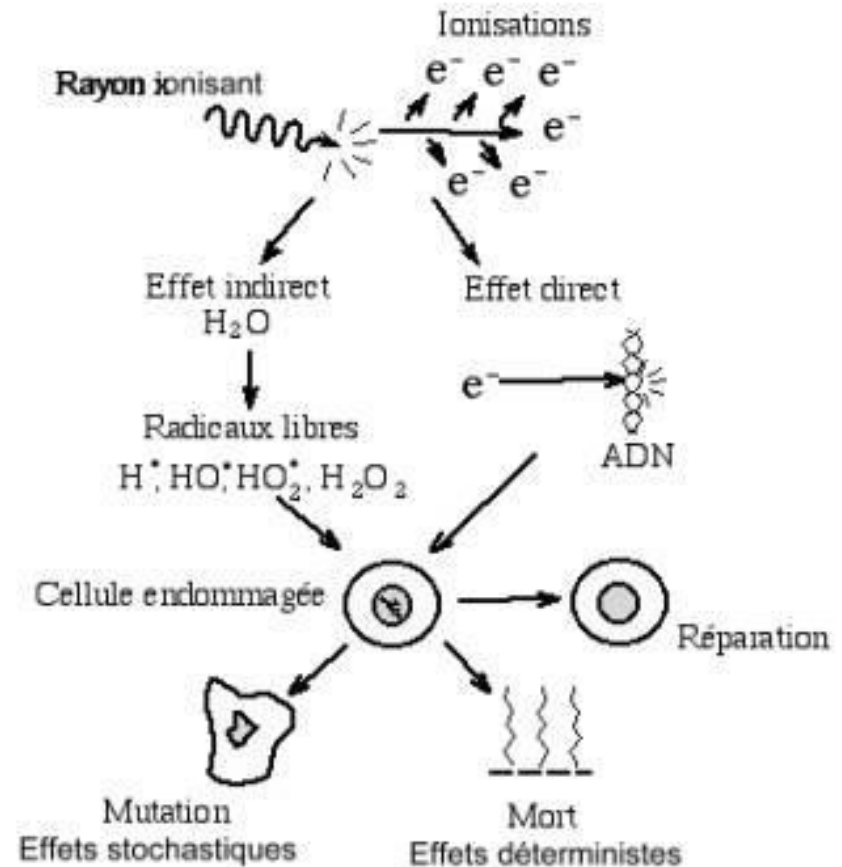
Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les réactions radiochimiques

Le rayonnement ionisant réagit avec le milieu biologique (ex. ADN) par deux façons :

✓ Il peut modifier la molécule par ionisation directe : nommé l'**effet direct**. Cette modification de la structure chimique de l'ADN se fait par ionisation d'un atome constituant celle-ci et sa recombinaison avec un autre atome.

✓ Par **radiolyse de l'eau** et formation de radicaux libres (**effet indirect**). Il entraîne des modifications de la structure des molécules d'ADN.



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations moléculaires

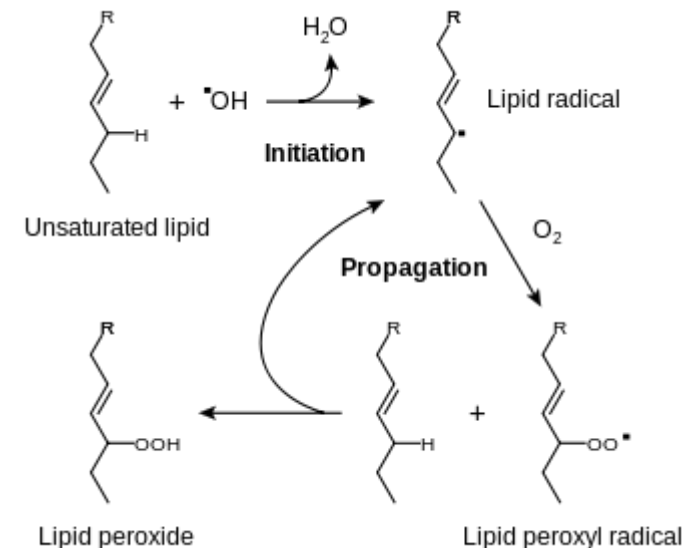
Effets des radiations ionisantes sur la membrane

❑ La peroxydation des acides gras (cassures de doubles liaisons) provoque :

- des altérations des structures membranaires;
- des pontages lipides- protéines, en association avec des lésions des protéines.

