

module de physique

# (BIO)PHYSIQUE DES RAYONNEMENTS

[éléments de dosimétrie et de radioprotection - introduction aux LASER]

notions à retenir

Pr. M. CHEREF

Département de Médecine Dentaire  
Faculté de Médecine – Université ALGER 1

# a- dosimétrie et radioprotection

principe général et bases de la dosimétrie

notions de doses absorbées, doses équivalentes, et doses efficaces

exemples et illustrations :

- unités de mesure habituellement utilisées ;
- périodes radioactives de certains isotopes ;
- écrans de protection ;

effets biologiques des rayonnements ionisants

# I- Dosimétrie et appareils de détection

## PRINCIPE GENERAL



transformer un rayonnement naturellement indécélable  
par des moyens normaux de perception humaine  
en un signal auditif ou visuel  
correspondant aux plages de sensibilité de nos sens



Exemples de dispositifs et de procédés  
(chambres d'ionisation, compteurs à scintillations, spectrométrie gamma)

# II- Bases de la dosimétrie (2)

La dosimétrie a pour but de déterminer l'énergie déposée dans la matière

## → Notion de dose absorbée

La dose absorbée  $D_T$  par un organe ou tissu T s'exprime en Gray (Gy)

## → Notion de dose équivalente

La dose équivalente  $H_T$  (un organe ou un tissu) s'exprime en Sievert (Sv) :

$$H_T = D_T \times W_R$$

[ $W_R$  : facteur de pondération radiologique , tient compte de la nature du rayonnement]

## → Notion de dose efficace

La dose efficace  $H_T$  (plusieurs organes ou le corps entier) s'exprime en Sievert (Sv) :

$$E = \sum ( H_T \times W_T )$$

[ $W_T$  : facteur de pondération tissulaire , tient compte de la radiosensibilité propre de chaque tissu ou organe]

## II- Bases de la dosimétrie (3): unités de mesure

Les quantités de substances radioactives et les doses de rayonnements ionisants sont mesurées au moyen de trois unités différentes

→ Le Gray (Gy)

Exprime la quantité de rayonnements ionisants absorbée par les tissus du corps humain

→ Le Sievert (Sv)

Exprime l'effet biologique du rayonnement ionisant ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ...) impliqué

Et

→ Le Becquerel (Bq)

Exprime l'activité, c'est à dire le nombre de transformations au sein de la substance radioactive par seconde (réf : cours précédent)

# II- Bases de la dosimétrie (5)

## Exemples de périodes radioactives de quelques isotopes

isotopes	Période radioactive
Technétium 99m	6 heures
Iode 131	8 jours
Césium 137	30 jours
Plutonium 239	24 mille années
Uranium 235	700 millions d'années
Uranium 238	4,5 milliards d'années

### Remarque :

Le technétium 99m, qui est produit artificiellement, est très utilisé en médecine nucléaire. il subsiste moins de 6,3 % du technétium 99m initial après 24 heures.

# II- Bases de la dosimétrie (7)

Exemples d'écrans de protection : en pratique,...

## → Rayonnement $\alpha$

Une feuille de papier peut protéger d'un rayonnement  $\alpha$ .

## → Rayonnement $\beta$

Une plaque de plexiglas de faible épaisseur peut protéger d'un rayonnement  $\beta$ .

## → Rayonnement X ou Rayonnement $\gamma$

Une épaisseur conséquente de plomb peut protéger d'un rayonnement X ou  $\gamma$ .

### Remarque :

En toute rigueur, affirmer que ces écrans « arrêtent un rayonnement ionisant » au sens courant du terme n'est pas vrai. Ces écrans réduisent considérablement le rayonnement émis (un écran ne peut arrêter totalement un faisceau mais,...un écran de plomb de 9 cm : 1 photon sur 1000 d'un faisceau de 1 MeV !!)

