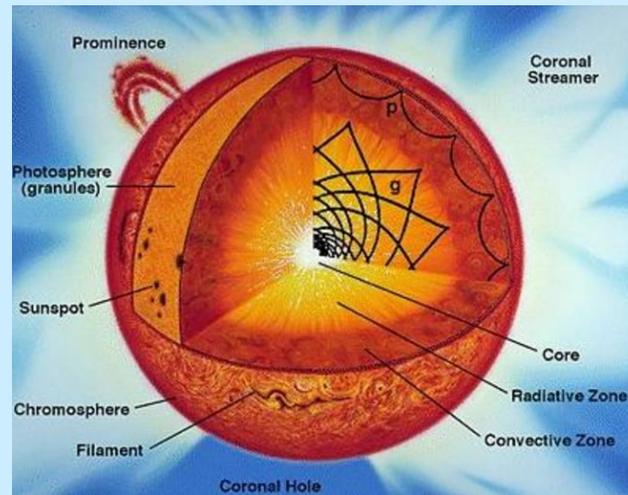
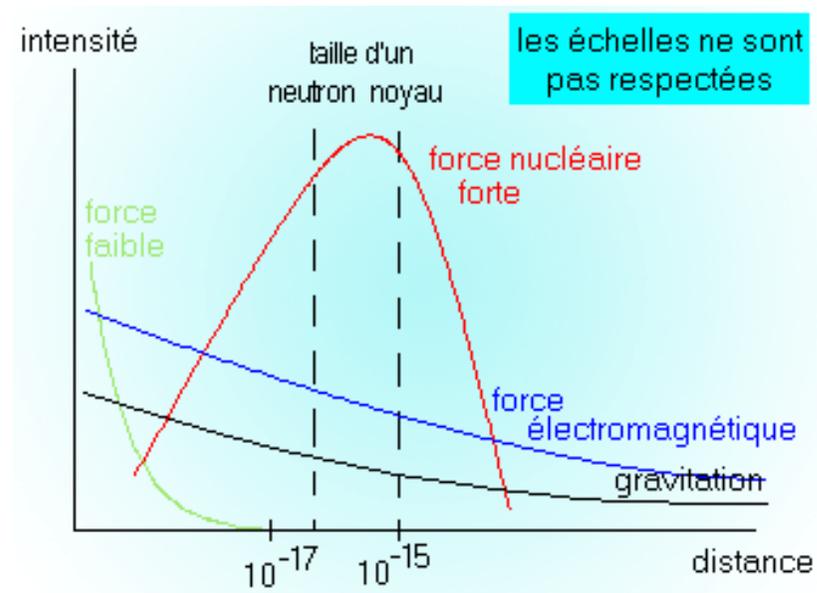
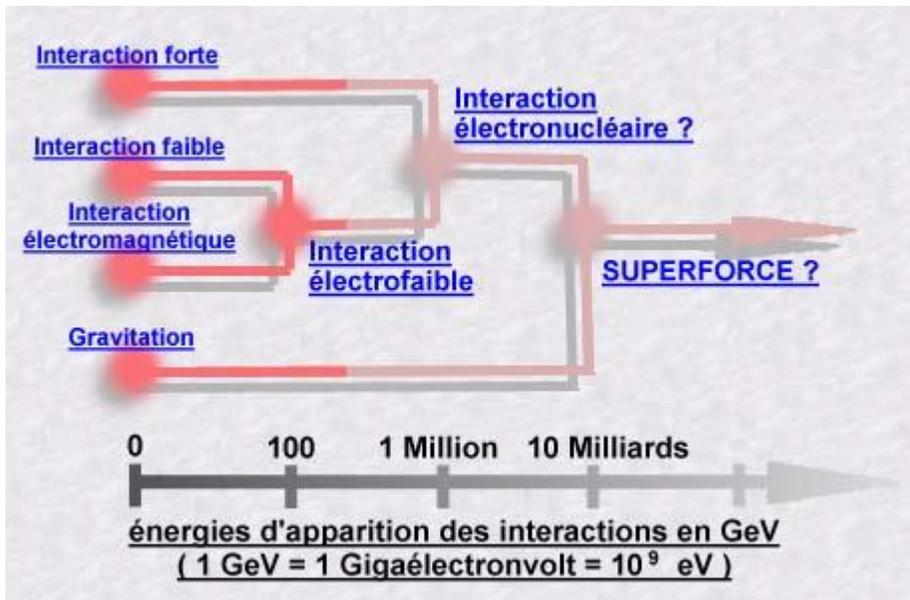


La radioactivité β



Les quatre interactions



Origine et nature de l'énergie bêta

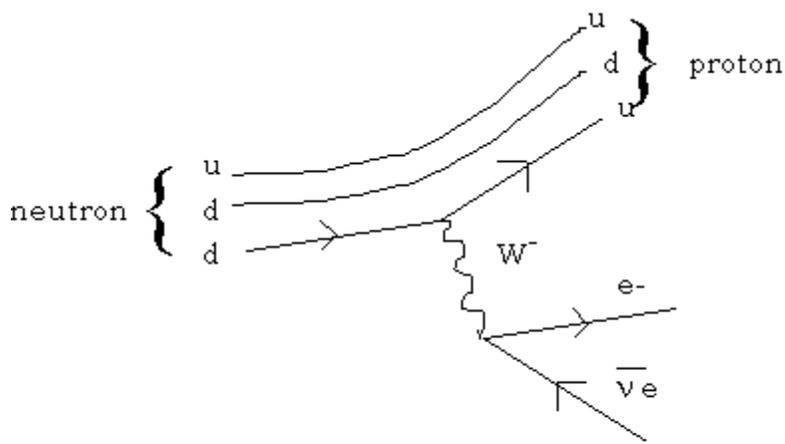
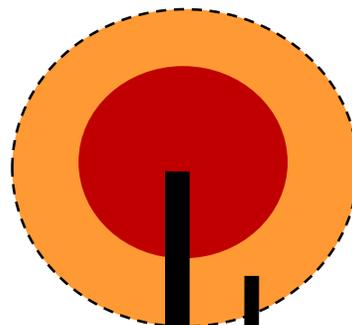


diagramme de Feynman de la désintégration β

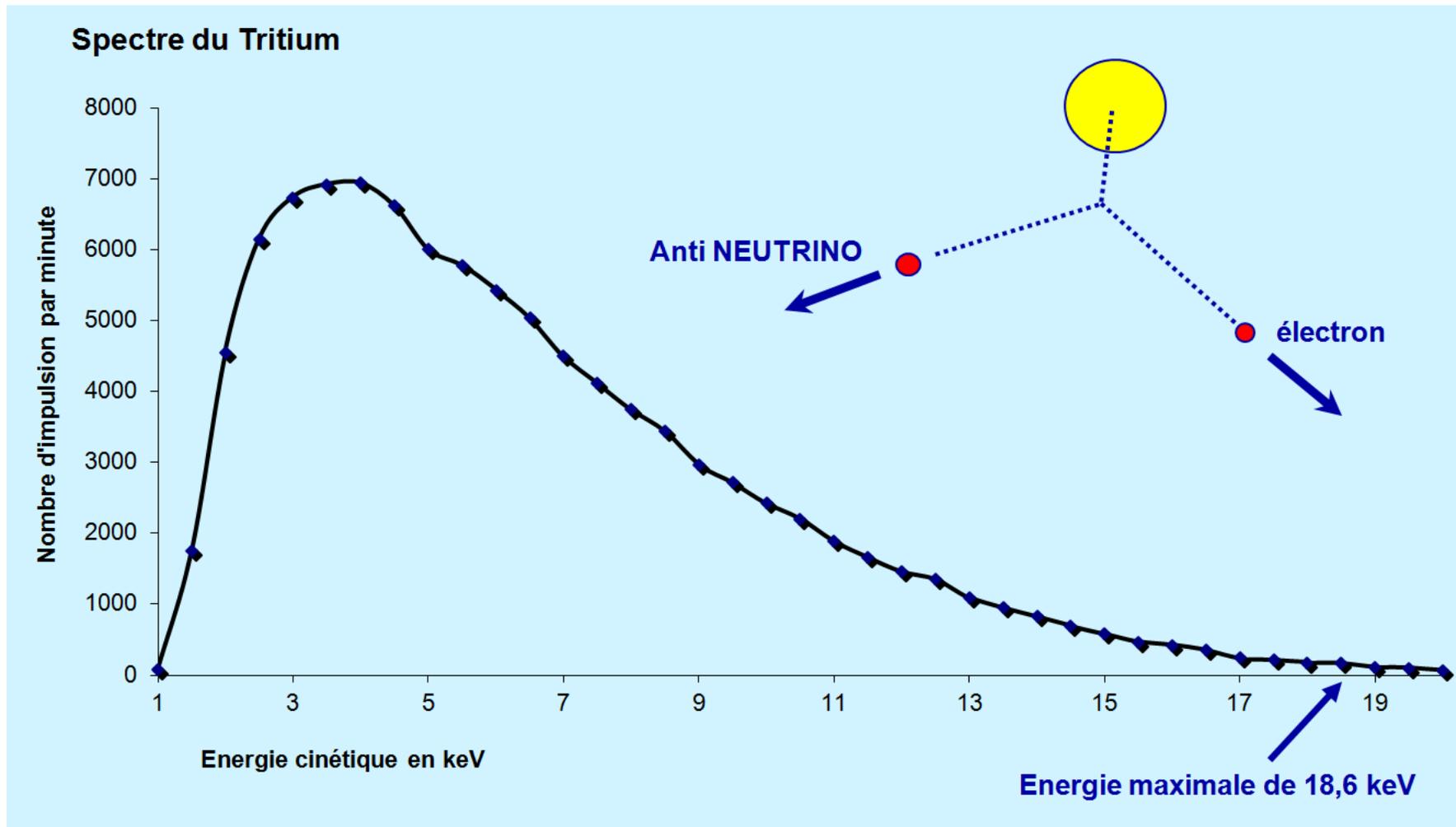


Noyau excité
(trop riche en énergie)

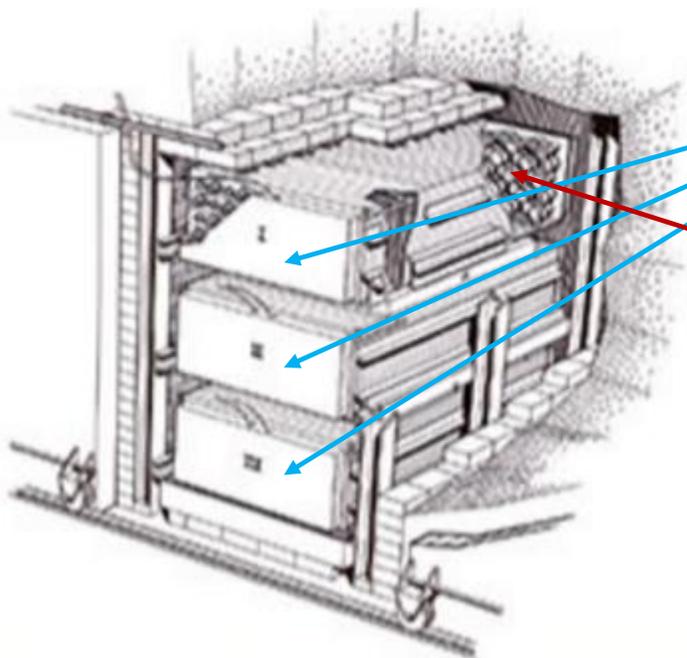
$$e^- + \nu^0 + \text{énergie} < 2\ 200\ \text{kev}$$

Noyau « stable »

Répartition de l'énergie avec l'anti-neutrino



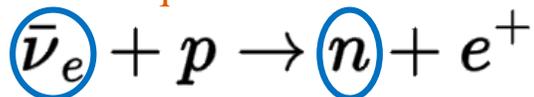
1952 : Reynes détecte cet anti neutrino électronique



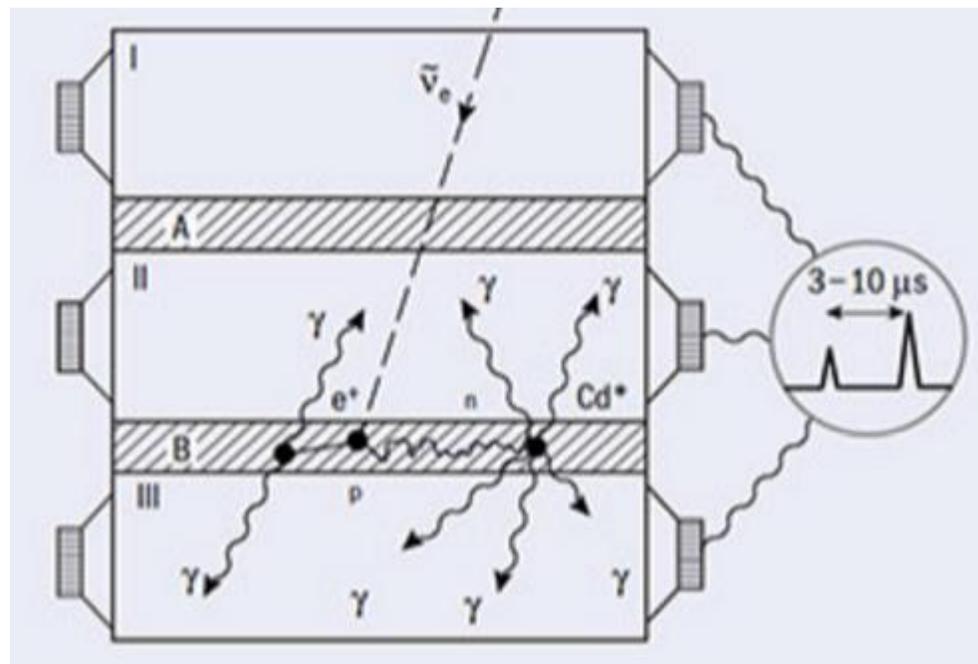
1400 litres de Liq Scint

300 PM

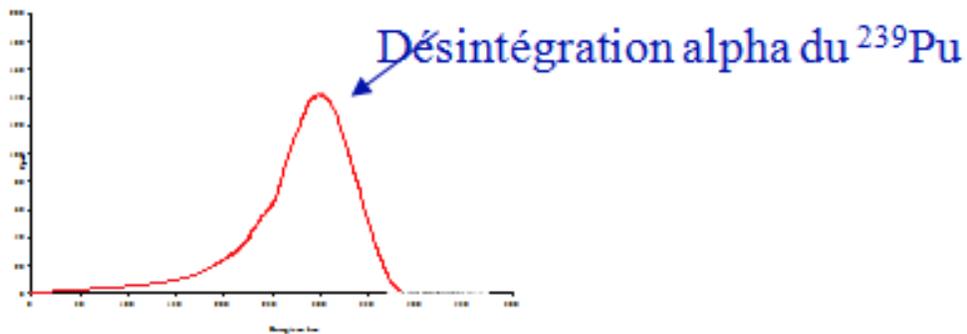
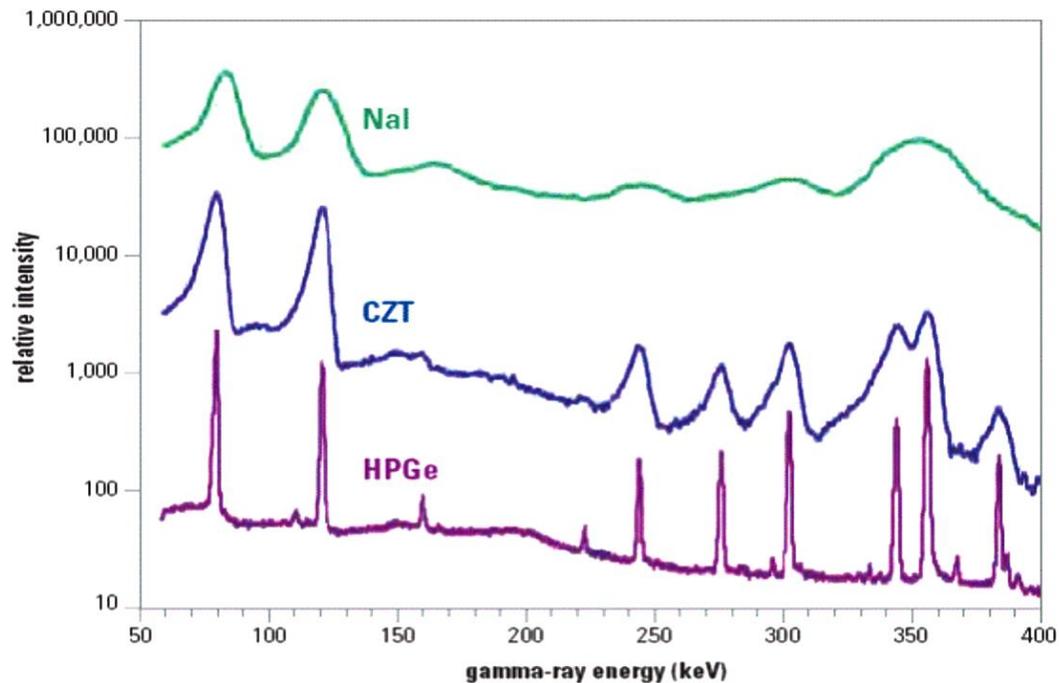
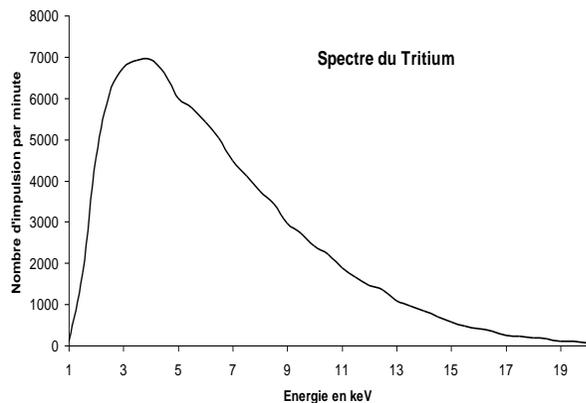
Liq. Scint.



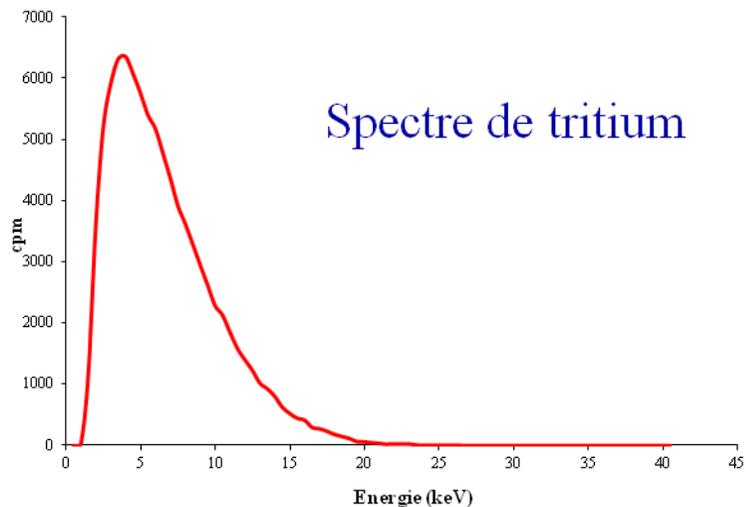
Liq. Scint.



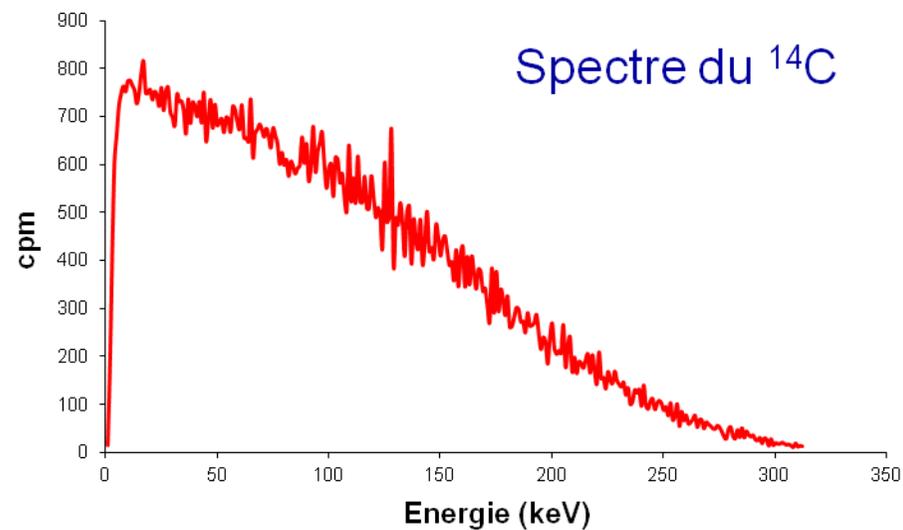
Spectrométrie peu « utile » ... difficile d'identifier

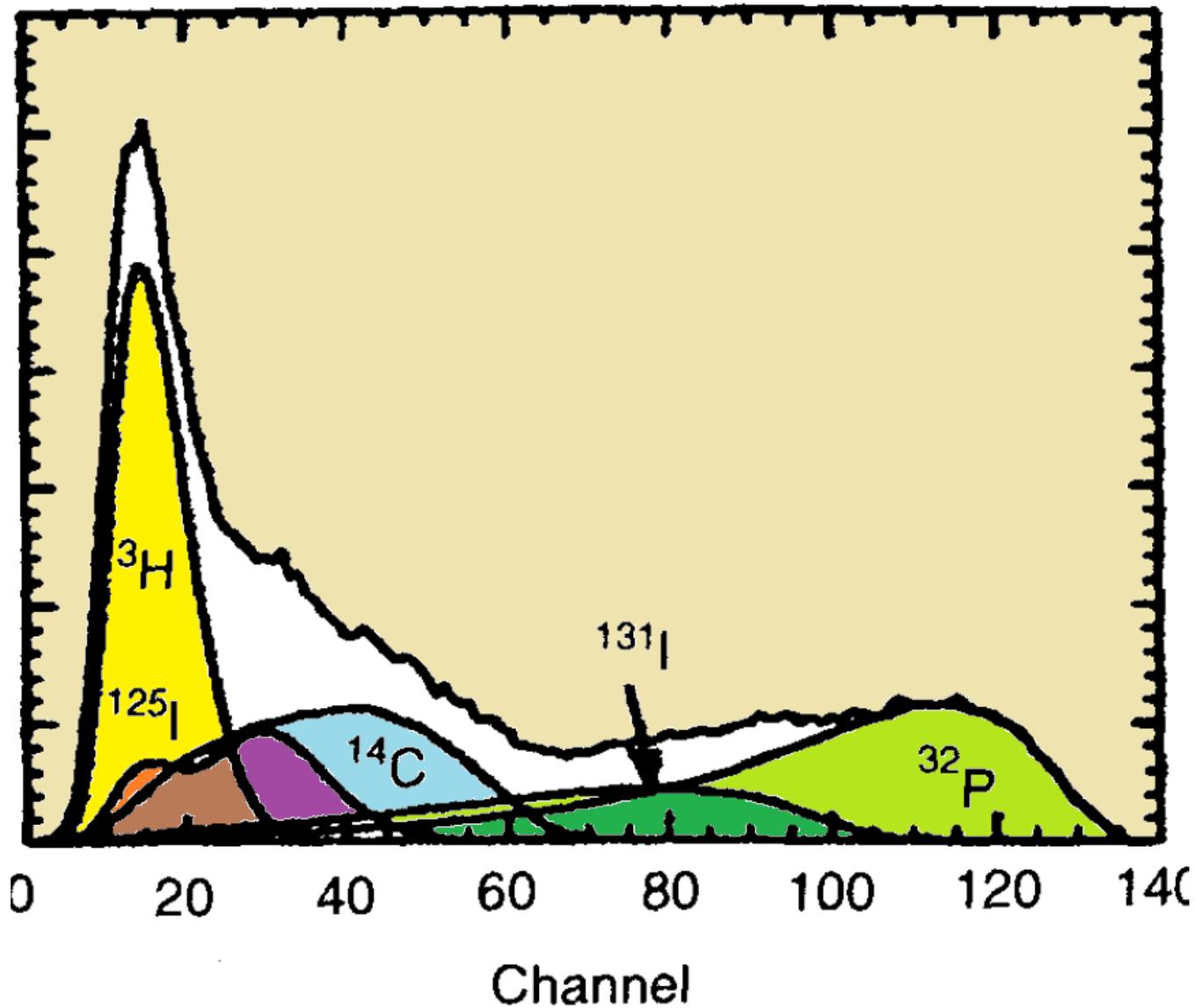


Des formes différentes, exemples.

