



Caractérisation de matériaux avancés à faible permittivité par Spectroscopie Temporelle d'Annihilation de Positons (PALS)

Julien Viret

Encadrement :

N.D. Alberola, C. Bas (LMOPS)

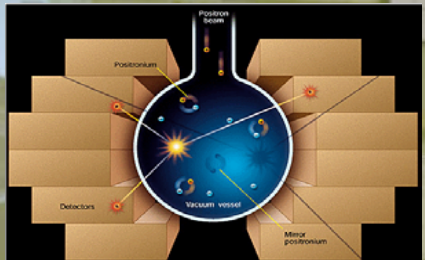
D. Sillou (LAPP)

Physique de l'Orthopositronium

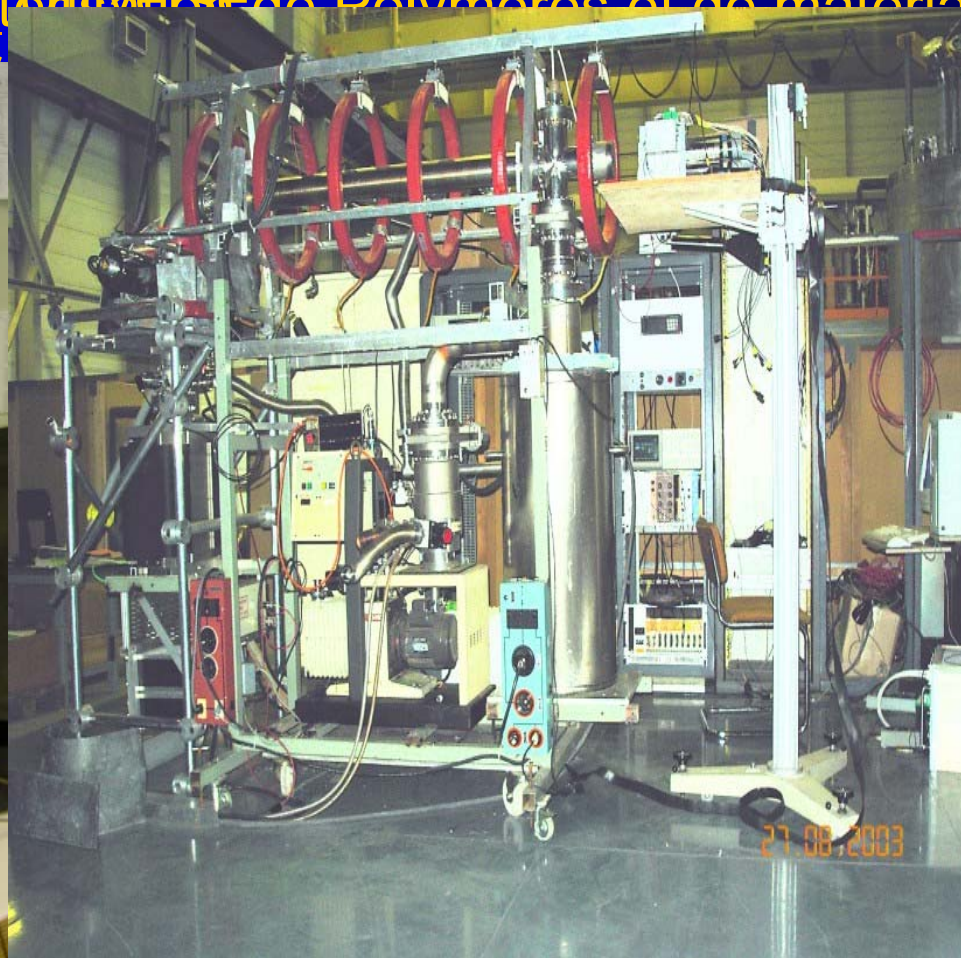
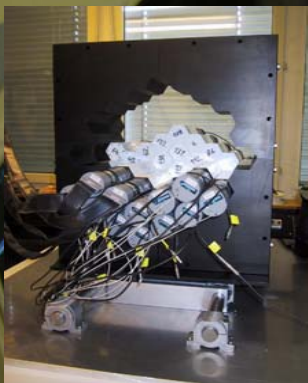
Physique fondamentale : Physique des matériaux : Faisceau Pulse

Physique fondamentale :

- Mirror Universe
- Mirror Dark Matter



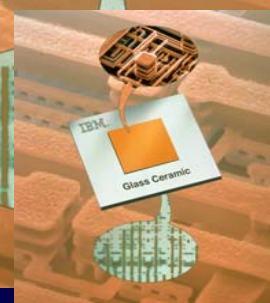
- Extra dimension



- Extra dimension

Physique des matériaux :

- Caractérisation de Polymères et de matériaux Low-k



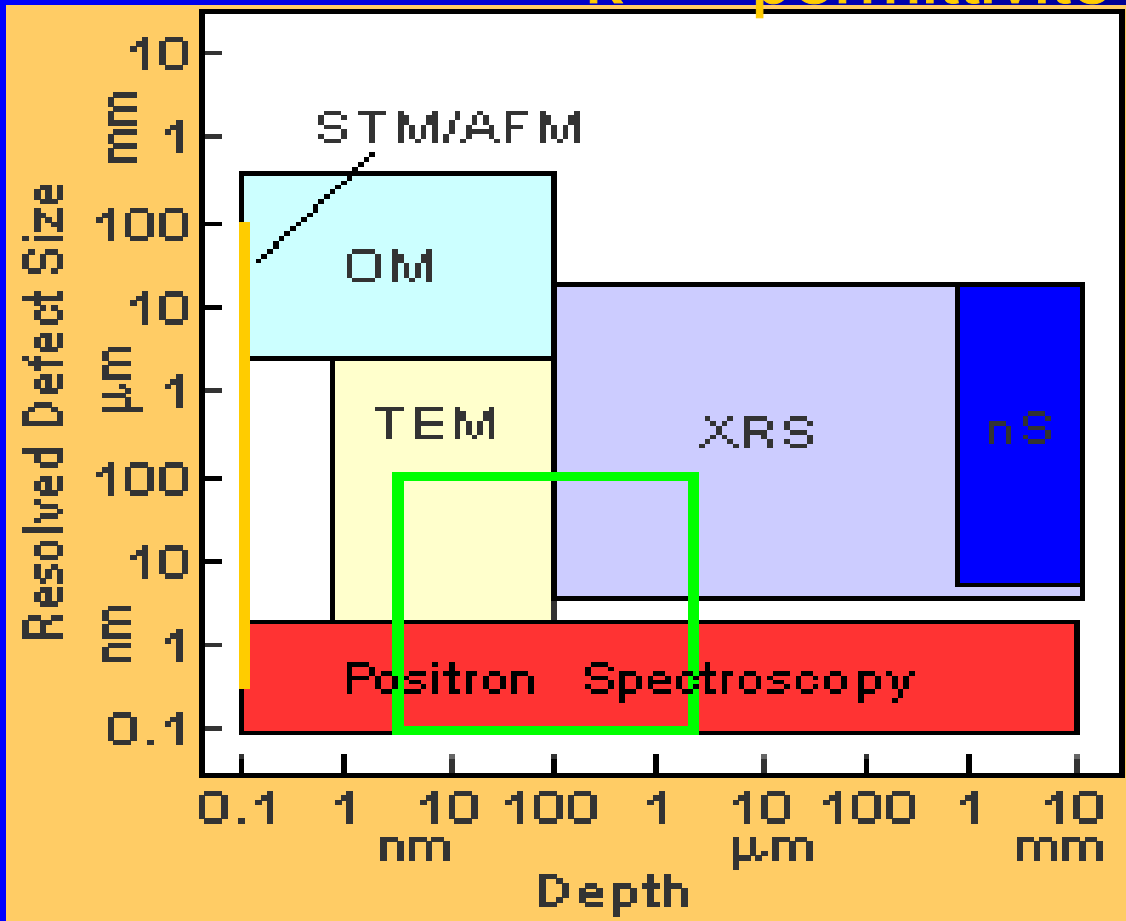
LMOPS Bourget du Lac _ LAPP Annecy le Vieux
ETH Zurich _ INR Moscou _ CERI Orleans
CEA/LETI de Grenoble

Julien Viret
26/11/2003

Caractérisation de Polymères et de matériaux Low-k

Taille des défauts accessibles par les différentes techniques en fonction de la profondeur accessible à l'analyse