# III- effets biologiques des rayonnements ionisants (1)

IONISATION D'ATOMES OU DE MOLÉCULES



CASCADE D'ÉVÉNEMENTS DANS LES CELLULES





# III- effets biologiques des rayonnements ionisants (1)

DIFFERENCIATION EN FONCTION DE PLUSIEURS PARAMETRES



DOSES – DELAI D'APPARITION – EFFETS SEUILS

→ effets déterministes

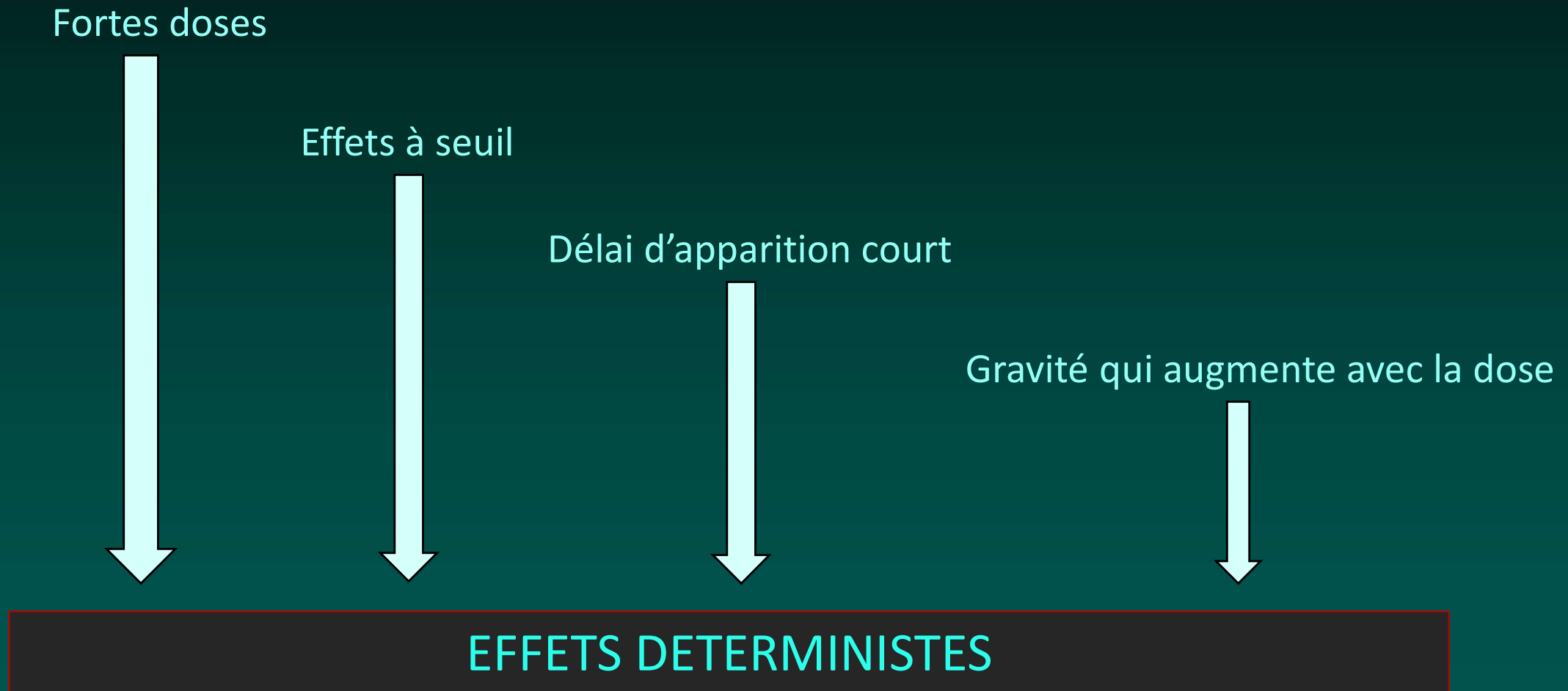
→ effets aléatoires (stochastiques)

