

# **Chapitre IV : Application des Rayonnement Ionisants en medical**

Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>I - Application des particule <math>\alpha</math> dans la médecine</b>	<b>3</b>
<b>II - Application des particule <math>\beta^-</math> dans la médecine</b>	<b>5</b>
<b>III - Application des particule <math>\beta^+</math> dans la médecine</b>	<b>7</b>
<b>IV - Application des Rayons <math>\gamma</math> dans la médecine</b>	<b>9</b>
<b>V - Application des Rayons X dans la médecine</b>	<b>11</b>

# Application des particule $\alpha$ dans la médecine

I

## *Nature et effets biologiques des rayonnements $\alpha$*

Pouvoir ionisant : très élevé  $\rightarrow$  provoque de nombreuses ionisations sur une très courte distance (quelques dizaines de micromètres dans les tissus).

Pouvoir de pénétration : très faible  $\rightarrow$  arrêtés par une feuille de papier ou la couche superficielle de la peau.

Effets biologiques :

Cassures double brin de l'ADN.

Mort cellulaire rapide si la particule atteint le noyau.

Risque majeur uniquement en cas d'exposition interne (inhalation, ingestion, injection).

## *Applications médicales*

### **Thérapie $\alpha$ ciblée (TAT – Targeted Alpha Therapy)**

Principe : associer un émetteur  $\alpha$  à une molécule vectrice (anticorps, peptide) qui se fixe spécifiquement sur les cellules tumorales.

Mécanisme : une fois internalisé, l'émetteur  $\alpha$  délivre une dose létale très localisée, détruisant la cellule cancéreuse.

Avantages :

Haute efficacité biologique (fort pouvoir de destruction).

Faible diffusion  $\rightarrow$  préserve les tissus sains voisins.

## *Méthode : Comment on les utilise en médecine*

- On associe un isotope émetteur  $\alpha$  (ex. Radium-223, Actinium-225, Bismuth-213) à une molécule vectrice (anticorps, peptide).
- Cette molécule se fixe spécifiquement sur les cellules tumorales.
- L'émetteur  $\alpha$  délivre sa dose létale directement dans la tumeur.

## *Complément : Avantages par rapport aux rayonnements $\beta$ ou $\gamma$*

Précision extrême : rayon d'action limité à quelques cellules.

Moins d'effets secondaires : les tissus sains voisins sont relativement épargnés.

Grande efficacité biologique : une seule particule  $\alpha$  peut suffire à tuer une cellule cancéreuse.

# Application des particules $\beta^-$ dans la médecine

II

## *Nature et effets biologiques des rayonnements $\beta^-$*

Pouvoir de pénétration : moyen (quelques mm à cm dans les tissus).

Pouvoir ionisant : inférieur à celui des particules  $\alpha$ , mais supérieur aux photons  $\gamma$ .

Effet biologique : provoquent des ionisations le long de leur trajectoire  $\rightarrow$  cassures de l'ADN, mort cellulaire.

## *Applications médicales*

### 1. Radiothérapie interne vectorisée (RIV)

- On associe un isotope émetteur  $\beta^-$  à une molécule vectrice (anticorps, peptide, iode, etc.) qui cible les cellules tumorales.
- Une fois fixé, l'isotope émet des  $\beta^-$  qui détruisent localement les cellules tumorales.

Exemple clinique :

Iode-131 ( $^{131}\text{I}$ ) : traitement de l'hyperthyroïdie et des cancers de la thyroïde.

Lutétium-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ) : utilisé en thérapie ciblée des tumeurs neuroendocrines et du cancer de la prostate (PSMA-therapy).

Yttrium-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) : utilisé en radio-immunothérapie (anticorps marqués) et en radio-embolisation des tumeurs hépatiques.

### 2. Curiethérapie

- Petites sources  $\beta^-$  placées au contact ou à l'intérieur de la tumeur.
- Exemple :  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  pour certaines tumeurs oculaires.

Avantages :

Action localisée : limite les effets sur les tissus sains.

Bonne pénétration : adaptée aux tumeurs de taille moyenne.

Possibilité de suivi : si l'isotope émet aussi des  $\gamma$ , on peut visualiser la distribution par scintigraphie ou SPECT.

Limite : irradiation des tissus voisins, moins sélectif que l' $\alpha$ .