$k \Rightarrow$ permittivité



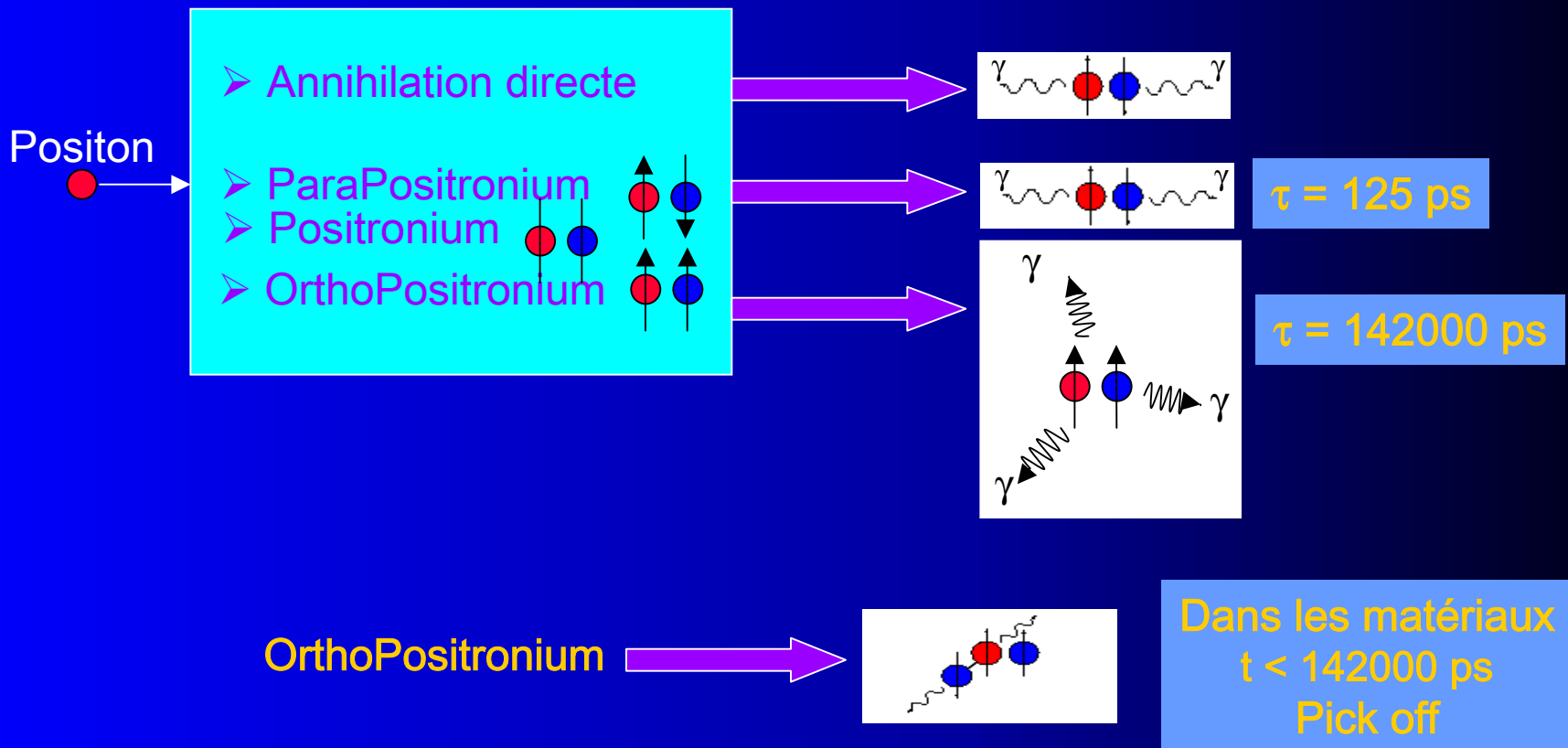
- OM : Microscopie Optique
- nS : Diffusion de Neutrons
- TEM : Microscopie Electronique par Transmission
- STM : Microscopie par Effet Tunnel
- AFM : Microscope à Force Atomique
- XRS : Diffusion de Rayons X
- PAS : Spectroscopie d'Annihilation de Positons

Région intéressante du point de vue de l'industrie des substrats semi-conducteurs et de l'interconnexion des composants.

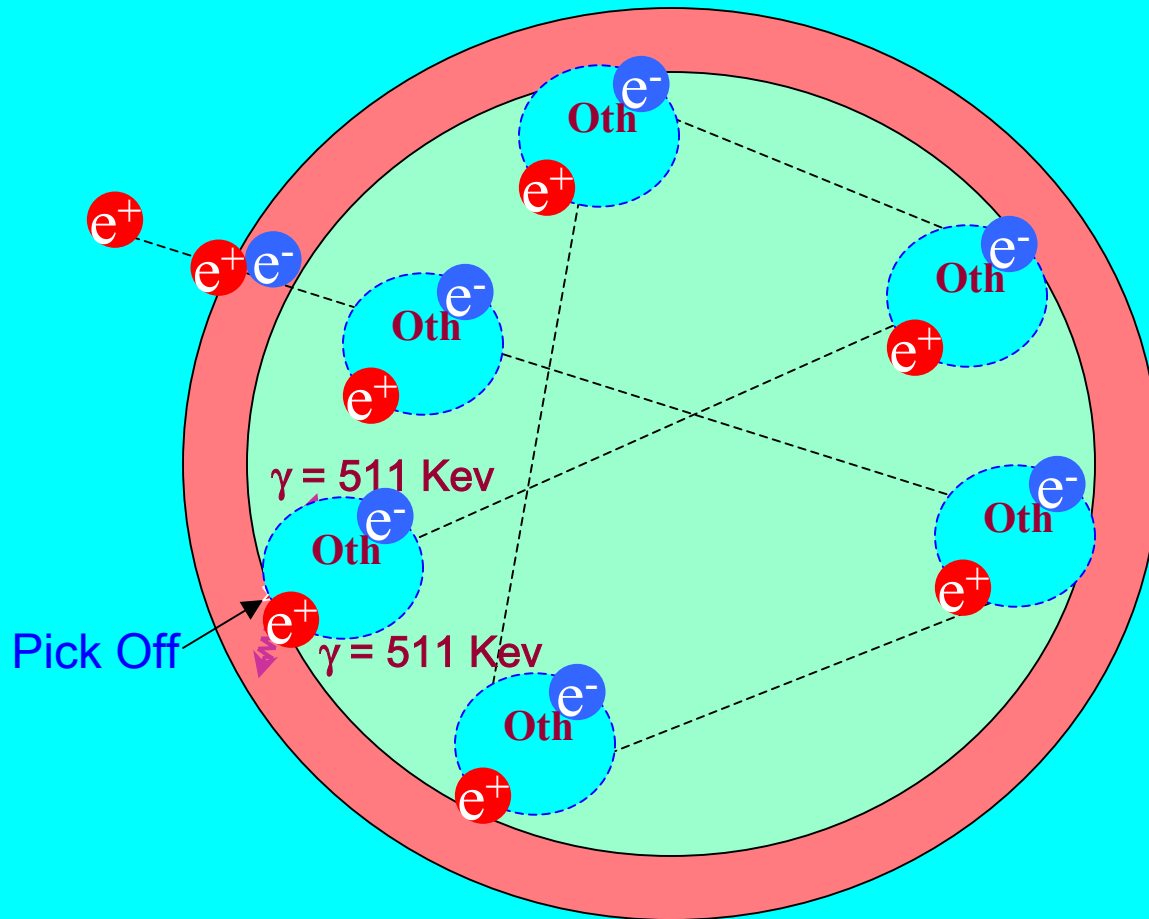
(issu du site du Lawrence Livermore Laboratory – University of California - USA)

Mise au point et réalisation d'un détecteur, PALS (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) permettant la caractérisation de matériaux nanoporeux.