IRRADIATION EXTERNE OU INTERNE

Source à l'extérieur de l'organisme

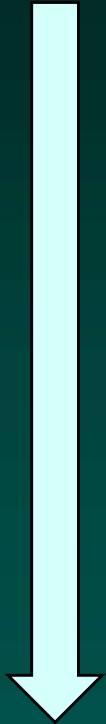
Source à l'intérieur de l'organisme

# III- effets biologiques des rayonnements ionisants (1)



# III- effets biologiques des rayonnements ionisants (1)

Faibles doses



Pas de seuil



Délai d'apparition long



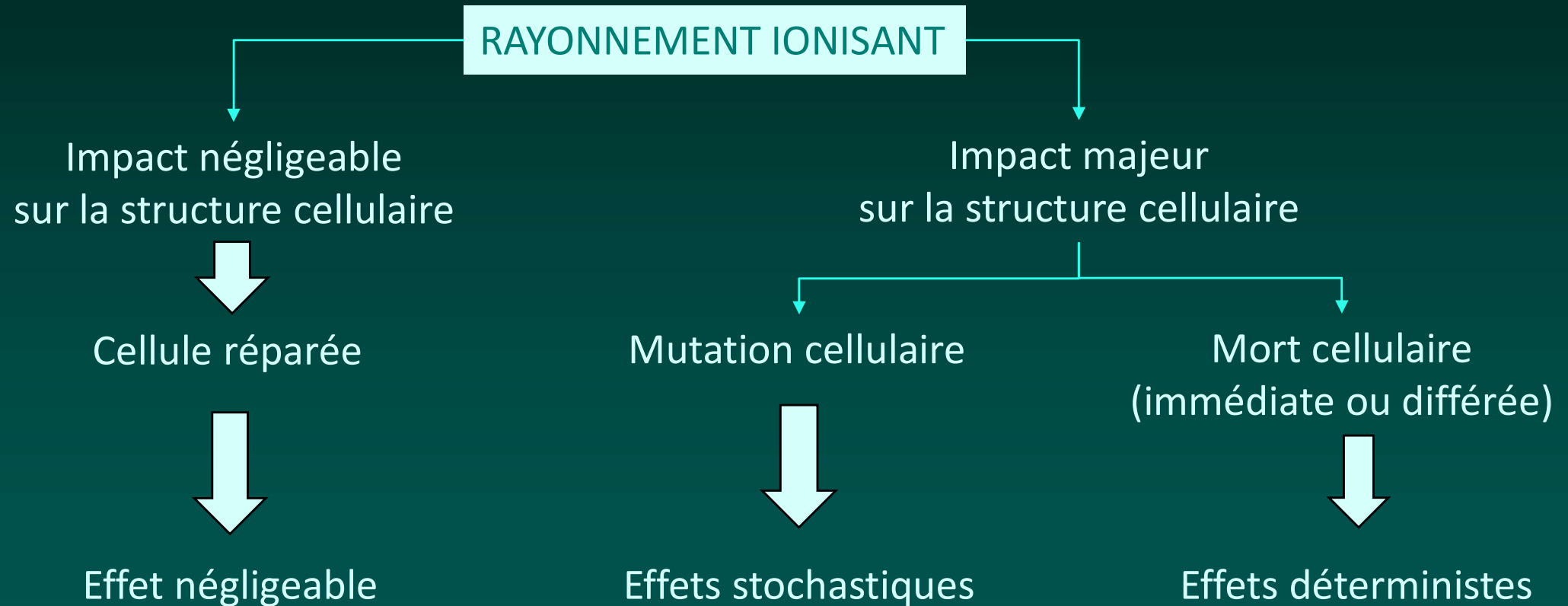
Effets qui augmentent avec la dose



**EFFETS ALEATOIRES (D'ORDRE STOCHASTIQUE)**

# III- effets biologiques des rayonnements ionisants (1)

## SCHEMATISATION SIMPLE



## b- introduction aux LASER

définition et principe général

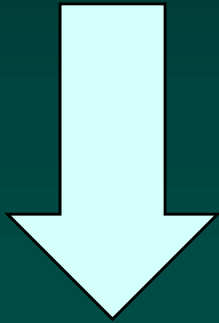
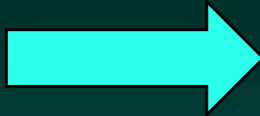
notions d'émission stimulée, de multiplication, et d'amplification

types de LASER, effets biologiques et mécaniques

exemples et illustrations : applications médicales

# I- définition et principe général

**L A S E R**



**L : Light**

**A : Amplification**

**S : (by) Stimulated**

**E : Emission**

**R : (of) Radiations**

- Rayonnement électromagnétique monochromatique caractérisé par des fréquences allant de l'infrarouge à l'ultraviolet (en passant par le visible)
- Toutes les ondes composant ce rayonnement sont en phase (ondes dites cohérentes)

« faisceau lumineux cohérent de forte énergie »

# II- caractérisation (1)

## Notion d'émission stimulée

- un atome excité retourne à un état plus stable en émettant spontanément (délai variable, quelques ns) un photon  $x$  de fluorescence d'énergie  $E = h\nu$ .



