

Chapitre 2 : Dosimétrie (2)

Dosimétrie des rayonnements photoniques – 1^{ère} partie

Pr. Jean-Philippe VUILLEZ

Plan du cours

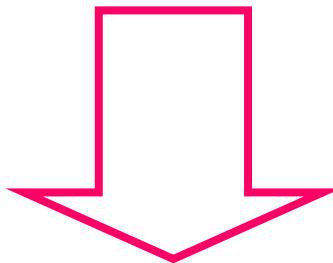
- Introduction : *définition et intérêt de la dosimétrie*
- **Dosimétrie des irradiations par les photons (dosimétrie externe)**
- Dosimétrie interne, liée à l'irradiation par les radionucléides en cas de contamination de l'organisme

Objectifs pédagogiques du cours

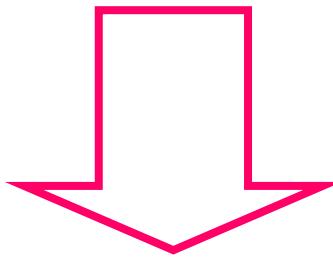
- Maîtriser le concept de dose déposée dans les tissus par un flux de photons
- Savoir appliquer la loi d'atténuation et comprendre la dépendance de la dose par rapport aux caractéristiques des rayonnements (*énergie des photons, intensité énergétique*)
- Comprendre les principes de mesure/calcul de la dose qui intègre le flux d'énergie radiante et la durée de l'irradiation

Dosimétrie des faisceaux de photons (X ou γ)

- Énergie **émise** par la source et **transportée** par le faisceau

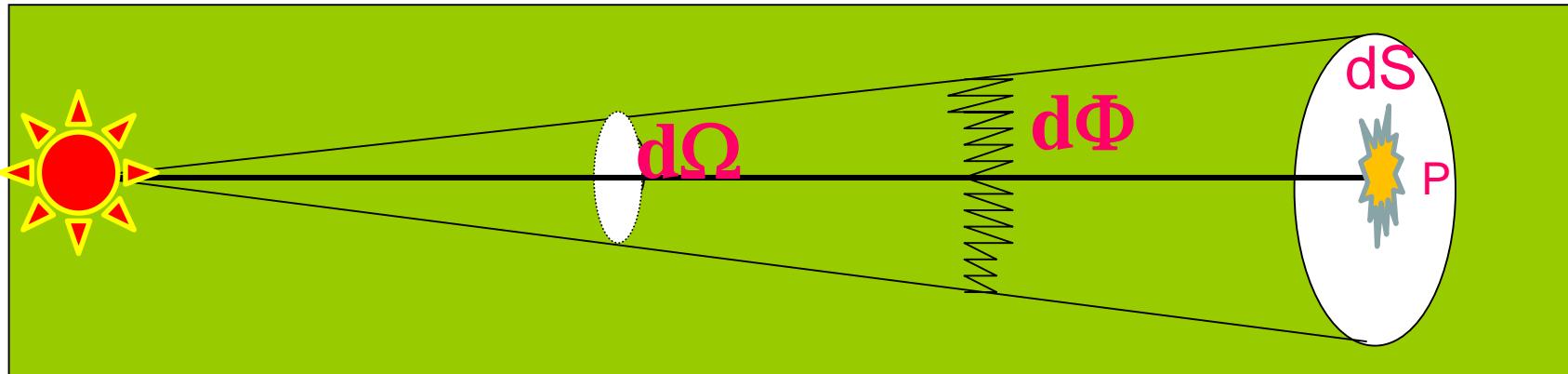


- Énergie **reçue** et **transférée** au milieu (par interactions) ou KERMA

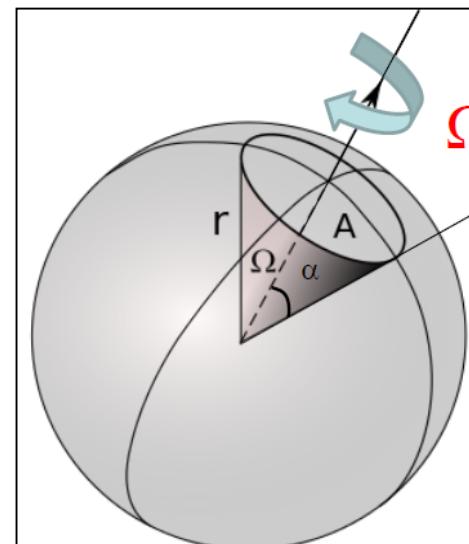


- Énergie **absorbée** par le milieu = dose reçue (qui conditionne les effets biologiques)

Caractéristiques d'un faisceau de photons (considéré dans le vide)



- l'*intensité énergétique*
- le *flux énergétique total* émis par la source
- l'*énergie totale émise*
- l'*éclairement énergétique*
- la *fluence énergétique au niveau d'un point P*



$$\Omega = A/r^2$$

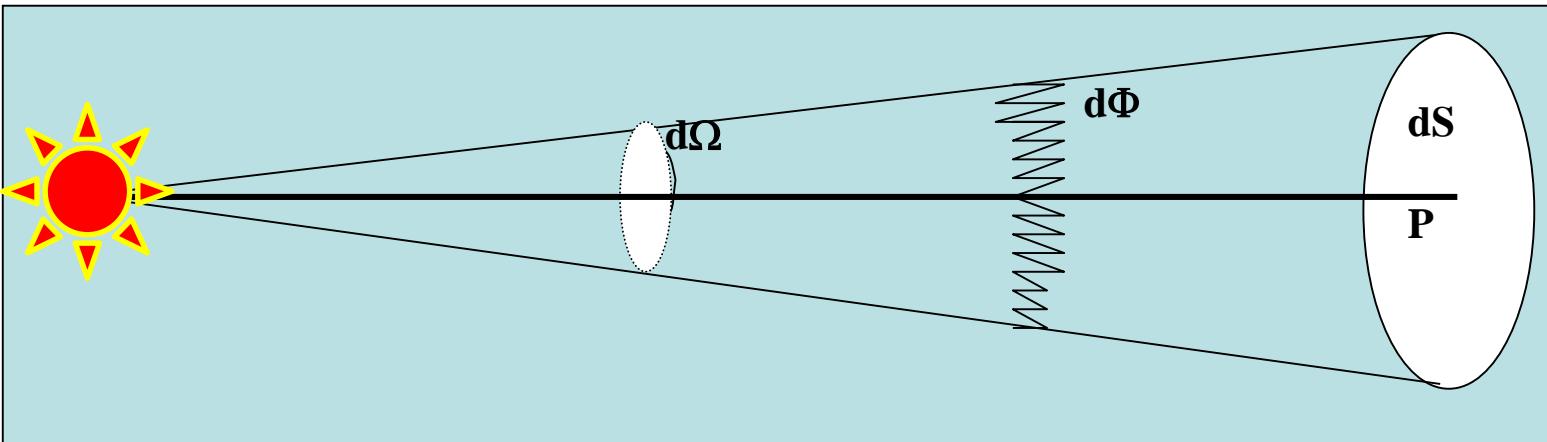
A = aire de la calotte sphérique
 r = rayon de la sphère