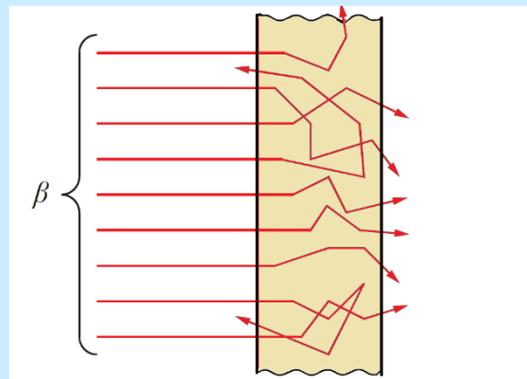


Mais tous les spectres beta se superposent et commencent à l'origine

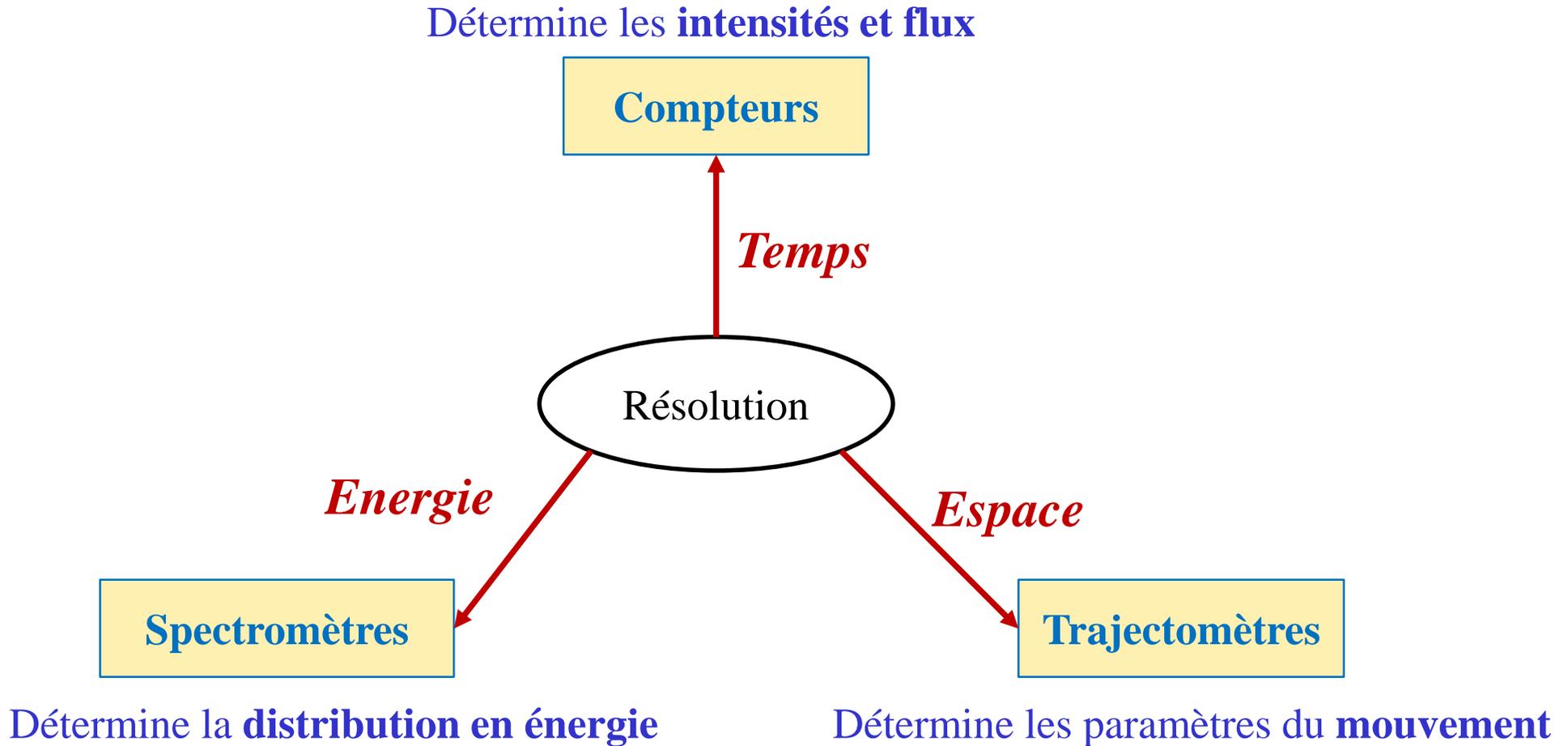




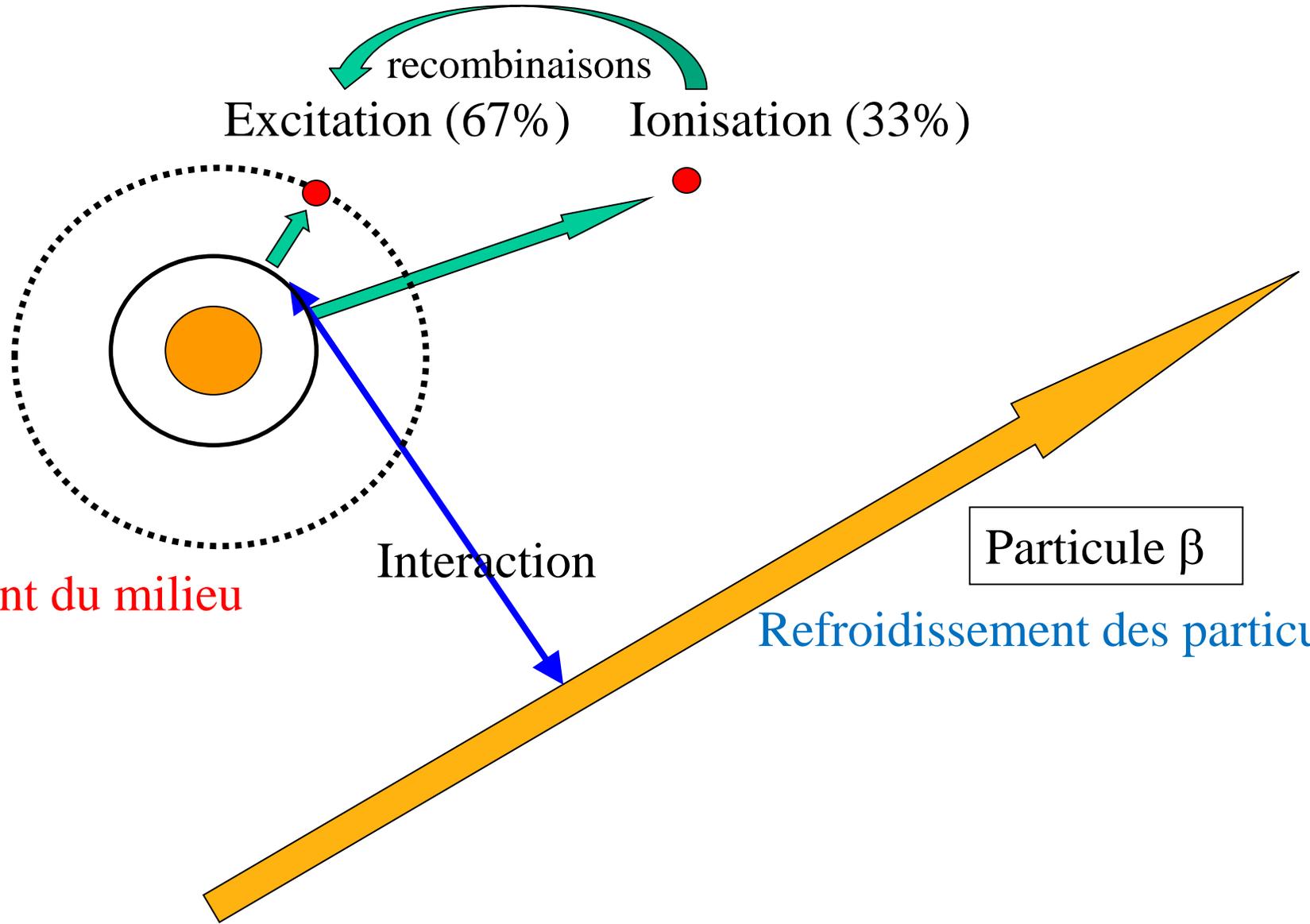
Interaction avec la matière



Résolution capacité à distinguer deux signaux (~ contraste)



Échange d'énergie (nature des pertes)



- Dans un 1er temps :

- **Excitation** → directement utilisées

- **Ionisation (charges)** → utilisation indirecte

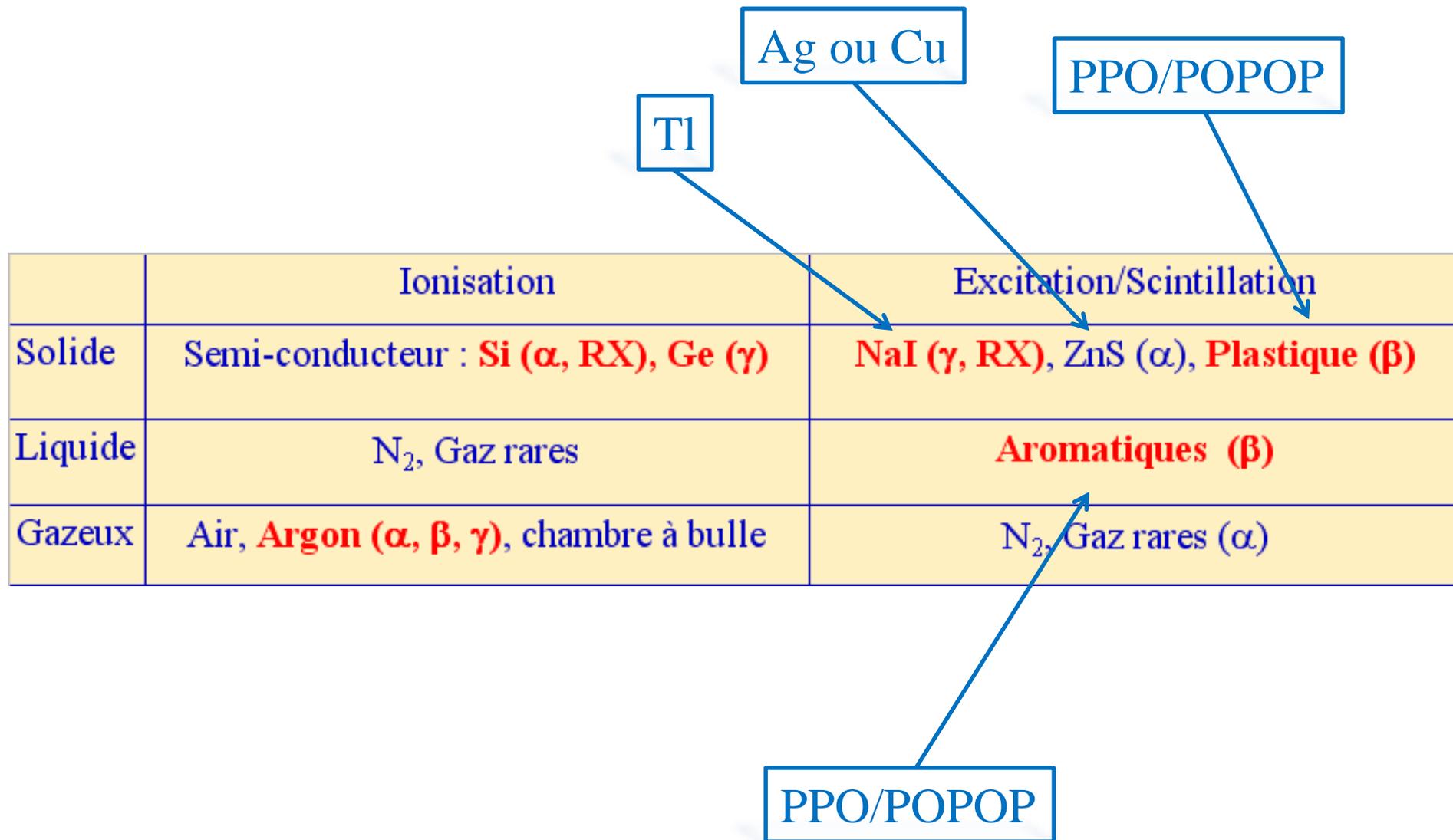
- Puis, dissipation :

- **Thermique** (agitation des molécules)

- *Fluorescence (réaction de chimiluminescence)*

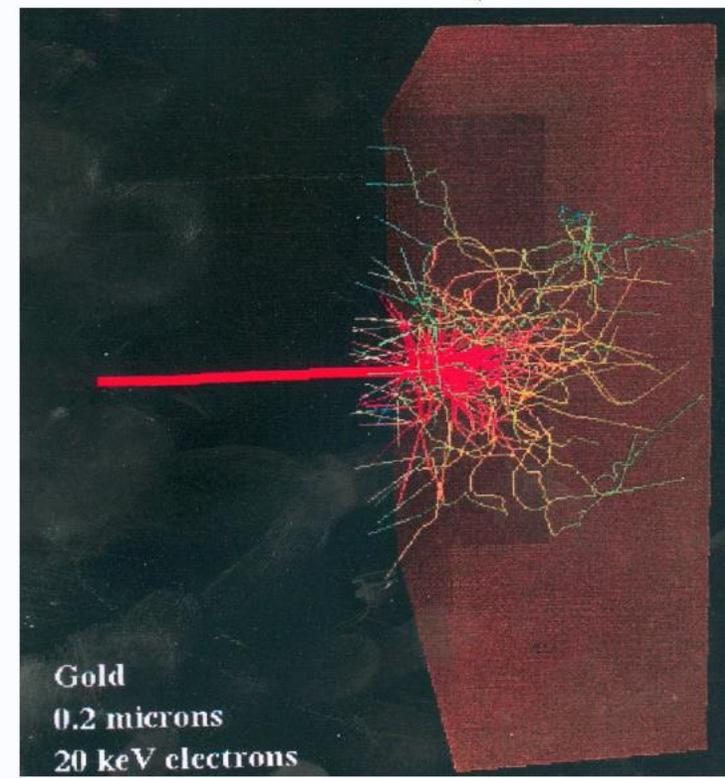
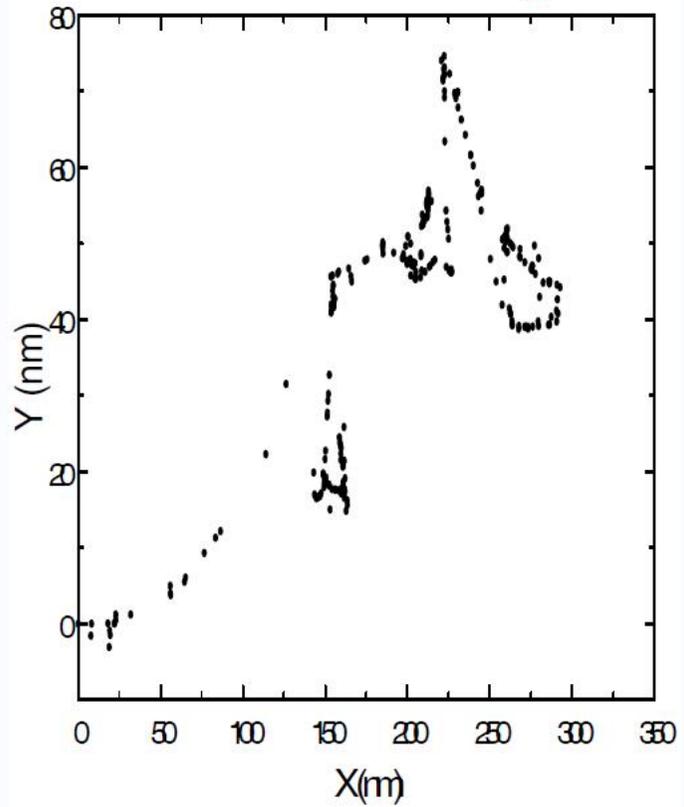
- *Chimique (recombinaisons, réactions radicalaires)*

Les différents types de détecteurs



Trajet des électrons ? Pas vraiment rectiligne

Traces d'un électron de 5 keV dans l'eau et de 20 keV dans l'or.



La distance maximale parcourue par **une** particule d'énergie E est donnée par :

$$R(E) = \int_0^E \frac{1}{\left(\frac{dE}{dx}\right)} \cdot dE$$

Pour un **spectre** bêta (nombre de particules émises avec l'énergie E) :

$$R(E) = \int_0^{E_{\max}} \frac{S(E)}{\left(\frac{dE}{dx}\right)} \cdot dE \quad \Rightarrow \text{Complicé à résoudre}$$

$$R(\text{cm}) = R(\text{g/cm}^2) / \rho(\text{g/cm}^3)$$

Relation empirique de Katz et Penfold, 1953 :

$$R(\text{E}) = 412 \cdot E_{\text{max}}^{1.265 - 0.0954 \cdot \ln(E_{\text{max}})}$$

mg/cm^2
 MeV

Relation valable pour E_{max} entre 10 keV et 2,5 MeV

Autres relations :

$$R(\text{E}) = a \cdot E - b$$

MeV

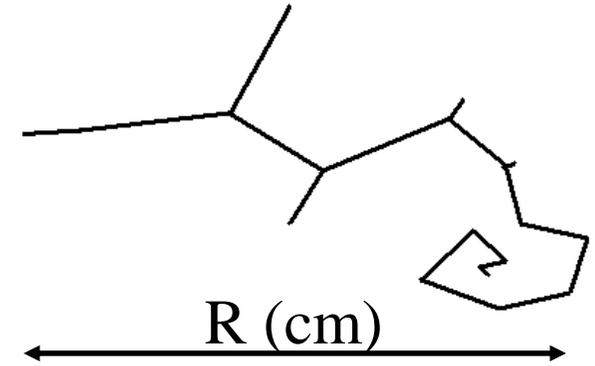
mg/cm^2

Nom	Coeff a	Coeff b	Validité (keV)
Sargent	542	94	> 800
Feather	542	133	> 600

Pour le tritium

$$R(\text{cm}) = \frac{R(\text{g/cm}^2)}{\rho} = \frac{0,11 \cdot \left(\sqrt{1 + 22,4 \cdot E_{\text{max}}^2} - 1 \right)}{\rho}$$

ρ en g/cm^3
 E_{max} en MeV



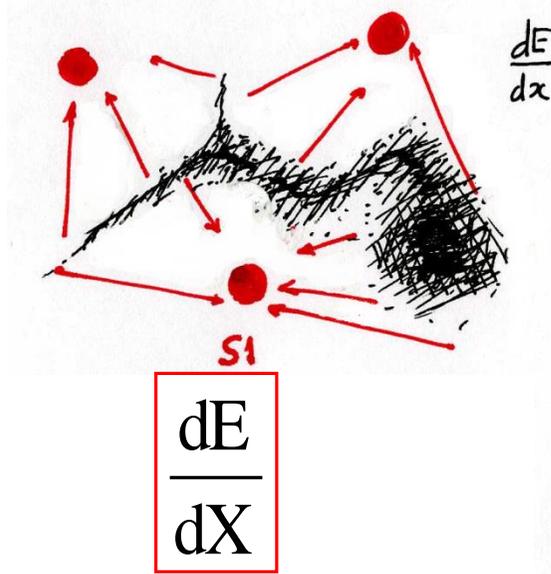
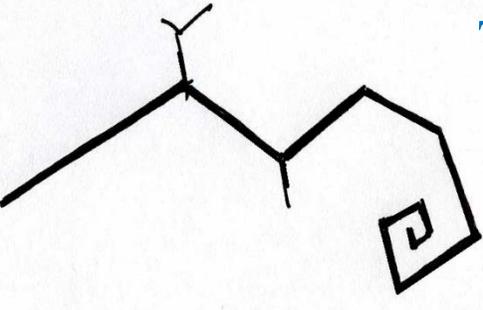
$${}^3\text{H} \left| \begin{array}{l} E_{\text{max}} = 18,6 \text{ keV} \\ \rho (\text{UGLLT}) = 0,96 \text{ g/cm}^3 \end{array} \right.$$

