

Chapitre 4 : Dosimétrie
Dosimétrie interne
(des radionucléides)

Pr. Jean-Philippe VUILLEZ

Dosimétrie : différence entre irradiations « externe » et « interne »

- Irradiation « externe » : conséquence de l'exposition à un faisceau de rayonnements
 - indirectement ionisants : photons (*et neutrons*)
 - obéissant à la loi d'atténuation
 - Agissant à distance
- Irradiation « interne » : liée à une contamination de l'organisme par des radionucléides
 - Due essentiellement aux particules chargées
 - Hétérogène, dépendant de la biodistribution et du métabolisme des radionucléides incriminés

Objectifs pédagogiques du cours

- La dosimétrie interne est liée à la **contamination** de l'organisme par des radionucléides
- Notion d'**hétérogénéité**
 - De la biodistribution des radionucléides
 - Donc de la dose délivrée dans les tissus
- Irradiation prolongée, à bas débit de dose, continue, décroissante : **activité cumulée**
- Périodes physique, biologique, **effective**
- **Principes de calcul** en dosimétrie interne

Plan du cours

- Nature et voies de contamination
- Biodistribution et hétérogénéité de la dose
- Bas débit de dose continu
- Notion d'activité cumulée et de période effective
- Principes de calcul en dosimétrie interne

Irradiation interne : liée à une contamination par des radionucléides émetteurs de particules chargées

- **Contamination cutanée : ne concerne que les couches superficielles (= la peau)**
 - Contact cutané avec des émetteurs β ou α
- **Contamination interne +++**
 - Administration de molécules radioactives (Médecine Nucléaire)
 - **Radiocontamination accidentelle**

Irradiation par contamination

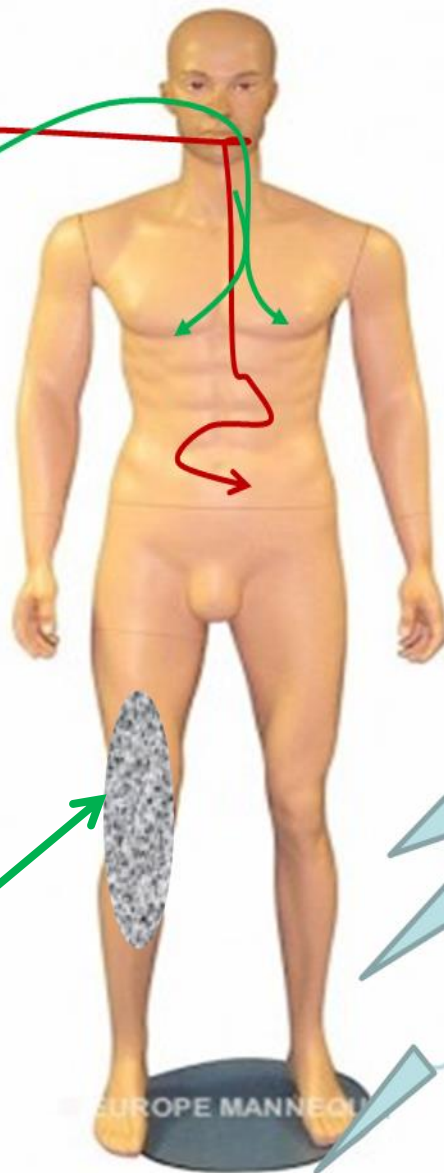
Interne par voie :

- Digestive
- Pulmonaire
- Trans-cutanée
 - Passage transcutané
 - Blessures

Contamination de l'organisme
par des radionucléides

Cutanée (« externe »)

Irradiation à distance par des
sources X ou gamma



Irradiation interne : hétérogène

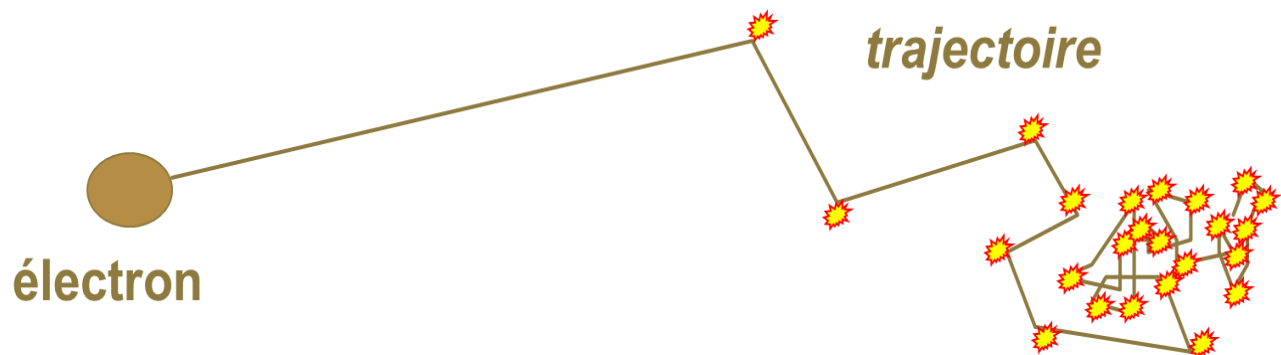
- Essentiellement due aux particules chargées (β , α), et très peu aux émissions γ ou X associées