## *Méthode : Comment on les utilise en médecine*

Leur utilisation en médecine est la même que celle des  $\alpha$



### *Complément : Avantages par rapport aux rayonnements $\alpha$*

---

Pouvoir ionisant : moyen  $\rightarrow$  moins destructrices par particule que les  $\alpha$ .

adapté aux masses tumorales de taille intermédiaire.

# Application des particule $\beta^+$ dans la médecine



## *Nature et effets biologiques des rayonnements $\beta^+$*

- Le positon lui-même a une portée très courte et n'est pas exploité pour détruire les cellules.
- Ce qui est utile, ce sont les photons  $\gamma$  issus de l'annihilation, qui sortent du corps et peuvent être détectés.
- Donc, contrairement aux  $\beta^-$ , les  $\beta^+$  ne sont pas utilisés pour le traitement, mais pour l'imagerie fonctionnelle.

## *Applications médicales*

### 1. Imagerie médicale (TEP – PET scan)

- Détection et suivi des cancers (localisation de métastases, évaluation de la réponse au traitement).
- Neurologie (maladie d'Alzheimer, Parkinson).
- Cardiologie (perfusion et viabilité myocardique).
- Avantages :  
Détecter des tumeurs primaires et métastases.  
Évaluer l'extension de la maladie.  
Suivre la réponse au traitement (diminution ou persistance de l'activité métabolique).

### 2. Traitement du cancer

- Les émetteurs  $\beta^+$  ne sont pas utilisés directement en thérapie.
- Leur rôle est diagnostique : ils permettent de cartographier précisément la tumeur et ses métastases, ce qui aide à planifier la radiothérapie ou la chirurgie.
- Pour le traitement, on utilise plutôt des émetteurs  $\alpha$  (très localisés) ou  $\beta^-$  (portée plus large).

## *Méthode : Comment on les utilise en médecine*

On injecte au patient un radiopharmaceutique marqué avec un émetteur  $\beta^+$  (par ex. Fluor-18, Carbone-11, Oxygène-15).

Le radiotraceur se fixe sur certains tissus (par ex. le glucose marqué au  $^{18}\text{F}$ -FDG se concentre dans les cellules à forte activité métabolique, comme les cellules cancéreuses).

Les positons émis s'annihilent  $\rightarrow$  émission de deux photons  $\gamma$  détectés par la caméra TEP.



### *Complément : Avantages par rapport aux rayonnements $\alpha$*

---

Les particules  $\beta^+$  (positons) ne servent pas à détruire les cellules cancéreuses, mais elles sont indispensables pour voir le cancer. Grâce à la TEP, on peut détecter des tumeurs très petites, suivre leur évolution et adapter les traitements. Elles sont donc un outil diagnostique, complémentaire aux particules  $\alpha$  et  $\beta^-$  qui, elles, sont utilisées en thérapie.

# Application des Rayons $\gamma$ dans la médecine

IV

## *Nature et effets biologiques des rayonnements $\gamma$*

- Les rayons  $\gamma$  ionisent les molécules qu'ils traversent, notamment l'ADN.
- À faible dose, cela permet de faire de l'imagerie sans danger.
- À forte dose, cela provoque des cassures de l'ADN, entraînant la mort cellulaire, ce qui est exploité en radiothérapie

## *Applications médicales*

### **Imagerie médicale (diagnostic)**

Utilisés en médecine nucléaire via des isotopes  $\gamma$  ( $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) émission  $\gamma$  après désintégration

Techniques :

#### - **Scintigraphie : image 2D classique**

Injection d'un radiopharmaceutique Technétium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ), isotope métastable qui émet un photon  $\gamma$  de 140 keV.

Le radiotraceur se fixe sur l'organe ou le tissu à explorer (os, cœur, poumons, thyroïde...).

Émission de photons  $\gamma$  qui traversent les tissus et sortent du corps.

Contrairement aux particules  $\alpha$  ou  $\beta$ , ils sont détectables à l'extérieur par la gamma-caméra

On obtient une image **fonctionnelle** de l'organe (perfusion, activité cellulaire, phagocytose, etc.).

#### - **SPECT : image 3D tomographique plus précise**

Acquisition tomographique en 3D.

Contrairement à la scintigraphie planaire, la caméra tourne autour du patient.

Elle enregistre des projections sous différents angles.

Reconstruction informatique en une image 3D de la distribution du traceur.

Cela permet une localisation précise des zones d'hyperfixation ou d'hypofixation.