Suivant le choix de formules, on trouve : **R = entre 4 et 5 μm**

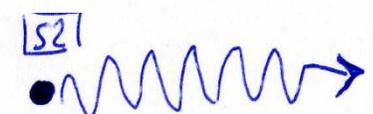
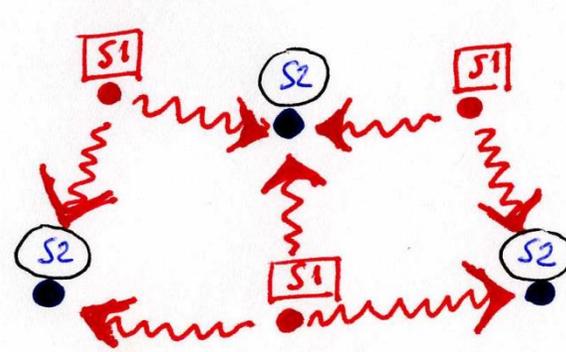
Ce qui correspond en gros à une distance d'un millier de molécules de solvant

e^-

Transfert des excitations vers le 1^{er} soluté

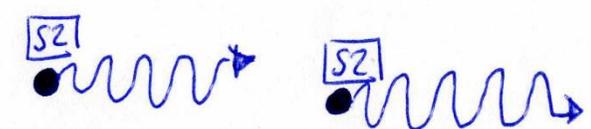


Transfert de l'énergie entre soluté



I

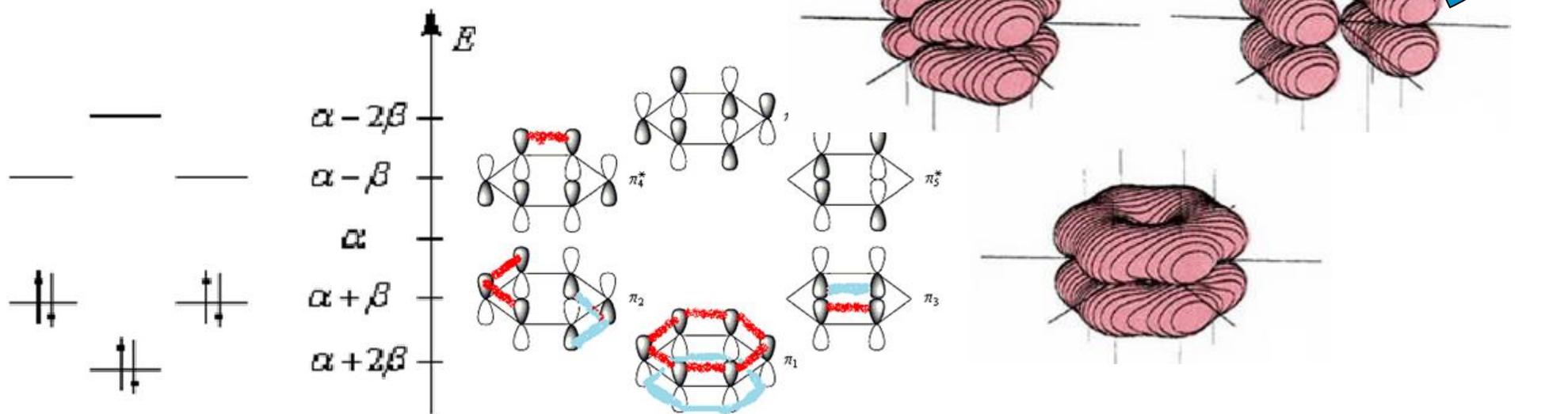
Émission par le soluté



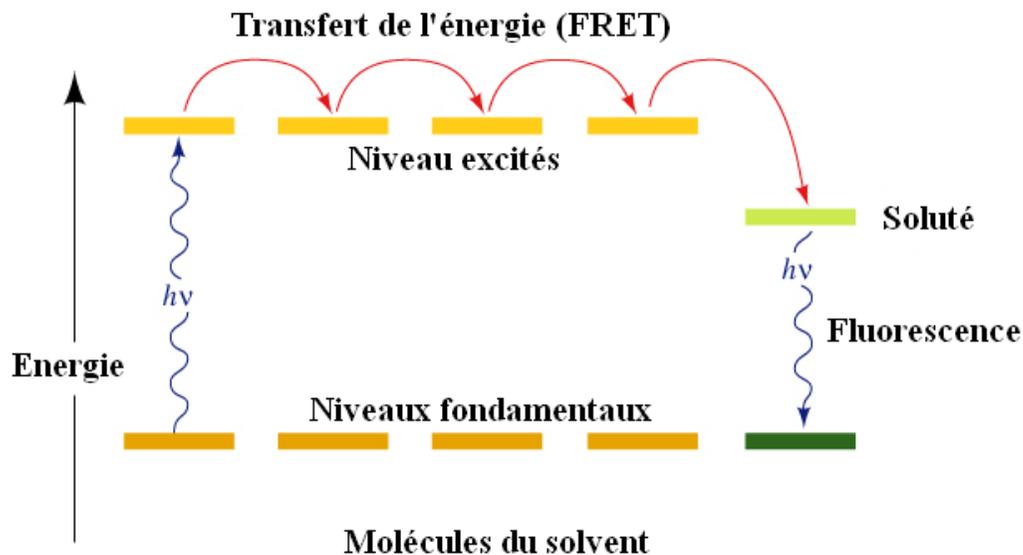
Interaction de l'électron

E

Excitation des solvants aromatiques

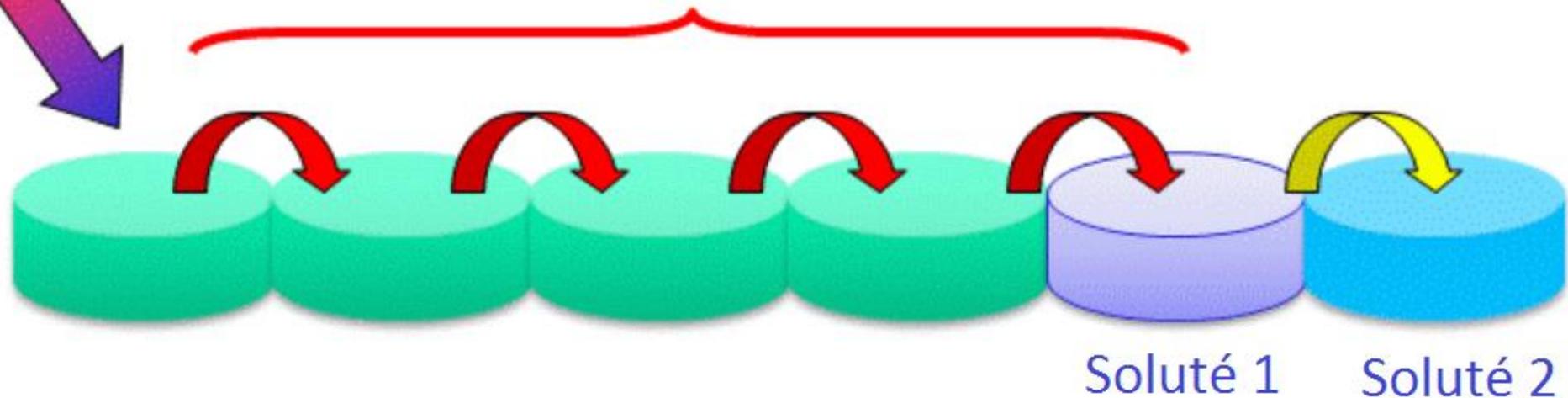


Transfert de l'énergie : transfert d'une excitation

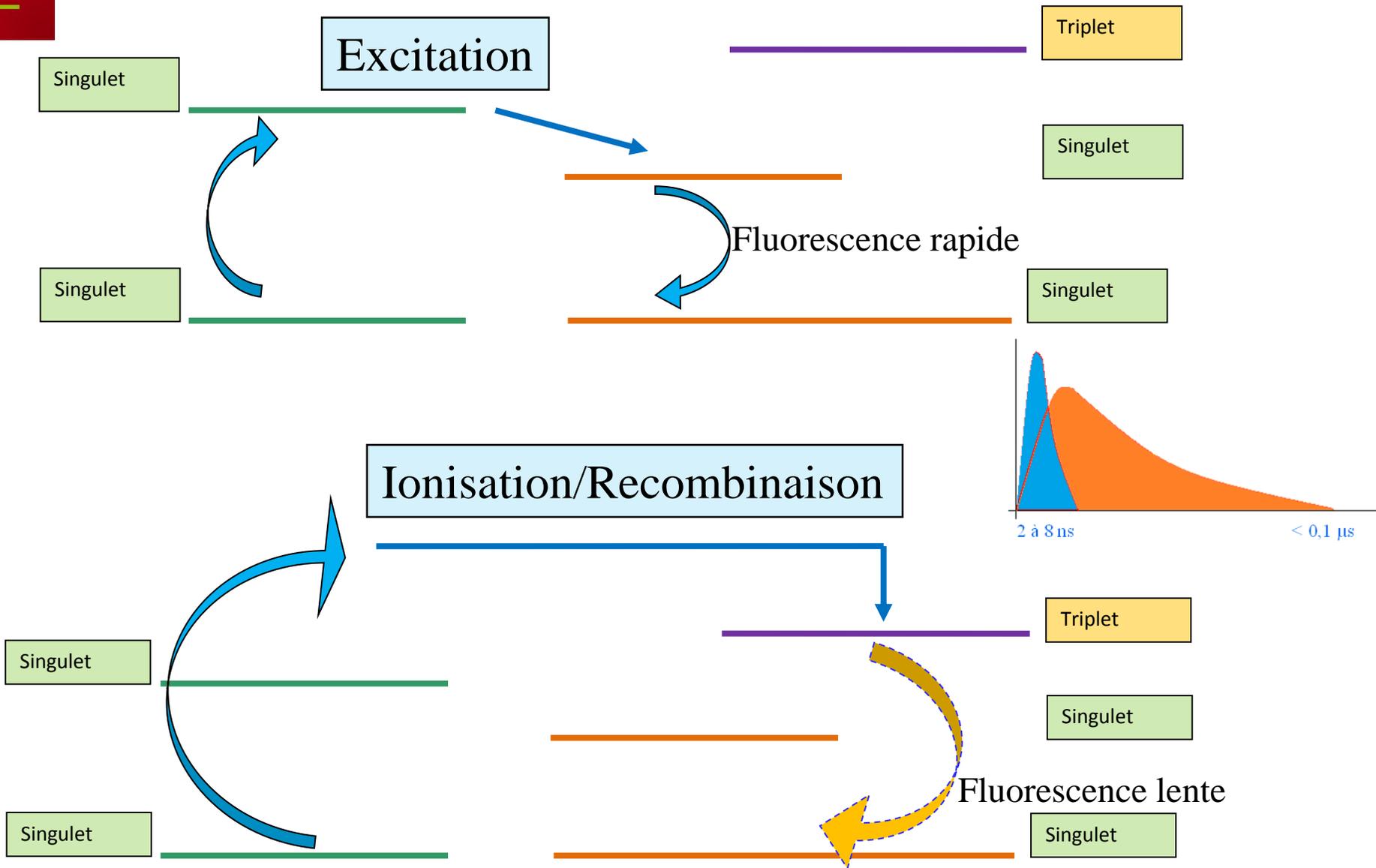


Excitation

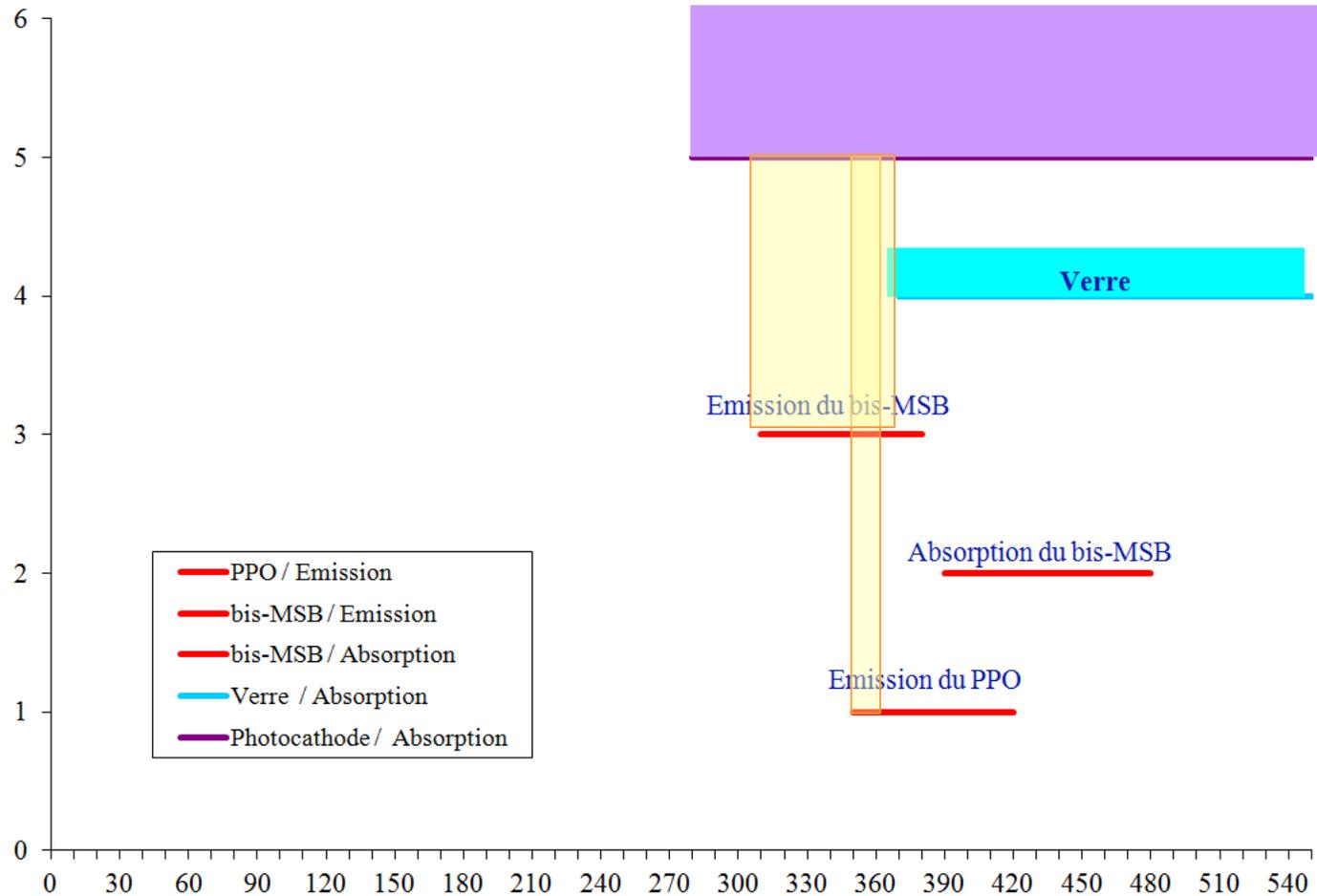
FRET (transfert résonnant d'énergie)



Origine et décroissance de l'impulsion

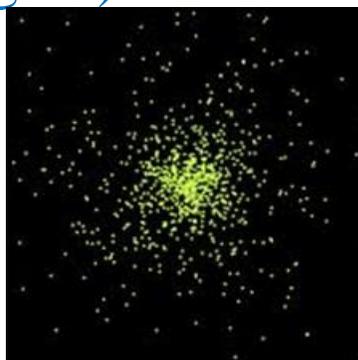
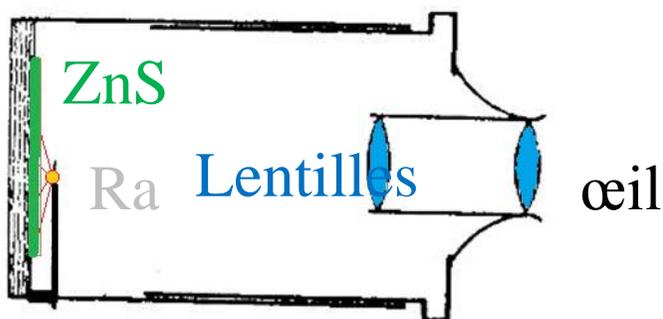
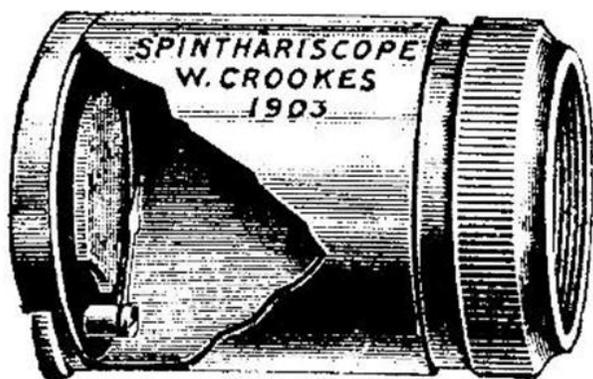


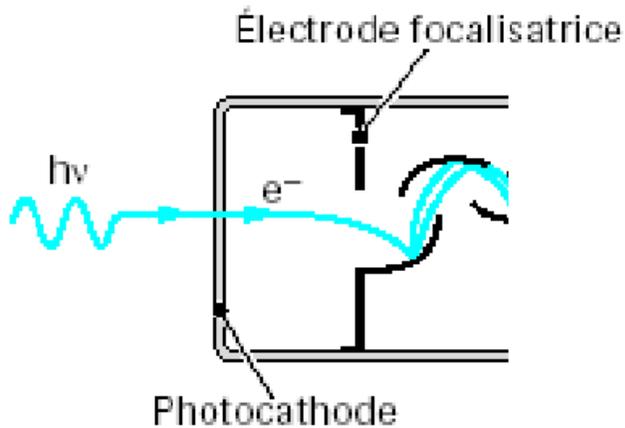
Les molécules fluorescentes utilisées en scintillation liquide



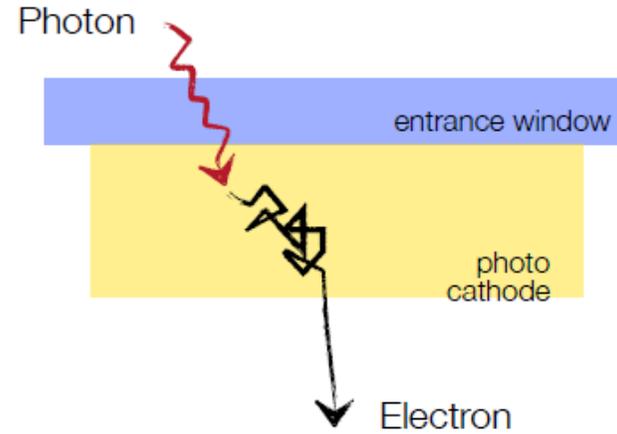
*Scintillation solide inorganique***1903-Angleterre**

- Expérience de fluorescence avec ZnS
- Crookes renverse une source de Ra
- Vérification au microscope des restes sur le ZnS
- Observation d'étincelles (spintharis en grec)

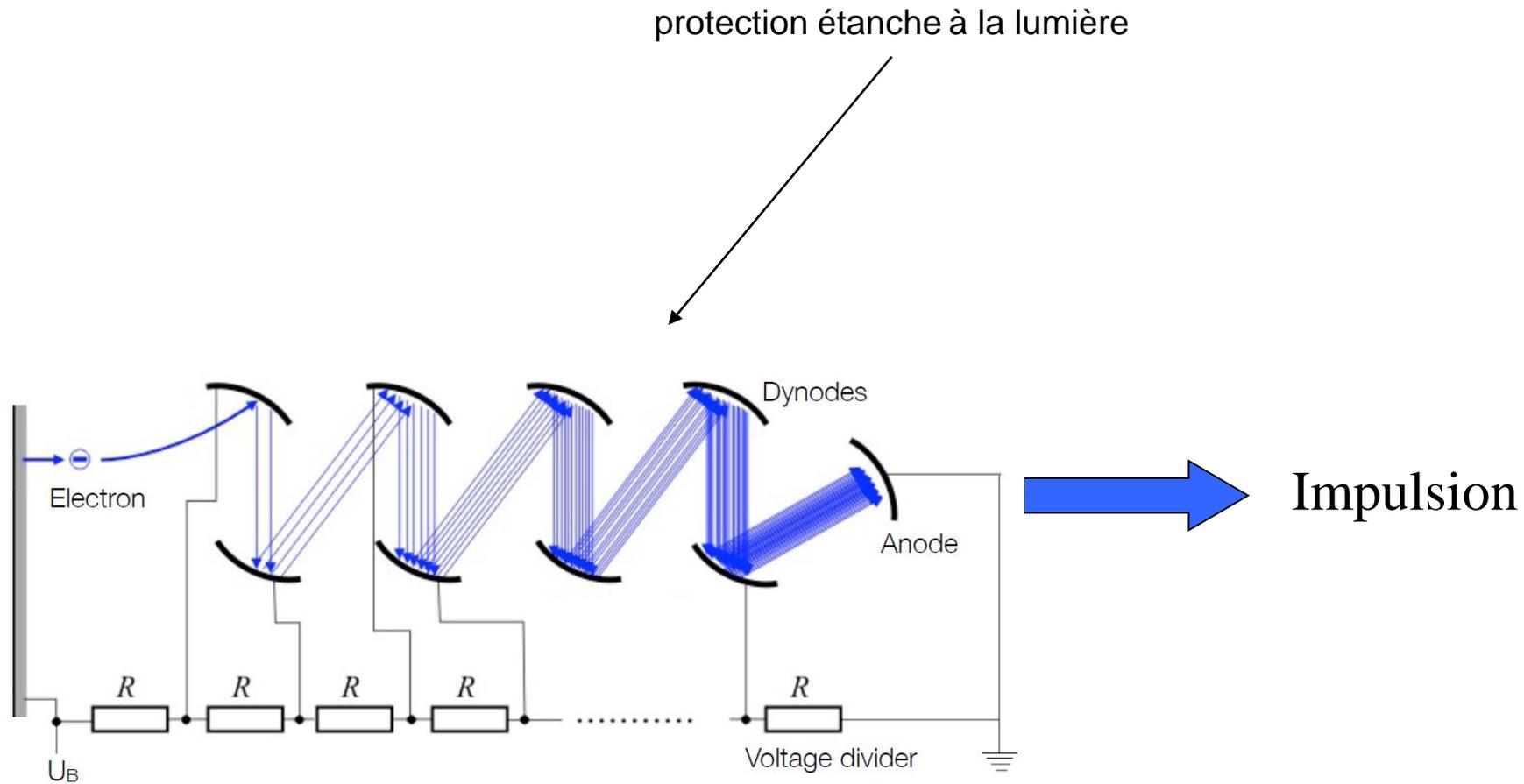




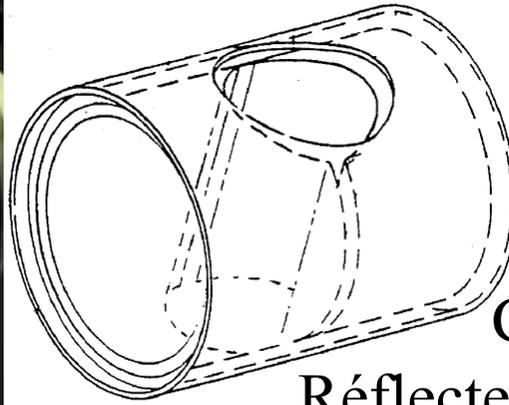
Effet photoélectrique



Amplification : utilisation du photomultiplicateur

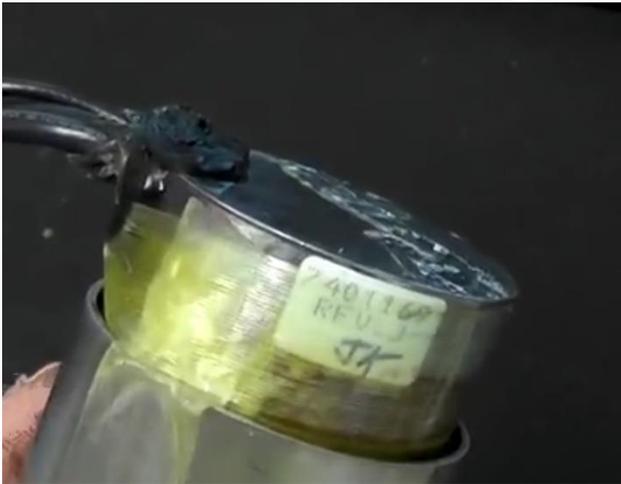


Le détecteur



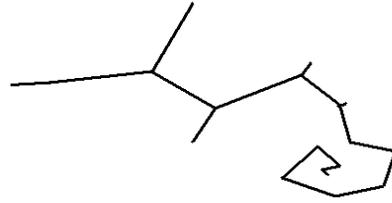
Chambre de mesure
Réflecteur (fin dépôt d'aluminium)

Résistances pour la division de tension
Capacités pour le stockage au dernier étage

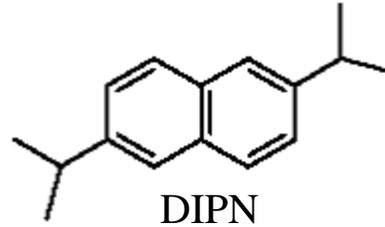


Bilan

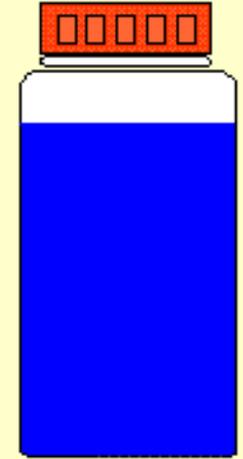
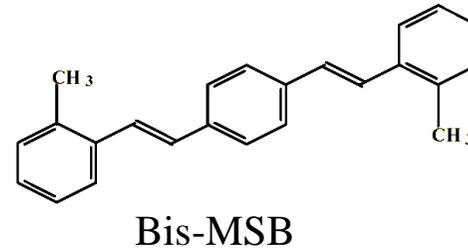
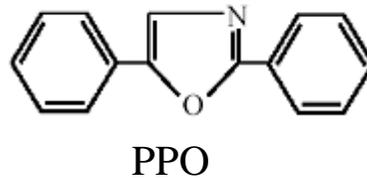
1 Ralentissement



2 Transfert de l'énergie
(solvant)

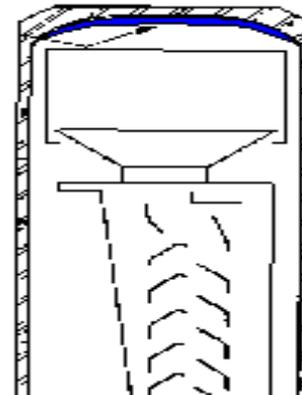


3 Émission de lumière
(solutés 1 & 2)