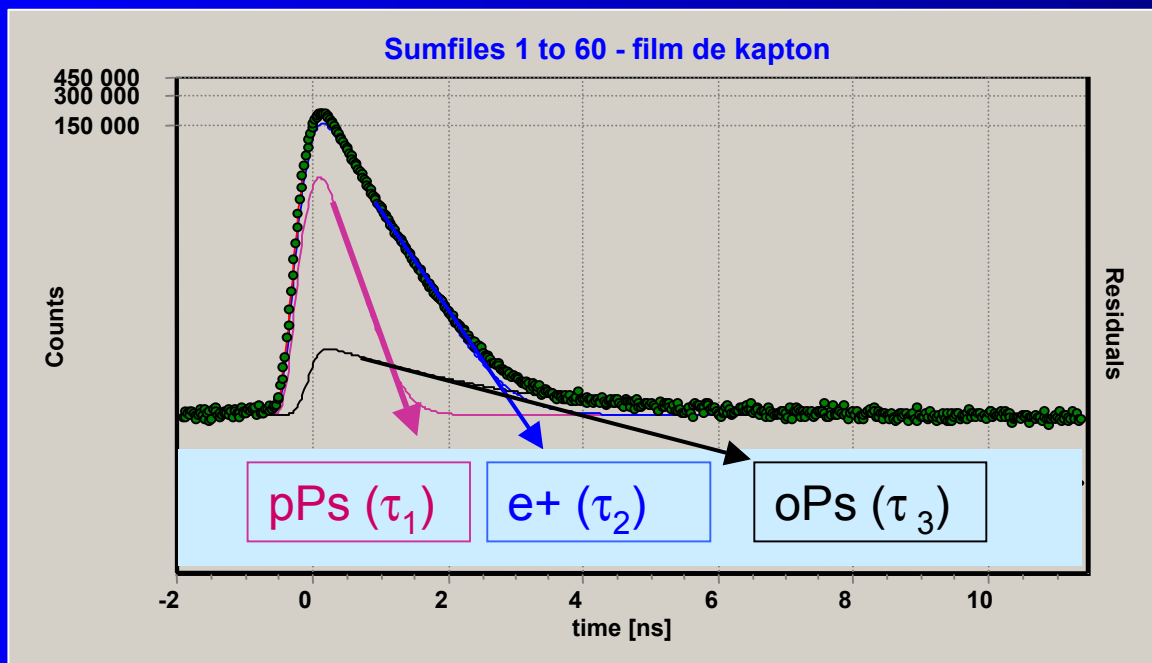
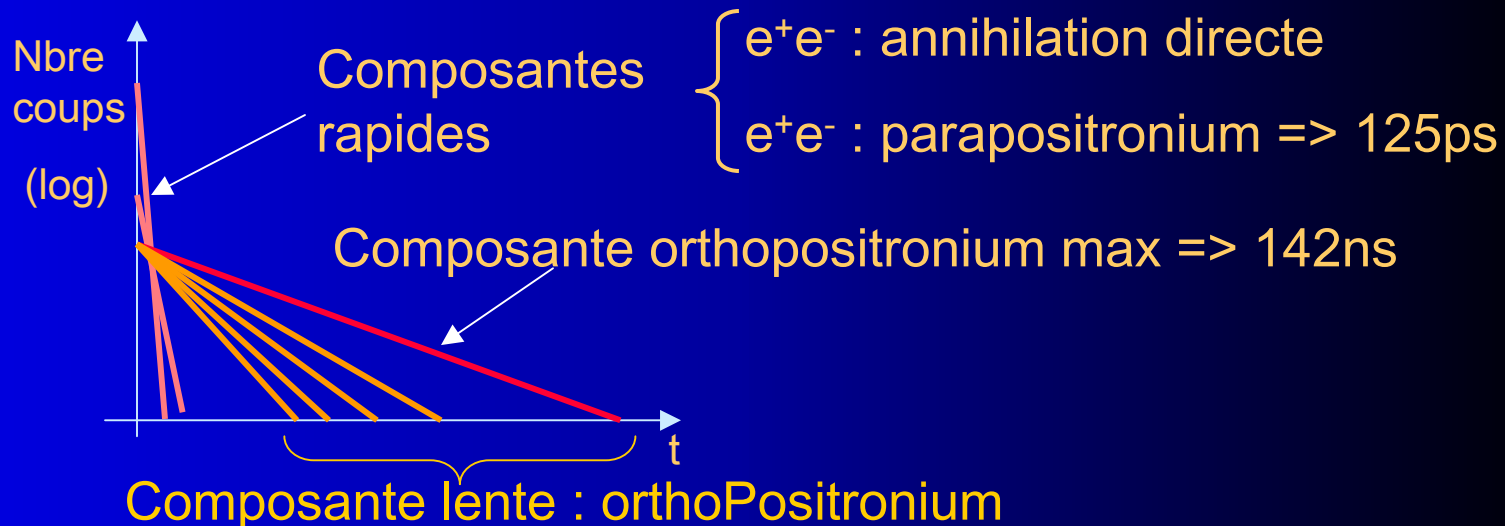
Principe physique



Principe de mesure du temps de vie



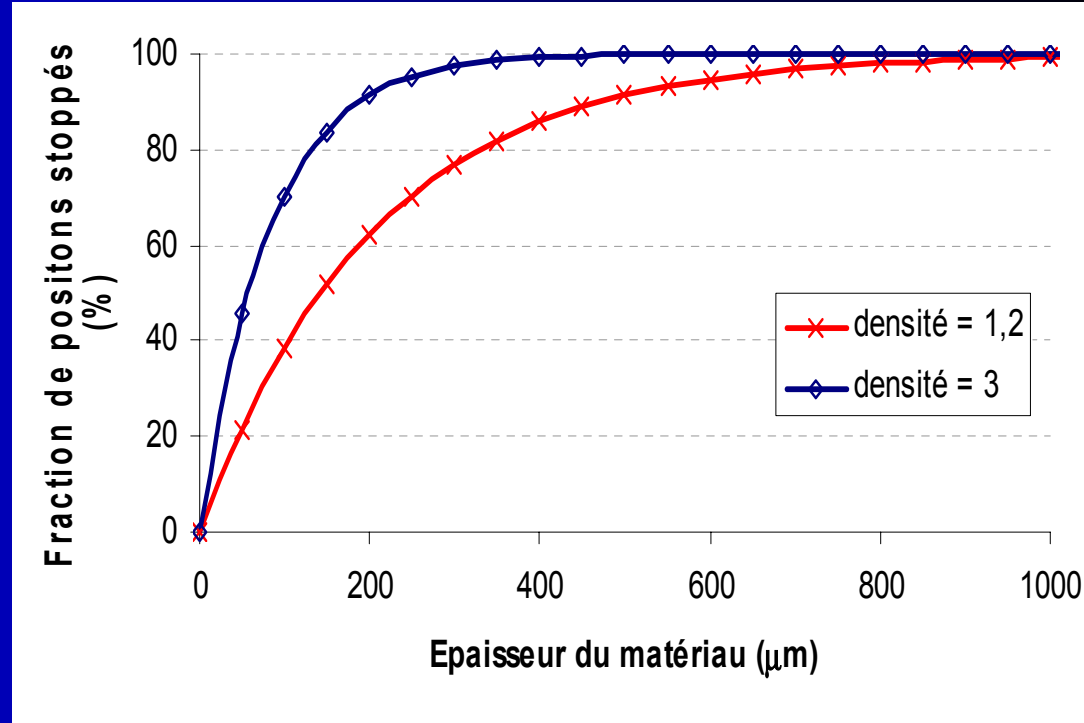
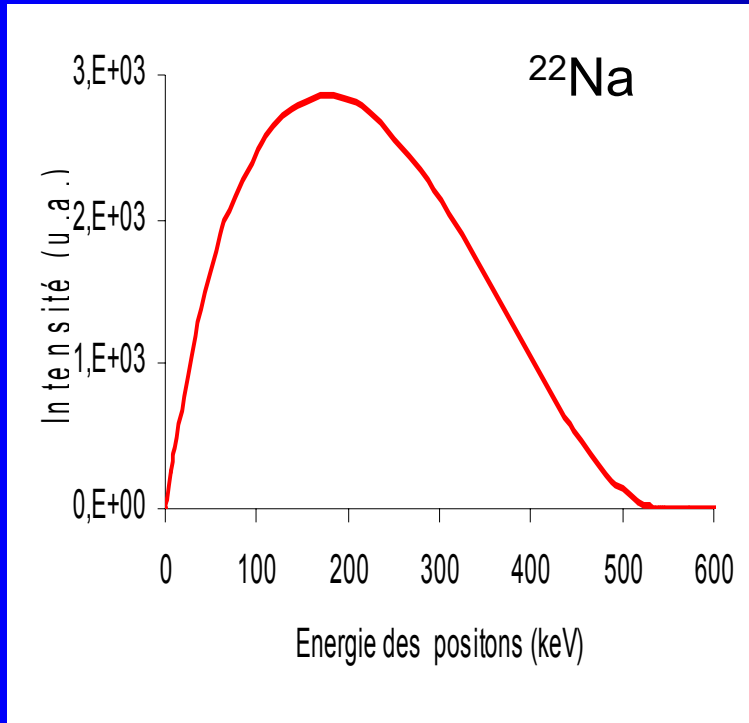
Spectre de la mesure du temps de vie



Besoin d'un grand nombre d'évènements : 1 000 000

\Rightarrow Déconvolution

Précision de la mesure



Le profil d'implantation des positons émis peut être décrit par :

$$P(x) = e^{-\mu x}$$

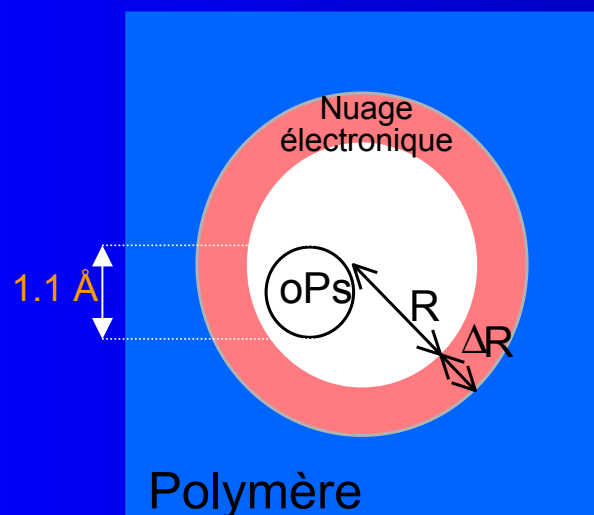
avec : $\mu(\text{cm}^{-1}) = 16 \cdot \rho(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) \cdot E_{\text{max}}^{-1,43} (\text{MeV})$

Capacité de la mesure du PALS

Détection de la taille des pores :

- Détecte jusqu'à une profondeur de 700 μm pour une densité de 1,3 g/cm³
- Détecte des tailles de pores allant de 0,1nm à qqs nm.