Dosimétrie des particules chargées

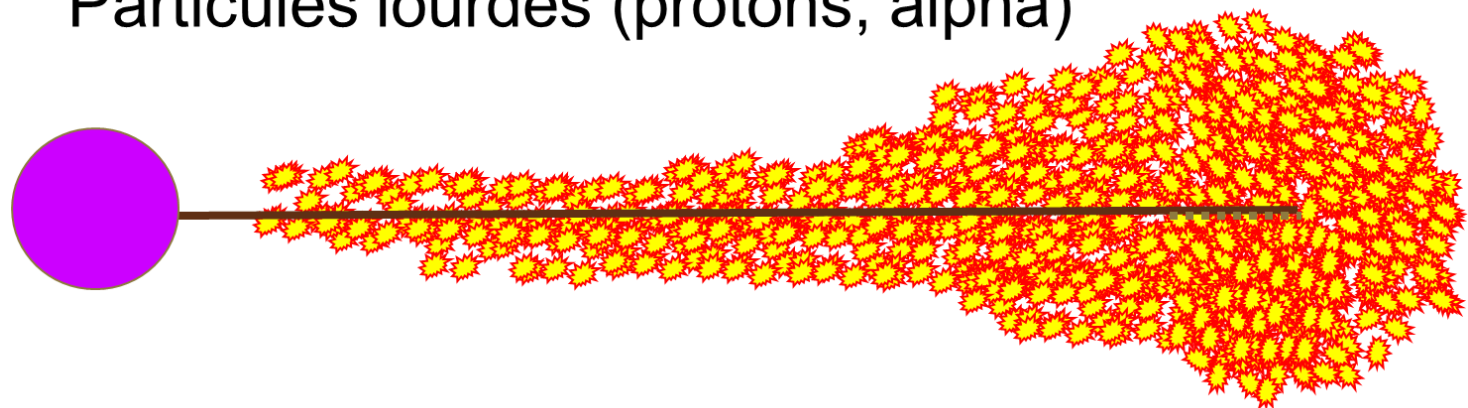
Irradiation interne : hétérogène

- Essentiellement due aux particules chargées (β , α), et très peu aux émissions γ ou X associées
- **Les particules chargées délivrent 100 % de leur énergie dans les tissus**

Trajectoire et parcours



Particules lourdes (protons, alpha)



Irradiation interne : hétérogène

- Essentiellement due aux particules chargées (β , α), et très peu aux émissions γ ou X associées
- Les particules chargées délivrent 100 % de leur énergie dans les tissus
- **Du fait de l'hétérogénéité, le calcul en J/kg, c'est-à-dire en Gy, est beaucoup plus complexe et doit s'envisager à l'échelle microscopique (cellulaire)**

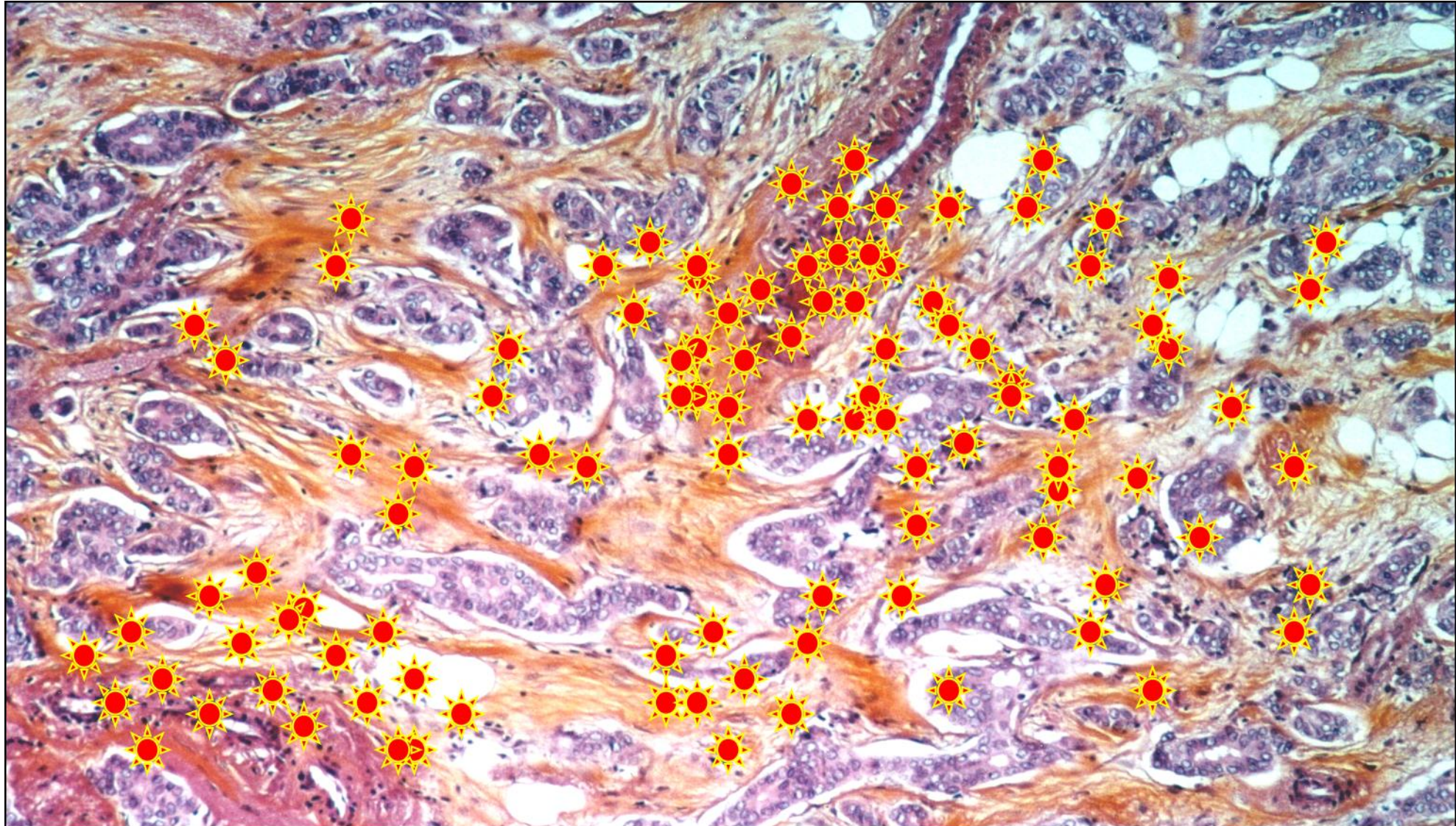
Chaque point du volume est à la fois :