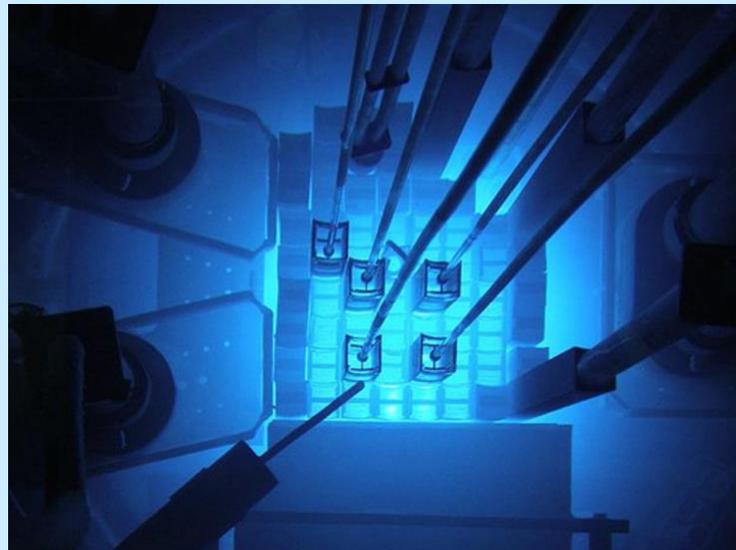


4 Effet photoélectrique
(photocathode K_2CsSb)

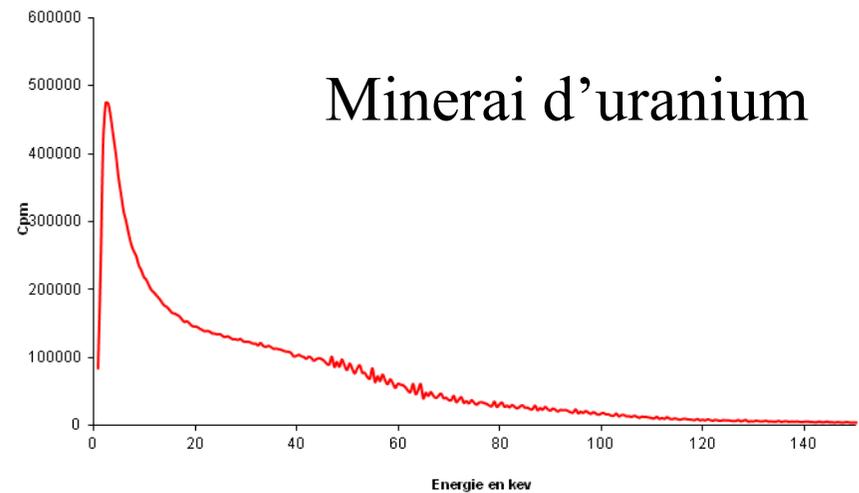
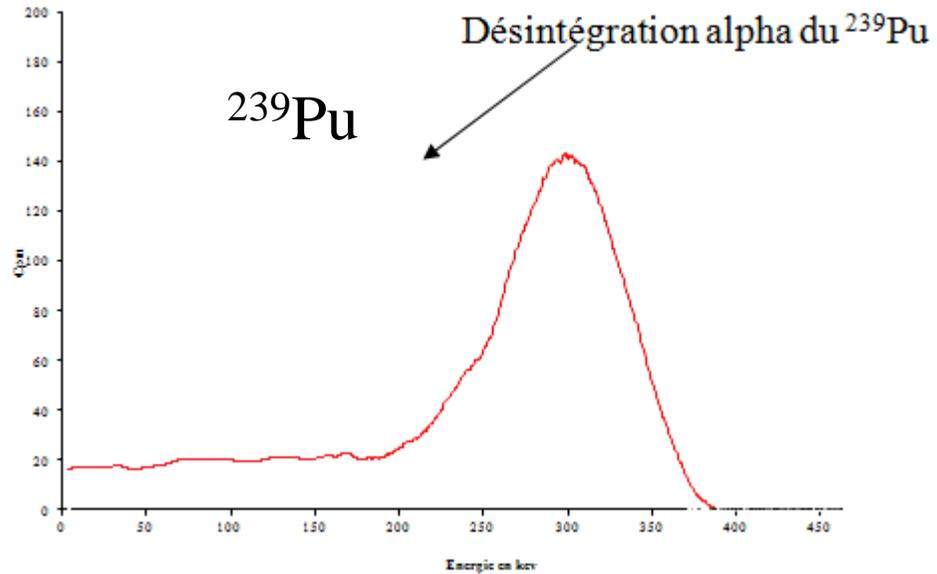
5 Amplification
(dynodes)



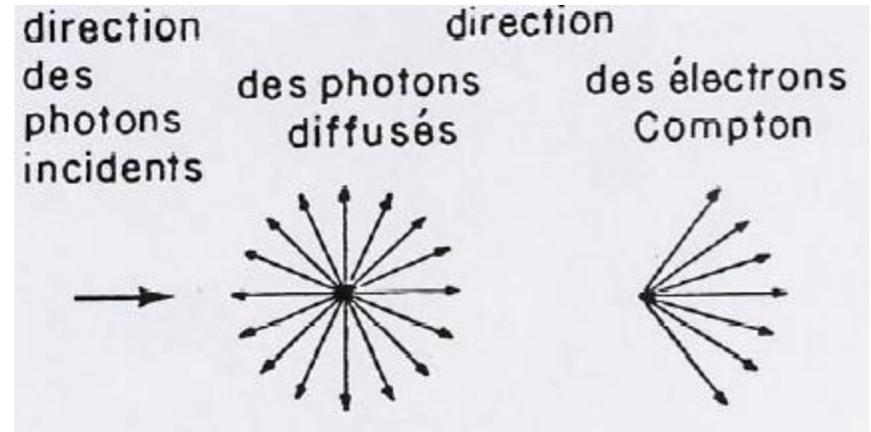
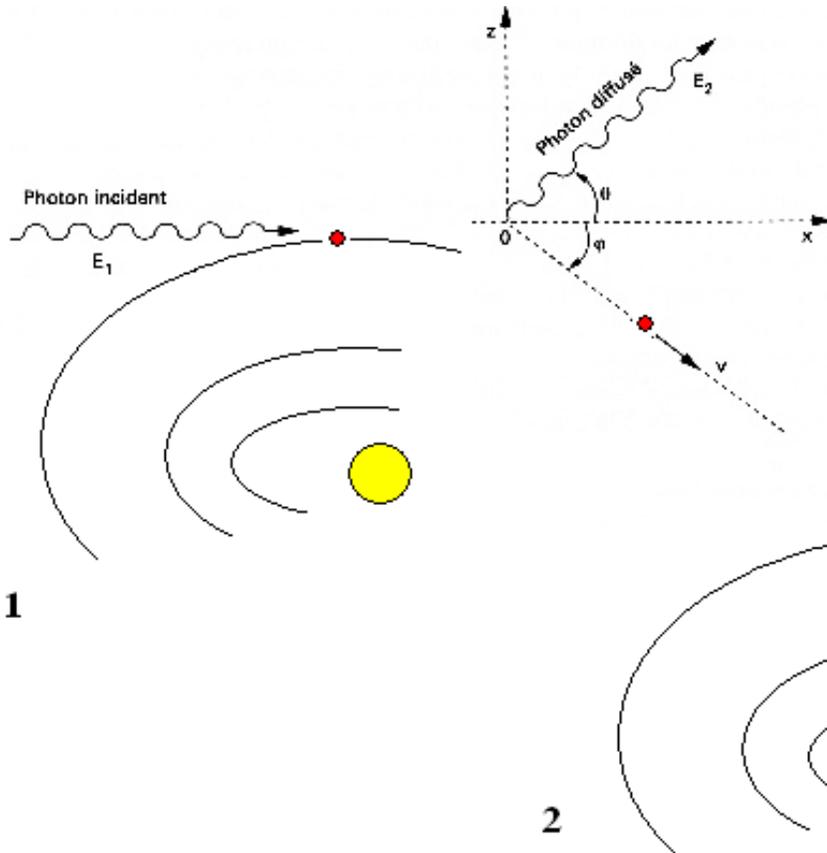
Détection du rayonnement ionisant Tcherenkov



Exemples de spectres alpha

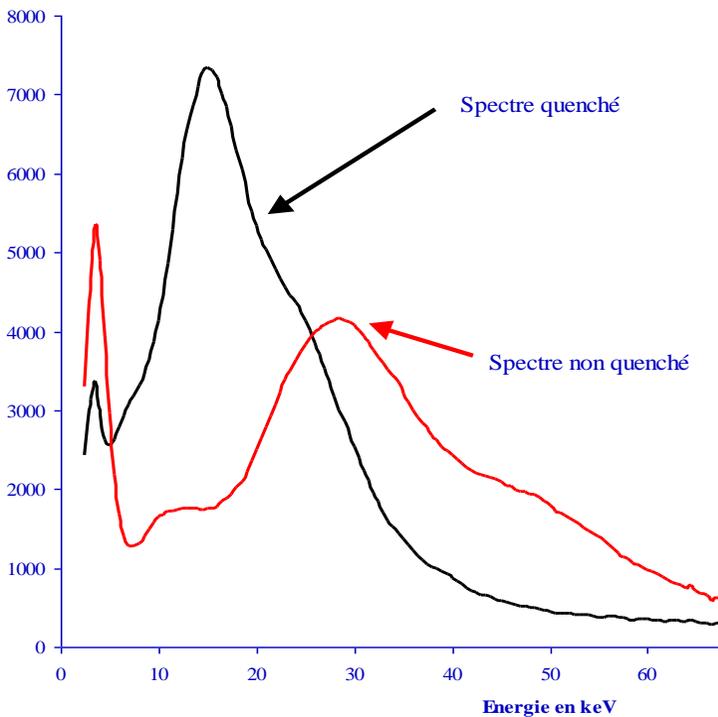


Effet Compton 1 : production d'électrons libres

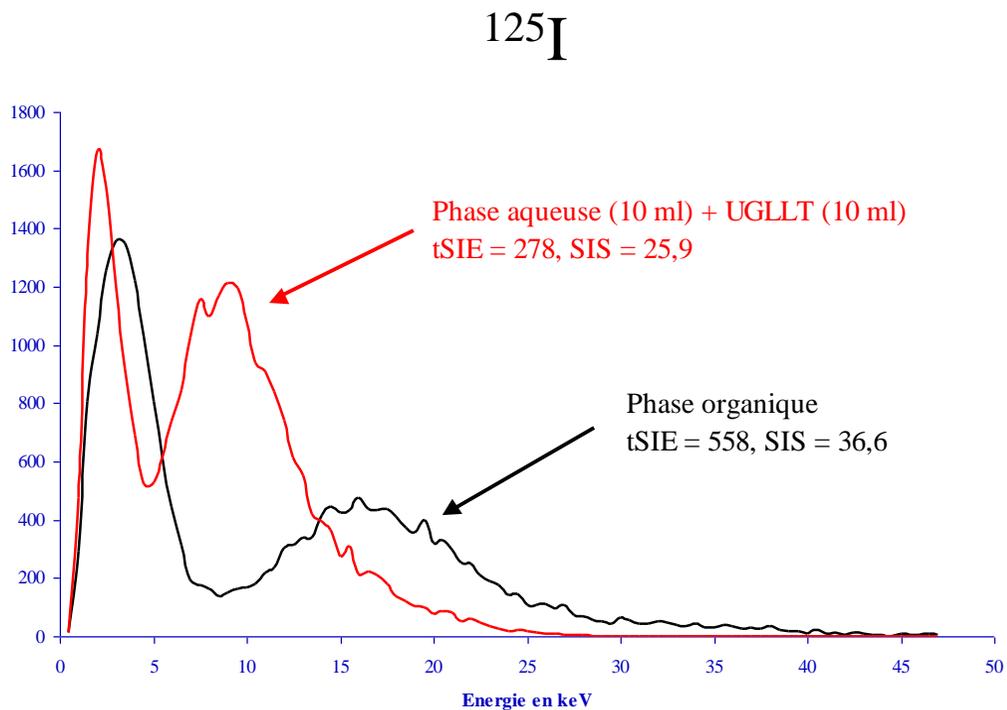


$$E_{\max} (MeV) = \frac{(2.(h\nu)^0)^2}{0,511 + 2.(h\nu)^0}$$

Exemples de spectres gamma et X



^{133}Ba



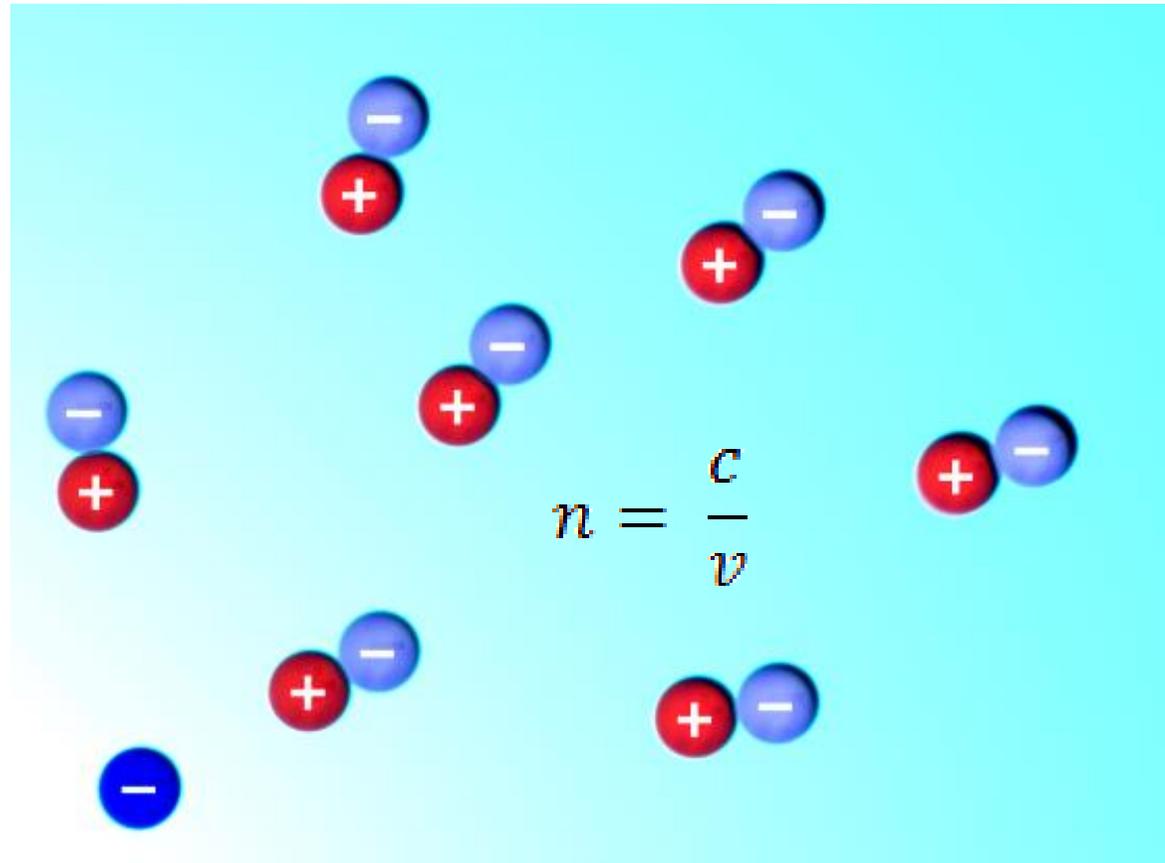
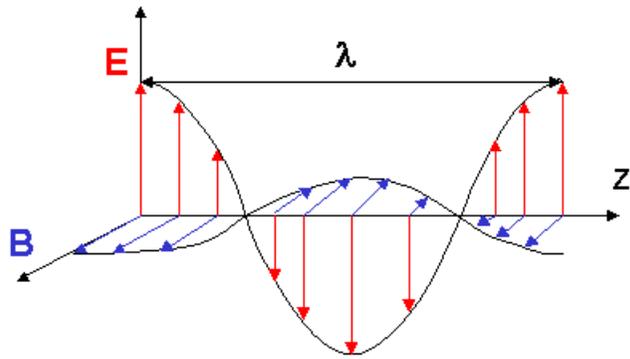
^{125}I

Phase aqueuse (10 ml) + UGLLT (10 ml)
tSIE = 278, SIS = 25,9

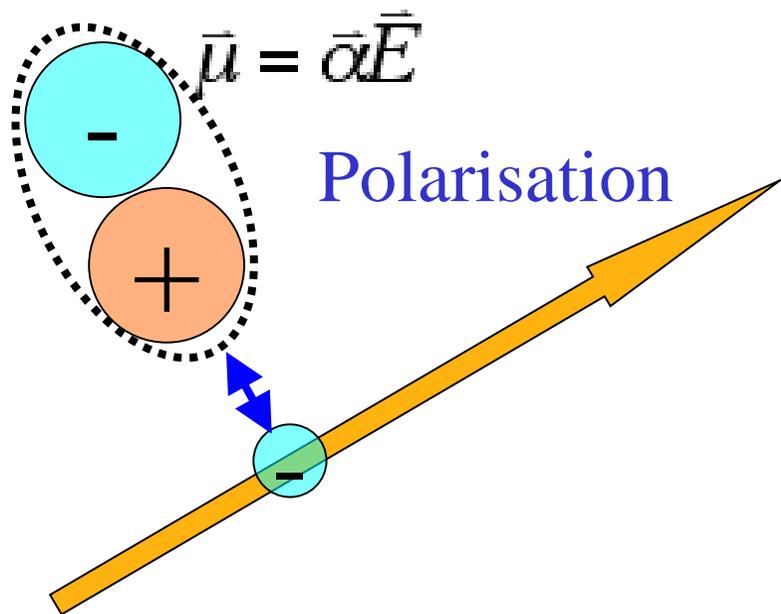
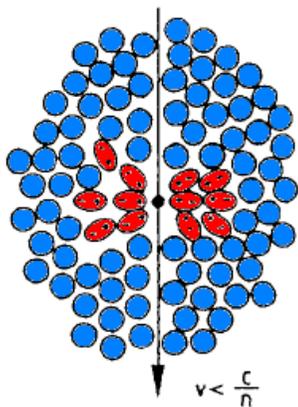
Phase organique
tSIE = 558, SIS = 36,6

Ralentissement de la lumière dans un milieu polaire

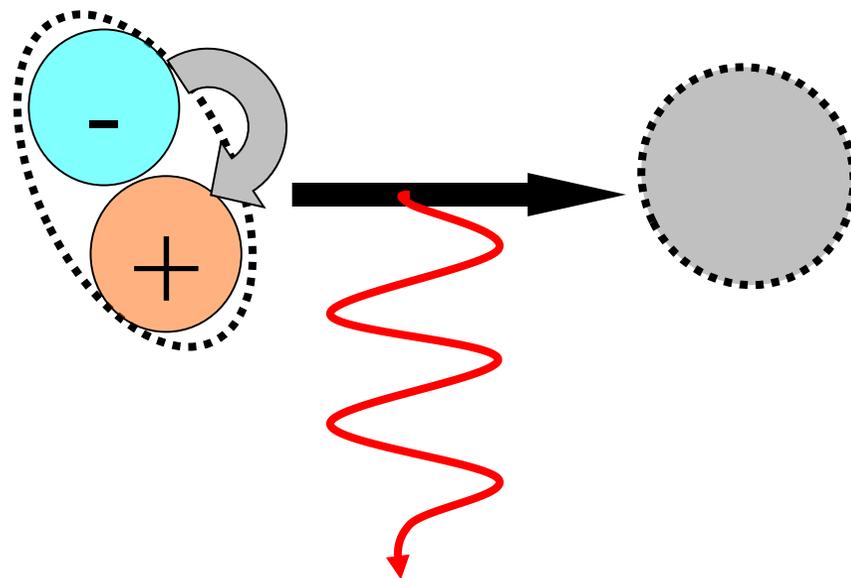
Milieu polarisable, diélectrique



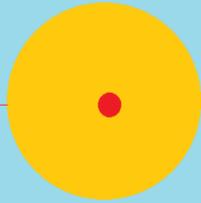
Polarisation des molécules d'un solvant polaire



Émission de lumière



Effet de la vitesse de la particule chargée



$$v < \frac{c}{n}$$

Symétrie sphérique
Les ondes se neutralisent
aléatoirement
Pas de signal

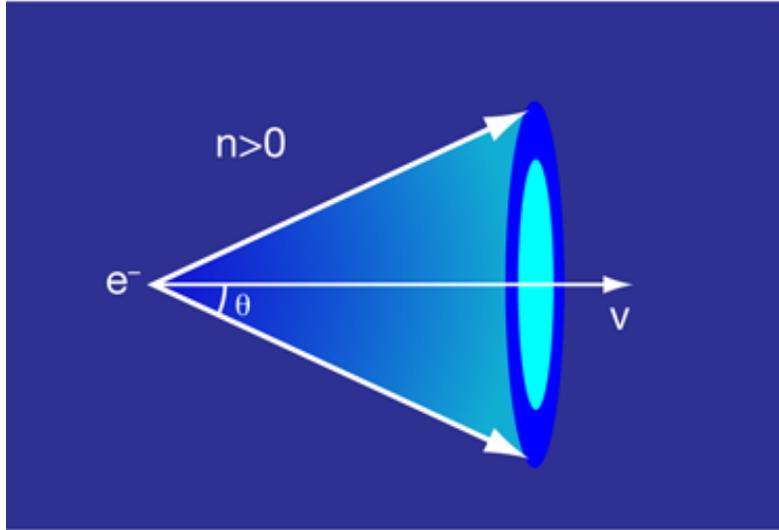
La particule se déplace plus vite que la lumière (information)
qui s'accumule « derrière »



$$v > \frac{c}{n}$$

Symétrie asphérique
Formation d'un front d'onde
Signal lumineux

Relations entre l'énergie et l'indice de réfraction



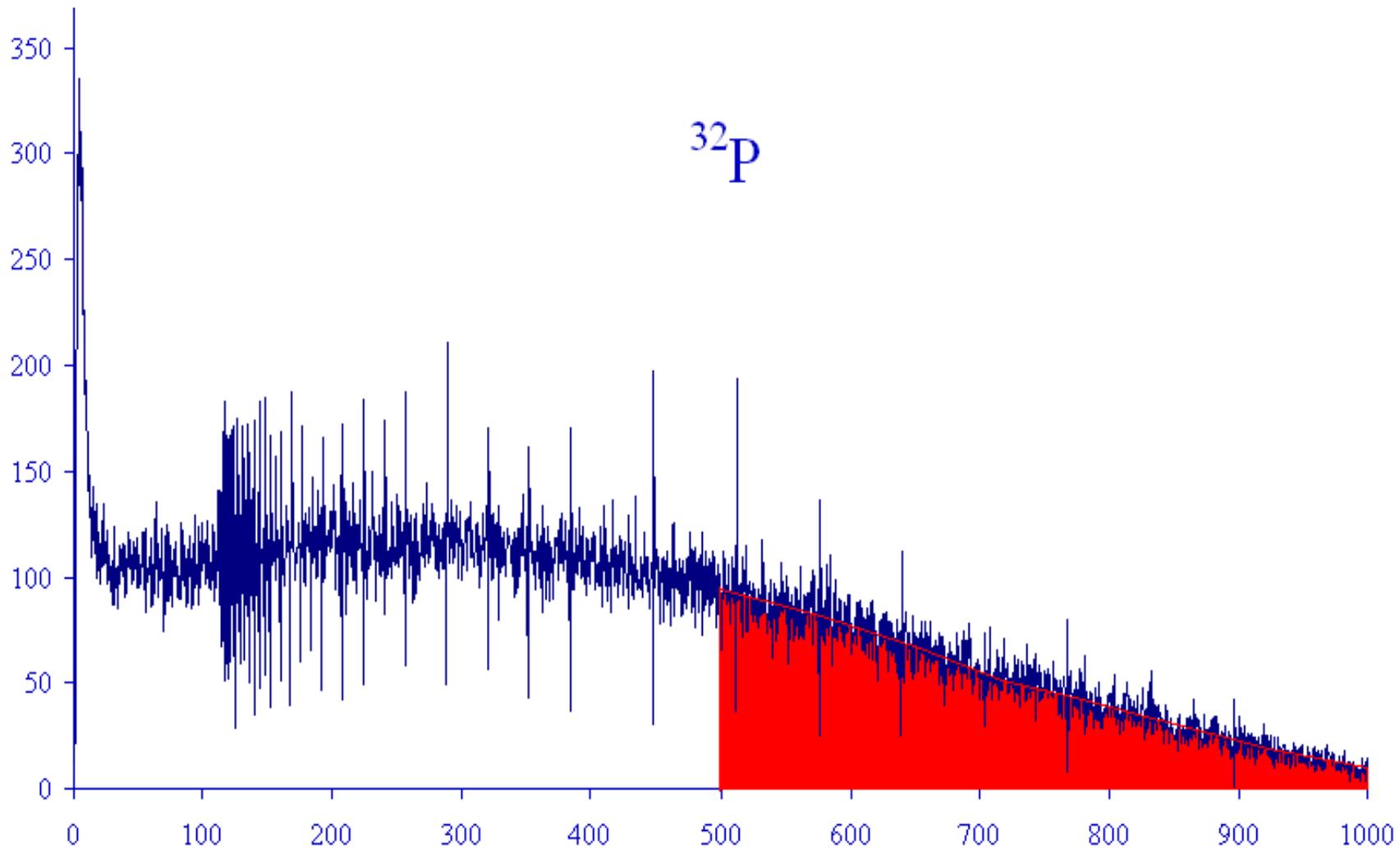
L'angle θ formé par le cône est donné par la relation :