Si $\alpha = \pi$ alors A vaut $4\pi r^2/2 = 2\pi r^2$ qui est la surface de la demi sphère et

$\Omega = (2\pi r^2/r^2) = 2\pi$ stéradian (sr) est l'angle solide du demi espace

$\Omega = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi$ sr est l'angle solide de tout l'espace

Paramètres énergétiques d'un faisceau de photons : énergie émise par la source



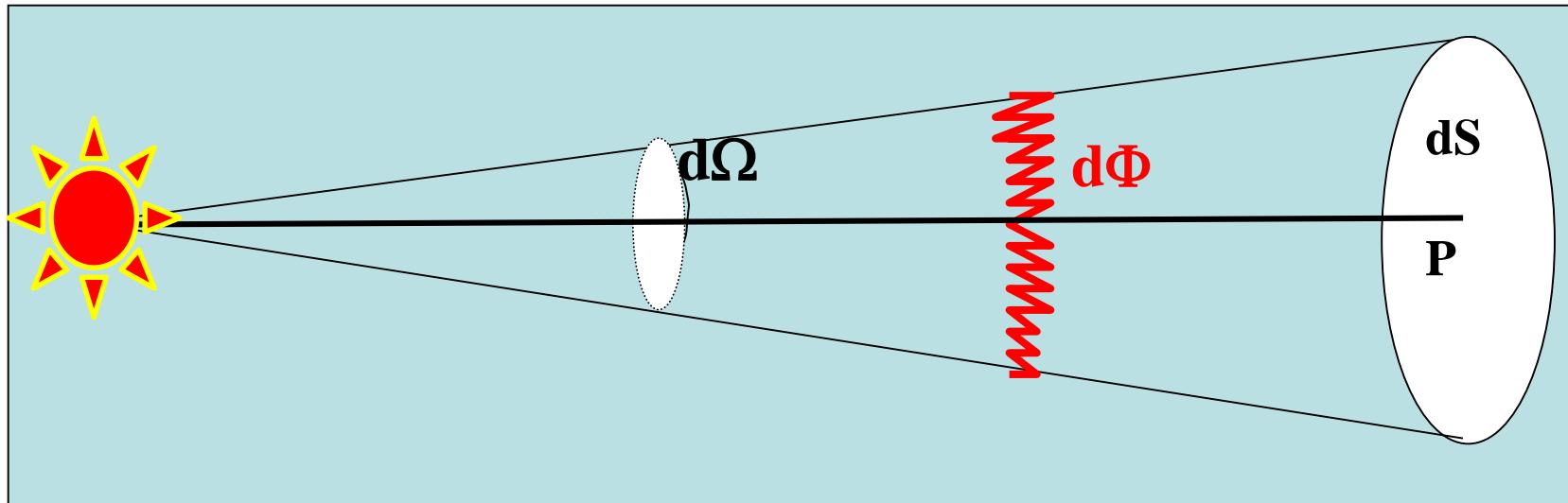
- **intensité énergétique** émise dans une direction u :
(flux d'énergie $d\Phi$ dans un angle solide $d\Omega$ en *watts par stéradian*)

$$I(\dot{u}) = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

- **flux énergétique** total émis par la source (en watts)

$$\Phi = \int_0^{4\pi} I(\dot{u}) d\Omega$$

Paramètres énergétiques d'un faisceau de photons :
énergie émise par la source

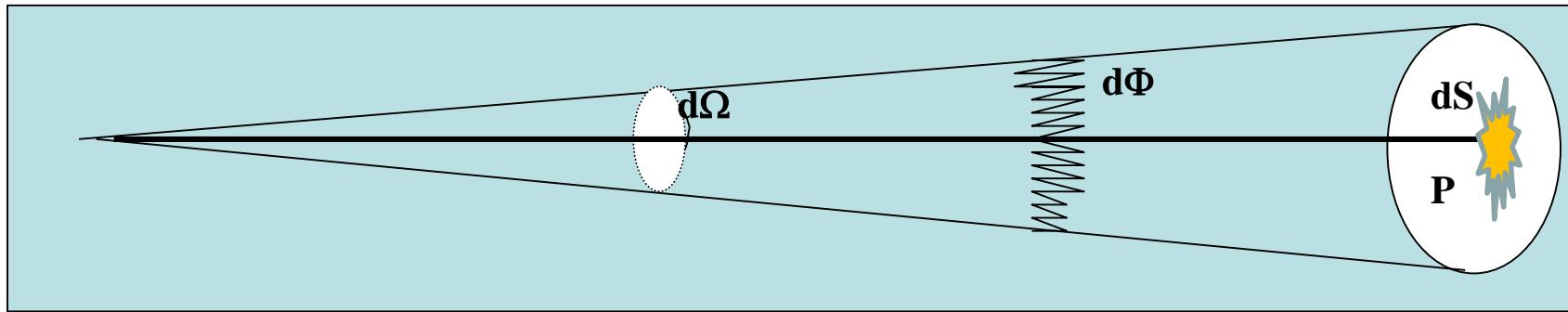


- Pendant une durée U : **énergie émise dans un angle solide Ω** (*en intégrant sur le temps*)