- **une source**

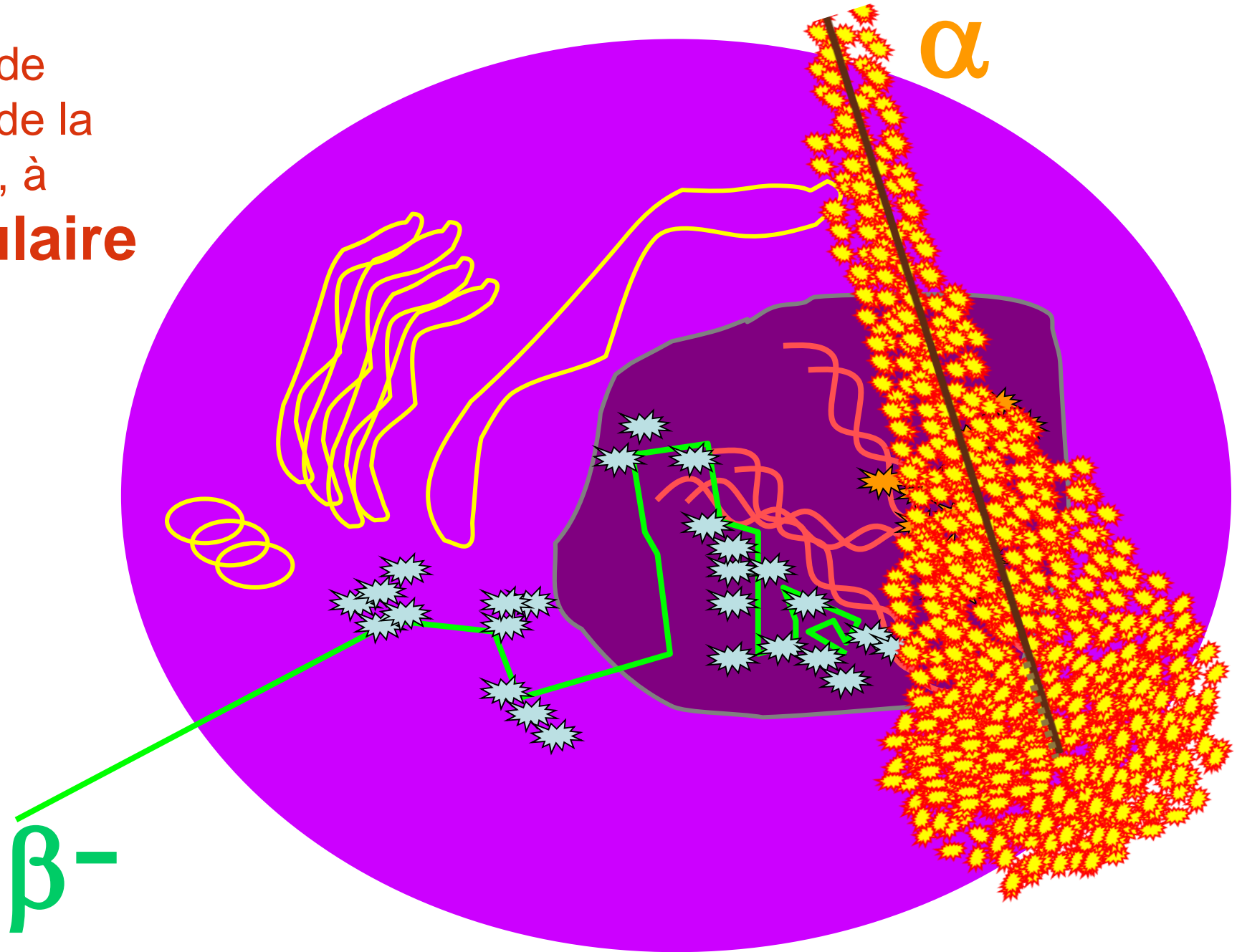
- **et une cible**, qui reçoit des rayonnements des points voisins

→ modèles complexes

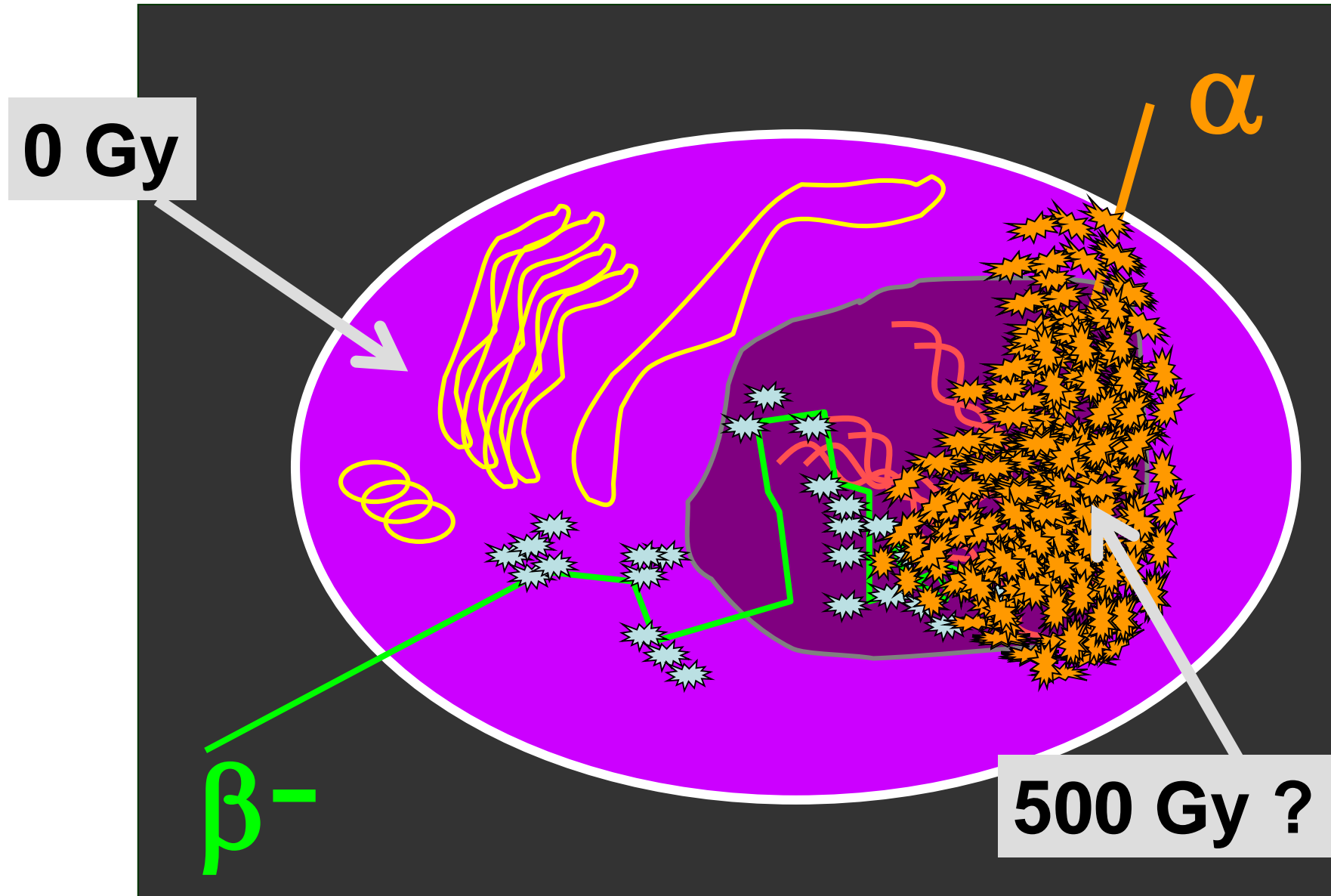
Hétérogénéité de l'activité, donc de la dose absorbée,
à l'échelle **tissulaire...**



Hétérogénéité de
l'activité, donc de la
dose absorbée, à
l'échelle **cellulaire**



Le Gy (J/kg) est une unité moins adaptée à l'échelle cellulaire...



