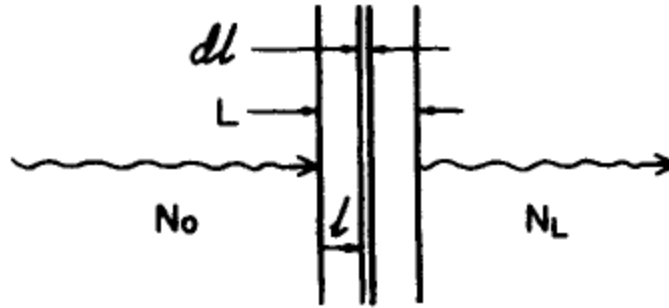


Chapitre III: Configurations géométriques pour des particules non-chargées

Atténuation exponentielle « simple »: cas idéal

- Soit un faisceau monoénergétique de particules non-chargées (photons ou neutrons) incident (\perp) sur une cible (atténuateur) d'épaisseur L



$$N_L = N_0 \exp(-\mu L)$$

- μ : **Coefficient linéique d'atténuation** (unité: m^{-1})
- Cas idéal \rightarrow Chaque particule est soit absorbée en une seule interaction (sans production de particules secondaires), soit traverse l'atténuateur sans modification d'énergie ou de direction
- Autre cas valable \rightarrow particules déviées ou secondaires possibles mais pas *comptées* dans N_L

Faisceau réel

- Faisceau réel de particules non-chargées → production de particules secondaires (chargées ou non) + déviation des particules incidentes (avec pertes d' E ou non)
- Après l'atténuateur → nombre de particules plus grand que juste les particules ne subissant aucune interaction → simple atténuation exponentielle non valide
- Cependant → particules chargées ne doivent pas être comptées dans un faisceau de particules non-chargées (de plus les particules chargées sont moins pénétrantes → sont absorbées dans l'atténuateur et les détecteurs sont souvent blindés) → E cédée aux particules chargées est absorbée

Atténuation en faisceau large

- Les particules primaires déviées et les secondaires non-chargées peuvent atteindre le détecteur ou non
- Les particules primaires déviées et les secondaires non-chargées qui atteignent le détecteur peuvent être incluses dans N_L ou non
- Si oui \rightarrow simple expression exponentielle de $N_L \leftrightarrow L$ est non-valide
- On parlera d'*atténuation en faisceau large*

Coefficient d'atténuation effectif

- On peut définir un coefficient d'atténuation effectif, μ' , correspondant à l'atténuation observée dans les conditions d'atténuation en faisceau large
- Plus de de particules sont comptées dans les conditions d'atténuation en faisceau large que dans le cas idéal d'atténuation simple \rightarrow