$$E = \int_0^U I(\dot{u})(t) dt$$

- **Énergie totale émise** (en joules) $\Sigma = \int_0^U \Phi(t) dt$

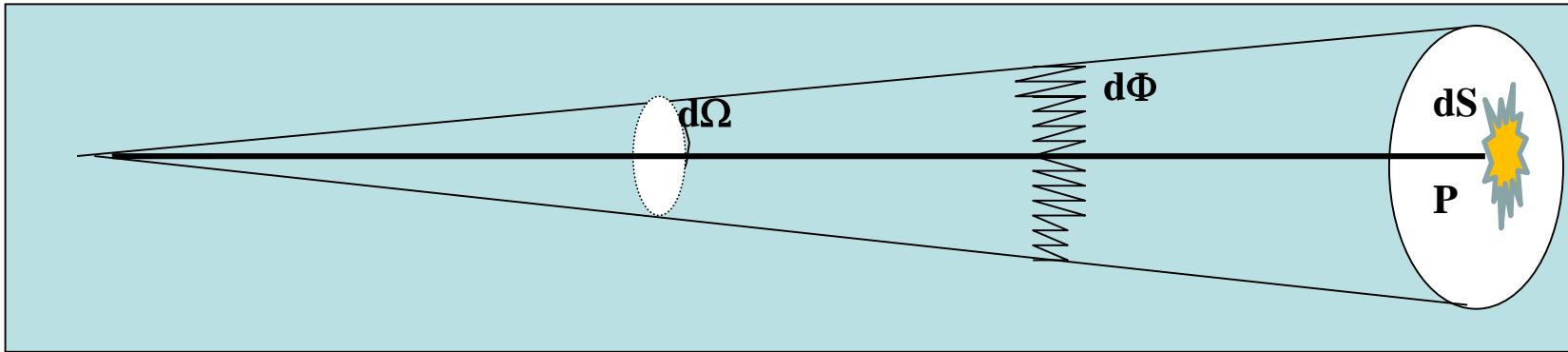
Paramètres énergétiques d'un faisceau de photons :
énergie reçue en un point P



- **Éclairement énergétique** au point P :
rapport du flux d'énergie $d\Phi$ qui
traverse une surface élémentaire dS ,
à l'aire dS (en watts par m^2)

$$E(P) = \frac{d\Phi}{dS}$$

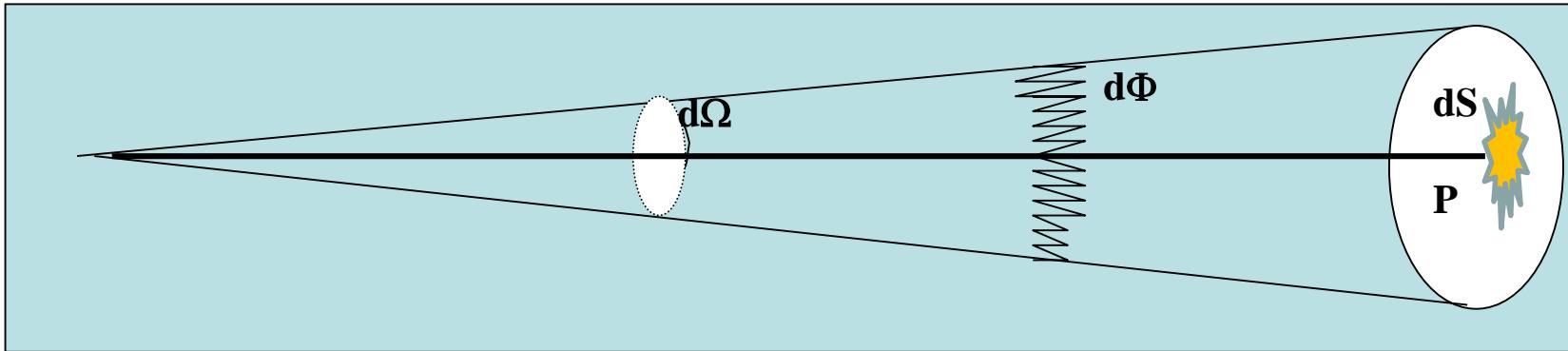
Paramètres énergétiques d'un faisceau de photons : énergie reçue en un point P



- **Fluence énergétique** au point P : (en joules par m²)

$$\mathbf{F}(\mathbf{P}) = \int_0^U \mathbf{E}(\mathbf{P}) dt$$

Paramètres énergétiques d'un faisceau de photons : énergie reçue en un point P



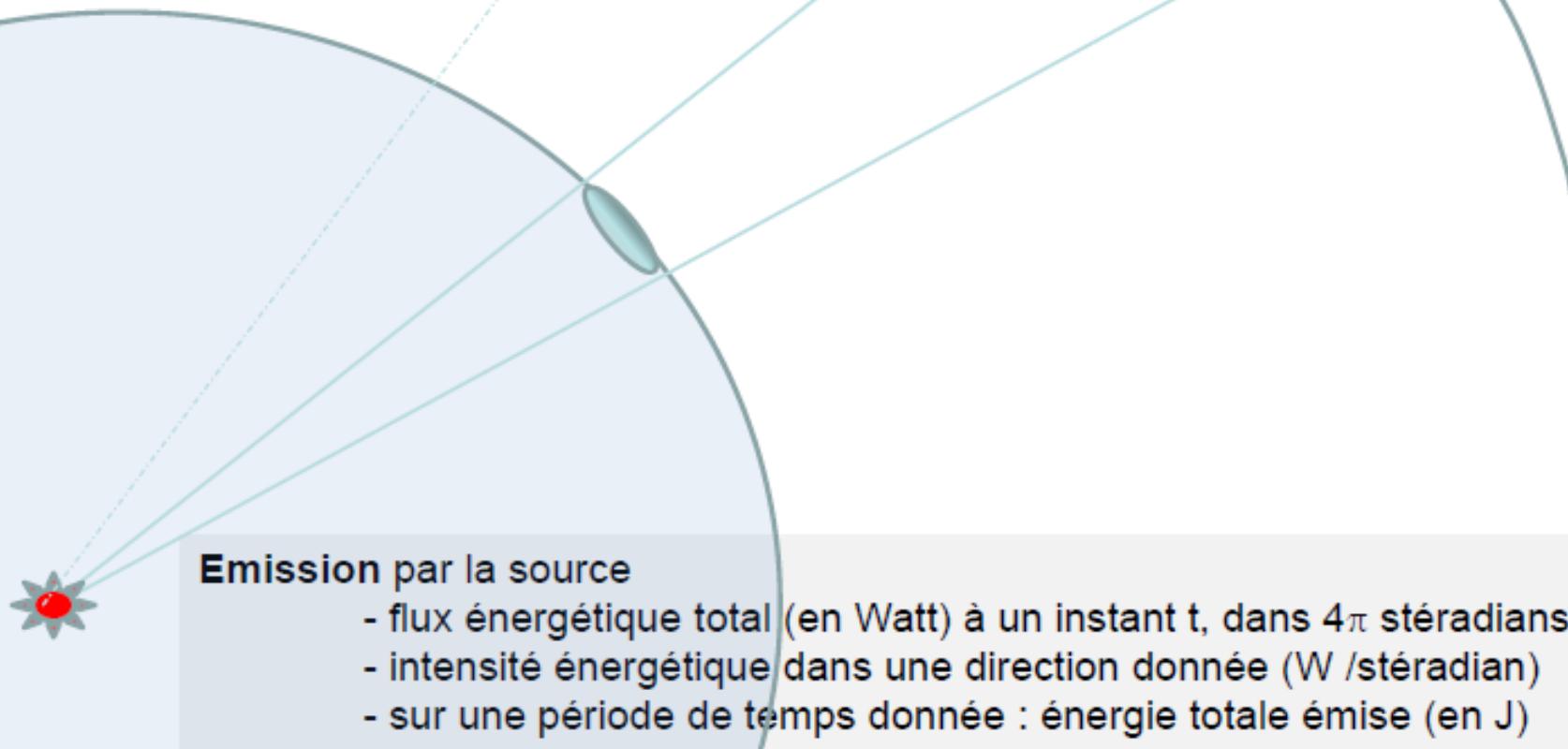
- **Fluence énergétique** au point P : (en joules par m²)