Irradiation interne : hétérogène

- Essentiellement due aux particules chargées (β , α), et très peu aux émissions γ ou X associées
- Les particules chargées délivrent 100 % de leur énergie dans les tissus
- Du fait de l'hétérogénéité, le calcul en J/kg, c'est-à-dire en Gy, est beaucoup plus complexe et doit s'envisager à l'échelle cellulaire
- De plus l'irradiation se fait de façon **prolongée et décroissante**, et la dose est délivrée au cours du temps après la contamination

Irradiation interne :

- Hétérogénéité à l'échelle cellulaire
- Hétérogénéité de la dose à l'échelle tissulaire
- Hétérogénéité de la dose à l'échelle de l'organisme...
- **Bas débit de dose continu**

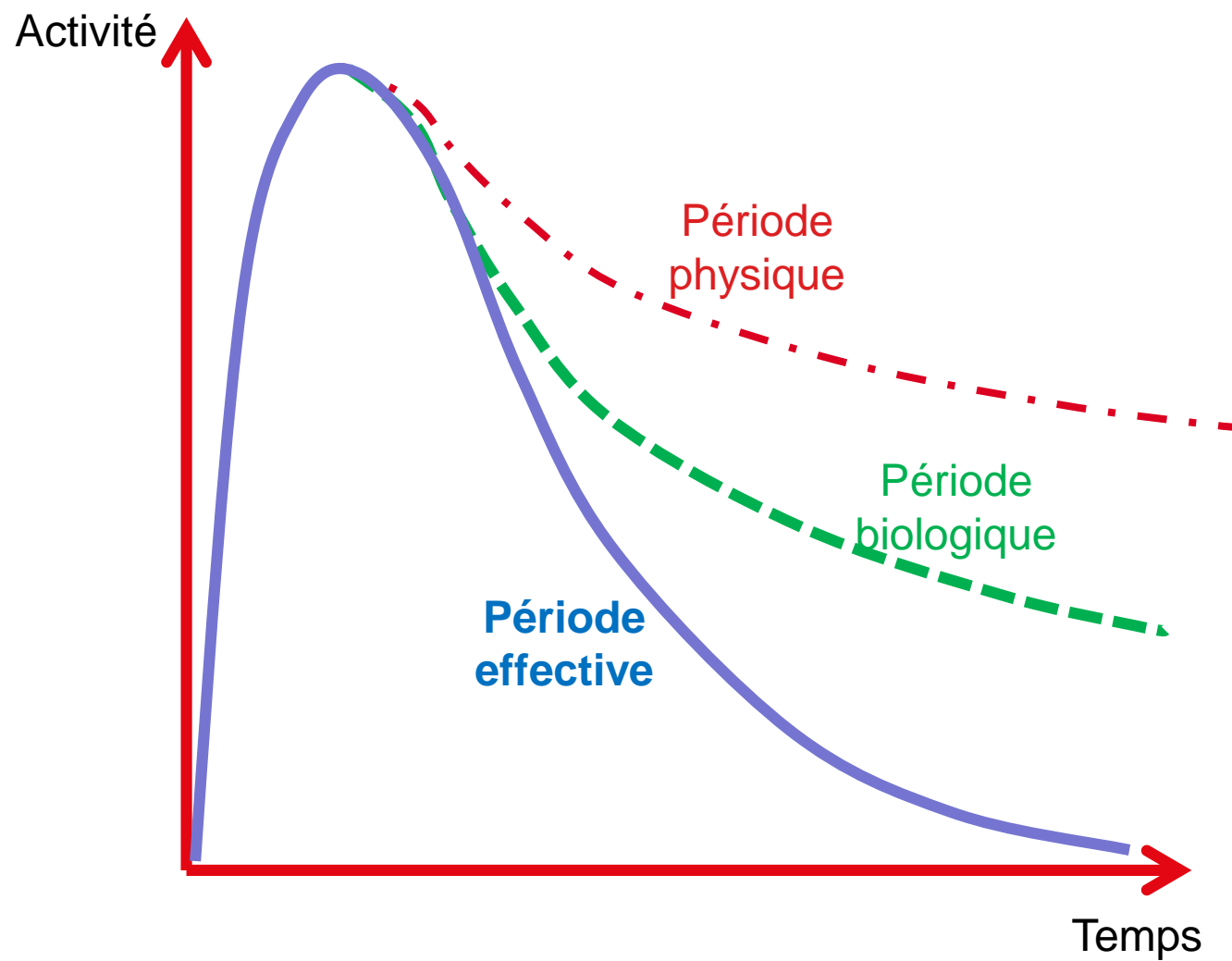
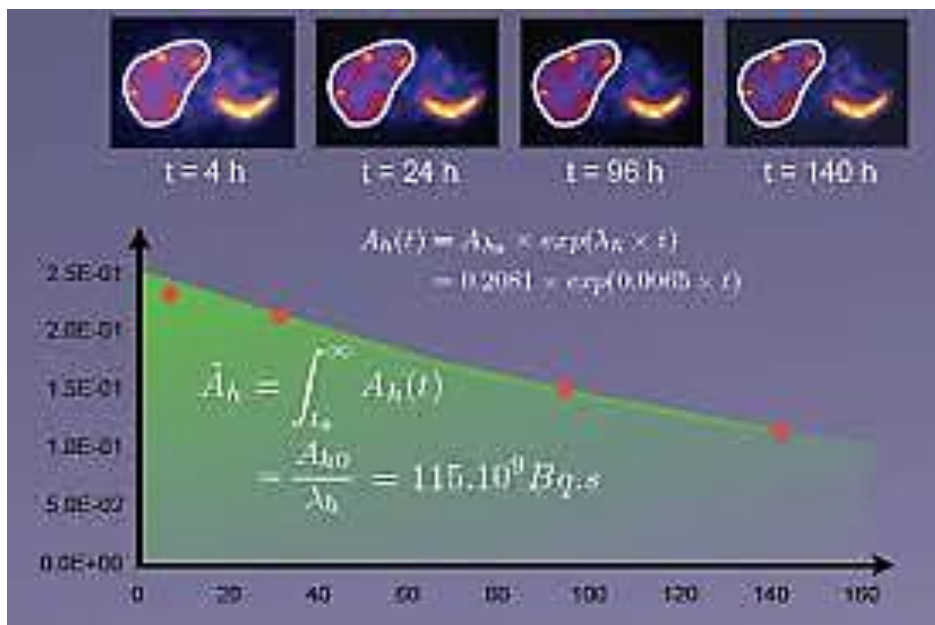
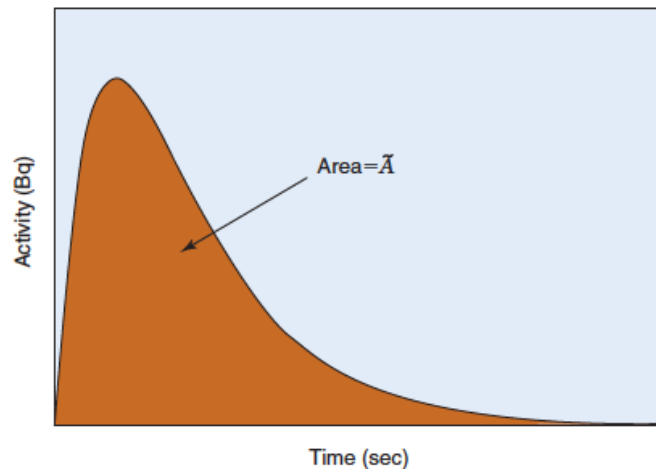
Dosimétrie et irradiation internes

