

# Module de Physique

RAYONNEMENTS ELECTROMAGNETIQUES ET PARTICULAIRES

## BIOPHYSIQUE DES RAYONNEMENTS

éléments de radiobiologie et de dosimétrie  
introduction au LASER

(notions à retenir)

Professeur M. CHEREF

Département de Médecine Dentaire  
Faculté de Médecine – Université ALGER 1

# Eléments de Radiobiologie (dosimétrie et radioprotection)

# Appareils de détection et dosimétrie (1)

## ■ Principe général

- 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.
- Deux catégories de détecteurs : physiques (les plus simples et les plus anciens (émulsion photographique, chambre à bulles de Wilson) et électroniques (ionisations de gaz ou interactions avec des milieux scintillants, toujours associés à un circuit électronique

# Appareils de détection et dosimétrie (3)

## ■ Exemples de dispositifs et de procédés

### – Chambres d'ionisation (en intensité ou en impulsions)

mesure du flux du rayonnement ionisant par la caractérisation de l'intensité du courant qui traverse le circuit (mesure de la totalité des rayonnements sans différenciation = tentative d'amélioration avec le dispositif à impulsions)

### – Compteurs à scintillations

excitation de molécules par des rayonnements ionisants entraînant une émission de photons lumineux de fluorescence = molécules qui constituent des substances scintillantes (scintillation lumineuse traduite en impulsions électriques à l'aide d'un photomultiplicateur)

### – Spectrométrie Gamma

Les RX et  $\gamma$  interagissent avec le cristal de détection selon trois types d'interaction : effet photoélectrique, effet Compton, ou effet par création de paires. L'objectif est d'obtenir le tracé du spectre en énergie

# Bases de la Dosimétrie : principe

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

- Dose absorbée par un organe ou tissu T :  $D_T$  (Gy)

nom	symbole	expression
gray	Gy	1J/kg

- Dose équivalente [  $H_T$  ] (1 organe ou tissu)

$$H_T = D_T \times W_R \text{ (Sv)}$$

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

- Dose efficace [  $E$  ] (plusieurs organes ou corps entier)

$$E = \sum ( H_T \times W_T ) \text{ (Sv)}$$

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

# Bases de la Dosimétrie : unités de mesure

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

**Le becquerel (Bq):** exprime l'activité, c'est à dire le nombre de transformations au sein de la substance radioactive par seconde

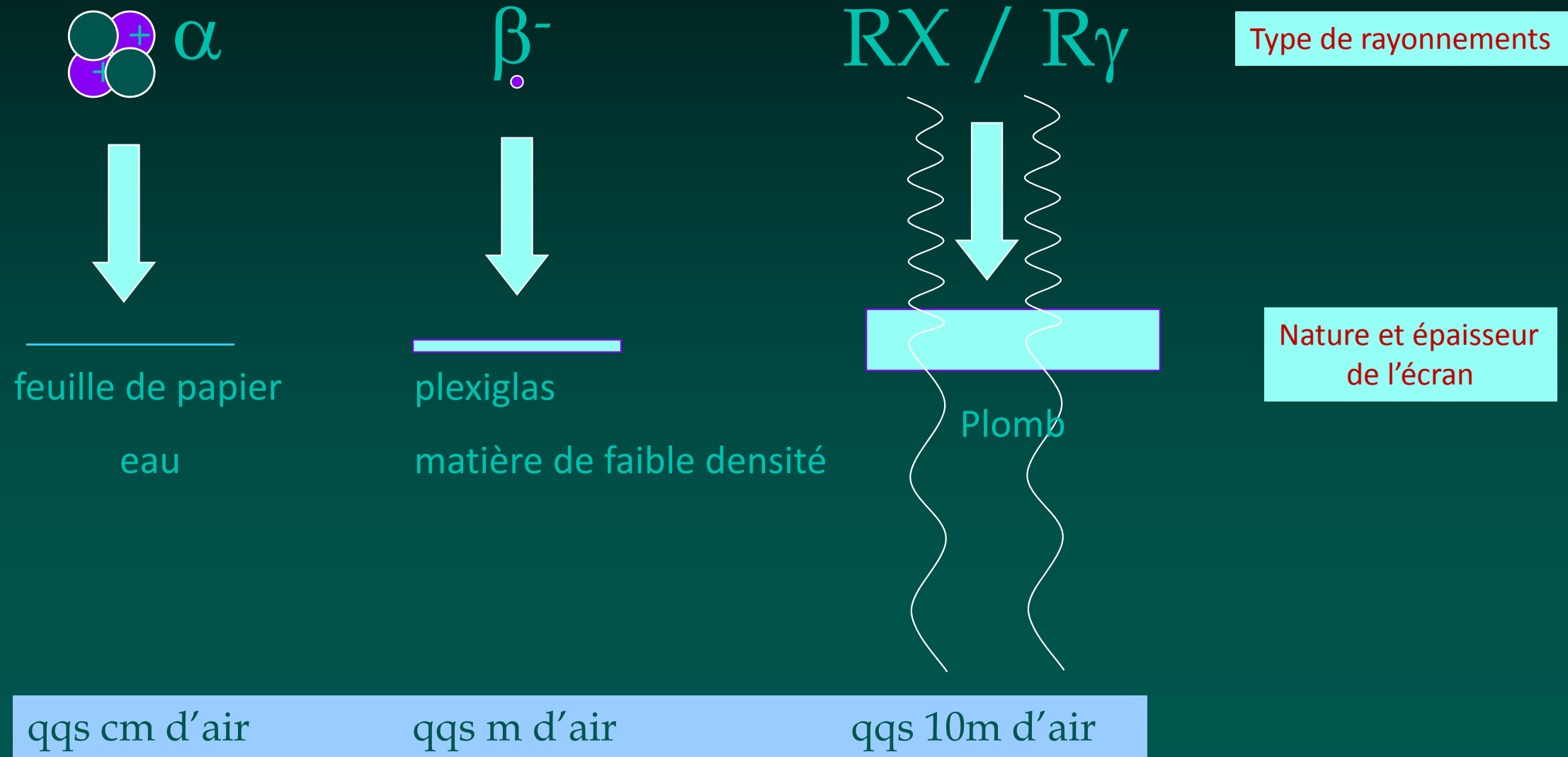
**Le gray (Gy):** exprime la dose absorbée c'est à dire la quantité de rayonnements ionisants absorbée par les tissus du corps humain.