$$\mathbf{F}(\mathbf{P}) = \int_0^{\mathbf{U}} \mathbf{E}(\mathbf{P}) dt$$

- L'aire dS interceptée par $d\Omega$, sur un plan perpendiculaire à la direction de propagation augmente comme le carré de la distance R à la source :
 \Rightarrow ***l'éclairement et la fluence énergétiques décroissent comme le carré de la distance*** à la source (pour une source ponctuelle)

Energie reçue

- **Éclairement énergétique** au point P : $d\Phi / dS$ (watts /m²)
- sur une période de temps donnée : **fluence énergétique** au point P (J/m²)



Emission par la source

- flux énergétique total (en Watt) à un instant t, dans 4π stéradians
- intensité énergétique dans une direction donnée (W /stéradian)
- sur une période de temps donnée : énergie totale émise (en J)

Rappel : loi d'atténuation

- $dN = -\mu N dx$
- D'où : $N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu x}$

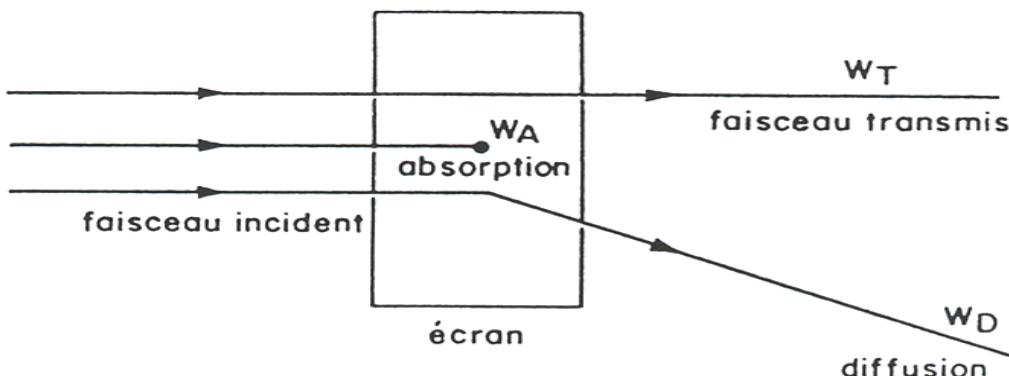


Figure 14-7 Atténuation d'un faisceau de photons

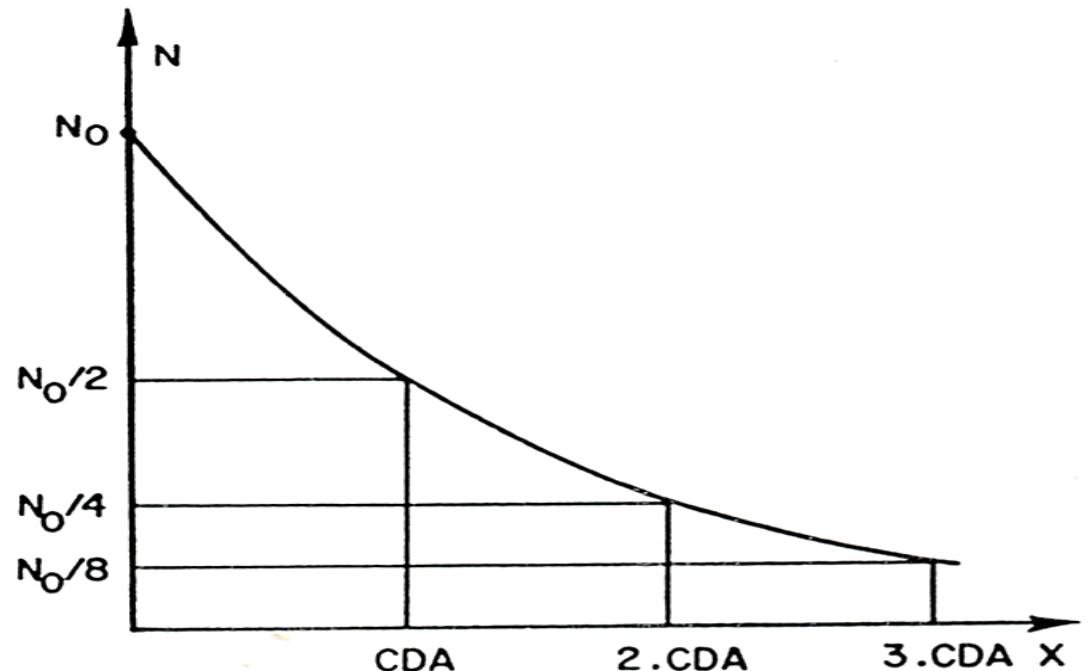


Figure 14-8 Variations du nombre de photons qui traversent un écran sans interaction en fonction de l'épaisseur x de l'écran
Le nombre de photons transmis décroît de manière exponentielle mais ne s'annule pas.