Tailles des pores : Modèle de *Tao-Eldrup*



[*] J. Chem. Phys.(1972) **56**, 5499
Chem. Phys. (1981) **63**, 51

$$\tau_3 = 0,5 \cdot \left[1 - \frac{R}{R + \Delta R} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi \cdot R}{R + \Delta R}\right) \right]^{-1}$$

τ_3 en ns

R en Å

$\Delta R = 1,66$ Å

Principe du PALS

Résolution en temps :

Scintillateur + PM

Nbr photons
détectés

$$\frac{\tau}{\sqrt{N}}$$

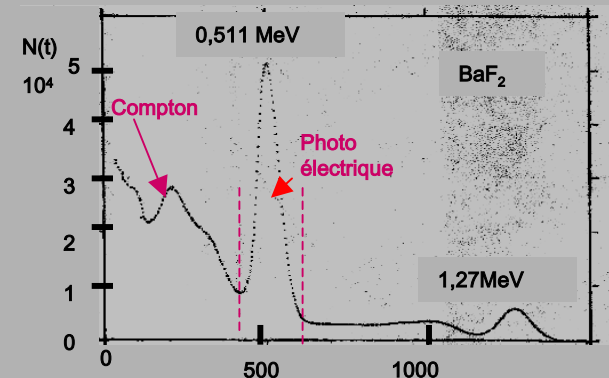
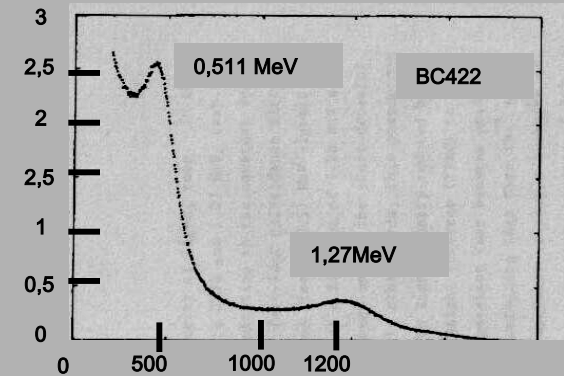
Le Détecteur est formé par :

Photo-Multiplicateur

Scintillateur

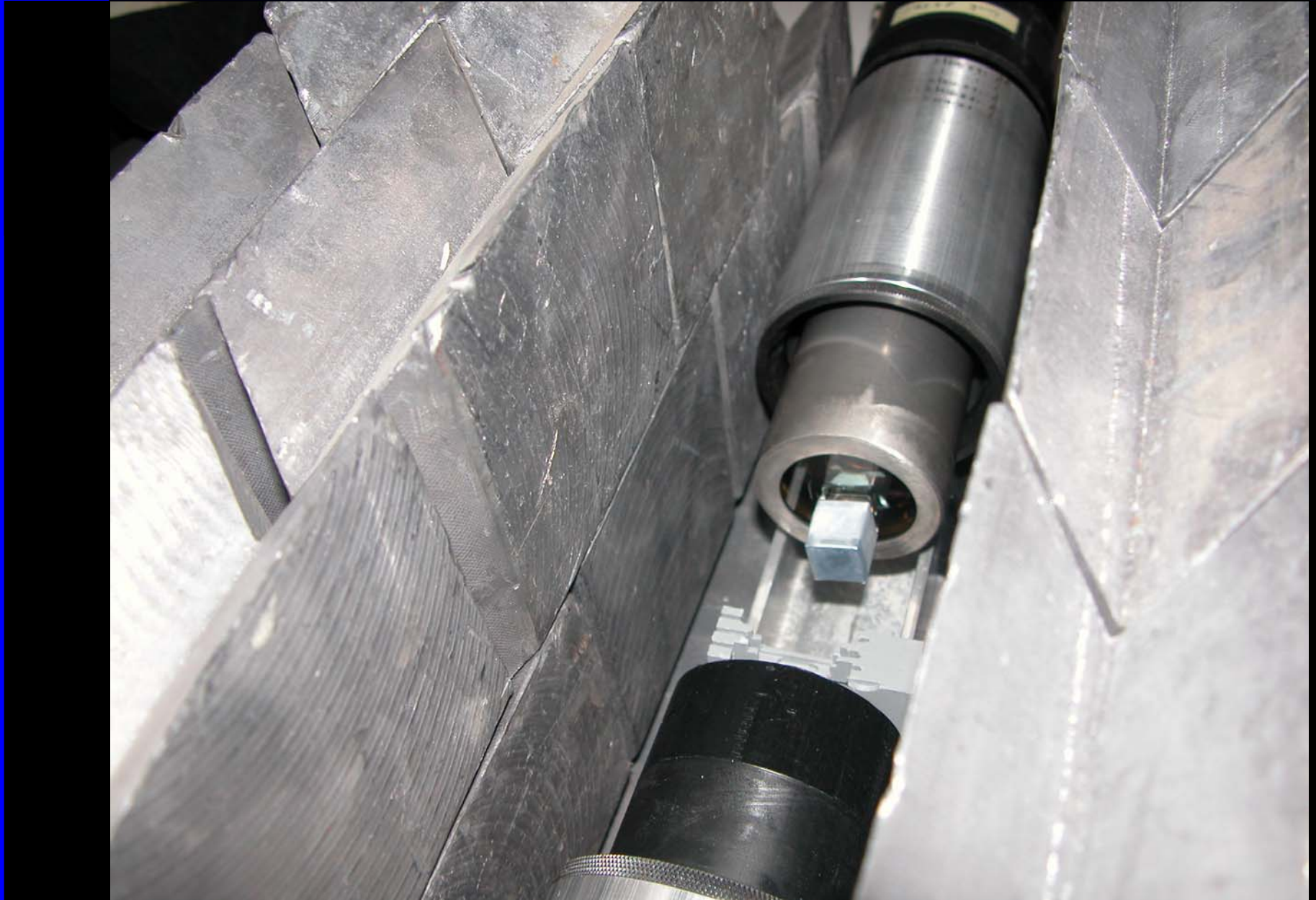


	Inorganique BaF ₂	Organique BC 422
Temps de décroissance (ns)	0,7	1,6
Pic d'émission λ (nm)	220	370
Rendement lumineux (relatif au NaI) en %	5	25
Photo-fraction (%)	19	≈ 0