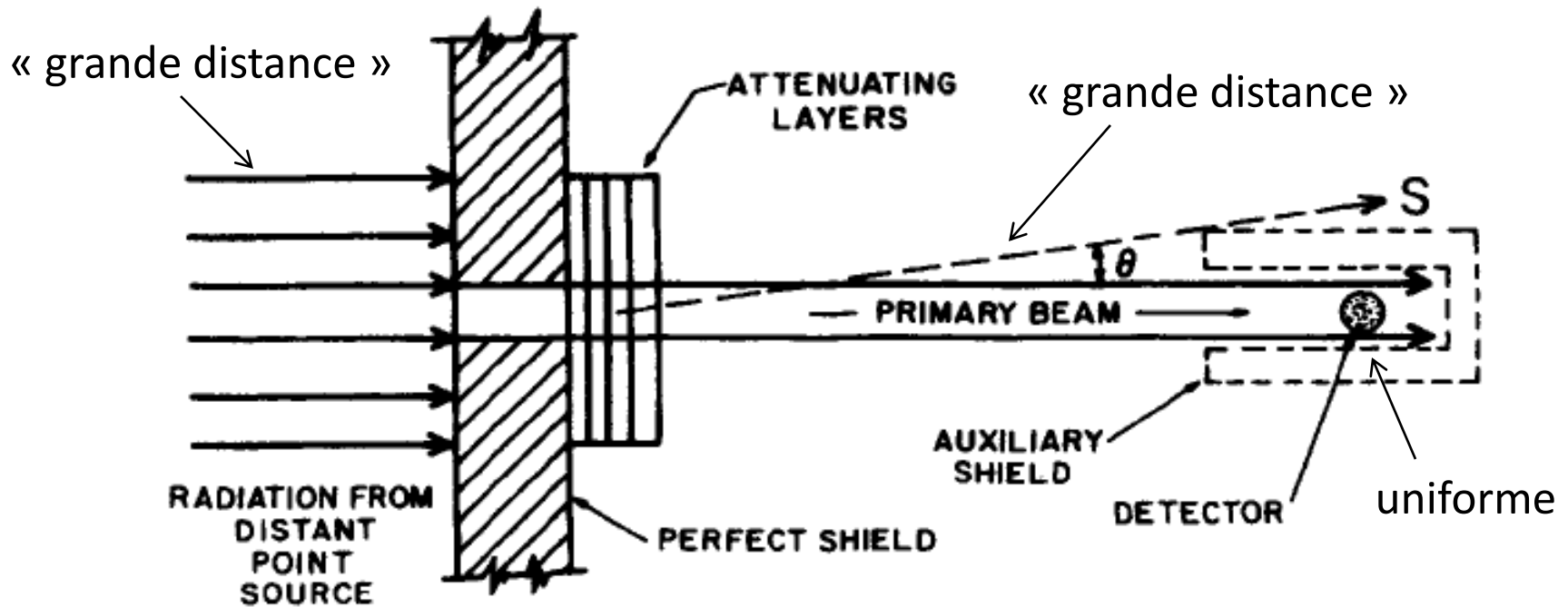
$$\mu' < \mu$$

Atténuation en faisceau étroit (1)

- Si les particules primaires déviées et les secondaires non-chargées atteignent le détecteur mais ne sont pas incluses dans $N_L \rightarrow$ On parlera de *géométrie à faisceau large* mais *d'atténuation en faisceau étroit*
- L'équation exponentielle du cas idéal reste valide dans ces conditions pour un faisceau réel
- En pratique \rightarrow discrimination à l'encontre des primaires déviées et des secondaires qui atteignent le détecteur sur la base de leur énergie, de leur direction, de leur temps de vol, etc.

Atténuation en faisceau étroit (2)

- Autre manière d'obtenir une atténuation en faisceau étroit → utiliser une *géométrie à faisceau étroit qui empêche les primaires déviées et les secondaires d'atteindre le détecteur*



Géométrie à faisceau étroit

Géométrie à faisceau étroit: caractéristiques

- Grande distance entre la source et l'atténuateur → particules perpendiculairement incidentes sur l'atténuateur
- Grande distance entre l'atténuateur et le détecteur → Toute particule défléchie dans l'atténuateur manquera le détecteur (intensité du faisceau primaire au détecteur indépendante de la distance de l'atténuateur \leftrightarrow intensité des primaires déviées et des secondaires \searrow en fonction du carré de cette distance) → l'intensité relative du faisceau primaire \nearrow en fonction de cette distance
- Le faisceau est collimaté de manière à recouvrir le détecteur uniformément → \searrow du nombre de primaires déviées et de secondaires générés dans l'atténuateur

Géométrie à faisceau étroit: blindages

- Le blindage devant l'atténuateur est sensé stopper toutes le radiations incidentes excepté celles qui passent par l'ouverture
- Le blindage autour du détecteur est sensé stopper toutes le radiations excepté celles qui passent par l'ouverture ($\theta \approx 0^\circ$)
 - Plomb si les rayonnements à stopper sont des rayons X ou γ (avantage: faible épaisseur)
 - Matériaux hydrogénés si se sont des neutrons

Géométrie à faisceau étroit: pratique

- En pratique → pas difficile de réaliser une expérience à géométrie à faisceau étroit → atténuation en faisceau étroit est correcte
- Valeurs de coefficients d'atténuation publiées dans la littérature ont été obtenues dans des conditions rigoureuses de géométrie à faisceau étroit
- Cependant dans certains cas pratiques → pas de géométrie à faisceau étroit → nécessité de définir d'autres contextes: géométrie à faisceau large idéale et atténuation à faisceau large idéale