## POSSIBILITÉ DE CONTRÔLER OU DE STIMULER L'ÉMISSION DE CE PHOTON

- si un atome excité émettant spontanément un photon d'énergie  $h\nu$  est stimulé par un photon d'énergie identique  $h\nu$ , alors il y a émission en phase, simultanément et dans la même direction, de ces deux photons d'énergie identique  $h\nu$ .



Le retour à l'état stable n'est plus spontané mais provoqué par le photon incident

# II- caractérisation (3)

## Notion de multiplication (1)

La stimulation permet d'obtenir deux photons cohérents

→ de même énergie

→ en phase

→ de même direction



OBTENIR UN FAISCEAU LASER : NECESSITER DE MULTIPLIER CE PHENOMENE



# II- caractérisation (4)

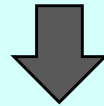
## Notion de multiplication (2)

Processus de multiplication (dans une cavité optique)

→ Chaque photon émis stimule à son tour l'émission de photons tous en phase, émis par les atomes excités du milieu.

→ En plusieurs allers-retours entre les 2 miroirs de la cavité optique, une sélection de direction s'opère et le nombre de photons cohérents augmente.

Signal suffisamment intense



le faisceau LASER émerge de la cavité

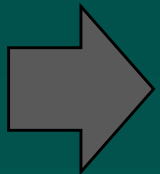
# II- caractérisation (6)

## Notion d'amplification

### L'amplification du signal

Nécessité que le nombre d'atomes excités soit bien plus important que celui des atomes stables : « configuration d'inversion de populations ».

Nécessité de favoriser le processus de pompage (apport d'énergie extérieure pour exciter les atomes du milieu) : pompage optique, électrique, ou chimique.



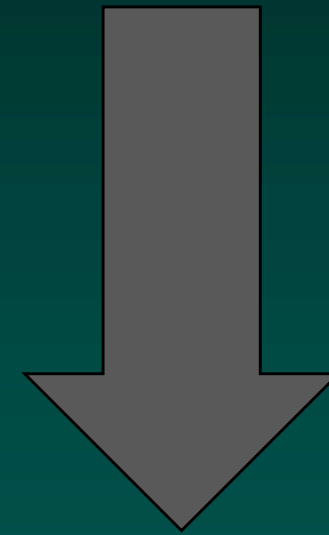
Nécessité d'un milieu favorable : milieu actif à trois niveaux d'énergie

Milieux pour lesquels les atomes restent suffisamment longtemps dans un état excité

# III- types de LASER – effets biologiques ou mécaniques (1)

## Types de LASER

- Différents types caractérisés par des longueurs d'onde spécifiques
- LASER à milieu actif solide
- LASER à milieu actif gazeux



Applications biomédicales ad-hoc selon la nature et les spécificités du LASER

# III- types de LASER – effets biologiques ou mécaniques (3)

## Effets biologiques

Ils dépendent de la longueur d'onde  $\lambda$ , de la durée d'exposition, de l'énergie déposée, de la nature du tissu exposé, de l'absorption du rayonnement.

- Effet thermique le plus fréquent
  - 45° : hyperthermie tissulaire
  - 50° : dénaturation des protéines
  - 60° : effet de coagulation
- Effet photochimique (LASER à courte longueur d'onde)
  - destruction de certains acides aminé (tyrosine, tryptophane,...)

# III- types de LASER – effets biologiques ou mécaniques (5)

## Effets mécaniques

- Ils ne sont pas très bien connus et maîtrisés ;
- Il s'agit de LASER de forte énergie avec des temps d'application brefs (ns ou ps) ;
- propagation d'une onde de choc ;
- pulvérisation de certains matériaux (destruction de calculs rénaux, par exemple).

## Risques possibles

- les risques sont liés principalement aux effets thermiques : brûlures et lésions oculaires ;
- ils sont accrus si la longueur d'onde n'est pas dans le spectre visible ;
- port obligatoire de lunettes protectrices et évitement des surfaces réfléchissantes.