**Le sievert (Sv):** exprime la dose efficace c'est à dire l'effet biologique du rayonnement ionisant ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ...) impliqué

Exemples de périodes de demi-vie

Isotopes	Demi-vie/période	Unité de temps
Technétium-99	6	heures
Iode-131	8	jours
Césium-137	30	ans
Plutonium-239	24000	ans
Uranium-234	245500	ans
Uranium-235	700 millions	année
Uranium-238	4.5 milliards	année

# Écrans de protection : caractérisation schématique



# Rayonnements ionisants : Effets biologiques (1)

IONISATION D'ATOMES OU DE MOLÉCULES



CASCADE D'ÉVÉNEMENTS DANS LES CELLULES





# Rayonnements ionisants : Effets biologiques (3)

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

# Rayonnements ionisants : Effets biologiques (5)

Fortes doses



Effets à seuil



Délai d'apparition court



Gravité qui augmente avec la dose



**EFFETS DETERMINISTES**

# Rayonnements ionisants : Effets biologiques (7)

Faibles doses



Pas de seuil



Délai d'apparition long



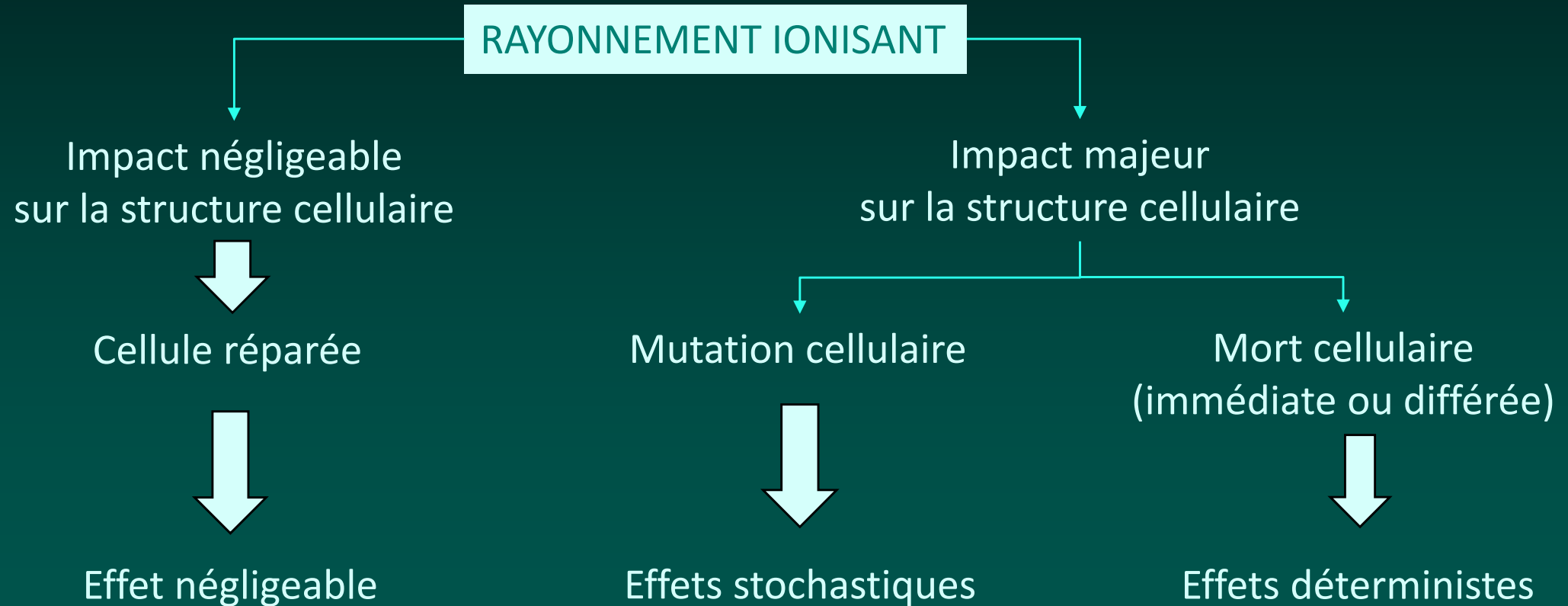
Effets qui augmentent avec la dose



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

# Rayonnements ionisants : Effets biologiques (10)

## SCHEMATISATION SIMPLE

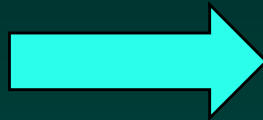


# Le LASER : introduction

éléments d'ordre théorique et applications médicales

# LASER : définition et caractérisation (1)

**L A S E R**



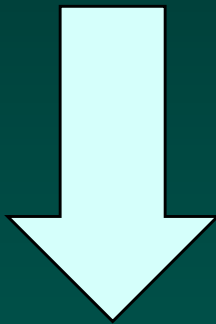
**L = Light**

**A = Amplification**

**S = by Stimulated**

**E = Emission**

**R = of Radiations**



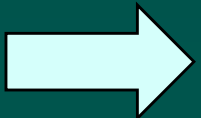
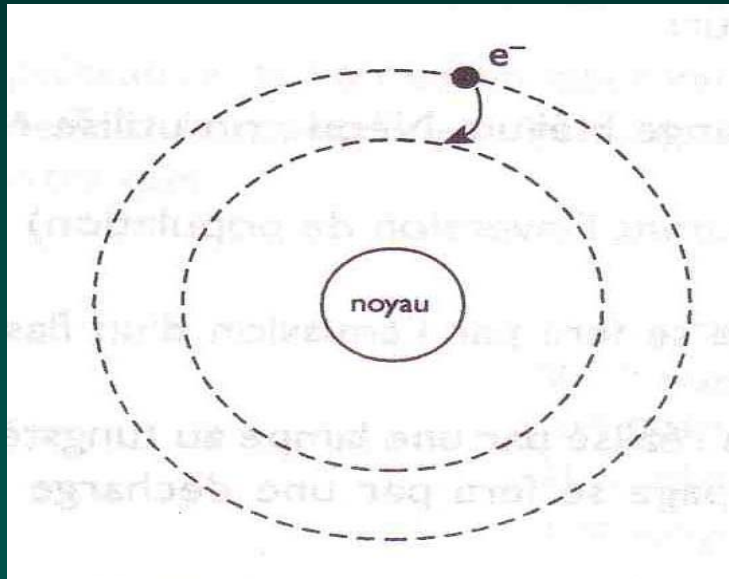
- Rayonnement électromagnétique monochromatique caractérisé par des fréquences allant de l'infrarouge à l'ultraviolet (en passant par le visible)
- Toutes les ondes composant ce rayonnement sont en phase (ondes dites cohérentes)

« faisceau lumineux cohérent de forte énergie »