Géométrie à faisceau large idéale

- Dans une *géométrie à faisceau large idéale*, chaque particule diffusée ou chaque particule non-chargée secondaire atteint le détecteur, mais seulement si elle est créée dans l'atténuateur par une particule primaire se dirigeant vers le détecteur, ou par particule chargée secondaire résultant d'une telle primaire
- Atténuateur suffisamment mince → échappement des particules non-chargées créées après une première interaction par une particule primaire, plus les rayons X et les rayons γ d'annihilation émis par les particules secondaires chargées générés par une particule primaire dans l'atténuateur
- Scattering multiple exclu

Atténuation à faisceau large idéale

- Si, en plus d'avoir une géométrie à faisceau large idéale, on considère une réponse du détecteur proportionnelle à l'énergie radiante R des particules primaires, des particules diffusées et des particules non-chargées secondaires → *atténuation à faisceau large idéale*

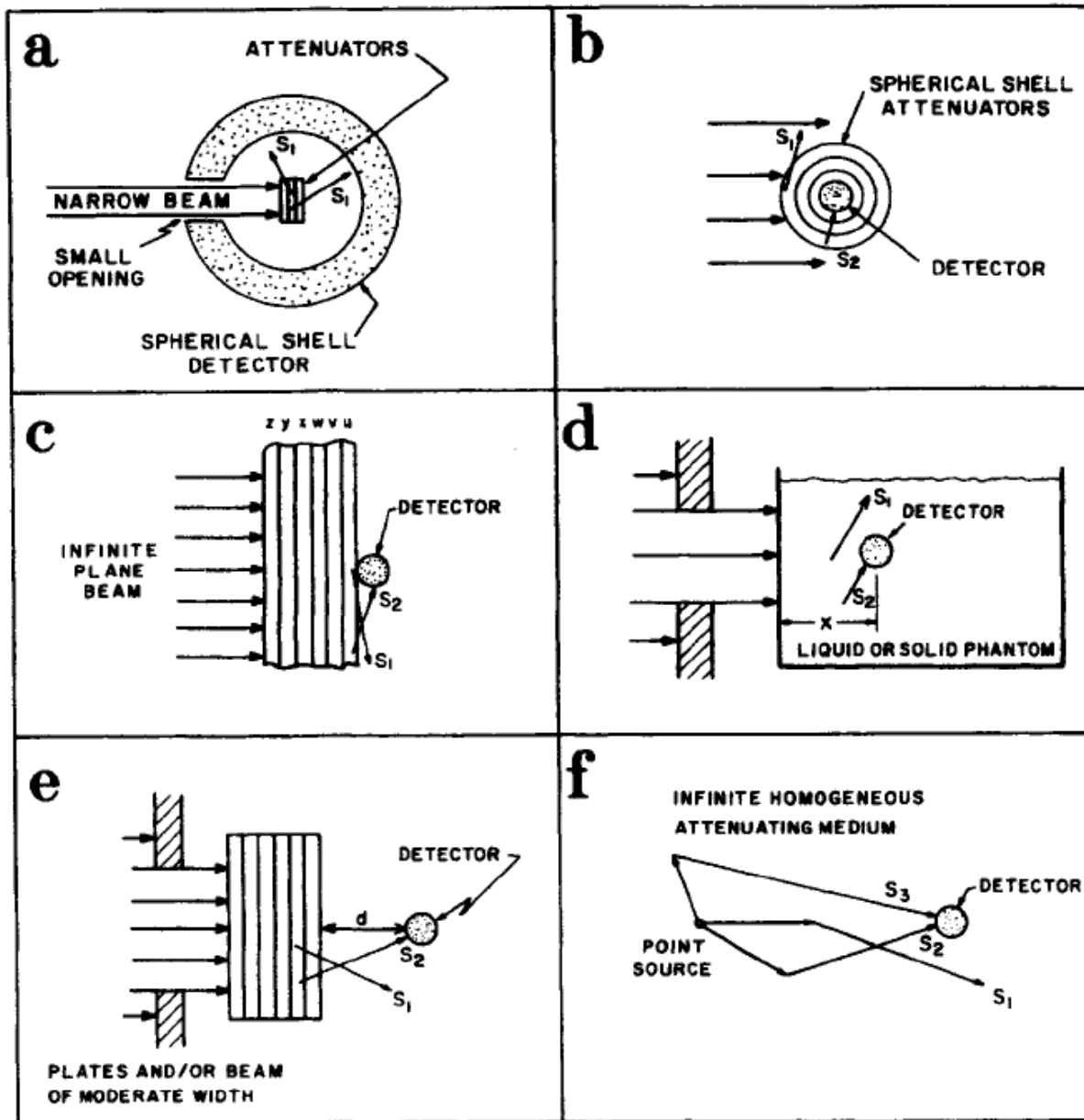

$$R_L = R_0 \exp(-\mu_{en}L)$$