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$

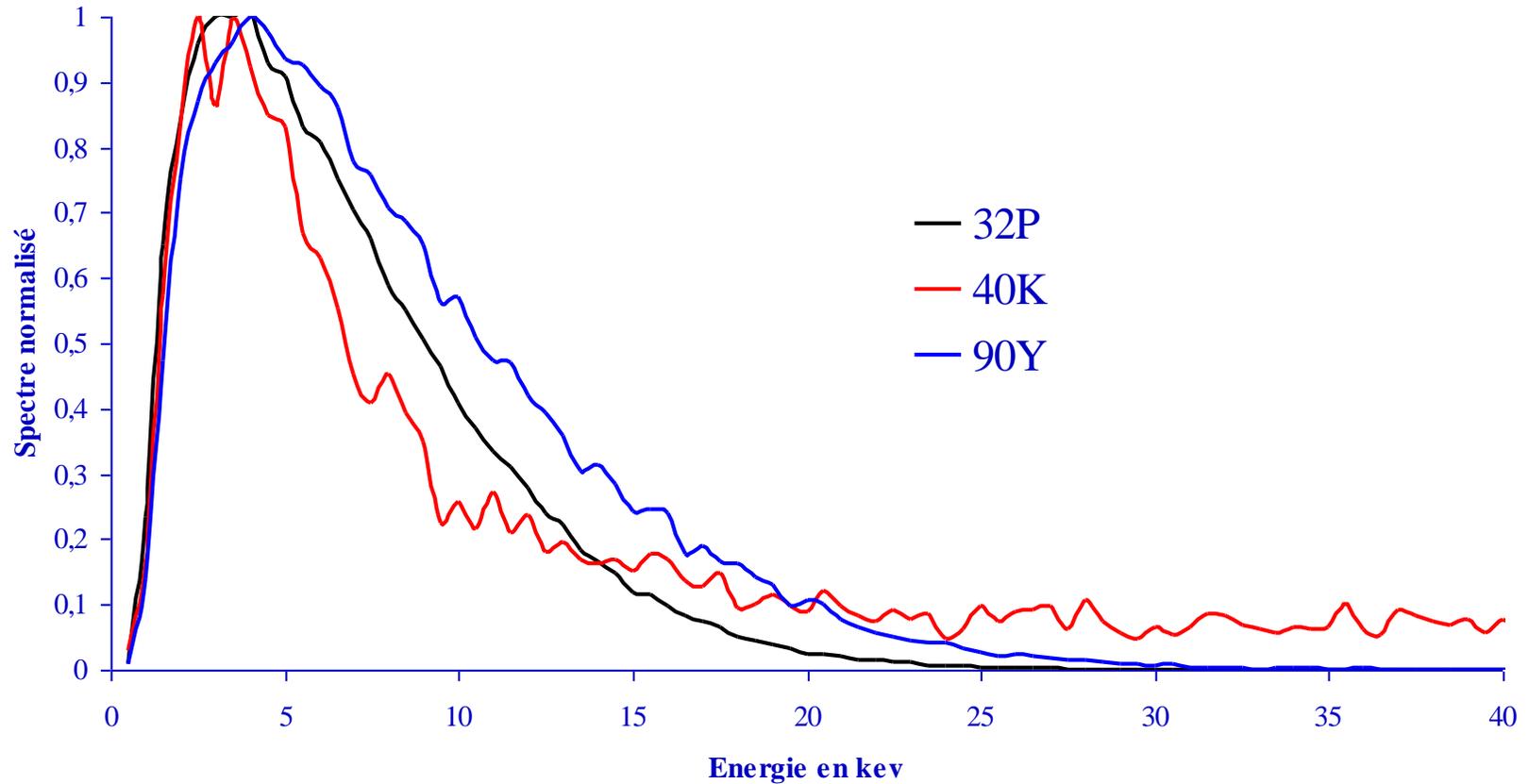
Une particule de « vitesse » β dans un diélectrique d'indice de réfraction n émet N photons sur une distance dx dont l'énergie est donnée par la longueur d'onde λ

$$\frac{dN}{dx \cdot d\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda^2} \cdot [1 - \cos^2 \theta]$$

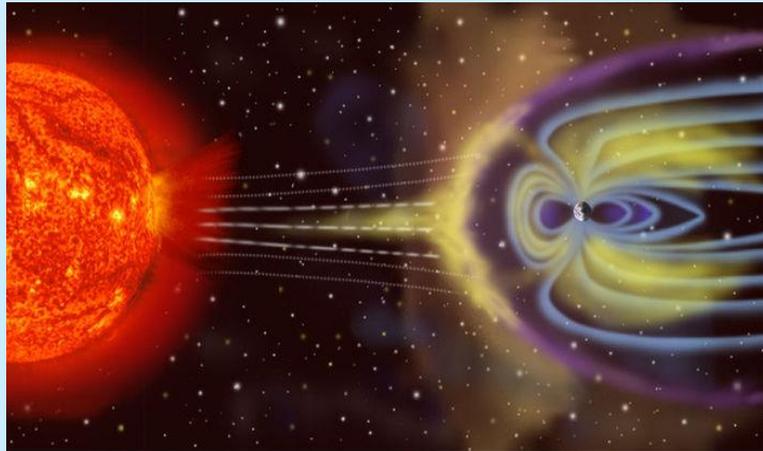
Partie « utile » d'un spectre



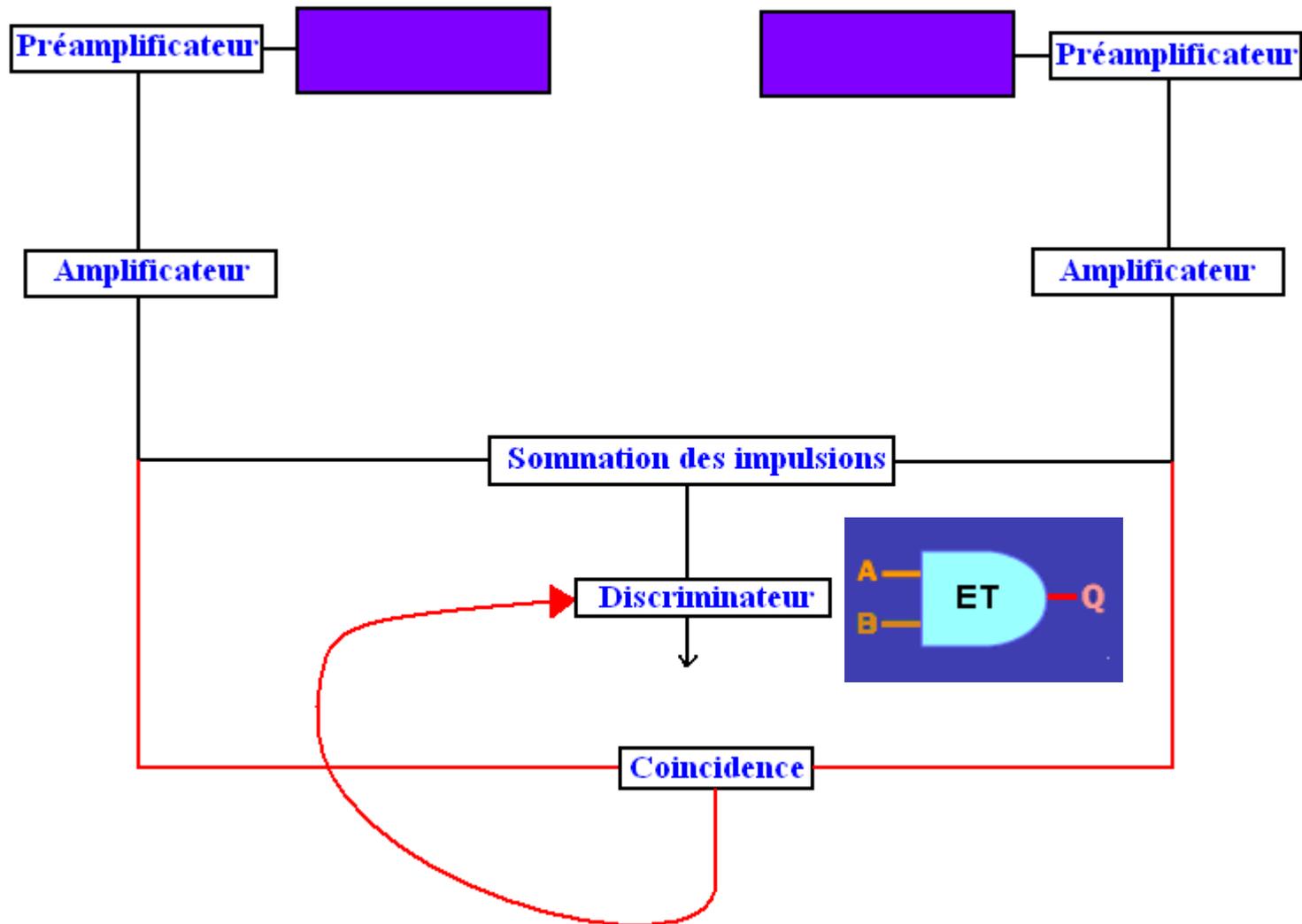
Effets cerenkov



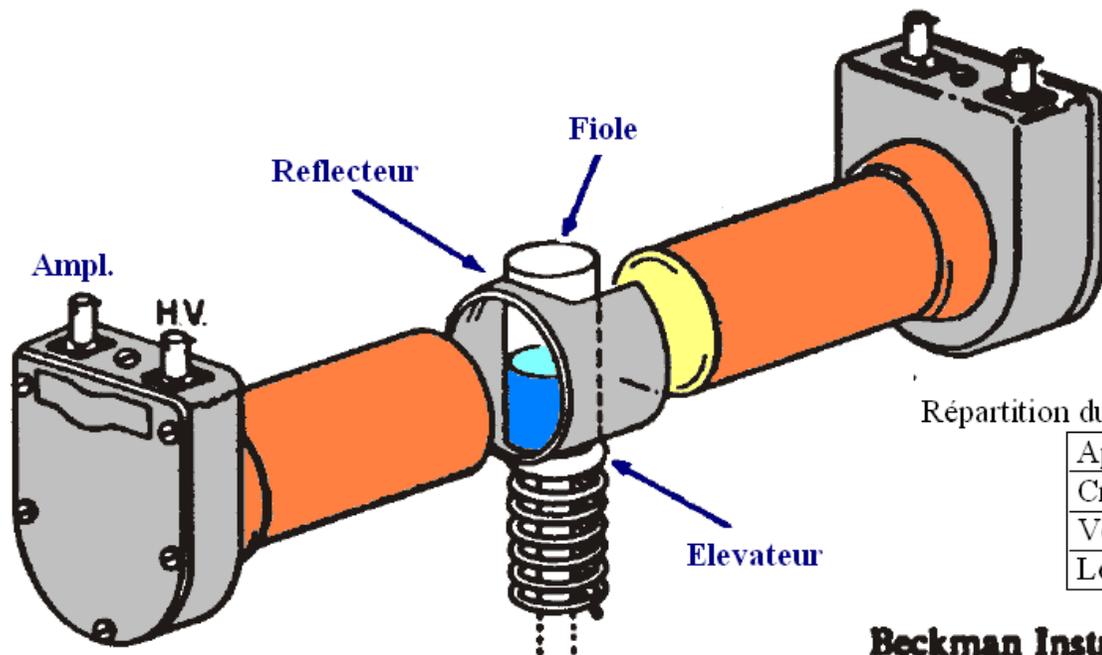
Diminution du bruit de fond



Montage en coïncidence



Représentation physique



Répartition du bruit de fond dans le cas d'un montage en coïncidence

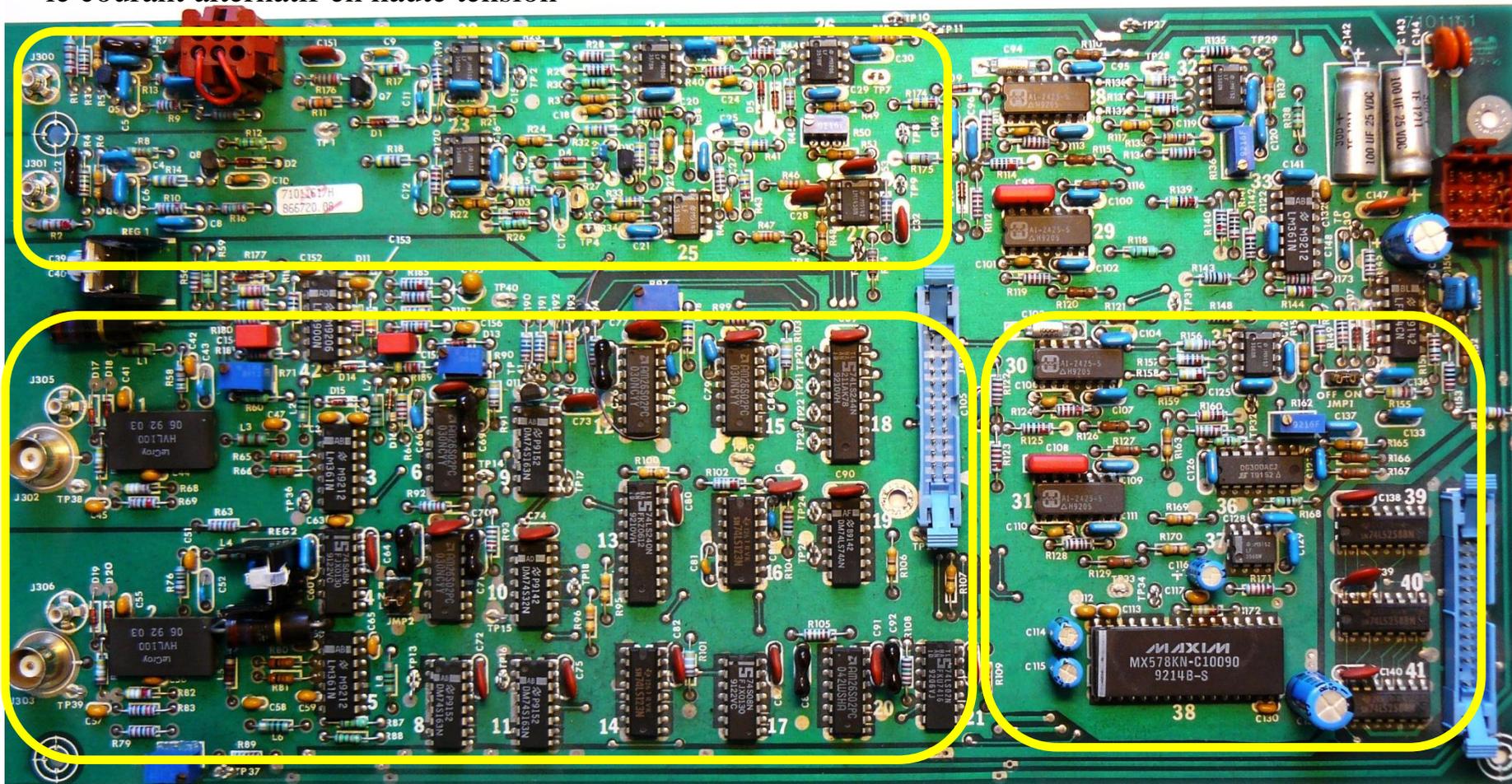
Appareil	10%
CrossTalking	22%
Verre (flacon ou Photomultiplicateur)	37%
Le liquide scintillant	31%

Beckman Instruments, Inc.



Traitement électronique

Pilotage de la HT sur les PM, en liaison avec celle qui converti le courant alternatif en haute tension



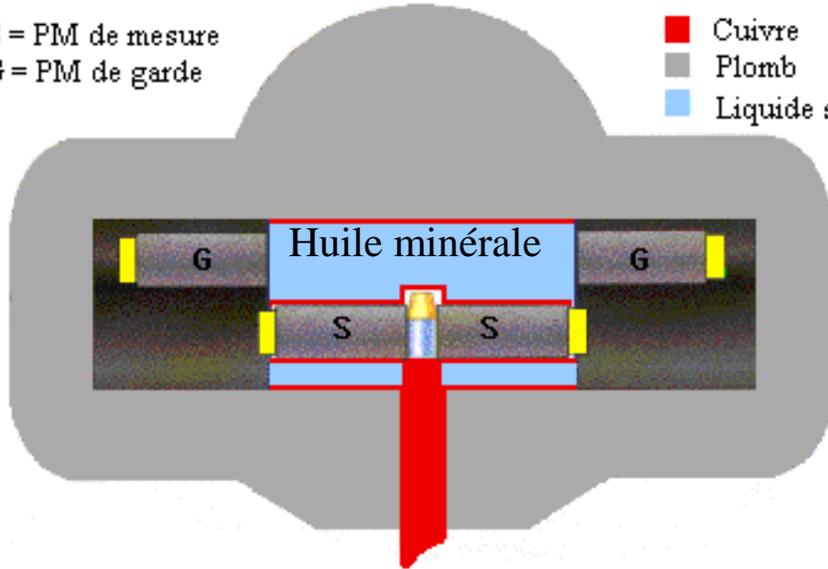
Traitement du signal, coïncidence

Convertisseur analogique/digital

anti-coïncidence (SCINTILLATEUR SECONDAIRE)

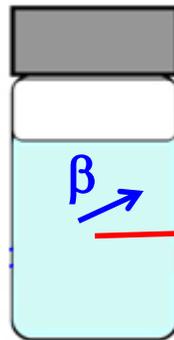
S = PM de mesure
G = PM de garde

■ Cuivre
■ Plomb
■ Liquide scintillant

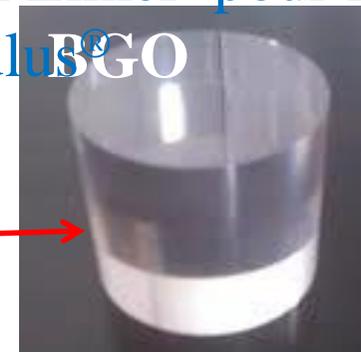


LIQUIDE
Solution de Wallac pour le
Quantulus®

SOLIDE
Solution de Perkin Elmer pour le
Quantulus®



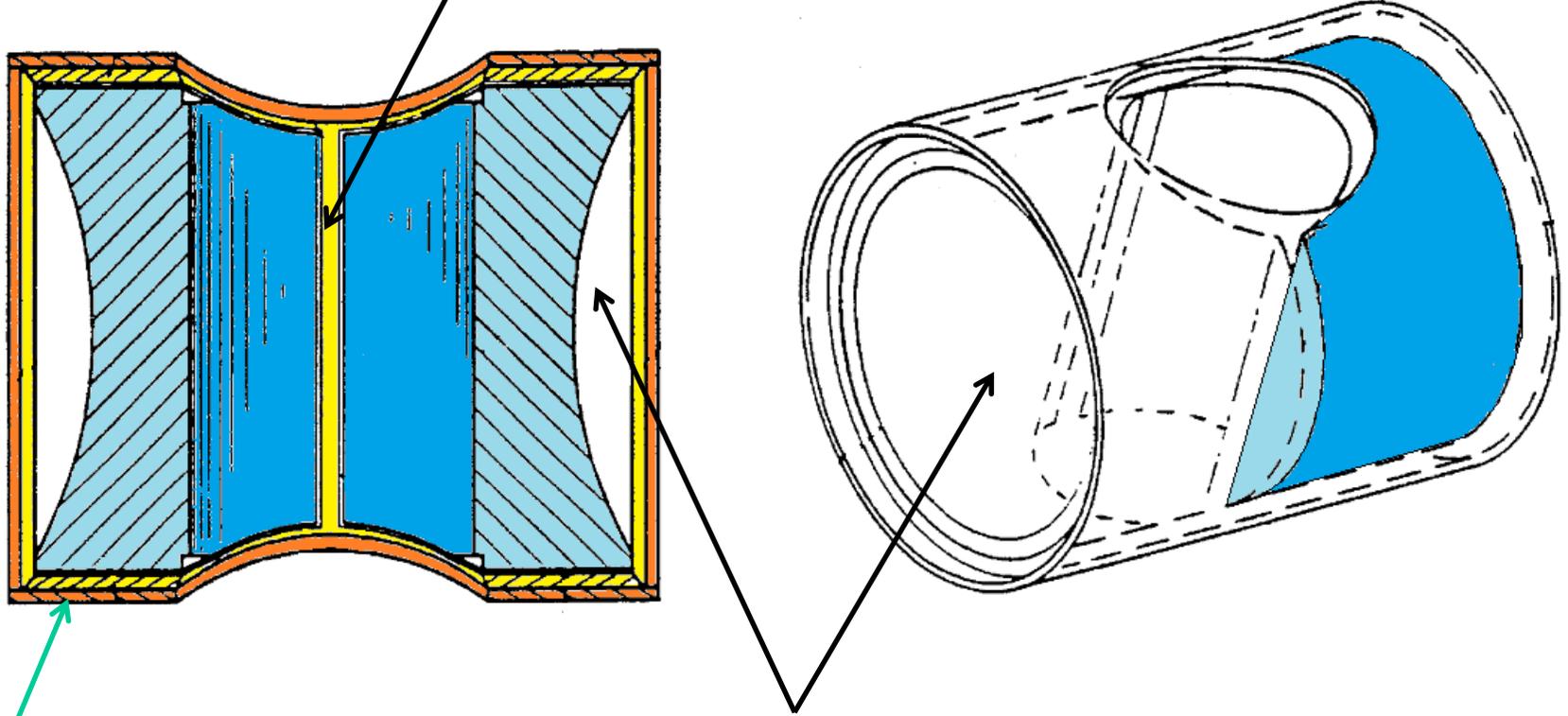
γ



Solution de PerkinElmer pour le

Cas du Cristal de BGO

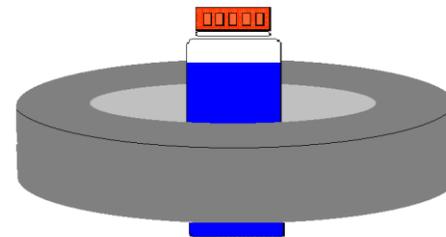
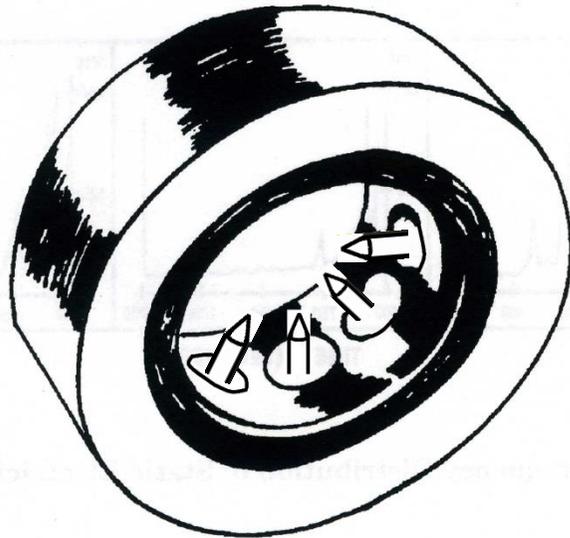
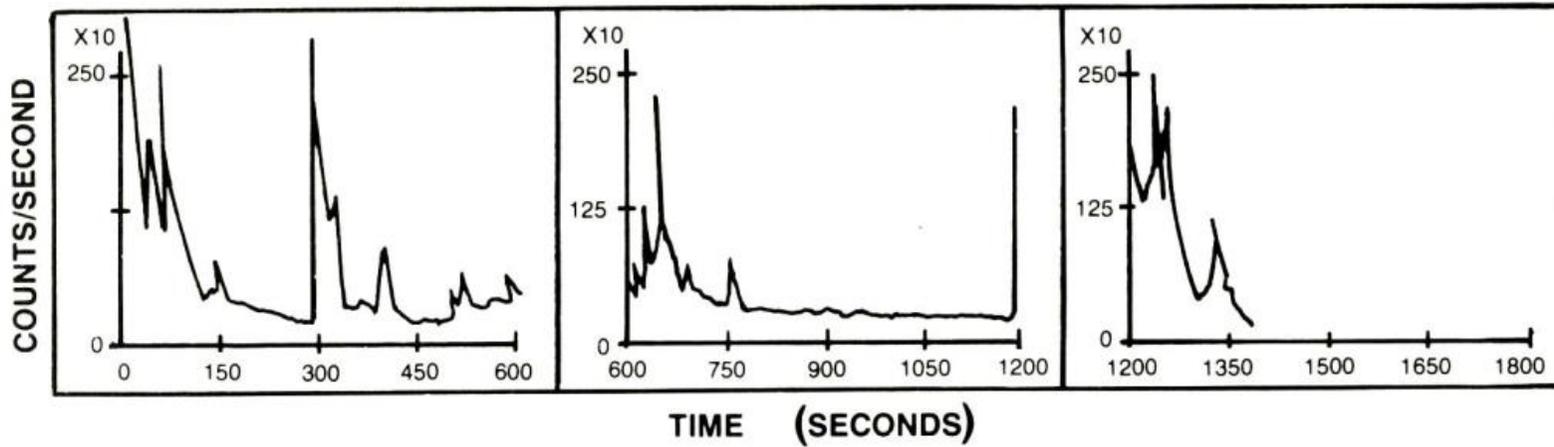
Silicone (joint optique)