- Débit de dose local (*essentiellement les émissions β^- ou α*) dépend de
 - De la concentration du radioélément qui varie au cours du temps (métabolisme, élimination)
 - ➔ Notion de **période biologique**
 - et de la décroissance radioactive : **période physique**

- Période effective T_{eff}
$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_{\text{phys}}} + \frac{1}{T_{\text{biol}}}$$

On a toujours $T_{\text{eff}} < T_{\text{phys}}$ et $T_{\text{eff}} < T_{\text{biol}}$

Notion d'activité cumulée



Dosimétrie et irradiation internes

- Émissions de particules chargées +++ : chaque tissu est à la fois source et cible
- (émissions γ associées : irradiations des organes les uns les autres)
- Débit de dose local : exemple des *émissions β^-*

La concentration du radioélément varie au cours du temps. Soit $E_{\beta\text{moy}}$ l'énergie moyenne des particules β et $C(t)$ la concentration du radioélément. Le débit de dose est

$$d(t) = 21,31 \times E_{\beta\text{moy}} \times C(t)$$

avec $d(t)$ en Gy.h^{-1} ; $E_{\beta\text{moy}}$ en eV et $C(t)$ en mCi

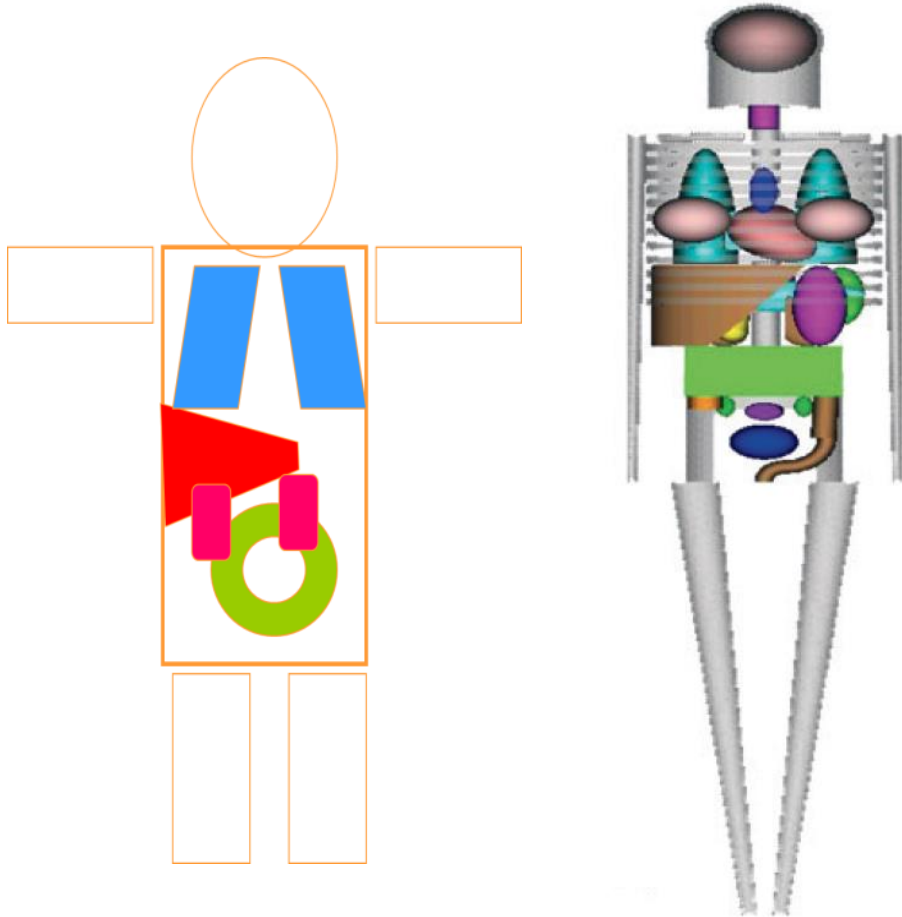
Dosimétrie et irradiation internes

- Émissions de particules chargées +++ : chaque tissu est à la fois source et cible
- (émissions γ associées : irradiations des organes les uns les autres)
- Pour évaluer la dose : il faut connaître la **biodistribution de l'atome radioactif**, c'est à dire leur concentration dans les différentes organes et tissus concernés...