Coefficients d'atténuation

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu x}$$

- **Coefficient linéaire d'atténuation :** μ (cm⁻¹)
- **Coefficient massique d'atténuation :** μ/ρ (cm².g⁻¹)
- **Ces coefficients représentent la probabilité d'interaction des photons dans le milieu, qui dépend :**
 - De l'énergie des photons
 - De la densité du milieu

Rappel : la dose D représente l' **énergie [absorbée] **par unité de masse** (++++)**

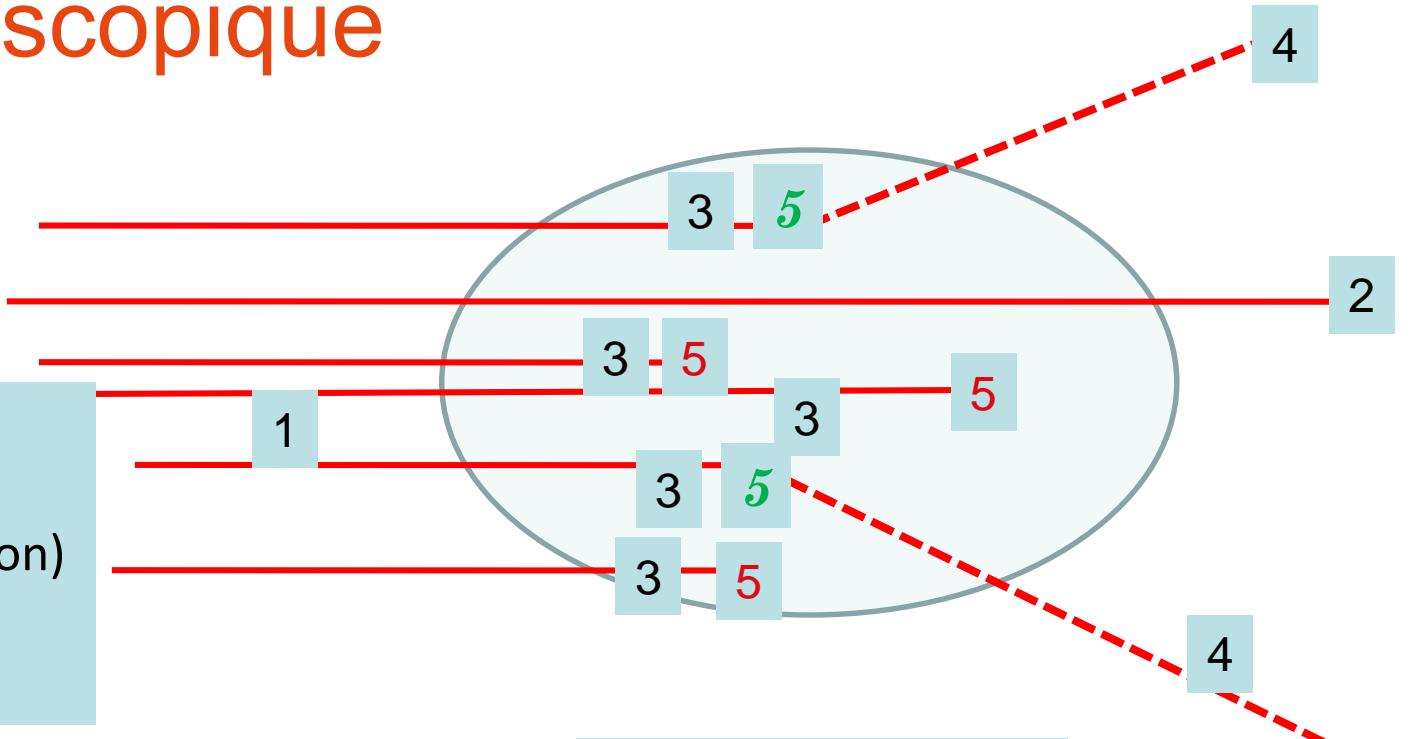
unité : **gray [*joule par kilogramme*] (1 Gy = 1 J.kg⁻¹)**

- Il faut distinguer :
 - Énergie reçue (*fraction de l'énergie émise par la source*)
 - Énergie transmise
 - Énergie transférée par le faisceau (atténuation)
 - Énergie transférée à la matière
 - Énergie absorbée

A l'échelle macroscopique

Energie :

- 1 reçue : par le volume cible
- 2 transmise : qui n'a pas interagi
- 3 déposée/transférée : par le faisceau (atténuation)
- 4 diffusée : perdue...
- 5 absorbée : par le milieu (la matière)