Réflecteur

Concave pour recevoir
directement la surface
de la photocathode

Effets électrostatiques

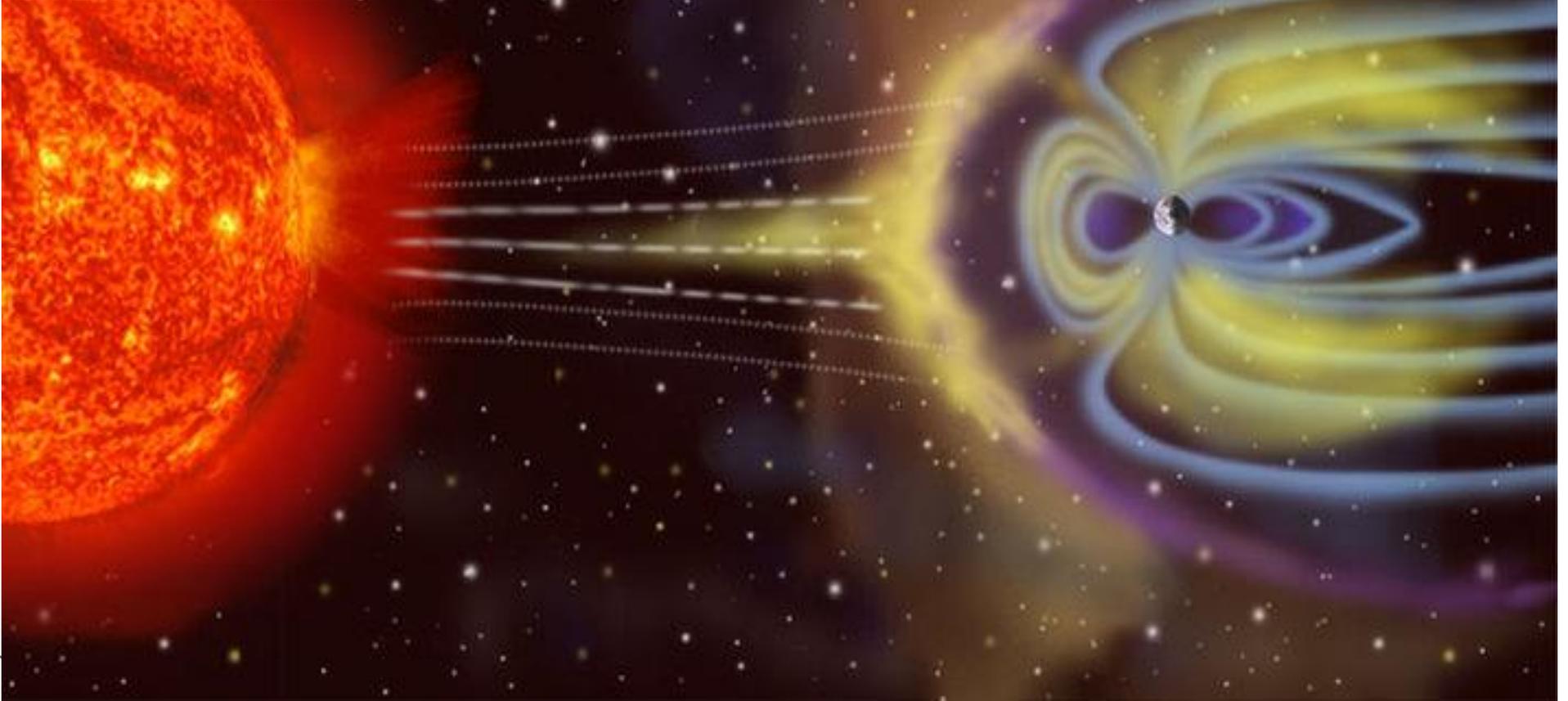
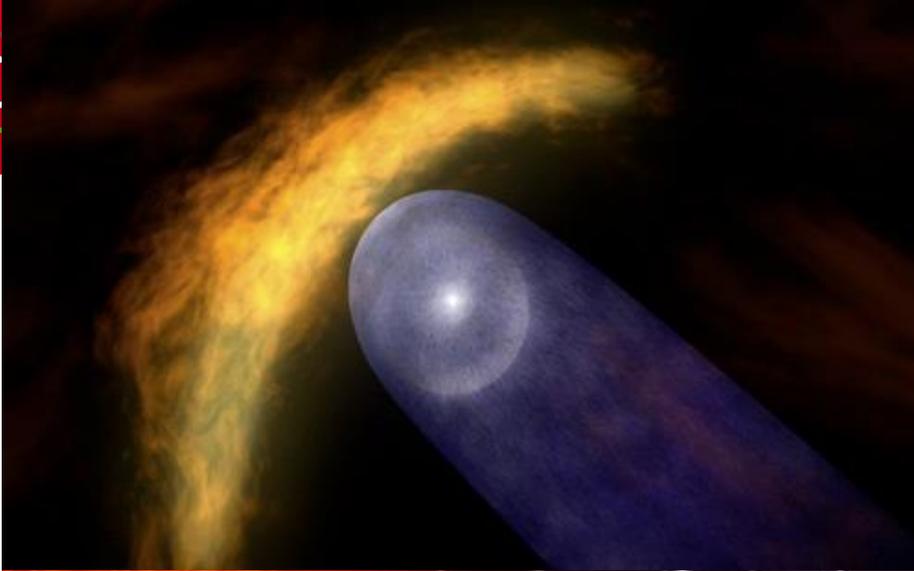


Astuce : neutralisation des charges par
ionisation de l'air

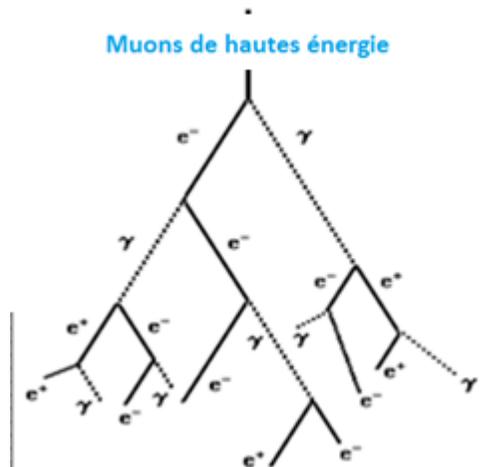
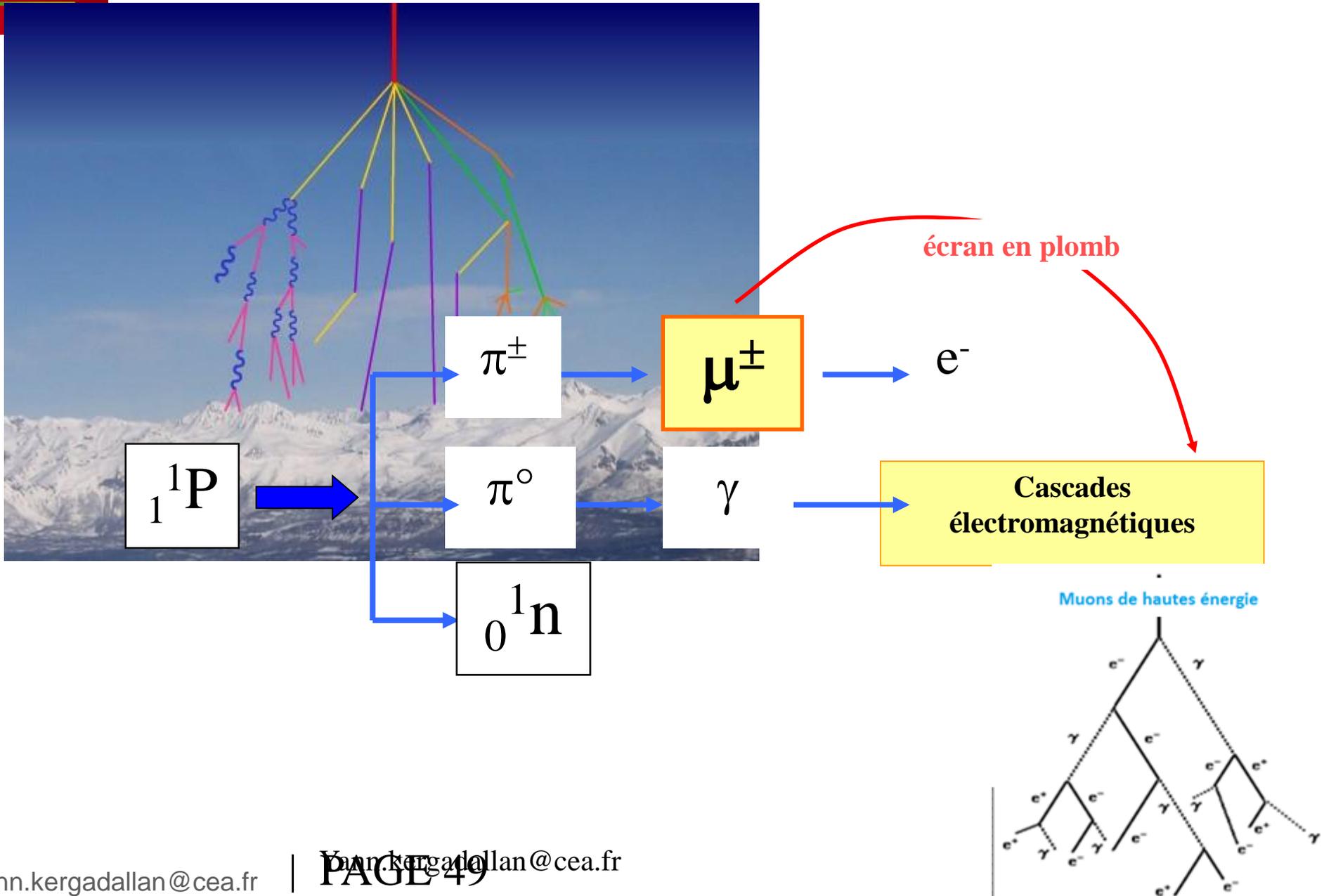
L'ioniseur



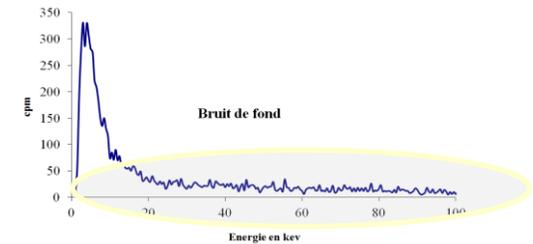
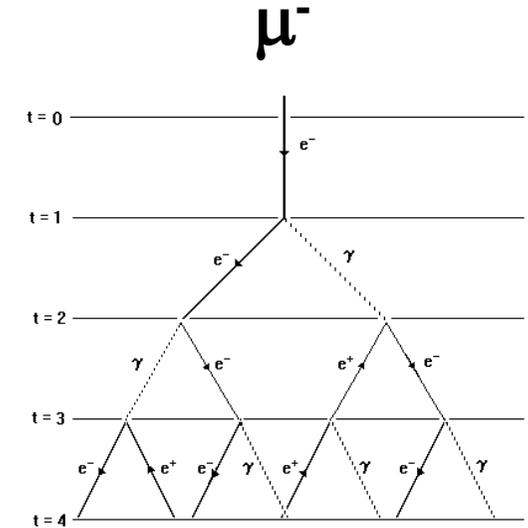
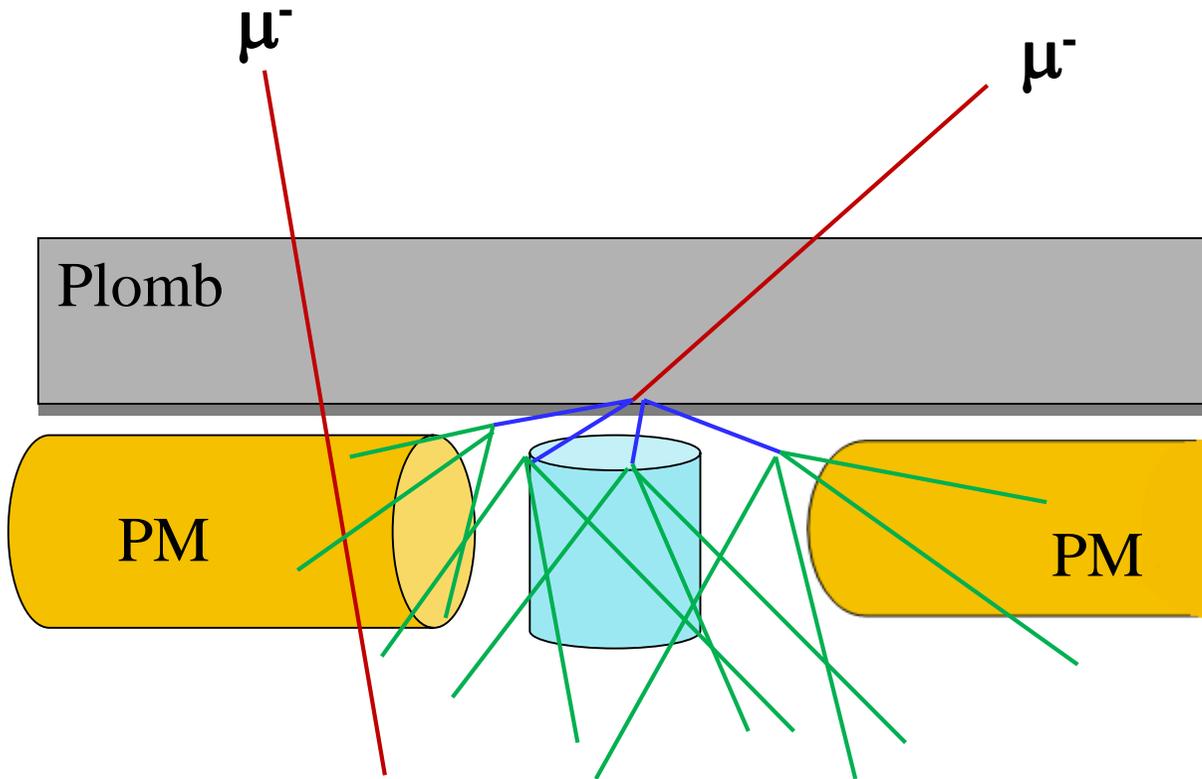
Influence des vents solaires



Interaction avec la matière

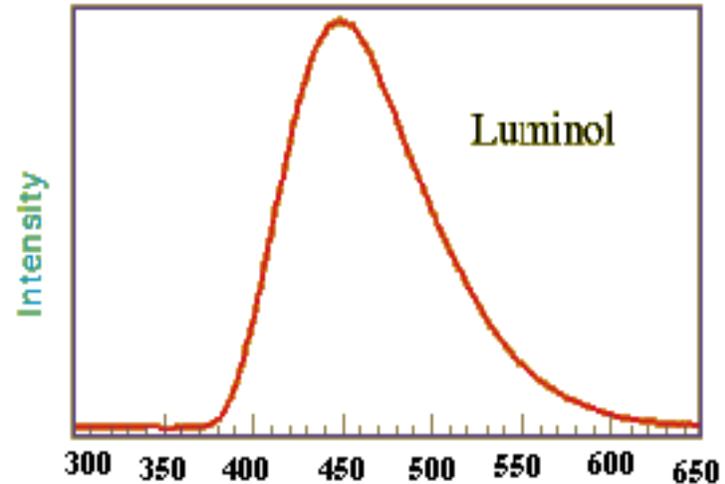


Effets indirect du plomb sur un compteur



Evénements peu probables mais systématiquement **COINCIDENTANT**

exemple de chimiluminescence

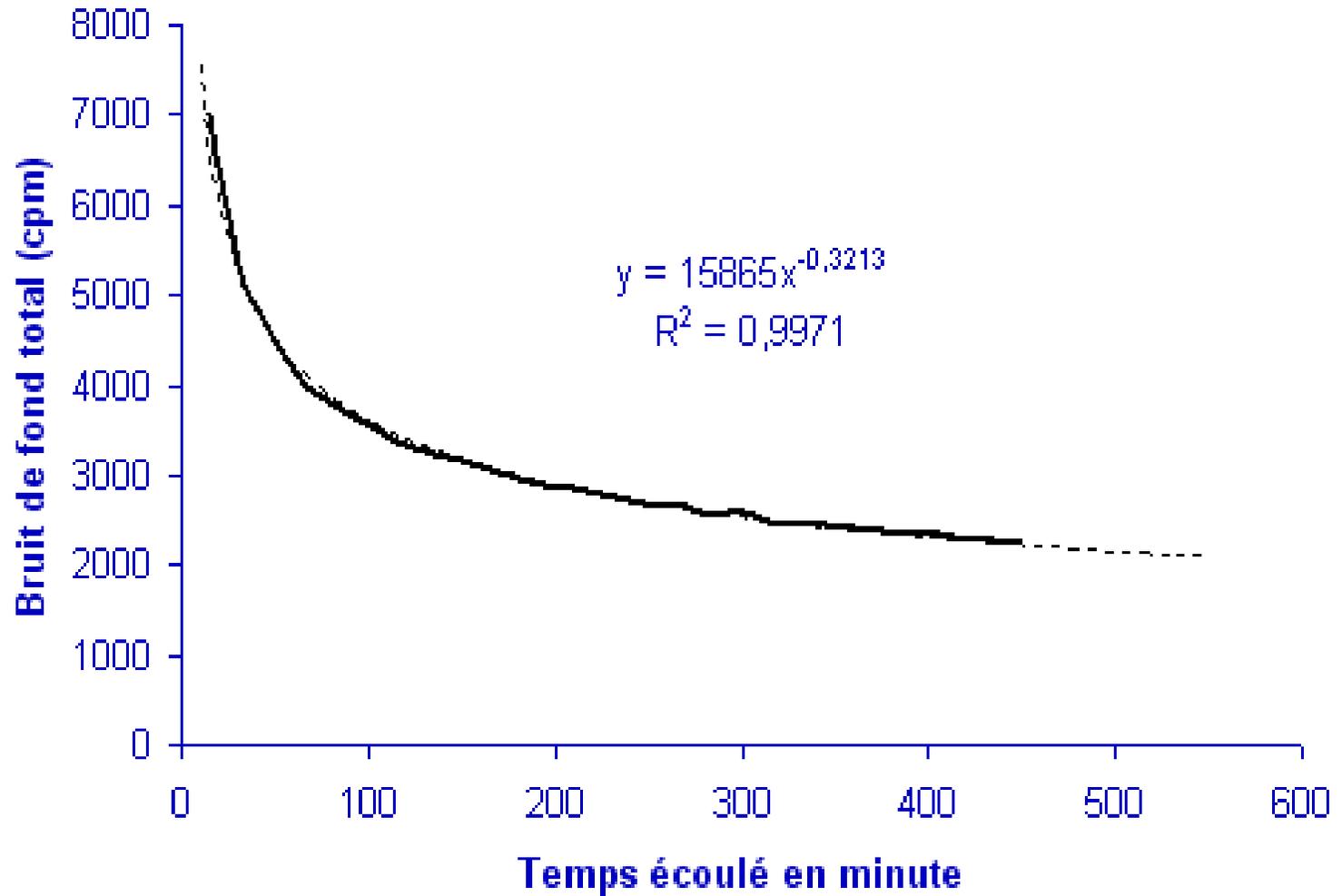


Opposé du quenching : il y a production de lumière.