❑ L'exposition à des doses élevées aboutit à la dégradation:

- des récepteurs membranaires;
- des systèmes de transport (flux ioniques);
- des enzymes membranaires;
- de la mobilité des protéines membranaires;
- de la perméabilité membranaires.



Réaction de peroxydation des lipides

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations moléculaires

Effets des radiations ionisantes sur l'ADN

Rupture simple de chaîne: un brin cassé, réparé sauf si les lésions s'accumulent.

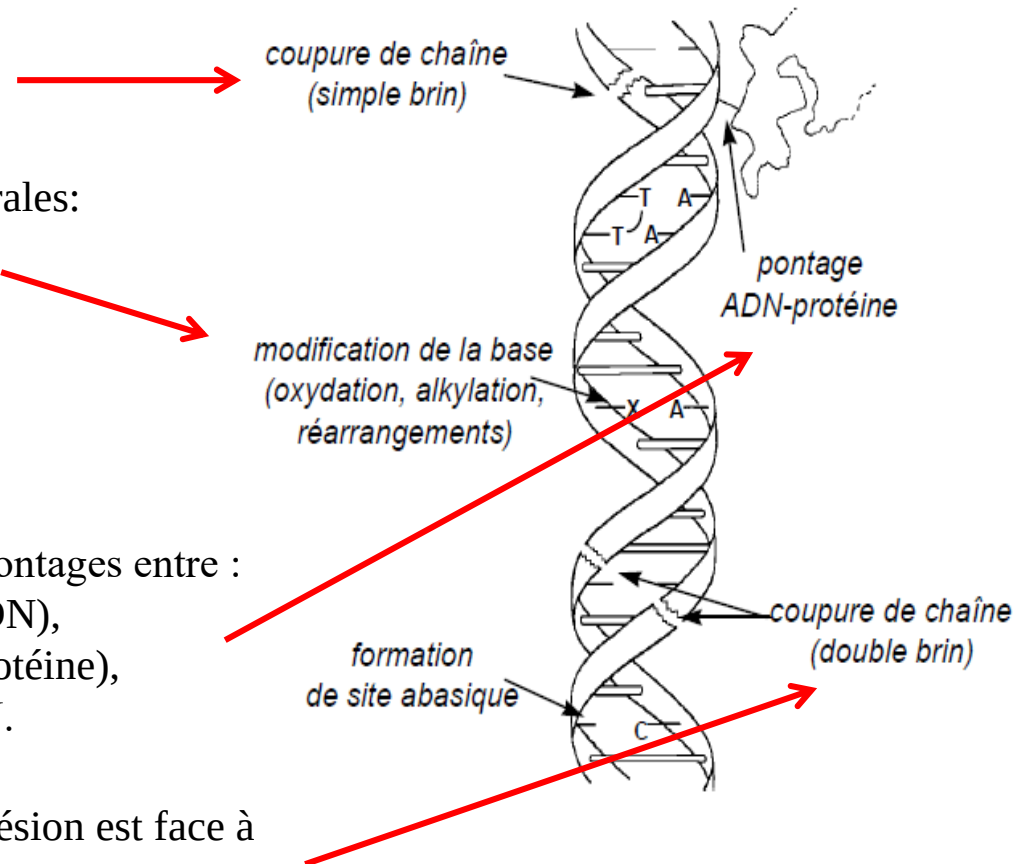
Altération des bases : lésions uni ou bilatérales: destruction ou modification des bases .

Altération des sucres : avec libération d'une base

Modification de la structure d'ADN: par pontages entre :

- les deux brins d'ADN (pontage ADN-ADN),
- un brin et une protéine (pontage ADN-protéine),
- ou par enjambements des chaînes d'ADN.

Cassure simultanée des deux brins. Si la lésion est face à face, elle est irréparable: mort cellulaire.