5 absorption partielle

5 absorption totale

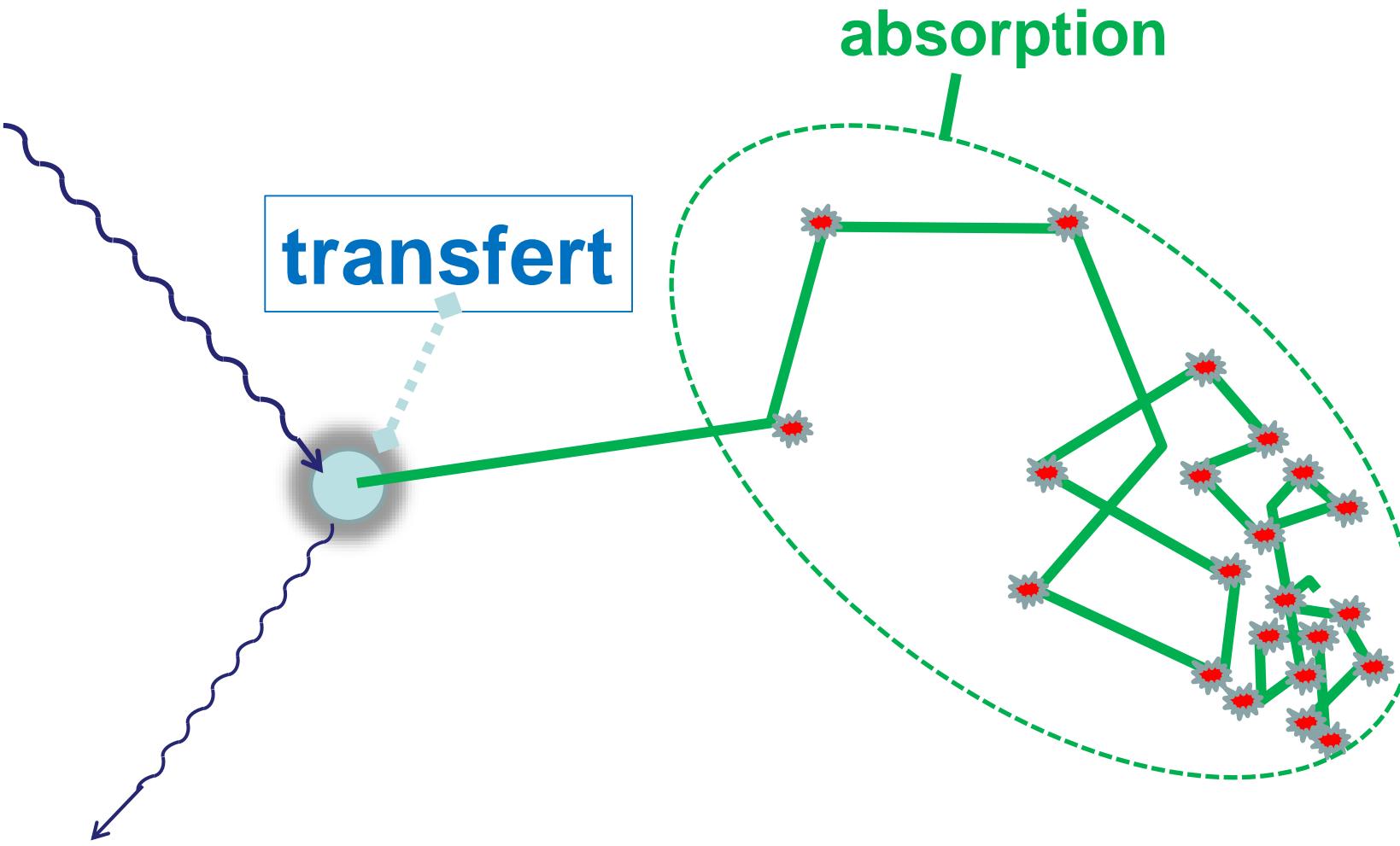
Énergie absorbée = énergie transférée

= énergie reçue – (énergie transmise + énergie diffusée)

Dose (énergie par unité de masse)

A l'échelle microscopique (cellulaire...)

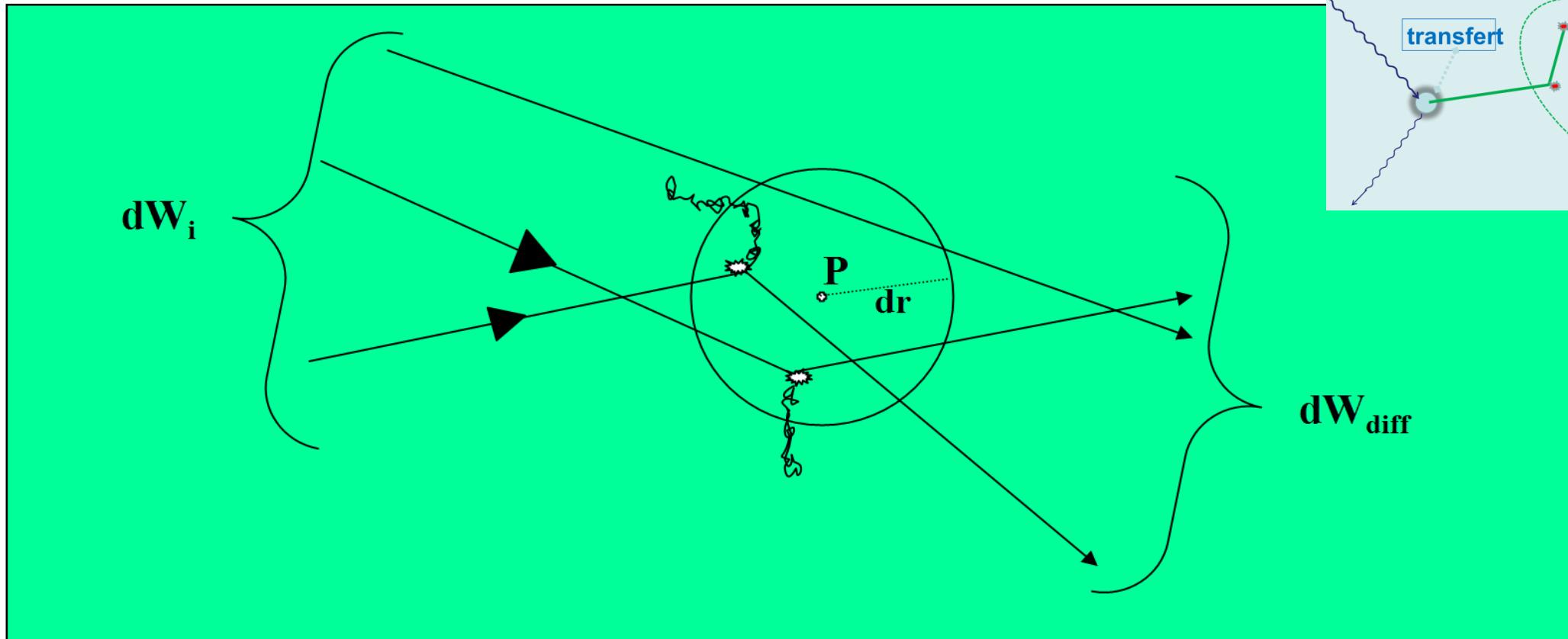
Energie transférée (KERMA) \neq énergie absorbée