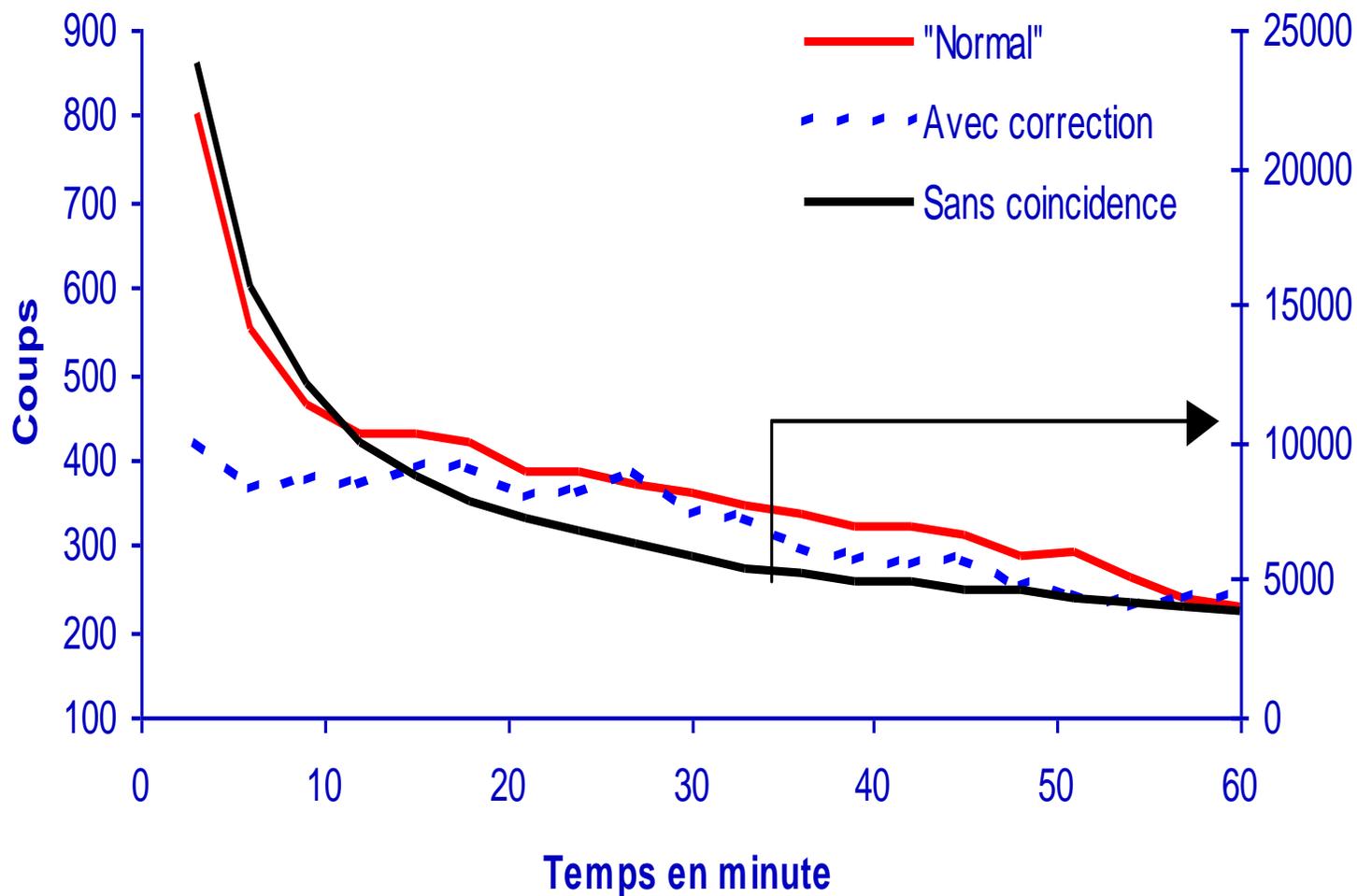
En général un **milieu basique et en présence d'une molécule polaire avec un atome d'oxygène**.

- Cas des détergents
- Cas des liants hydrauliques (béton)
- Cas de minéralisation alcalines ou saponifications

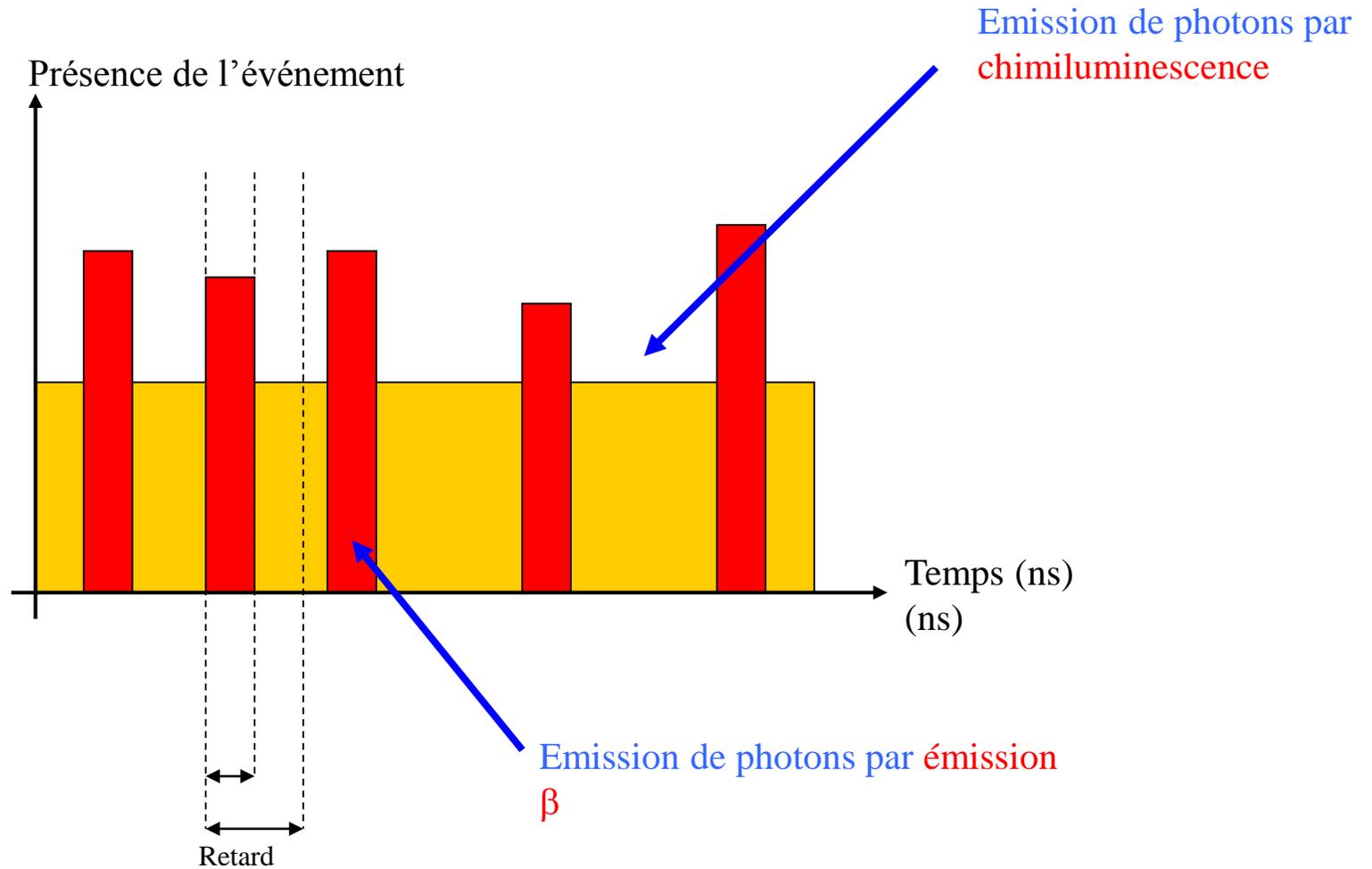
Décroissance de la chimiluminescence



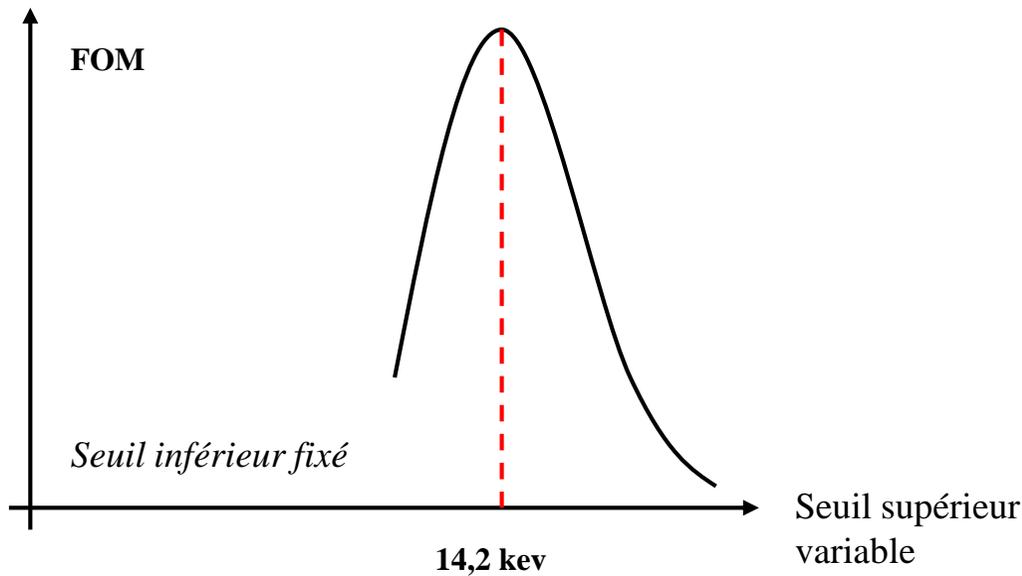
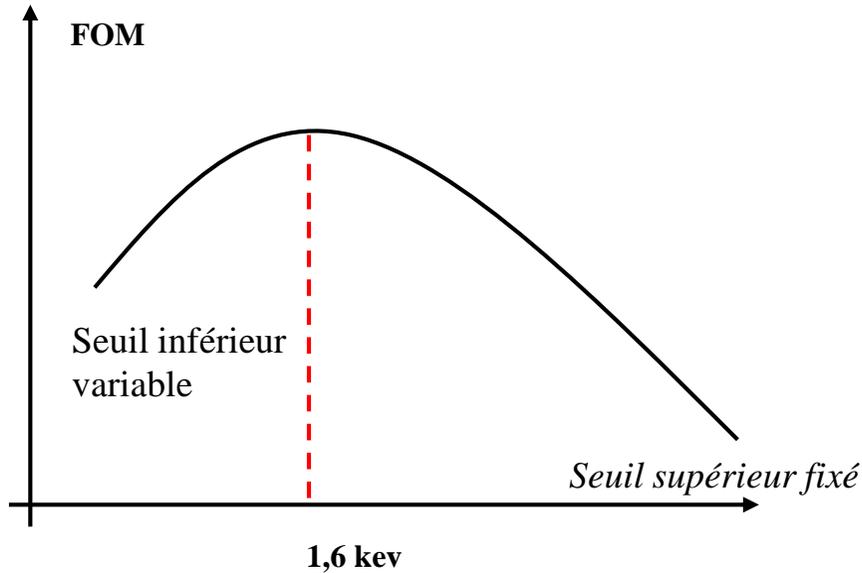
Effet de la correction de chimiluminescence



La correction de la chimiluminescence



Optimisation du facteur de mérite : cas du tritium

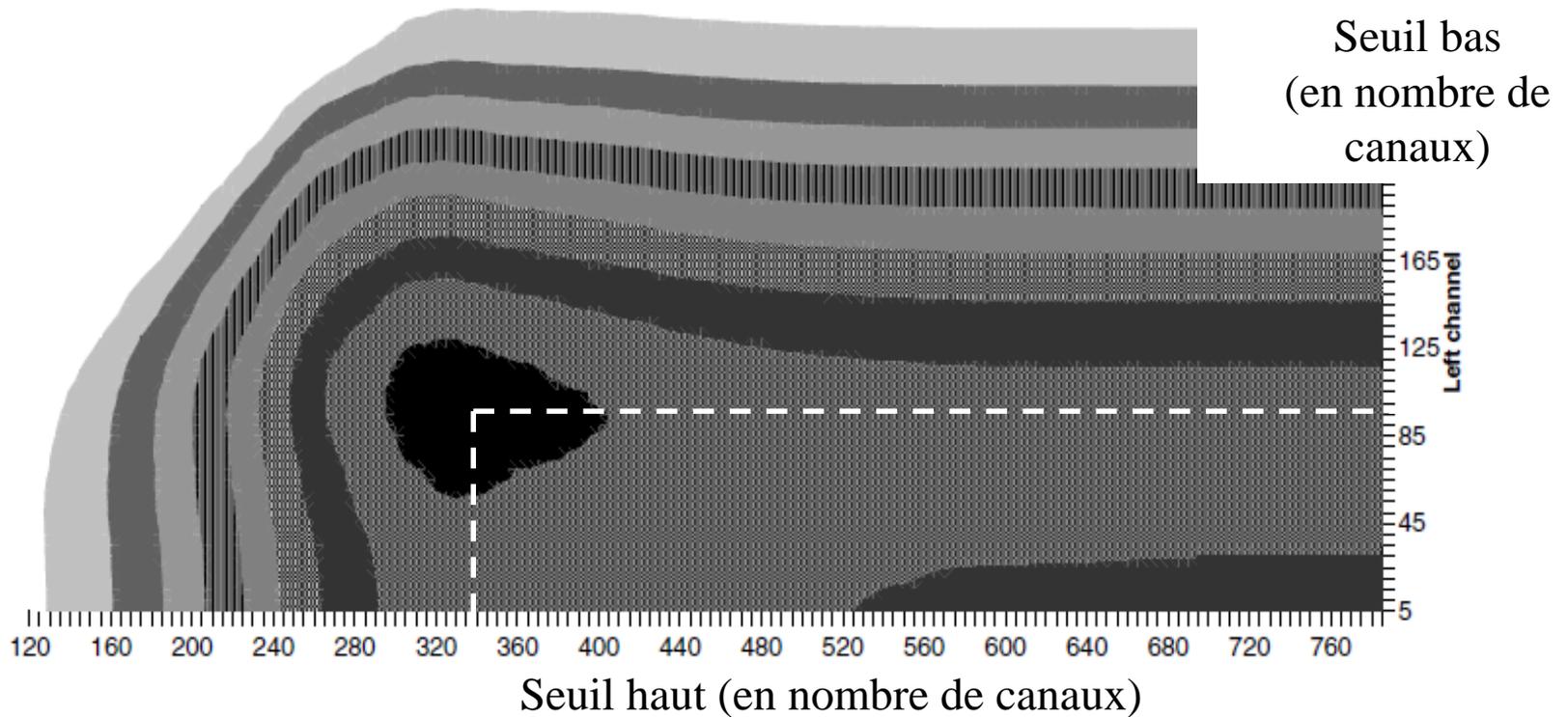
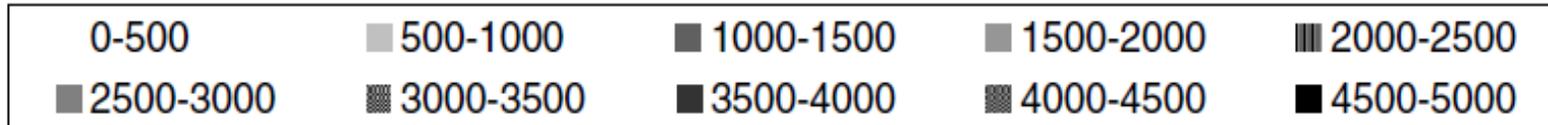


En %

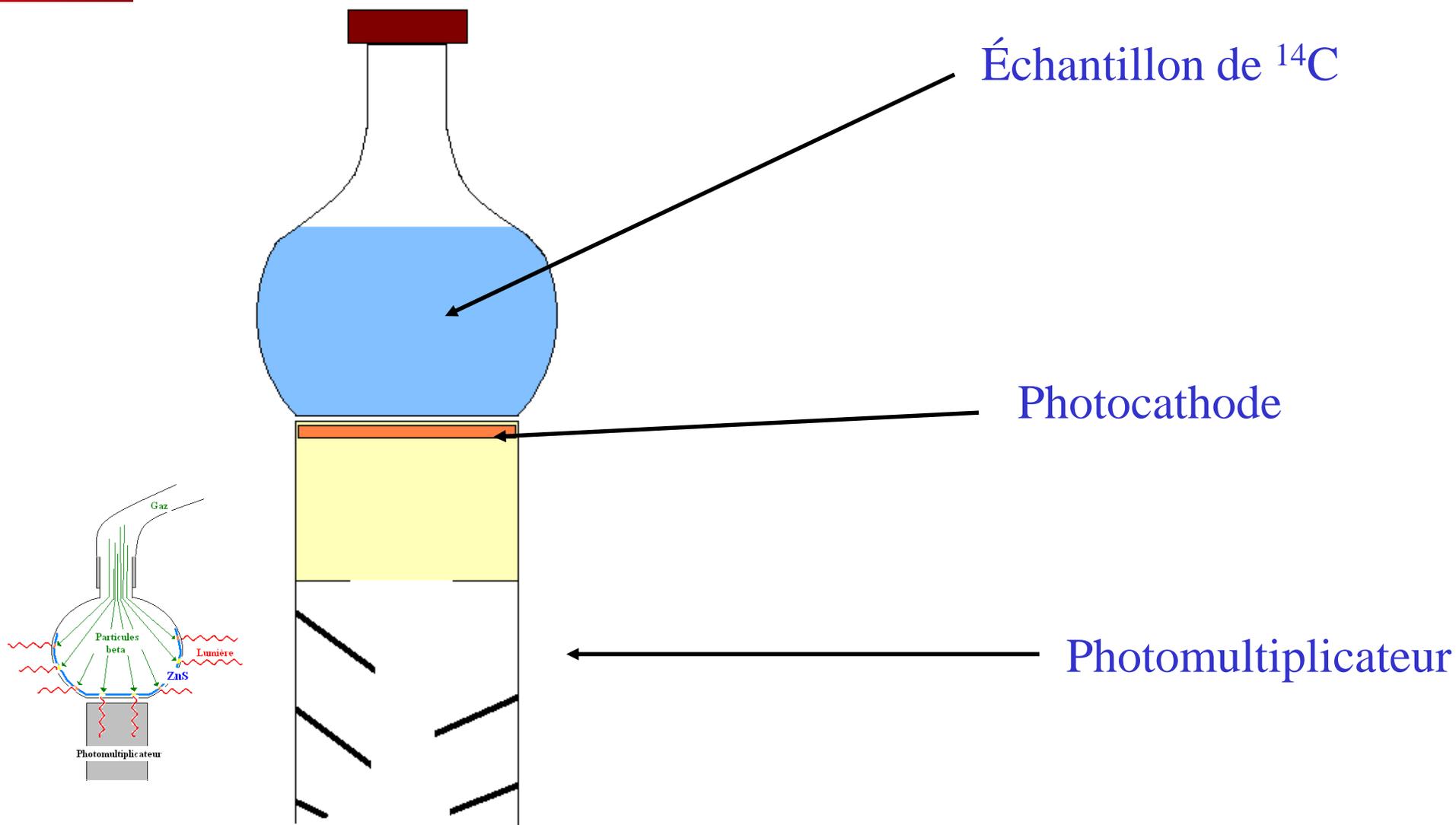
$$\text{FOM} = \frac{\text{Eff}^2}{\text{Bdf}}$$

$$\text{facteur de mérite} \propto \frac{1}{\text{LD}^2}$$

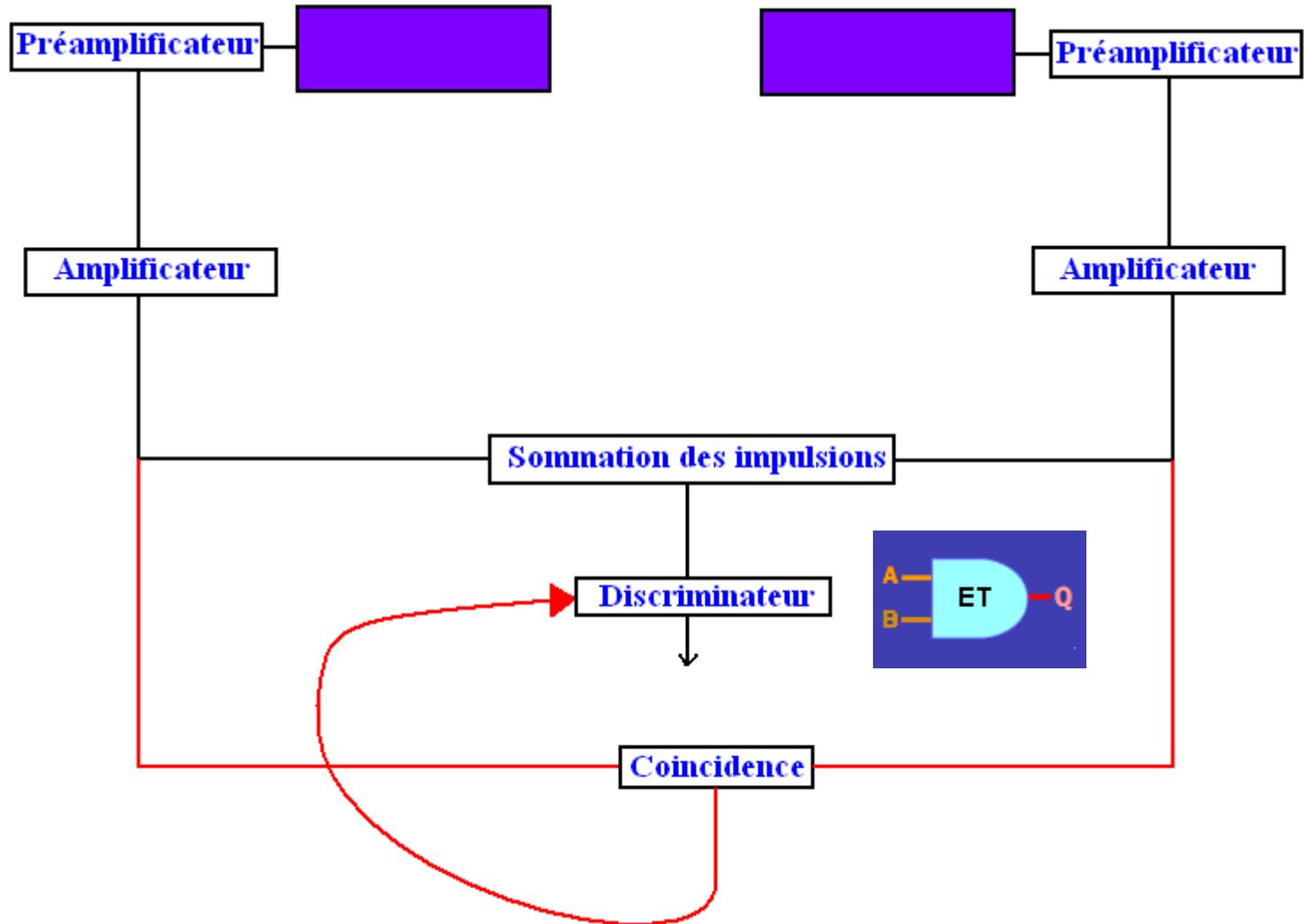
Facteur de mérite

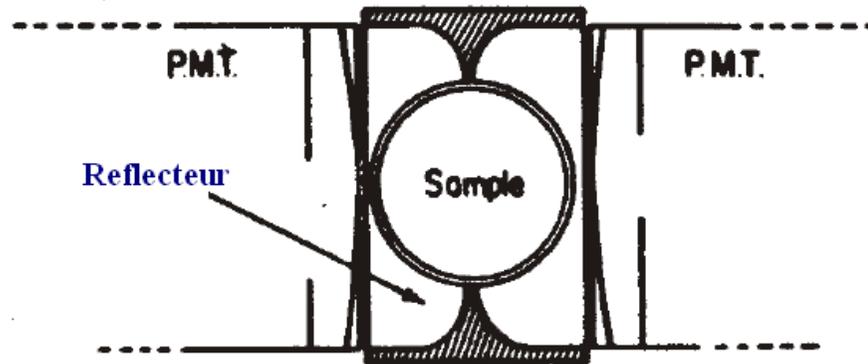
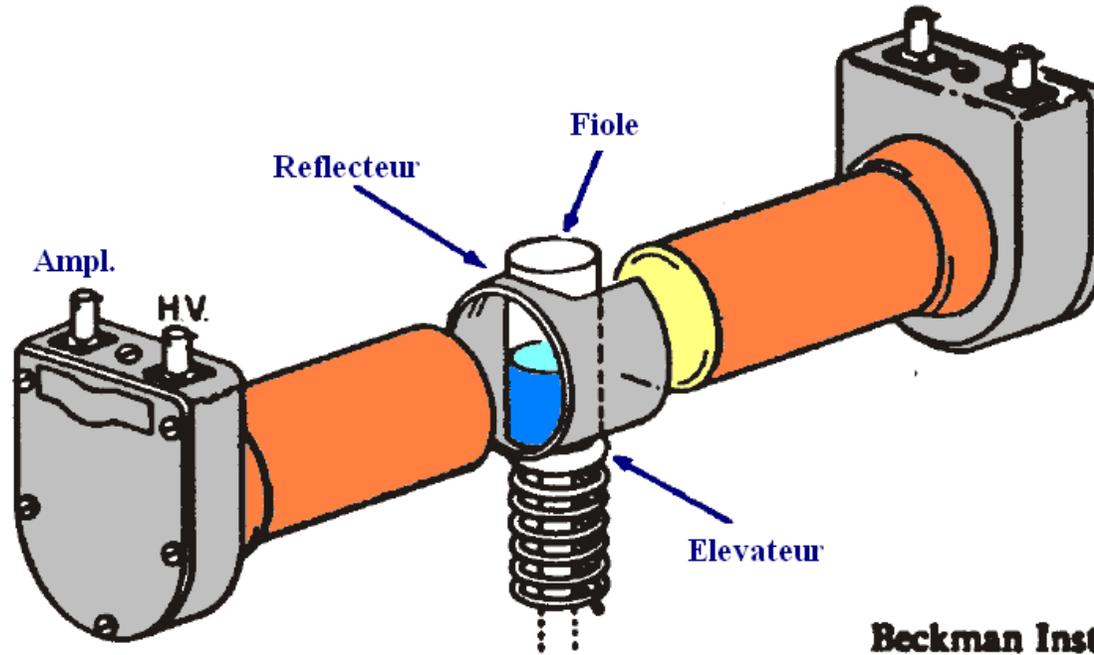