Dosimétrie et irradiation internes

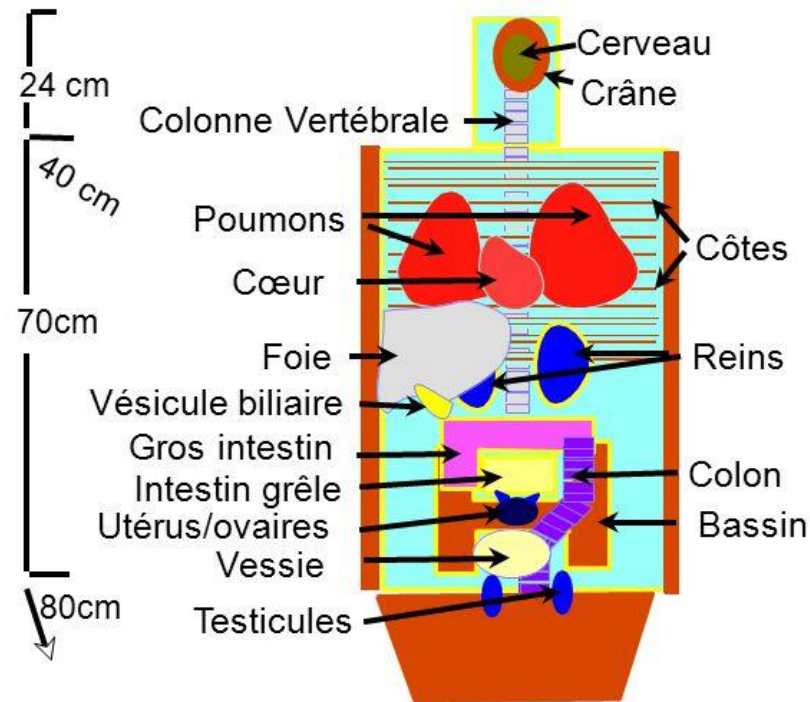
- **Modélisation**
 - De la biodistribution (*hétérogénéité à l'échelle de l'organisme*)
 - Des volumes concernés (organes, volumes élémentaires...)
- **Modèles de l'organisme et du métabolisme :**
 - Dosages sanguins, urinaires et dans les selles : concentrations radioactives
 - Imagerie scintigraphique : concentrations radioactives
 - Imagerie morphologique : volumes
- **Calcul des « doses » dans chaque volume considéré : M.I.R.D**

Comité MIRD : « *medical internal radiation dose* »



Fait appel à des fantômes censés représenter « l'homme moyen »... (fantômes « anthropomorphiques »)

Le fantôme anthropomorphe MIRD

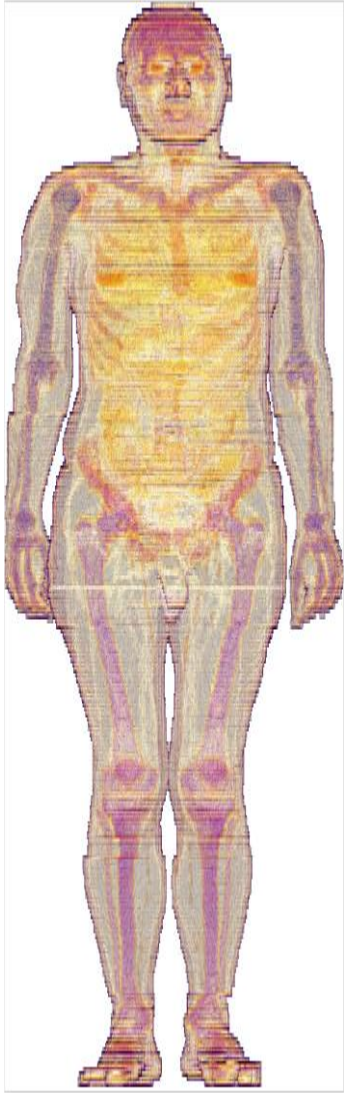


Le fantôme MIRD est conçu pour représenter un adulte de 70 kg; d'autres fantômes ont été développés pour les enfants ou des organes spécifiques.

La dose absorbée est calculée en différents points à l'intérieur des tissus et organes

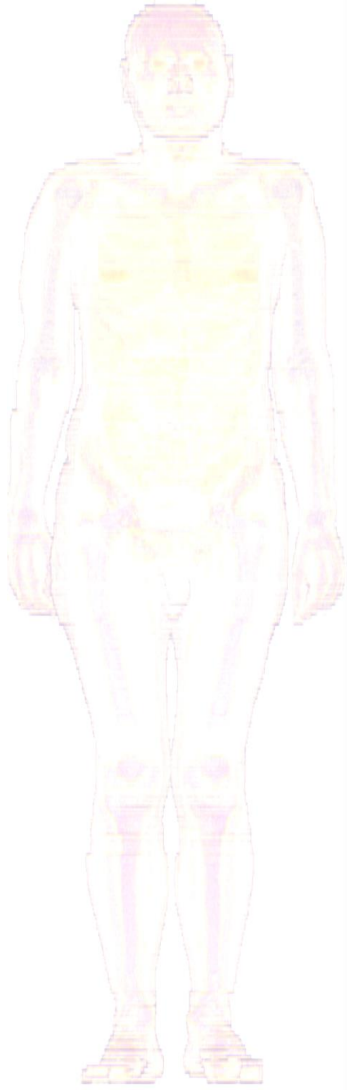


Comité MIRD : « *medical internal radiation dose* »



Où de plus en plus à des fantômes
personnalisés grâce au scanner corps entier

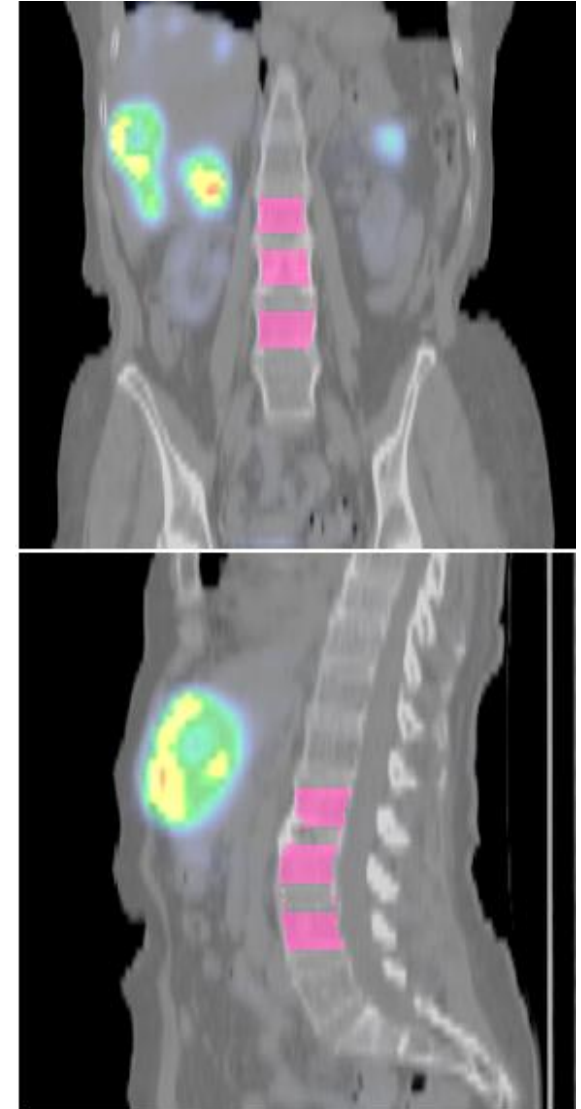
Comité MIRD : « *medical internal radiation dose* »