KERMA

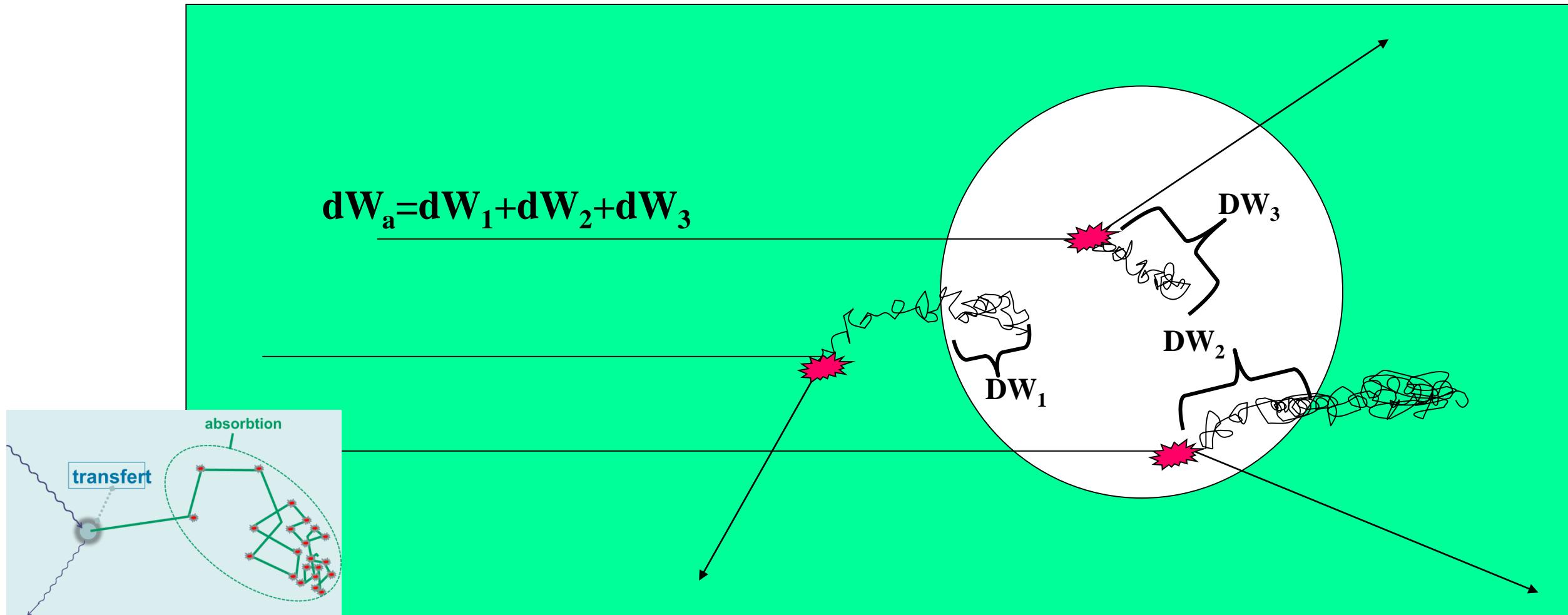
(Kinetic Energy Released per unit Mass)

- Le KERMA correspond aux transferts d'énergie qui se produisent au sein de la sphère centrée sur P, quel que soit le devenir des particules mises en mouvement lors de ces transferts



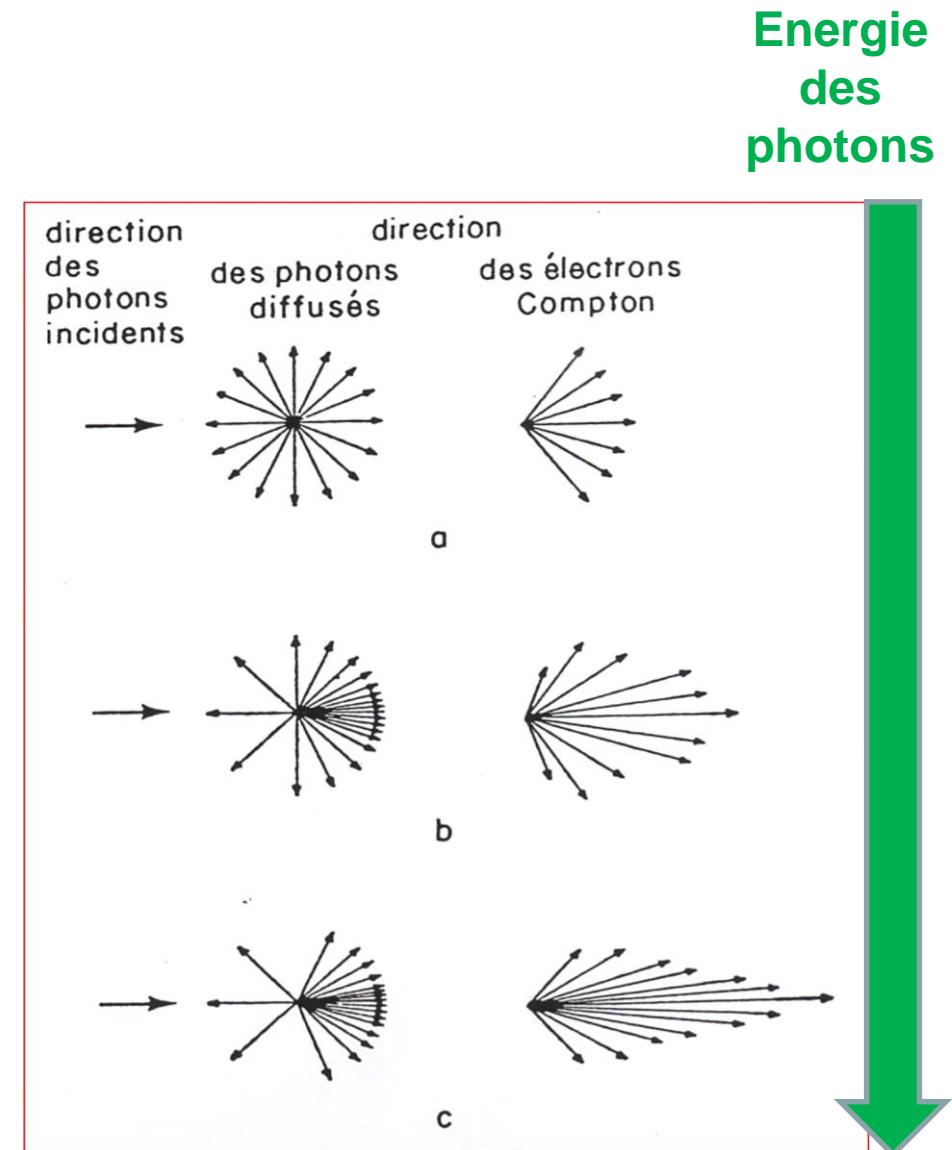
Dose absorbée

- La dose absorbée correspond à l'énergie déposée dans la sphère élémentaire centrée sur P, **quel que soit le lieu du transfert d'énergie initial.**

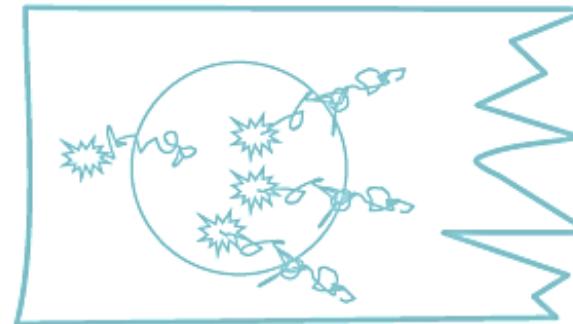
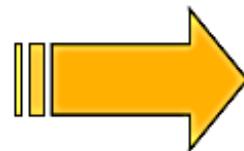


Relation entre le Kerma et la dose absorbée

- Les électrons mis en mouvement par effet Compton (qui est le plus fréquent dans les tissus biologiques) sont préférentiellement dirigés vers l'avant.
- On doit donc distinguer trois situations :