Mesure par scintillation liquide (un PM)



Le montage en coïncidence (**deux** PM)





1 Étape de préamplification :

- Placée près des PM (diminution du bruit)
- Circuit de contre-réaction capacitif
- Objectif : stabilisation du signal pour qu'il ne soit pas affecté pendant son transfert
- Conséquence : des impulsions se superposant en "marches d'escalier"

2 Étape d'amplification :

- Amplification du signal pour permettre son analyse
- Mise en forme du signal : circuit de différenciation (séparation) puis d'intégration (régénération du signal) pour obtenir une forme gaussienne

3 Etape de coïncidence

- Circuit de Rossi

4 Etape de sommation

Exemples de compteurs

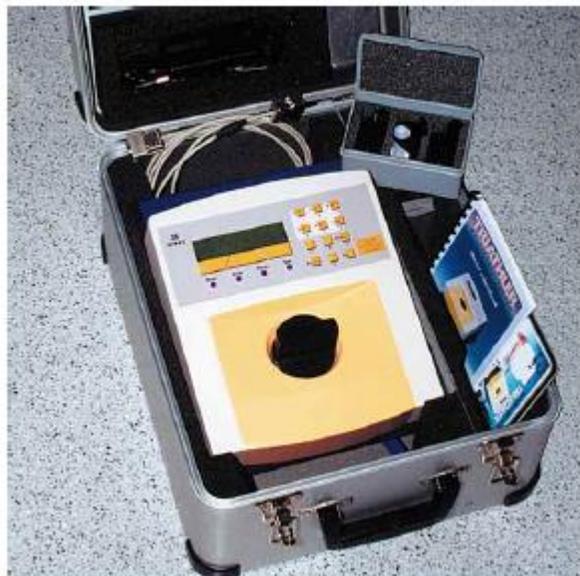


Développements techniques

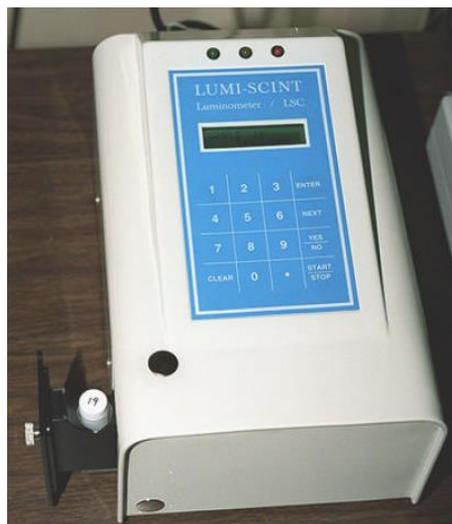
	Diminution du bruit de fond	Liquide Scintillant	Mesure du quenching	Etalonnage	Formation et fournisseurs
1948		Scintillats Liquides			
1950	Coincidence	Echantillons dans le LS			
1952					
1954					
1956		1ères émulsions		Zero Detection Threshold	
1958		Utilisation de PPO/POPOP		Integral Counting Method	
1960			Utilisation d'une source externe		
1962		Utilisation du Triton X			
1964			Rapport des canaux		
1966					
1968			Utilisation du SIS		
1970				1ères méthodes d'efficiency tracing	1ère session à l'INSTN
1972					
1974					
1976					
1978				1er spectres automatiques	
1980	Correction de la chimilum			Etalonnage	
1982				Efficiency Tracing (Tricarb)	1ère session de biologie
1984				1ères méthodes TDCR	Fin d'Intertechnique
1986	Utilisation de l'anti-coïncidence				Fusion/Acquisition
1988	Post Impulsions - Tricarb TR	DIPN (Ultimagold)	Utilisation du tSIE		
1990	Correction Electrostatique			Discrimination alpha/béta	
1992					LKB-Wallac absorbé par PerkinElmer
1994	Utilisation du BGO				Packard absorbé par Canberra
1996					
1998				Quantasmart	
2000					Canberra absorbé par PerkinElmer

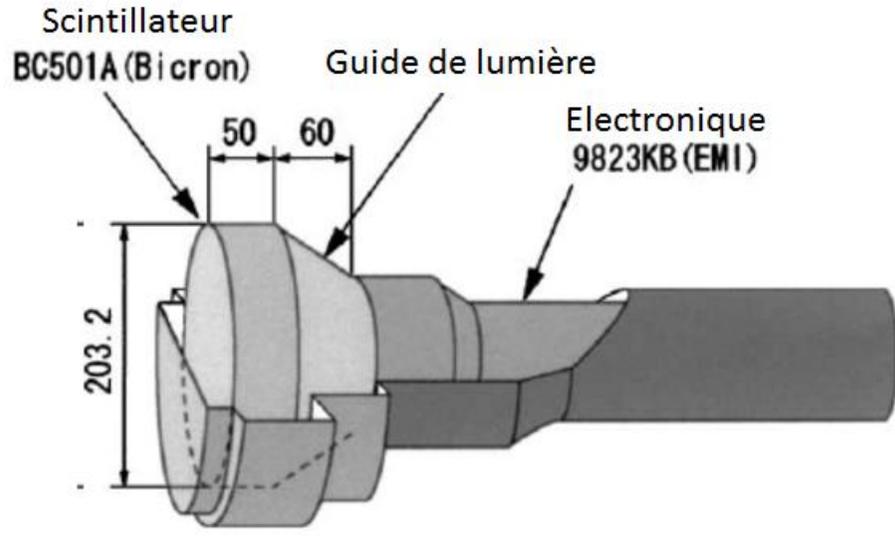
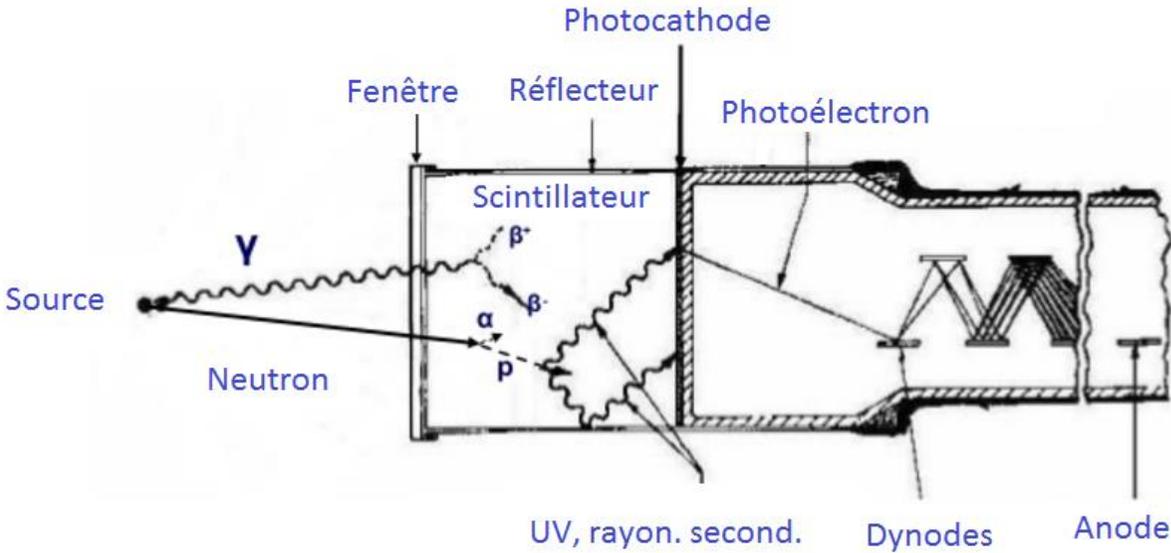
Influence de l'environnement

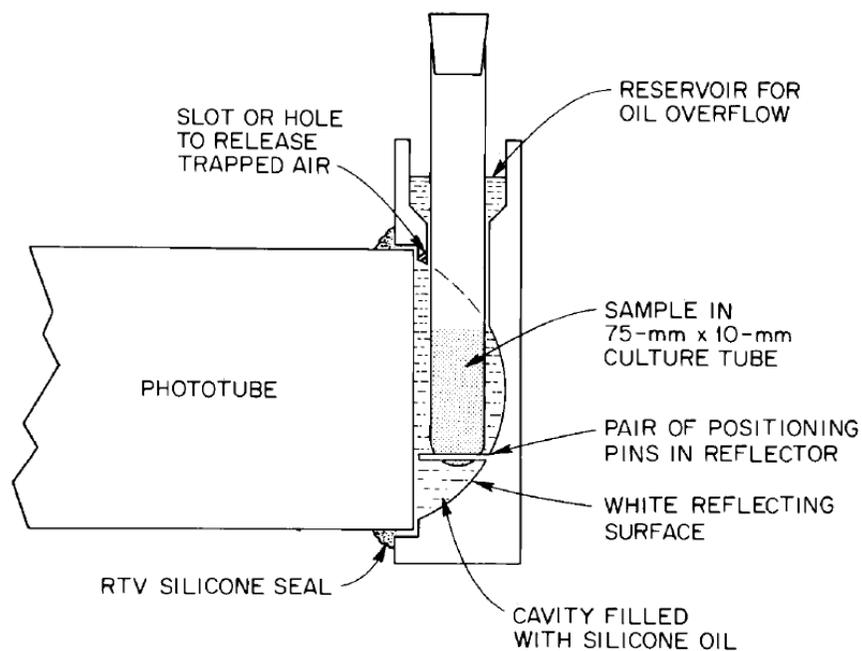
Et après 2000 ?pas grand-chose !

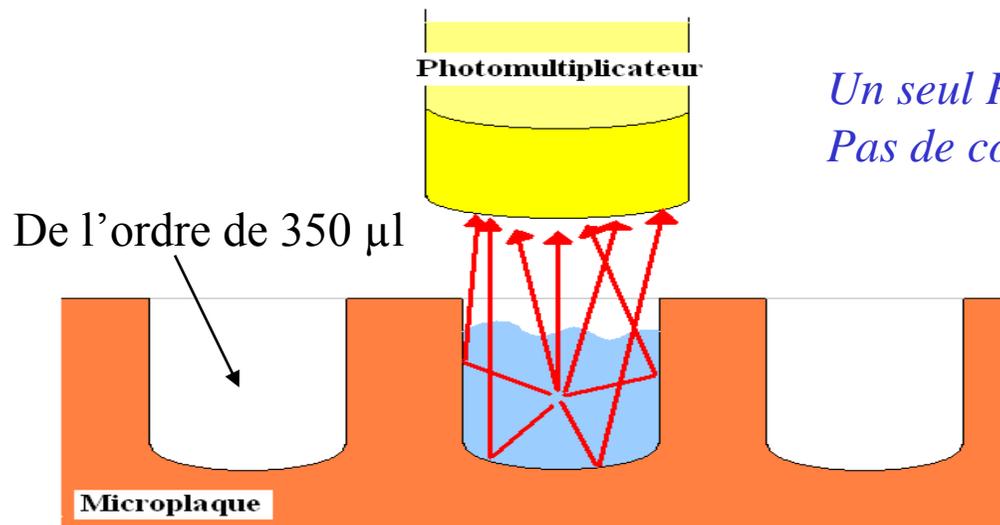
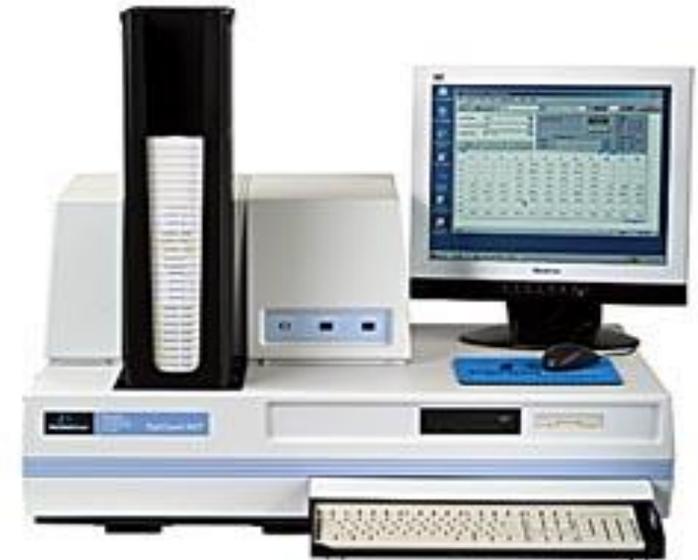


Triathler de HIDEX®







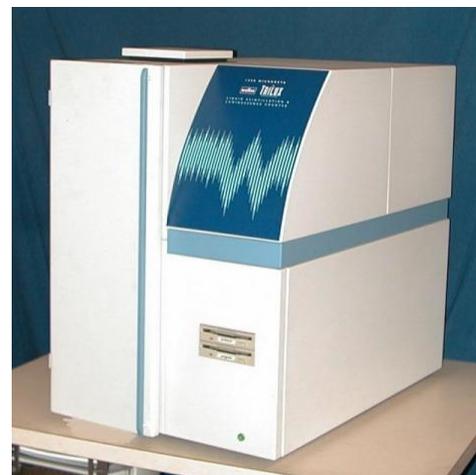


*Un seul PM
Pas de coïncidence*





Top Count NXT



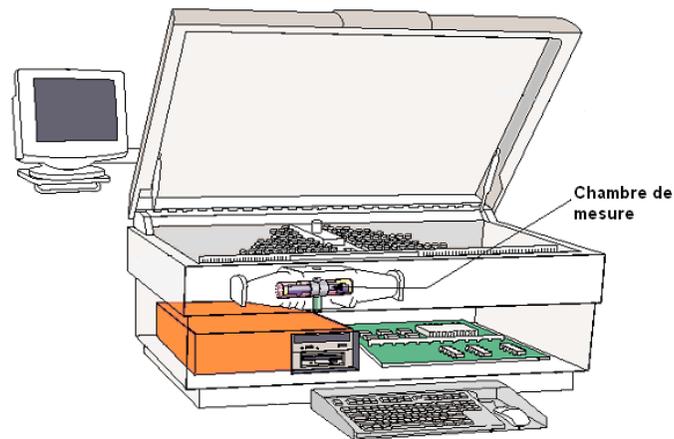
Microbeta Trilux, 35 000 \$

Betaplate, 17 000 \$



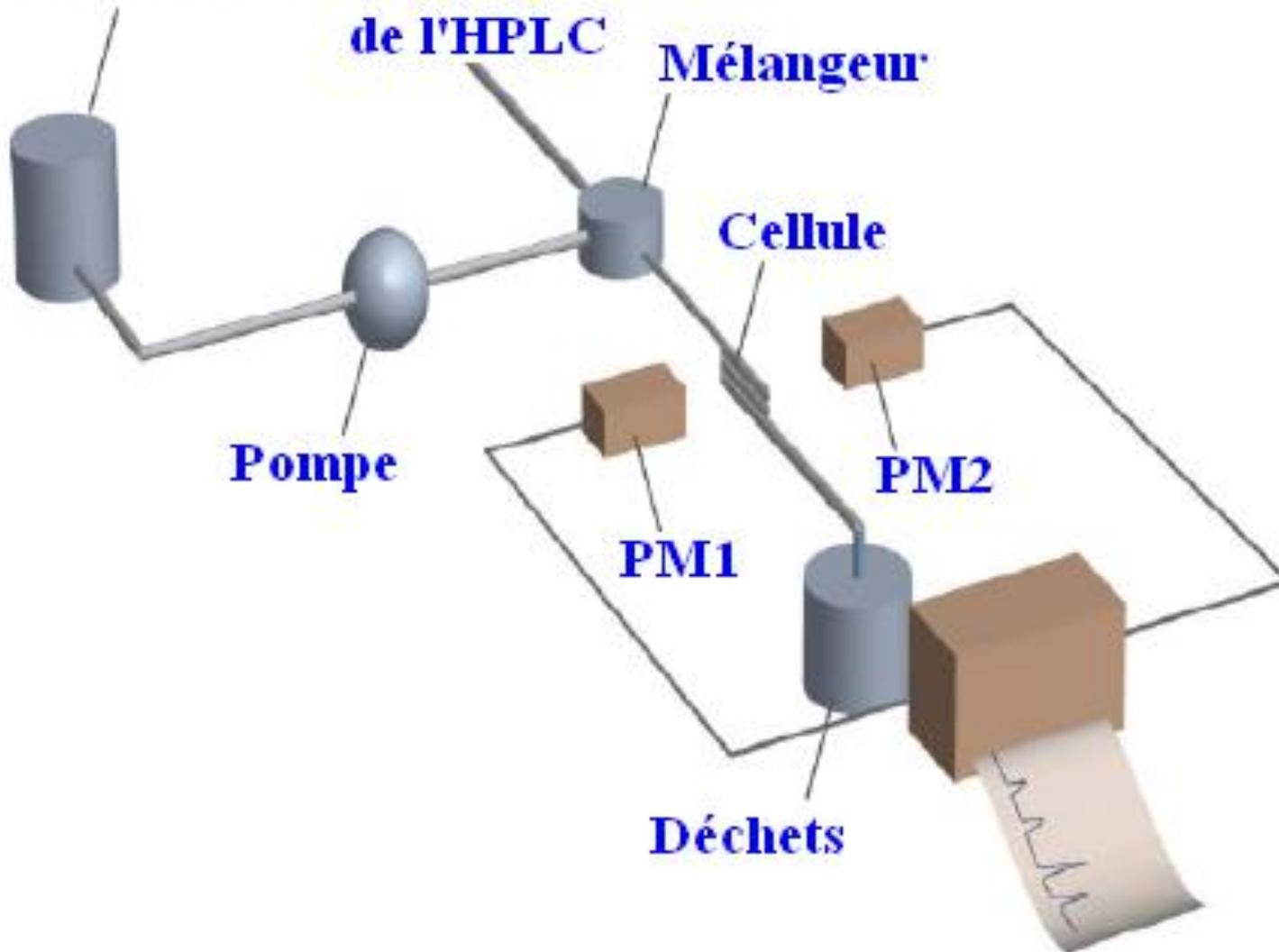
Victor Multilabel





AccuFLEX LSC-8000

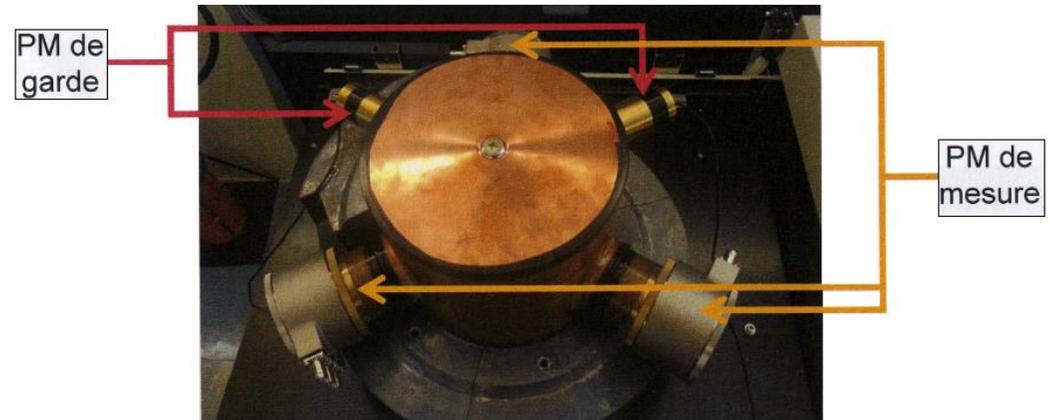
Liquide scintillant



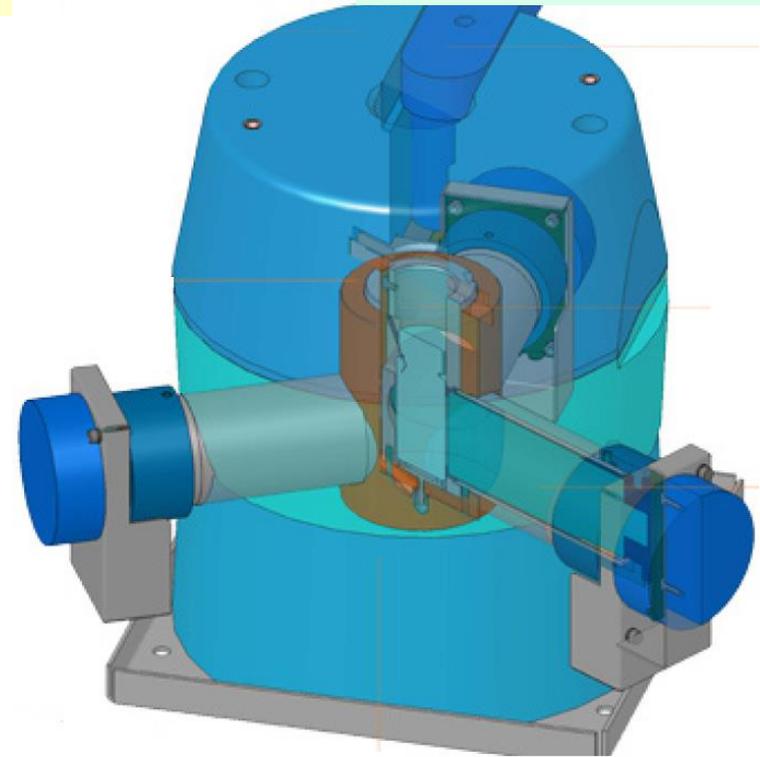


Beckman171





Distribué par Zinsser



Radiological Data (preliminary):

Energy Range β 's: 0 – 2.000 keV
Energy Range α 's: 0 – 10.000 keV

Efficiency: H-3 unquenched > 65 %
H-3 (8 ml water sample, 12 ml Aqualight) > 26 %
C-14 unquenched > 95%
 α 's (Po-210, U-234/U238, Am-241,Rn-222, Ra-226)>95%

Background: H-3: 8 cpm (8 ml water sample, 12 ml Aqualight)
 α 's (Po-210, U-234/U238, Am-241,Rn-222, Ra-226)
<0.5CPM, in plastic vials

LLoD¹: H-3: 10 Bq/l (8ml water sample, 12ml Aqualight)

E²/B H-3: 84.5 (8ml water sample, 12ml Aqualight)

LLoD = $V^{-1} \cdot K (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \text{SQRT}(R_0(1/t_0+1/t_b))$; $k_{1-\alpha} + k_{1-\beta} = 4.6$; $t_b = 2 \times 24h$; Measuring time $t_0 = 4h$; (LLoD according to german DIN 25482, Teil 1, ISO 11929 part 1)