- R_0 : E radiante des primaires incidentes sur le détecteur pour $L = 0$, R_L : E radiante des particules non-chargées atteignant le détecteur en présence de l'atténuateur (mince) et μ_{en} : coefficient d'absorption en énergie
- μ_{en} est souvent considéré comme une approximation de μ' (« straight-ahead approximation ») même si les conditions ne sont pas idéales → bons résultats pour atténuateur avec Z petit

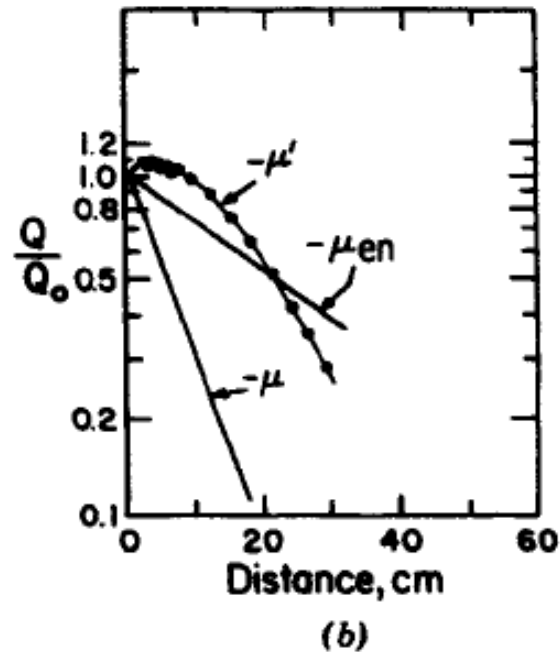
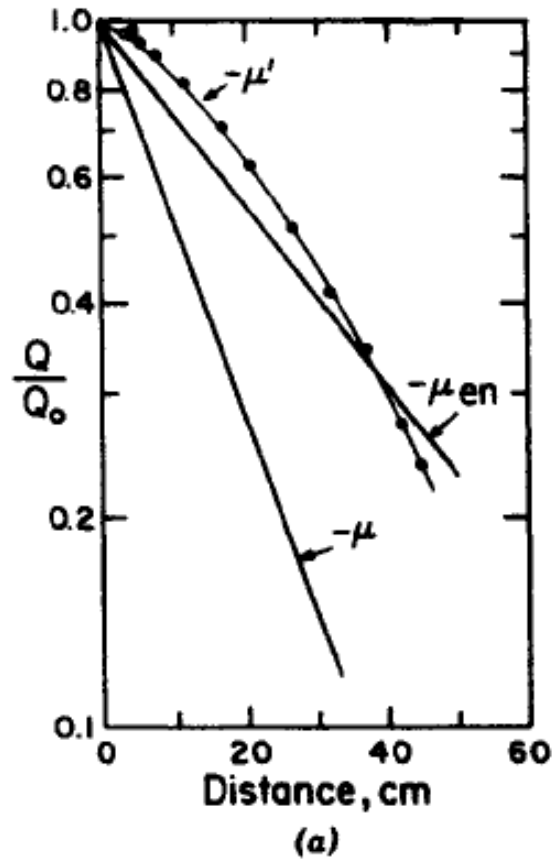
Out-scattering \leftrightarrow in-scattering

- En pratique \rightarrow souvent les particules diffusées ou les particules non-chargées secondaires générées dans l'atténuateur sensées atteindre le détecteur ne l'atteignent pas \rightarrow perte appelée « out-scattering »
- Cependant des particules diffusées ou des particules non-chargées secondaires générées dans l'atténuateur qui ne sont pas sensées atteindre le détecteur l'atteignent parfois \rightarrow augmentation appelée « in-scattering »
- Géométrie à faisceau large idéale \rightarrow in-scattering remplace parfaitement (type et énergie) out-scattering
- Généralement in-scattering $<$ out-scattering $\rightarrow \mu_{en} < \mu' < \mu$
- Si in-scattering $>$ out-scattering $\rightarrow \mu_{en} > \mu'$