#### - **PET scan :**

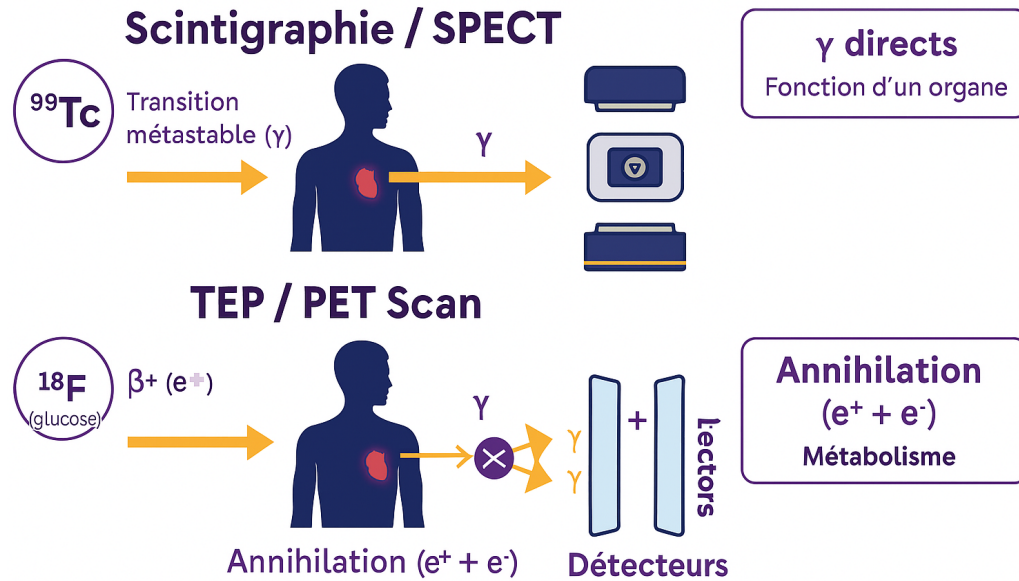
Le radiotraceur se désintègre par  $\beta^+$  (ex.  $^{18}\text{F}$ -FDG, analogue du glucose) se fixe dans les tissus à forte activité métabolique.

Les photons  $\gamma$  issus de l'annihilation sont détectés en coïncidence.

On obtient une image du **métabolisme** (consommation de glucose, activité tumorale, activité cérébrale, etc.).

Applications : exploration du cœur, du cerveau, des os, de la thyroïde, détection de métastases.

## IMAGERIE NUCLÉAIRE



### Traitement du cancer (radiothérapie)

Ne jouent pas un rôle thérapeutique majeur ils complètent l'irradiation par  $\beta^-$  (bonus naturel)

#### - Radiothérapie externe :

Historiquement avec cobalt-60 ( $^{60}\text{Co}$ ), qui émet deux photons  $\gamma$  très énergétiques.

Ces rayons  $\gamma$  très pénétrants étaient dirigés vers la tumeur.

Aujourd'hui, remplacé par des accélérateurs linéaires produisant des rayons X de haute énergie.

 *Remarque : Les rayons  $\gamma$  sont donc polyvalents :*

En diagnostic : ils permettent de visualiser la répartition des radiopharmaceutiques dans le corps (scintigraphie, SPECT, PET).

En thérapie : ils servent à détruire les cellules cancéreuses (radiothérapie externe).

# Application des Rayons X dans la médecine



V

## *Nature et effets des rayons X*

- Origine : produits artificiellement dans un tube à rayons X ou un accélérateur linéaire.
- Effet biologique :
  - Les photons X interagissent avec les tissus par ionisation et excitation.
  - À faible dose → effet diagnostique (contraste entre tissus).
  - À forte dose → cassures de l'ADN → mort cellulaire (effet thérapeutique).

## *Applications médicales*

### **Imagerie médicale (diagnostique)**

- **Radiographie conventionnelle**  
Les rayons X traversent le corps et sont absorbés différemment selon les tissus :  
Les tissus denses Os → absorbent fortement → apparaissent blancs.  
Les tissus mous Poumons → laissent passer → apparaissent noirs.  
Applications : fractures, infections pulmonaires, pathologies dentaires.  
Visualisation des os, poumons, dents.
- **Scanner (CT ou TDM)**  
Utilise un faisceau X tournant autour du patient.  
Permet des coupes 2D/3D très précises.  
Applications : exploration cérébrale, thoracique, abdominale, détection de tumeurs, traumatismes.
- **Radiologie interventionnelle :**  
Fluoroscopie en temps réel pour guider les gestes du médecin pour des traitements mini-invasifs (angioplastie, biopsie, pose de stents).