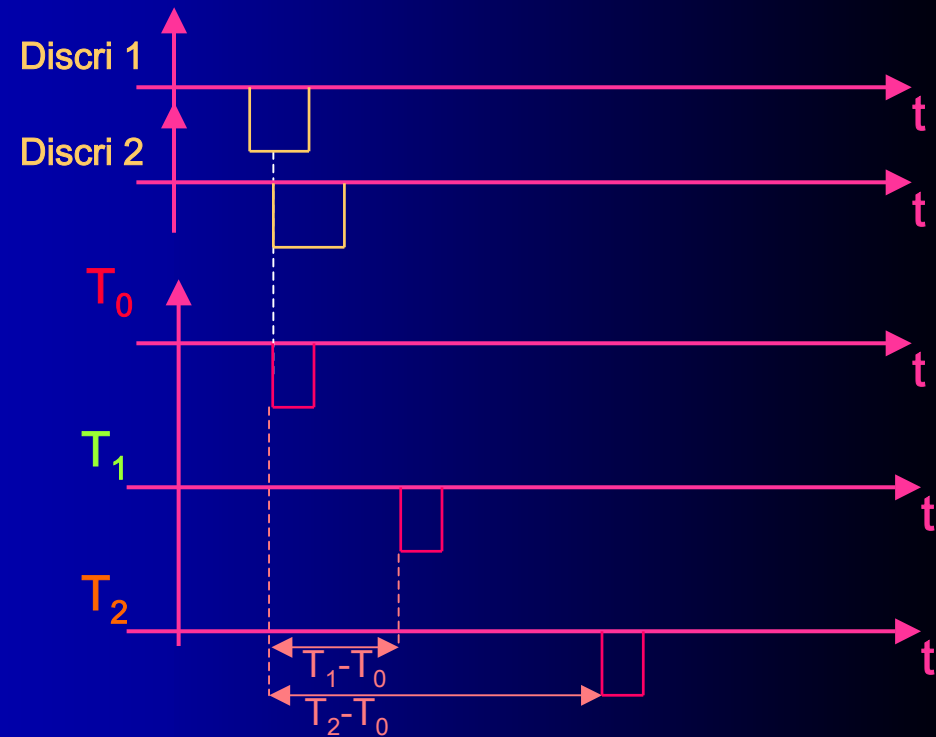
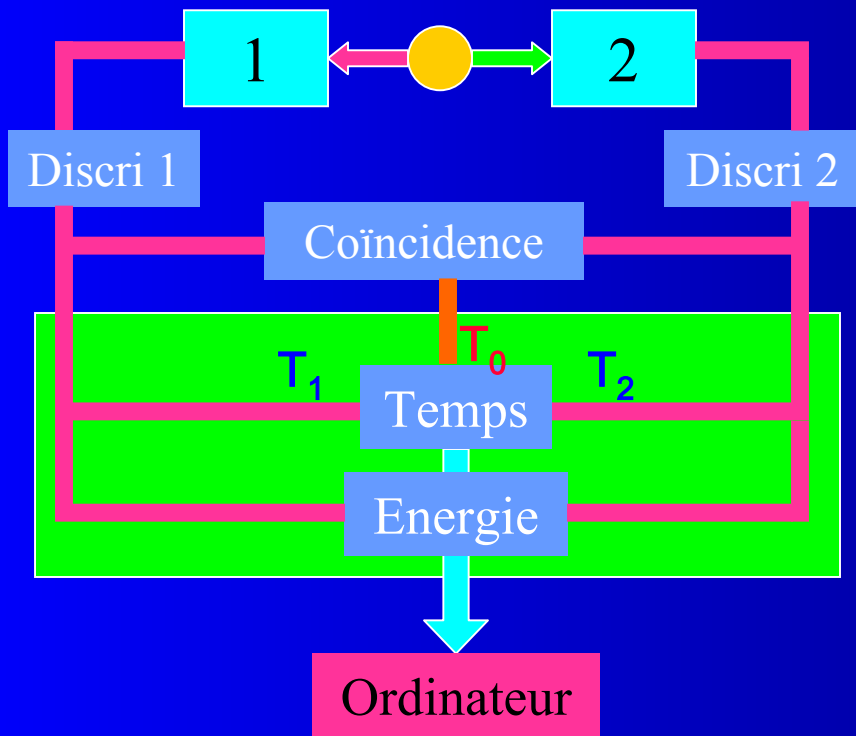


Marque et référence	Domaine spectral (nm)	QE (%)	Gain	Temps de montée (ns)	Temps de transit moyen (ns)	TTS (ns)
Philips XP2020Q	150 – 650	17 / 220nm	40.10 ⁶	1,5	28	0,25

Exemple de detecteurs "Classique"



PALS au LAPP



- 1) Acquisitions des évènements sur disque
- 2) Mesure des temps et des énergies
- 3) Définition d'un trigger en coïncidence

Seuil, Stabilité => Off Line

Déclenchement sur n'importe quel détecteur

Taux comptage X2 (1 000 000 évènements)

Systeme d'acquisition

Mesure avec l'ADC

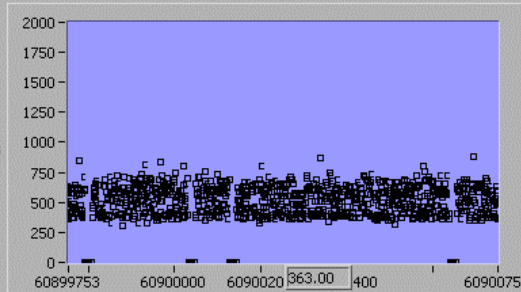
VISA session ADC

VX10::270:

Nbr erreur lecture ADC

341.00

Erreur lecture ADC

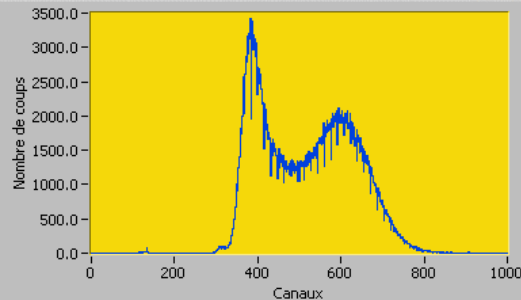


Plein ecran
Arrive coups



Energie 0

Plot 0

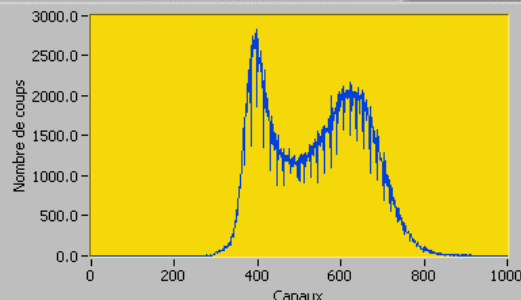


Plein ecran
Energie 0

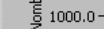


Energie 1

Plot 0



Plein ecran
Energie 1



Mesure avec le TDC

VISA session TDC

VX10::266:

Erreur lecture TDC

0.00

Nbr d'évé détecté

1358983

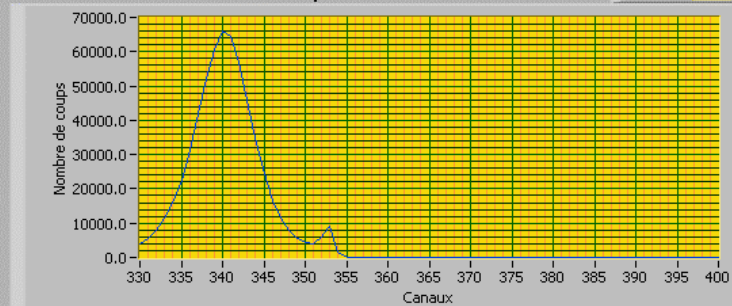
Pas un Event Counter

0.00



Grphe T0 = Start

Plot 0

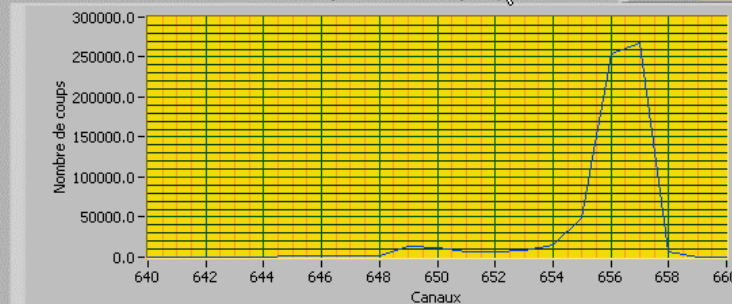


Plein ecran T0



Grphe T1 = Stop

Plot 0

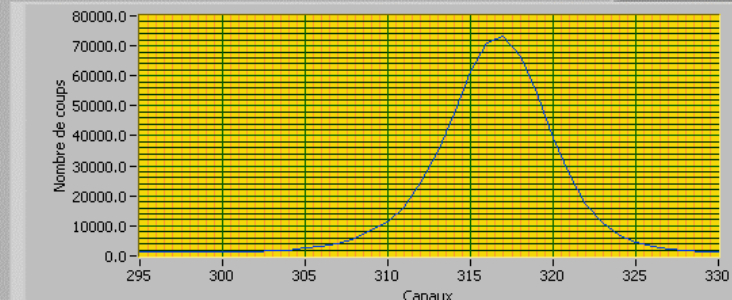


Plein Ecran T1

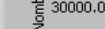


Grphe T1-T0 = Lifetime

Plot 0

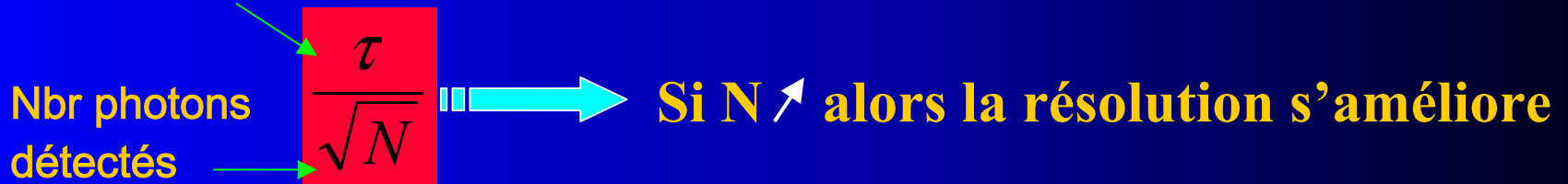


Plein Ecran T1-T0



Amélioration de la quantité de lumière collectée : Contact optique et enrobage du cristal