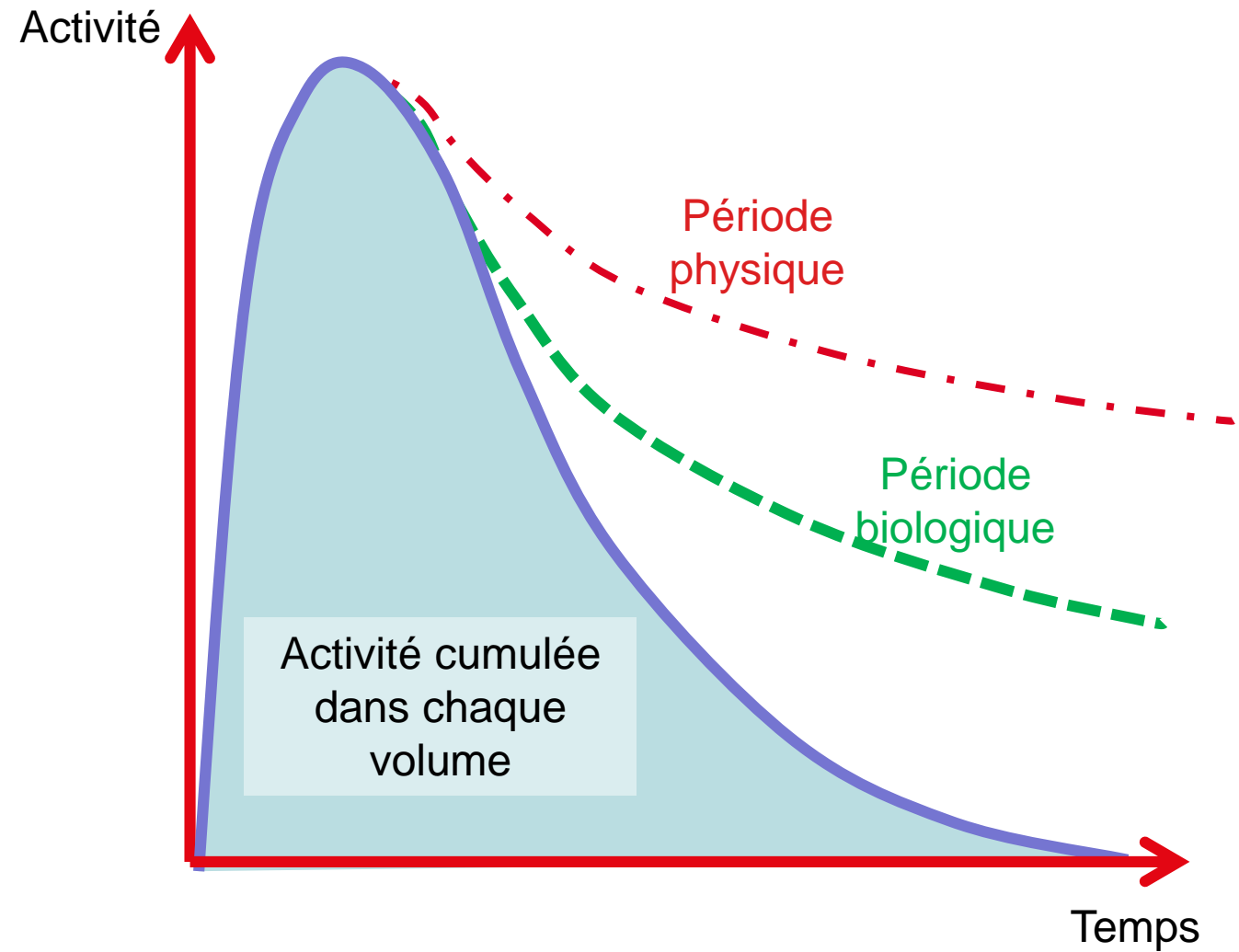
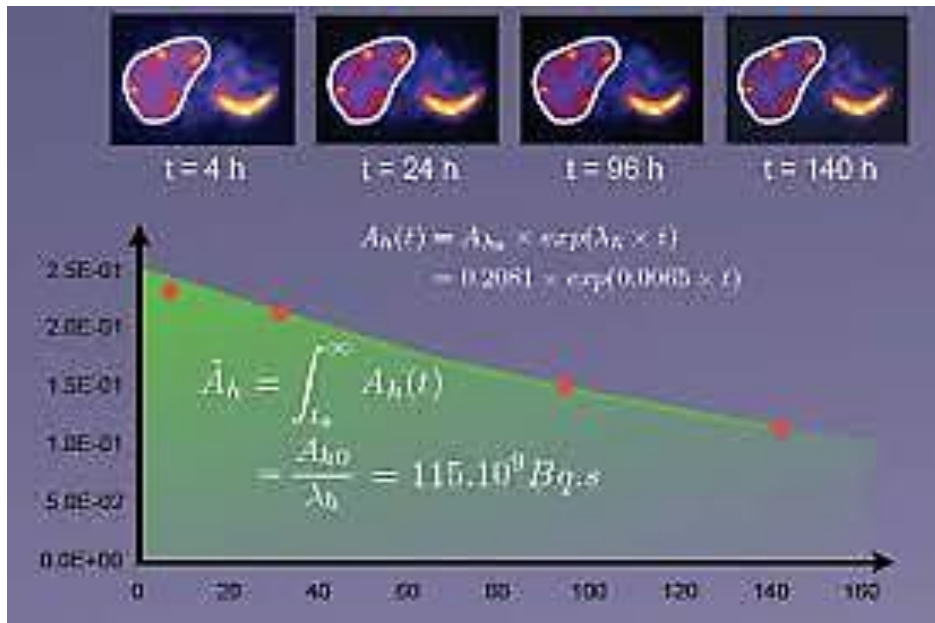
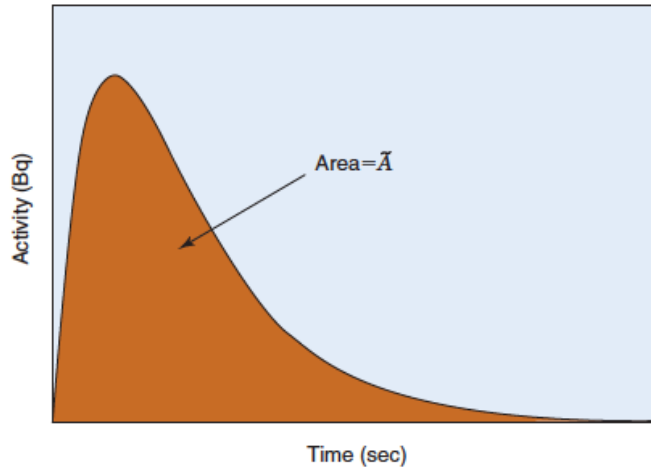
Ou de plus en plus à des fantômes personnalisés grâce au scanner corps entier