Géométrie à faisceau large idéale: Exemples



Exemples de courbes d'atténuation



Atténuation en faisceau large pour des rayons γ de (a) ^{60}Co (1.25 MeV) et (b) ^{203}Hg (0.279 MeV) en fonction de la distance pour une source ponctuelle dans un milieu H_2O infini (cas f)

Exemples de courbes d'atténuation: Commentaires

- μ' n'est pas constant
- $\mu' < \mu \rightarrow$ mais quand $L \nearrow \rightarrow$ les pentes de μ' et μ deviennent =
 \rightarrow Pour $L < \rightarrow$ les déviés + les secondaires $>$ les absorbés + les out-scattering. Quand $L \nearrow \rightarrow$ les déviés + les secondaires qui atteignent le détecteur \searrow et les absorbés + les out-scattering $\nearrow \rightarrow$ équilibre \rightarrow évolutions de μ' et μ identiques
- $\mu_{en} \approx \mu'$
- Pour $L < \rightarrow \mu_{en} > \mu' \rightarrow$ excès de in-scattering
- Pour $L > \rightarrow \mu_{en} < \mu' \rightarrow$ excès de out-scattering
- Pour $L \leq 10$ cm \rightarrow pente positive \rightarrow + de rayonnements détectés avec H_2O que sans \rightarrow excès de in-scattering (exemple: rayonnements retrodiffusés provenant du milieu *derrière* le détecteur)

Facteur de build-up

- **B: Facteur de build-up** → Facteur qui décrit quantitativement l'atténuation à faisceau large → s'applique à toutes les quantités en physique radiologique, toutes les géométries, tous les atténuateur :

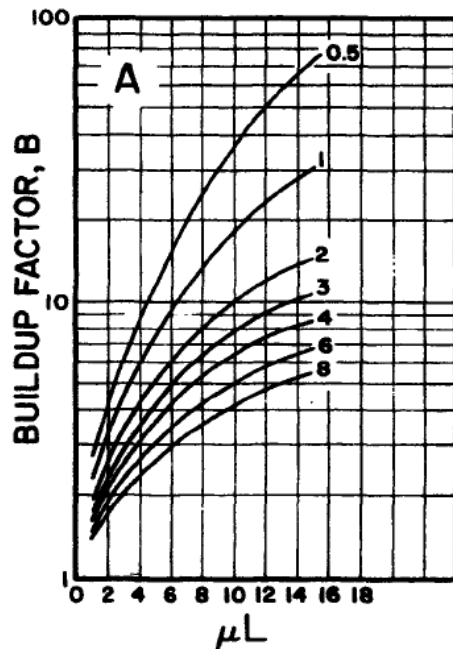
$$B = \frac{\text{quantité due au primaire} + \text{au diffusé et au secondaire}}{\text{quantité due au primaire}}$$

- Pour une géométrie à faisceau étroit → $B = 1$
- Exemple: effet sur la fluence énergétique

$$\frac{\Psi_L}{\Psi_0} = B \exp(-\mu L)$$

Facteurs de build-up typiques

- Quand $L = 0 \rightarrow B = B_0 = \Psi_L / \Psi_0$
- Généralement $B_0 = 1$ (ex: Fig précédente: géométries a, b, c, e)
- Pour les cas d ou f \rightarrow rayons rétrodiffusés peuvent atteindre le détecteur $\rightarrow B_0 > 1$ (B_0 est alors appelé: facteur de rétrodiffusion)



Photons dans H₂O semi-infini




- $B \nearrow$ quand $L \nearrow$
- $B \nearrow$ quand $E \searrow$ (uniquement pour ce cas-ci)

Coefficient d'atténuation effectif moyen

- $\bar{\mu}'$: **Coefficient d'atténuation effectif moyen** → concept alternatif au build-up:

$$\frac{\Psi_L}{\Psi_0} = B \exp(-\mu L) = \exp(-\bar{\mu}' L)$$


$$\bar{\mu}' = \mu - \frac{\ln B}{L}$$

- Avantage au point de vue numérique