Scintillateur + PM



Matière enrobante

Mylar Aluminé

Millipore

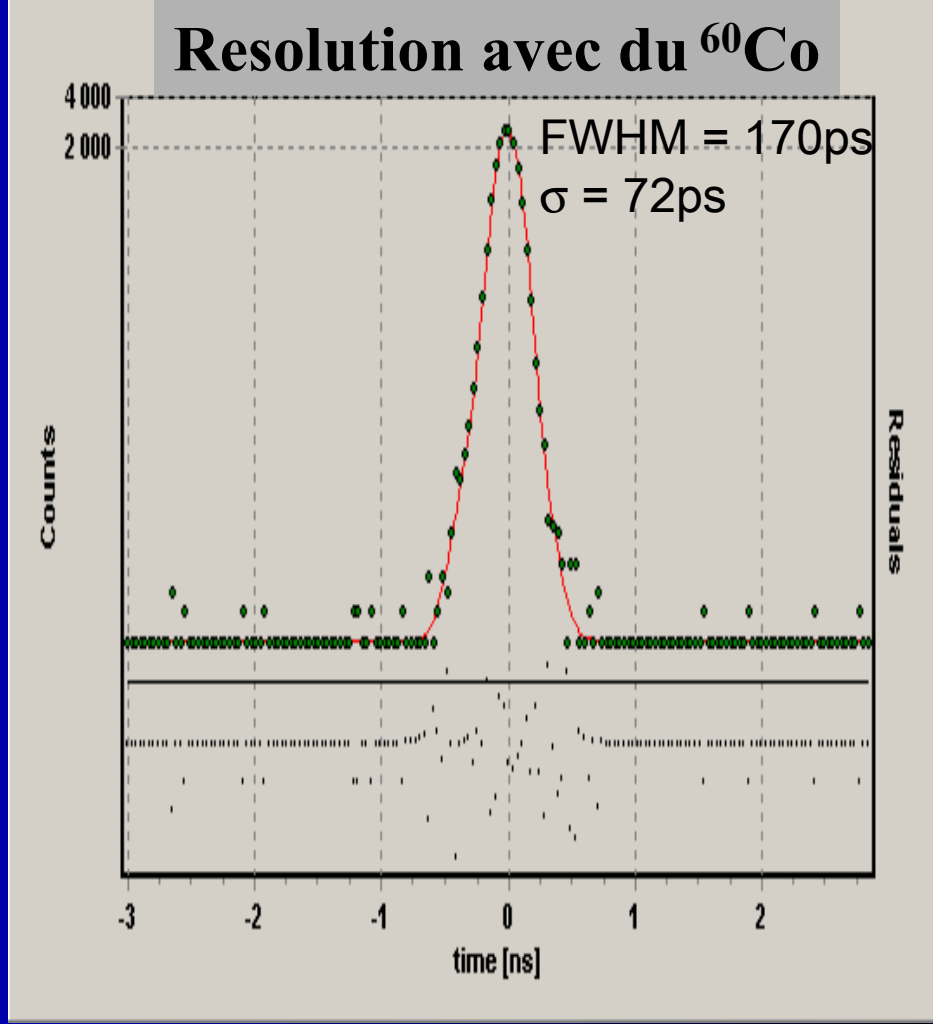
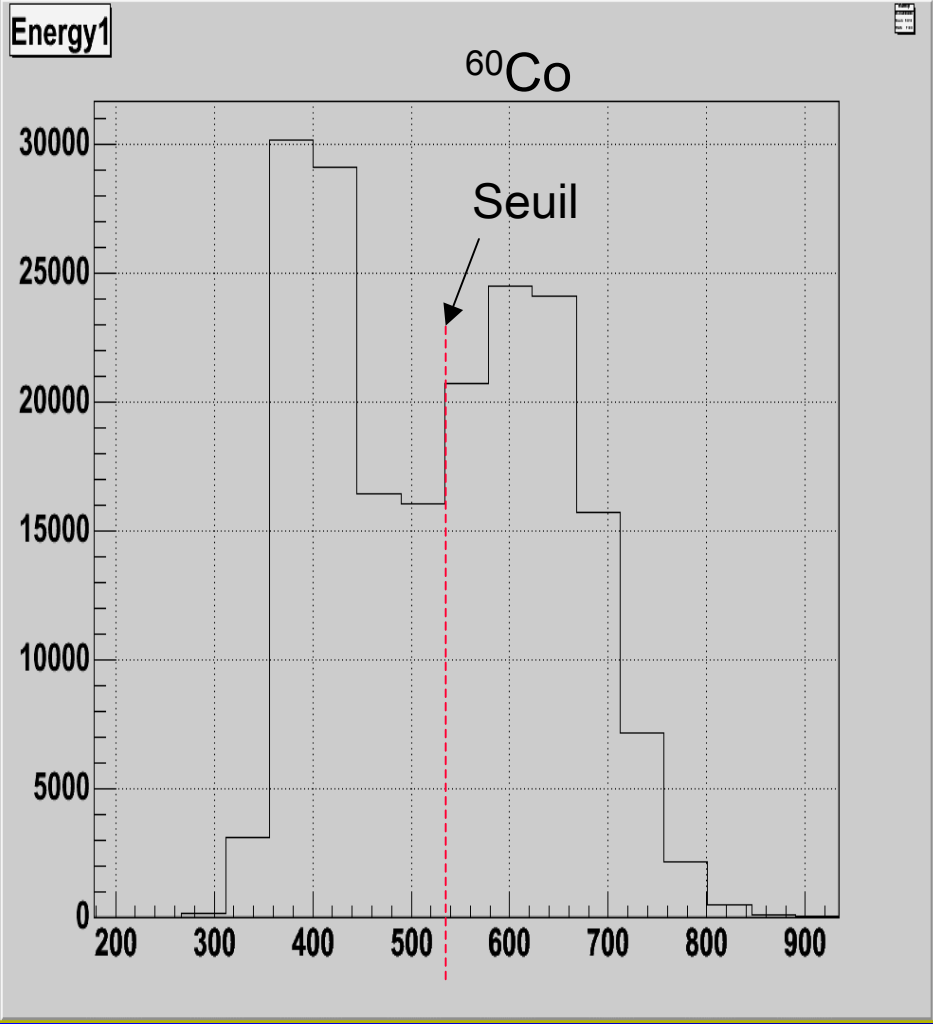
Tedlar blanc

Tedlar noir

Tavek

Teflon

Mesure de la résolution avec du ^{60}Co



Résolution mesurée sur ^{60}Co

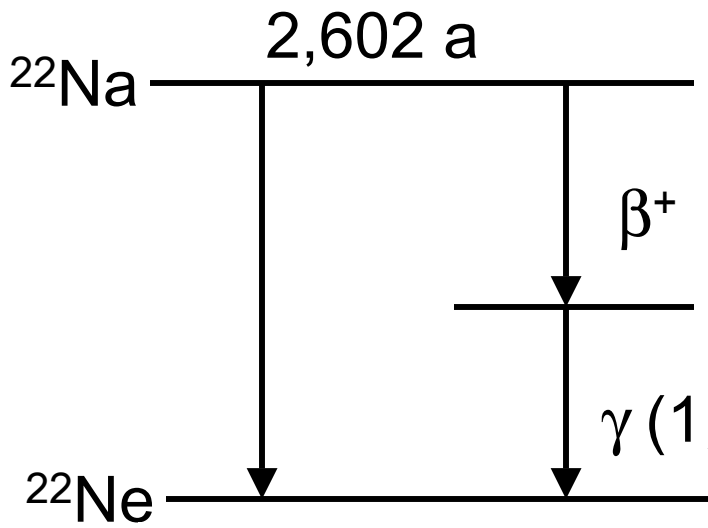
année	Auteur	FWHM avec du ^{60}Co	Type de cristal	Taille des cristaux
1999	Becvar, Cizek	235ps	BaF2	Diam 25 mm, haut 10 mm Diam 25 mm, haut 10 mm
2000	Cizek	220ps	BaF2	Diam 25 mm, haut 12 mm => start Diam 25mm 40mm, haut 25 mm => stop
2001	H.Saito (digital)	140 _ 170ps	BaF2	Diam 28 mm, haut 20 mm Diam 28 mm, haut 10 mm
2003	Barthe	218ps	Plastique BC422	Diam 40 mm, haut 30 mm Diam 30 mm, haut 20 mm
2003	Viret et al	170ps	BaF2	Cube 15 mm par 15 mm, haut 20mm