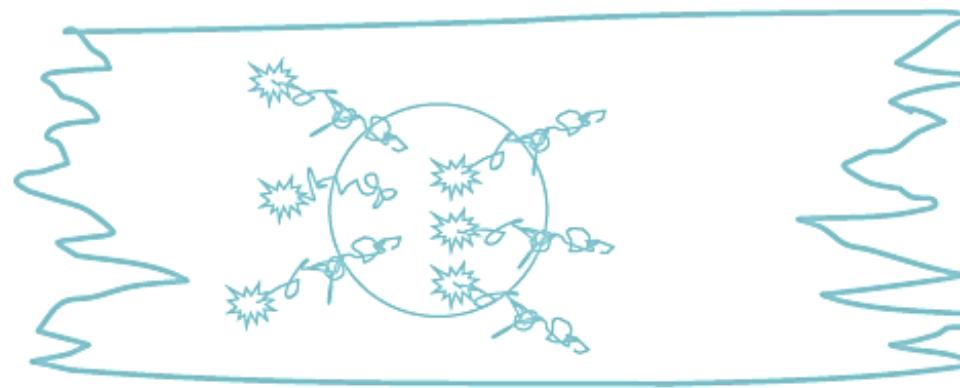
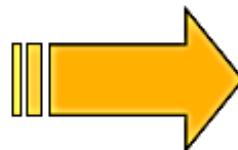


faisceau
de
photons



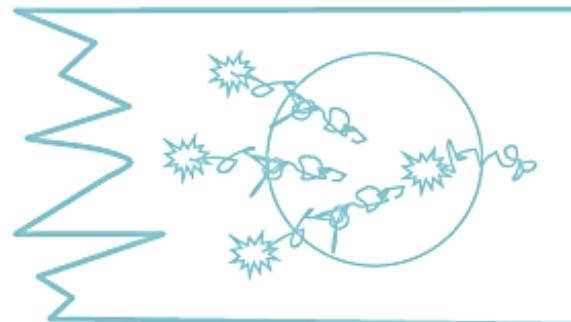
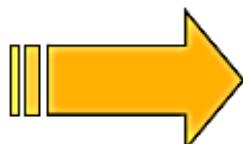
$$K > D$$

La zone irradiée proche de l'entrée du faisceau, absorbe moins d'énergie par unité de masse qu'elle n'en reçoit. Le Kerma est supérieur à la dose absorbée, $K > D$



$$K = D$$

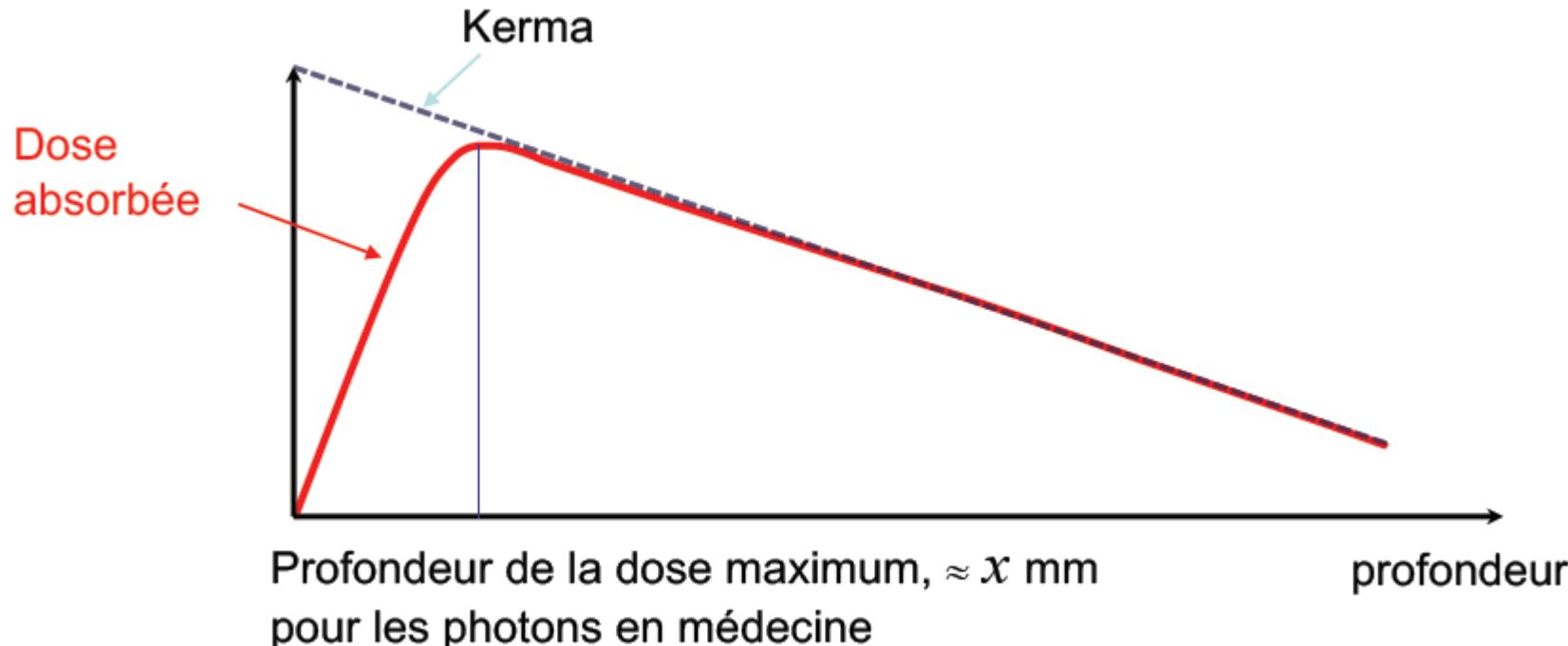
**Équilibre
électronique**



$$K < D$$

Donc à l'équilibre électronique (très grande majorité des cas)

- L'énergie absorbée est égale à l'énergie transférée
- C'est-à-dire à l'énergie reçue moins l'énergie diffusée et transmise



Messages essentiels du cours (1)

- Ne pas confondre énergie émise et énergie reçue
- La dose dépend
 - de l'énergie émise par la source, dont une fraction est reçue par le volume cible
 - de l'énergie des photons (loi d'atténuation)
 - des conditions géométriques (angle solide, distance au carré)
 - du temps (durée) de l'irradiation
- La dose s'exprime en **Gy (J/kg)**
- ...

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.