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations moléculaires

Les lésions fréquentes

Les lésions de l'ADN provoquent des altérations au niveau de la réplication et de la transcription. Les lésions les plus fréquentes sont des lésions simple brin et les altérations des bases ou des sucres.

Le Gy est l'unité de dose absorbée => **1Gy = 1 J/kg**

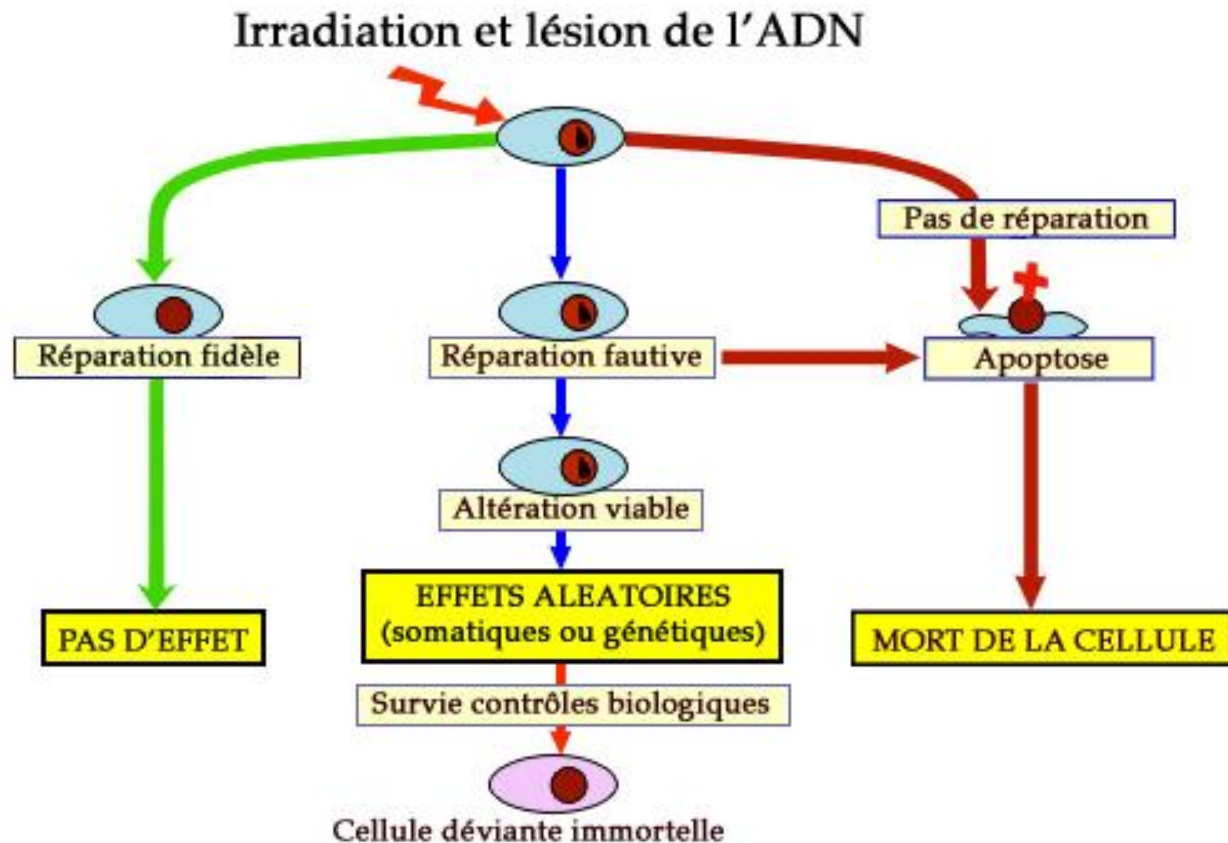
Type de dommage	Nombre moyen de lésions radio-induites par cellule et par Gy
Cassures simple-brin	1000
Cassures double-brin	40
Dommmages aux bases	2000
Dommmage aux sucres	1600
Pontage ADN-ADN	30
Pontage ADN-Protéine	15

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations moléculaires

Notions de base de la réparation de l'ADN



Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations moléculaires

Notions de base de la réparation de l'ADN

L'ADN est doté de mécanismes de réparation très efficaces capables de réparer des lésions et de reconstituer la structure de l'ADN.