Conclusions

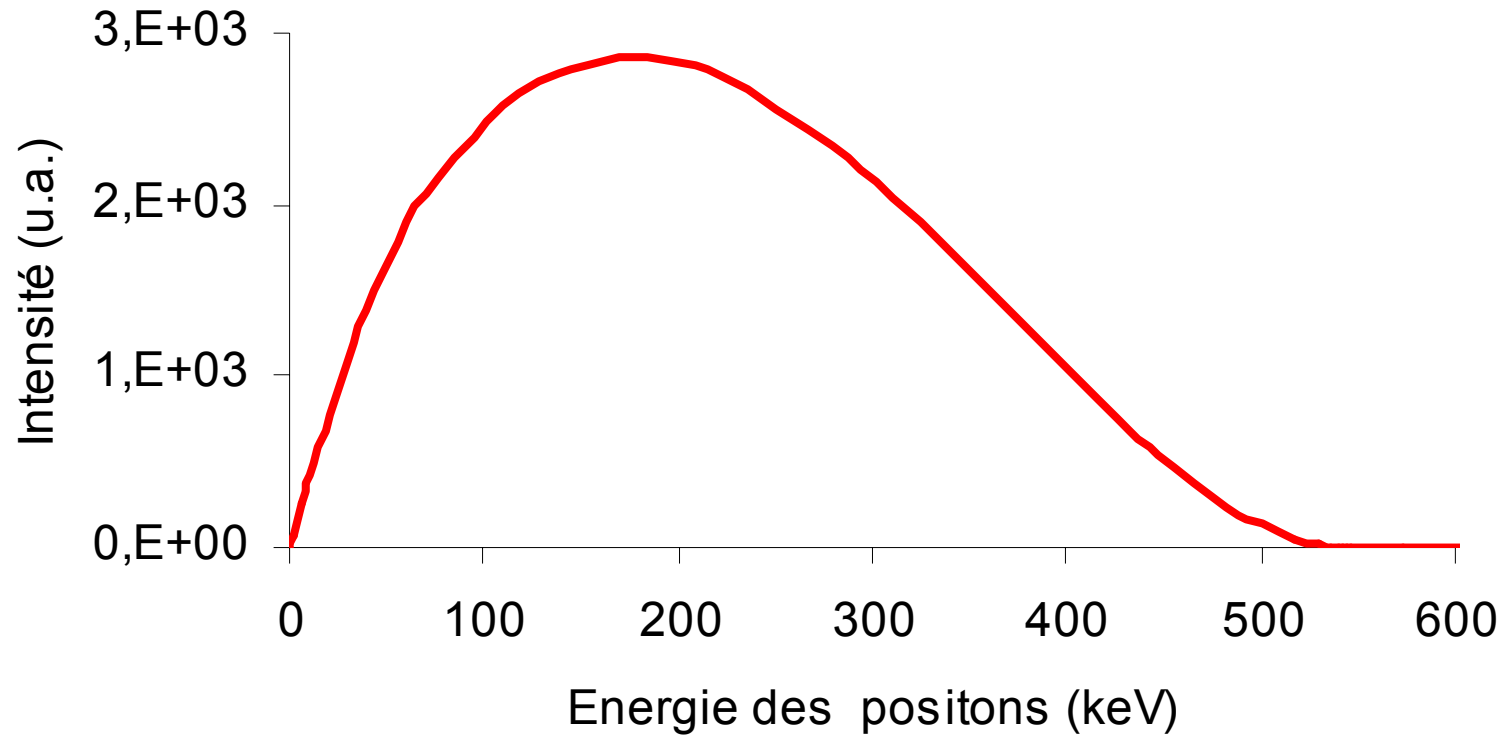
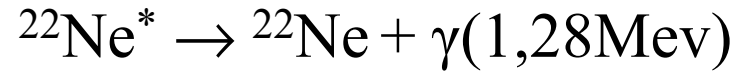
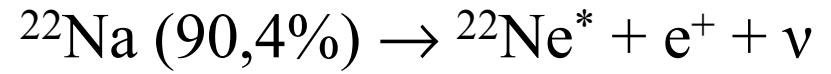
Notre PALS	PALS "classique"
Détecteurs doubles (à la fois Start et Stop) => Angle solide X2	détecteurs dédiés (un Start et un Stop)
Enregistrement des évènements sur disque => Analyse off line	Tracé direct du temps de vie => Histogramme
1 Seuil minimum, ajustement en software => Analyse off line	Seuils fixes en énergie => Encadrement 511 keV et 1,28MeV
Mesure de l'énergie => Analyse off line	
Bruit de fond diminué (coïncidence)	Beaucoup de temps morts => Start sans Stop

Perspectives

- Améliorer la collection de lumière => améliorera la résolution en temps.
- Ajout d'un contrôle des gains de PM.
- Possibilité de s'affranchir du CFD grâce à l'analyse off line ?
- Possibilité d'ajouter des détecteurs pour améliorer le taux de comptage.
- Validation du banc :
 - _ Étude croisée avec d'autres Laboratoires.
 - _ Comparaison avec d'autres techniques.
- Ajout du faisceau de positon pulsé.