### **traitement du cancer (thérapeutiques)**

- **Radiothérapie externe (téléthérapie)**  
Utilise des rayons X de haute énergie (générés par un accélérateur linéaire).  
Objectif : détruire l'ADN des cellules cancéreuses → empêcher leur division.  
Applications : traitement des cancers du sein, de la prostate, du cerveau, des poumons.
- **Radiothérapie conformationnelle**  
Utilise un scanner 3D pour définir précisément la forme de la tumeur.  
Les faisceaux de rayons X sont modélisés pour épouser le volume tumoral.  
meilleure précision que la radiothérapie classique, moins de dommages aux tissus voisins.

- **Radiothérapie avec modulation d'intensité (IMRT)**

Évolution de la conformationnelle 3D.

L'intensité du faisceau de rayons X varie au cours de la séance pour protéger les tissus sains.

Permet de traiter des tumeurs irrégulières ou proches d'organes sensibles.

Exemple : cancers de la tête et du cou, prostate.

- **Radiothérapie guidée par l'image (IGRT)**

Associe la radiothérapie à des images en temps réel pour l'ajustement (scanner embarqué, rayons X de contrôle).

Permet de corriger la position du patient et de la tumeur avant chaque séance.

Avantage : grande précision, utile pour les tumeurs mobiles (poumon, prostate).

- **Radiothérapie stéréotaxique (SRT / SBRT)**

Utilise des rayons X de très haute précision, délivrés en fortes doses sur un petit nombre de séances.

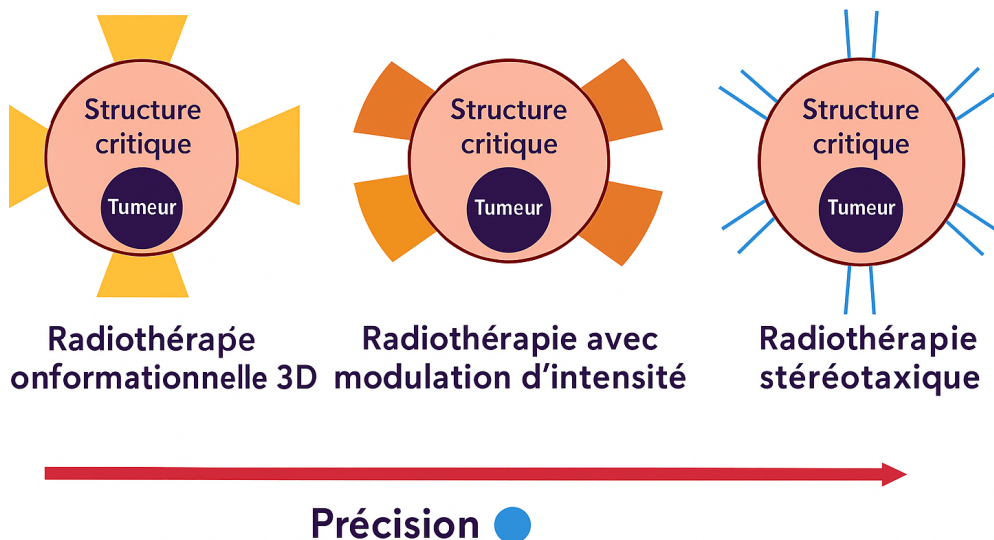
Indiquée pour les petites tumeurs cérébrales ou pulmonaires.

- **Radiothérapie intra-opératoire (IORT)**

Les rayons X sont délivrés pendant la chirurgie, directement sur le lit tumoral après ablation.

Permet de traiter la zone à risque tout en épargnant les tissus environnants.

## Précision des techniques de radiothérapie externe



### Complément

Avantages :

- Diagnostic rapide, non invasif.
- Radiothérapie efficace pour de nombreux cancers.

Limites :

- Irradiation cumulative (nécessité de limiter les doses).
- Risque d'effets secondaires en radiothérapie (atteinte des tissus sains).

 *Remarque : Les rayons  $\gamma$  sont donc polyvalents :*

---

- En diagnostic, faible énergie ils sont l'outil de base de l'imagerie médicale (radiographie, scanner) permettent de voir l'anatomie interne avec précision.
- En thérapie, à haute énergie, ils constituent l'un des piliers de la radiothérapie moderne, capable de cibler les tumeurs tout en épargnant les tissus sains grâce aux techniques avancées.