Les images scintigraphiques permettent d'estimer/quantifier les concentrations radioactives

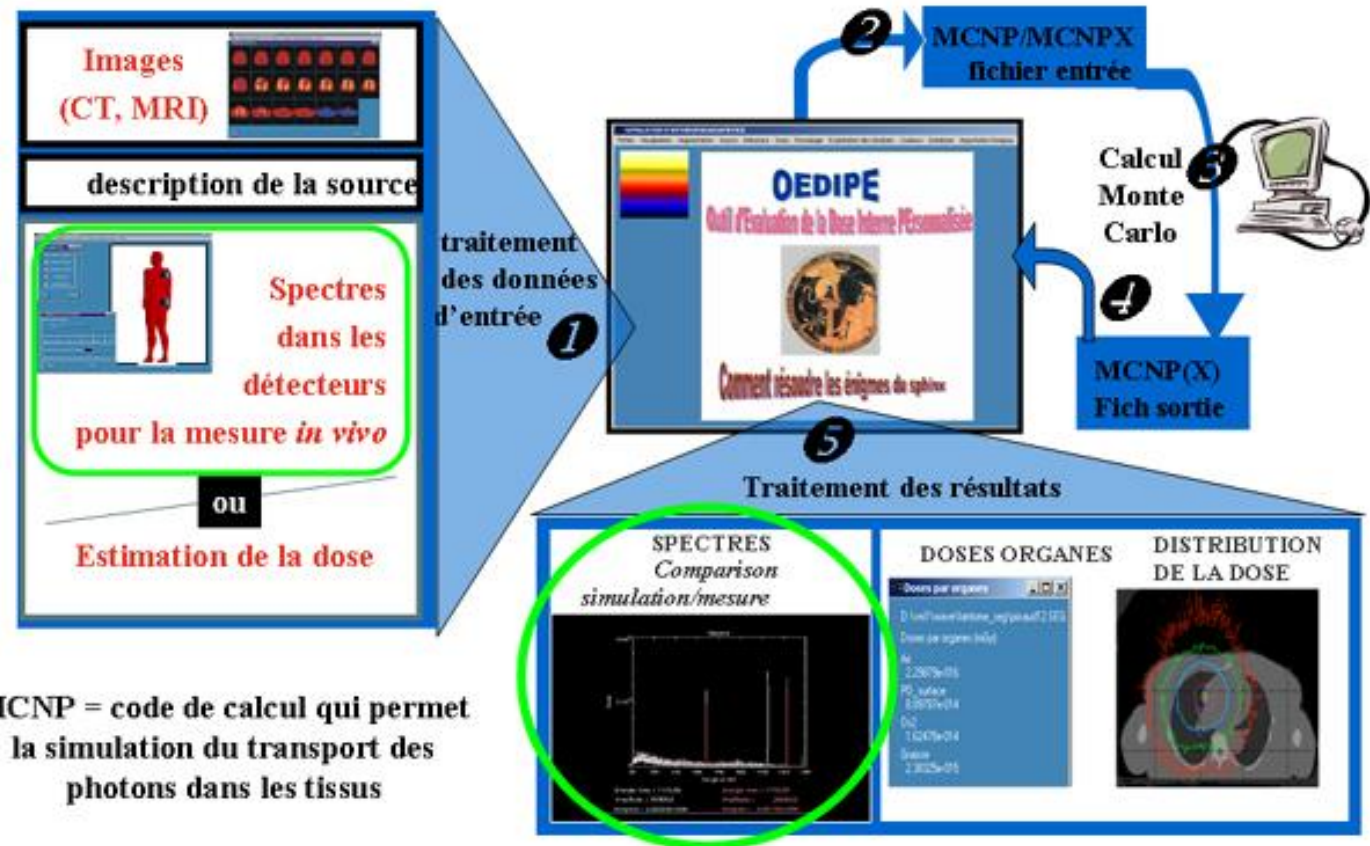


Rappel : activité cumulée



Les modèles du MIRD permettent de calculer les doses à partir des concentrations radioactives dans les différents volumes considérés → approximations liées à l'hétérogénéité

Le logiciel OEDIPE : Outil d'Evaluation de la Dose Interne Personnalisée



MCNP = code de calcul qui permet la simulation du transport des photons dans les tissus

exemple

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

OEDIPE : outil de modélisation pour la
dosimétrie interne personnalisée

A. Desbrée, S. Lamart, D. Broggio, D. Franck
Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire
Laboratoire d'Evaluation de la Dose Interne

SFRP, 27-28 mai 2008

La dosimétrie individuelle des travailleurs et des patients: mise en œuvre et perspectives

Messages essentiels du cours

- Dosimétrie interne
 - La dose est due essentiellement aux émissions de particules chargées au contact (peau) ou à l'intérieur des tissus (et très peu aux émissions γ ou X)
 - liée à une contamination de l'organisme
- Hétérogénéité et caractéristiques physiques de chaque radionucléide émetteur bêta ou alpha rendent la notion de gray (Gy) beaucoup plus compliquée qu'avec l'irradiation externe par des photons
- Irradiation continue et prolongée à bas débit de dose, fonction de la période effective
- ➔ Le principe de calcul est d'estimer l'énergie déposée dans un volume donné par une concentration radioactive au cours du temps (activité cumulée)
- Raisonnement très différent que pour la dosimétrie des photons

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.