Ces mécanismes de réparation sont adaptés pour chaque type de dommage et ils peuvent aboutir à deux sortes de résultats :

- ✓ La **reconstitution intégrale** de l'ADN (réparations fidèles) pour des lésions primaires de type simple brin. La grande majorité de lésions est réparée dans des délais autorisant la survie de la cellule (de quelques heures à un jour ou deux);
- ✓ La **réparation fautive** peut être soit mortelle (apoptose), soit viable, mais stérile sans possibilité de descendance, soit enfin viable et potentiellement cancéreuse.

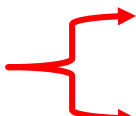
Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations cellulaires

- ❑ Les effets des radiations ionisantes au niveau cellulaire peuvent provoquer une:
 - ✓ Modification du cycle cellulaire (allongement, retard mitose)
 - ✓ Réduction de l'espérance de vie

- ❑ Les effets cellulaires concernent :
 - ✓ Les modifications létales de l'ADN : mort cellulaire,
 - ✓ Les modifications viables de l'ADN :
 - mutations,
 - transformations,
 - cancérisation

Mort cellulaire:  **Mort cellulaire immédiate** pour des doses élevées
Mort cellulaire différée pour des doses modérées

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations cellulaires

Mort cellulaire immédiate

✓ Ce phénomène reste rare;

Brûlure par radiation,
Bombe atomique
Hiroshima 1945



- ✓ La mort cellulaire immédiate ne survient que pour des doses d'irradiation extrêmement importantes de l'ordre de quelques centaines de Gy;
- ✓ Il s'agit d'un arrêt des fonctions cellulaires et cytolysse par nécrose cellulaire;
- ✓ Pour les lymphocytes et ovocytes, ils sont détruits pour des doses moindres (de l'ordre de quelques Gy).

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations cellulaires

Mort cellulaire différée

- ✓ Mort génétiquement programmée survenant pour des doses modérées;
- ✓ Les cellules irradiées continuent de fonctionner, mais perdent la capacité de se multiplier (aberrations chromosomiques ou mutation);
- ✓ La mort cellulaire survient après un temps variable dépendant de la vitesse de renouvellement cellulaire;
- ✓ La mort cellulaire ne s'exprime qu'au moment de la mitose avec perte irréversible de leur capacité de prolifération.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations tissulaires

Les effets déterministes - caractéristiques

- ✓ Précoces (immédiats): à court ou à moyen terme, en quelques heures à quelques mois après irradiation;
- ✓ Généralement réversibles: parfois avec des séquelles importantes et de reprises évolutives;
- ✓ Ils surviennent toujours au-dessus d'un seuil de dose: seuls les sujets ayant reçu une dose suffisante présenteront la maladie;
- ✓ Ils sont obligatoires : tous les sujets ayant reçu une dose suffisante développeront la maladie;
- ✓ La gravité de la maladie est proportionnelle à la dose;
- ✓ Caractéristiques : le lien entre irradiation et pathologie peut être établi avec certitude.

Chapitre II : Interaction des rayonnements avec la matière

Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les altérations tissulaires

Les effets stochastiques - caractéristiques

- ✓ Ils sont tardifs: Ils apparaissent plus de 6 mois - plusieurs années, voire plusieurs décennies après l'exposition.
- ✓ Ils sont aléatoires: la maladie survient chez un certain nombre de sujets exposés, mais pas chez tous. En terme de risque, la probabilité d'apparition n'est jamais égale ni à zéro ni à un.
- ✓ Ils sont dépourvus de seuil; la maladie peut apparaître, quelle que soit la dose;
- ✓ Leur gravité est indépendante de la dose. Elle dépend du type de lésion et le type de cellule atteinte.
- ✓ Non caractéristiques: On ne peut pas distinguer un effet stochastique des radiations ionisantes des pathologies équivalentes liées à d'autres toxiques.