# LASER : définition et caractérisation (2)

## Notion d'émission stimulée (1)

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

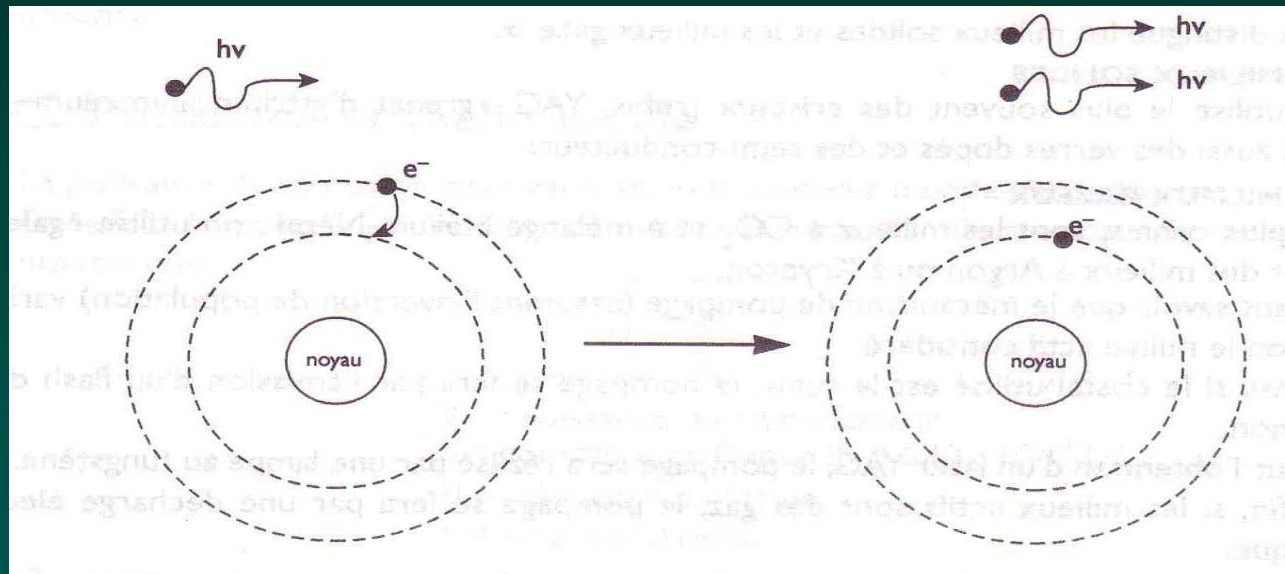


POSSIBILITÉ DE CONTRÔLER OU DE STIMULER L'ÉMISSION DE CE PHOTON

# LASER : définition et caractérisation (3)

## Notion d'émission stimulée (2)

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



# LASER : définition et caractérisation (4)

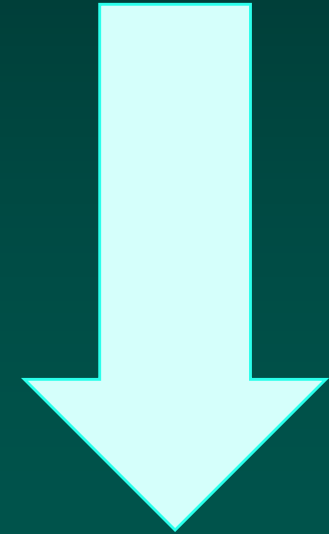
## La multiplication (1)

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**

# LASER : définition et caractérisation (5)

## La 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

# LASER : définition et caractérisation (6)

## L'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**

**Milieus pour lesquels les atomes restent suffisamment longtemps dans un état excité**

# LASER : définition et caractérisation (6)

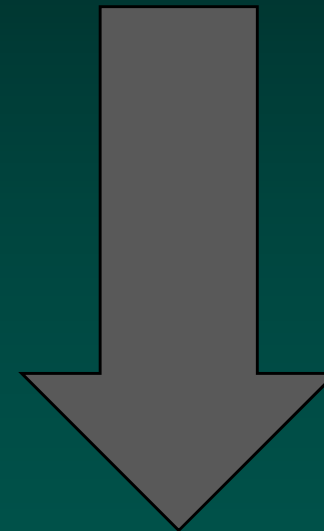
## Types de LASER

Différents types caractérisés par des longueurs d'onde spécifiques

→ LASER à milieu actif solide

→ LASER à milieu actif gazeux

+ LASER à semi-conducteurs



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

# LASER : applications médicales (1)

## 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 : principalement, l'effet le plus recherché dans le cadre de l'utilisation d'un LASER : exemples de l'hyperthermie tissulaire (# 45°) ou de l'effet de coagulation (# 60°)

Hémostase des petits vaisseaux  
(exemple de l'ophtalmologie)

Rétinopathies diabétiques  
(hémostase des vaisseaux de la zone péri-fovéale  
pour augmenter la vascularisation de la fovéa)

# LASER : applications médicales (4)

## 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

## 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 éviter les surfaces réfléchissantes

# LASER : applications médicales (6)

## OPHTALMOLOGIE

Absence d'absorption par les milieux transparents (cornée, cristallin, vitrée)

Absorption importante par la mélanine (rétine) et l'hémoglobine (vaisseaux)

Traitement des décollements de rétine : photocoagulation à la périphérie des zones de déchirures pour les fixer

Chirurgie de la myopie

## CHIRURGIE

Hémostase (Argon ou YAG) : actions sur les petits vaisseaux, par exemple

Destruction tissulaire (CO<sub>2</sub>) : fibre optique intégrée à une endoscope pour détruire de petites tumeurs du système digestif

Découpe chirurgicale (CO<sub>2</sub>) : permet d'obtenir une coupe rapide, précise associée à une bonne cicatrisation