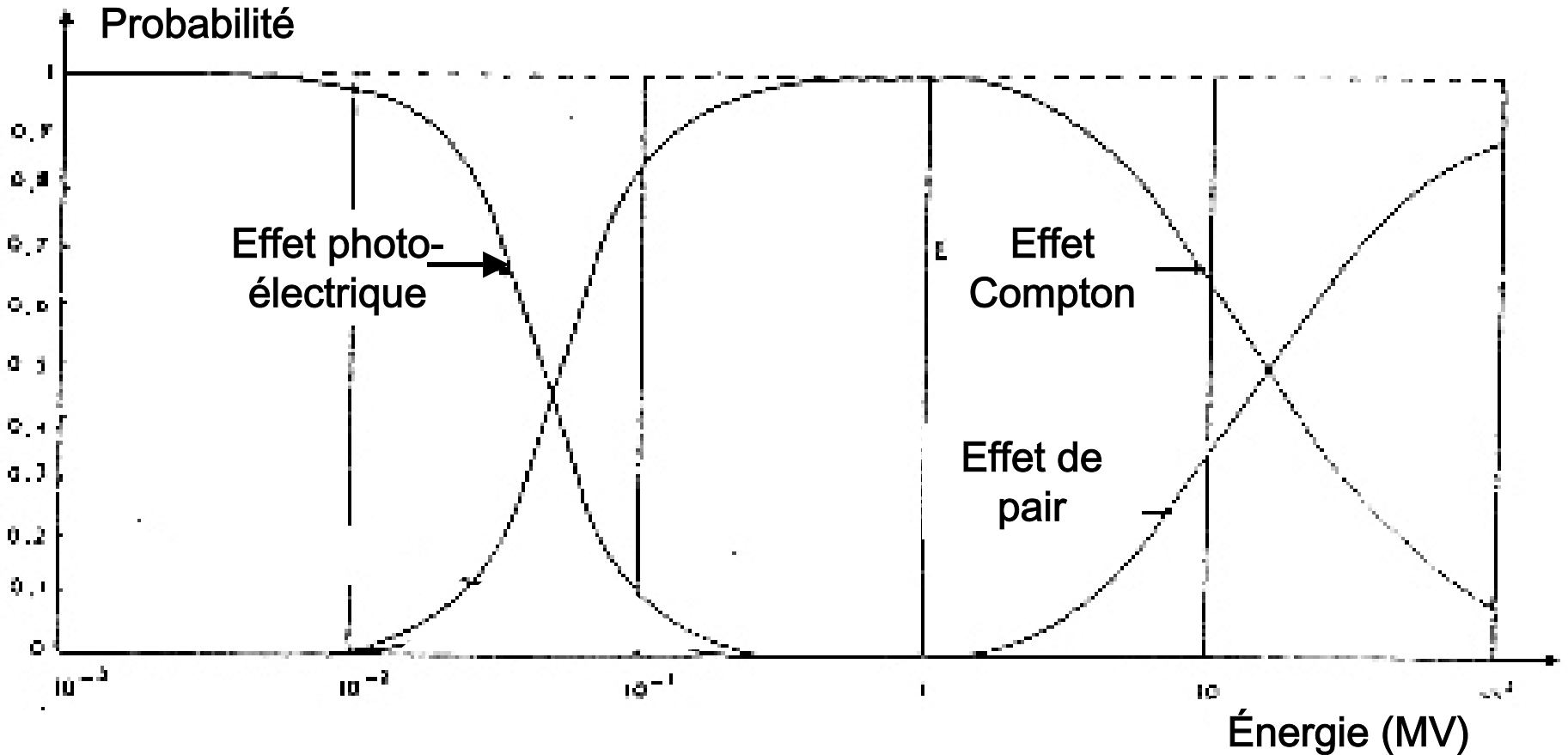
Source ^{22}Na



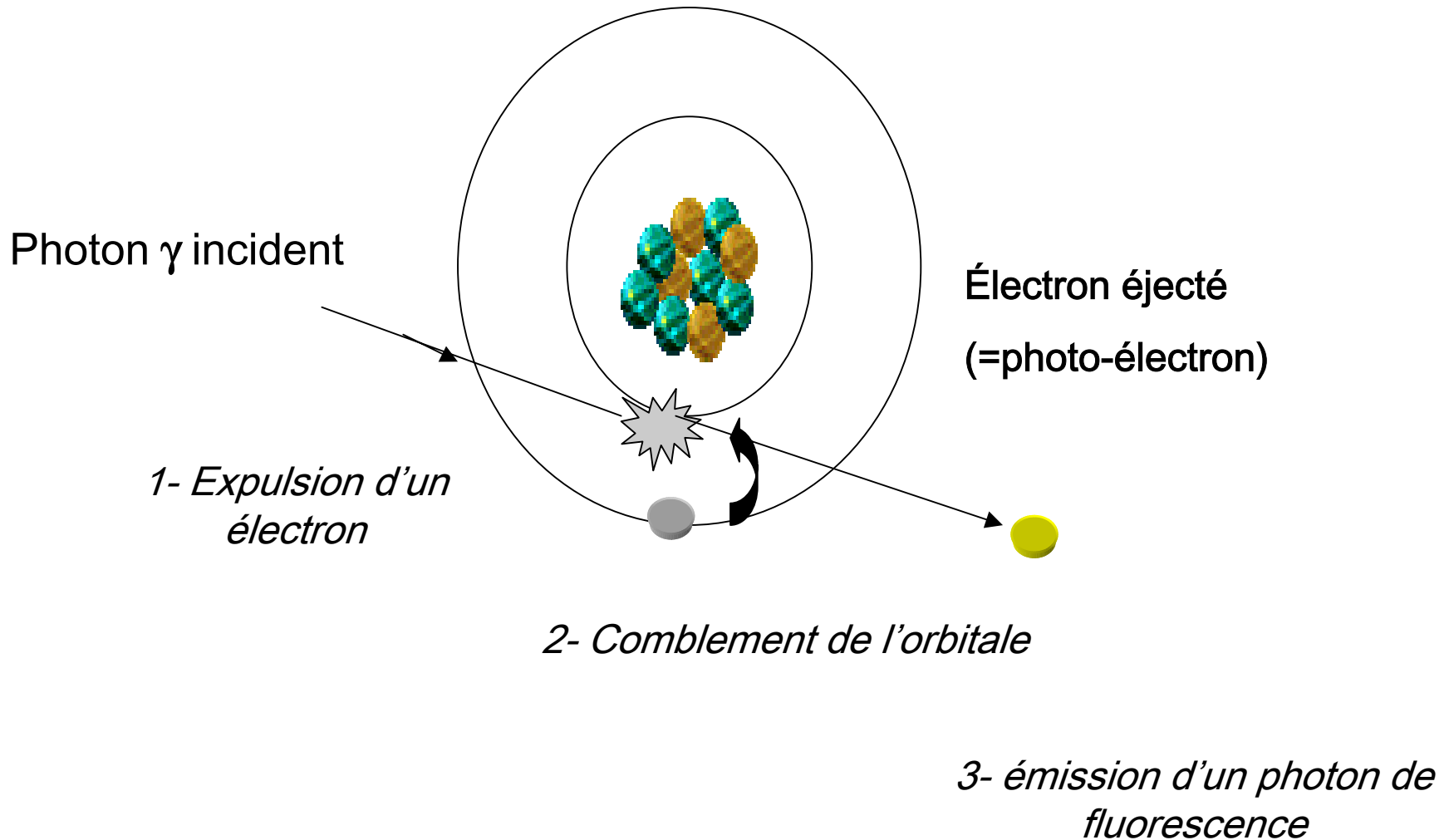
Choix des Isotopes

Radioisotope	Fraction de positon (%)	Temps	Emax des positons émis	E_{γ} (MeV)
C11	99	20 mois	0,977	
Na22	90	2,7 ans	0,54	1,28
Tl44	88	47 ans	1,47	1,16
Ni57	46	36 heures	0,4	1,4
Co58	15	71 jours	0,48	0,81
Cu64	19	12,8 heures	0,66	
Zn65	1,7	245 jours	0,33	
Ga68	88	275 jours	0,98	

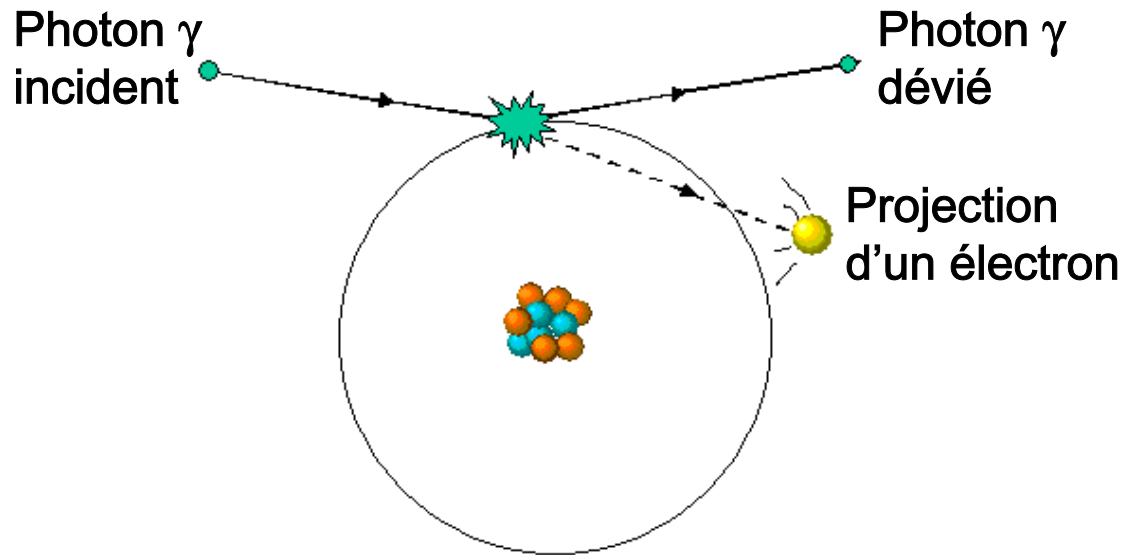
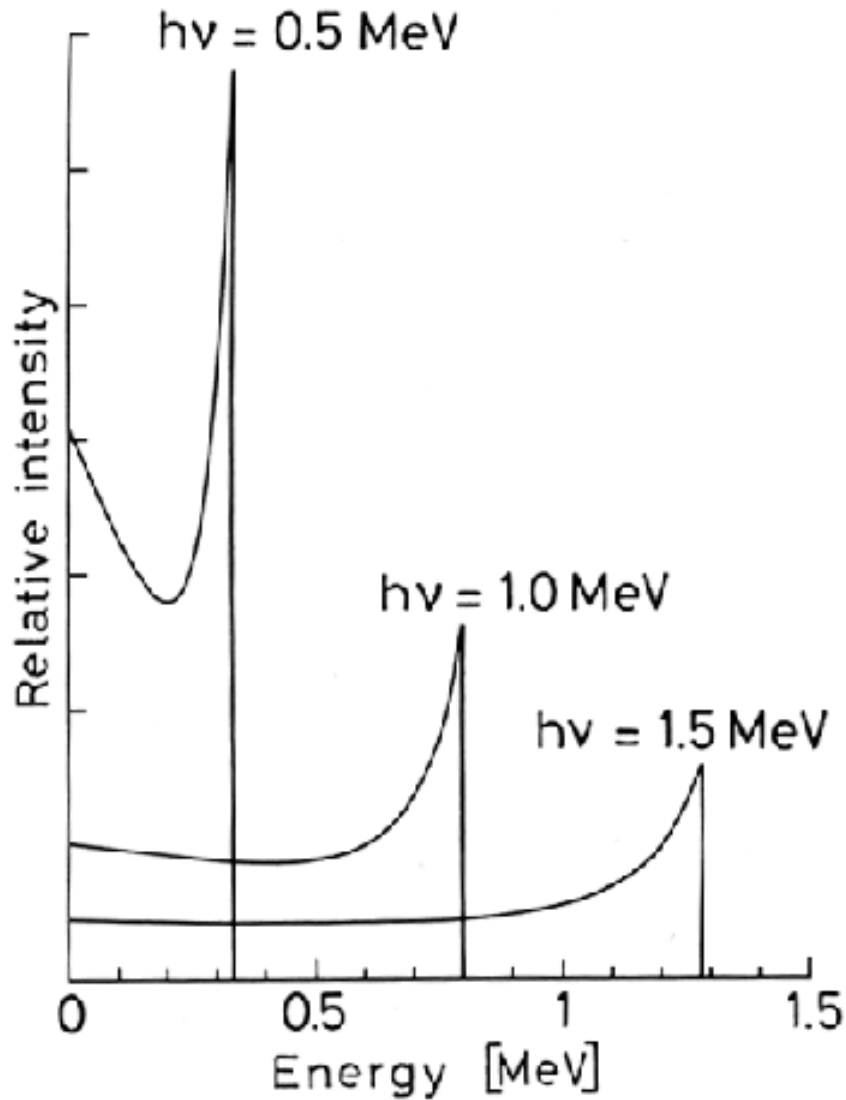
Participation des divers effets



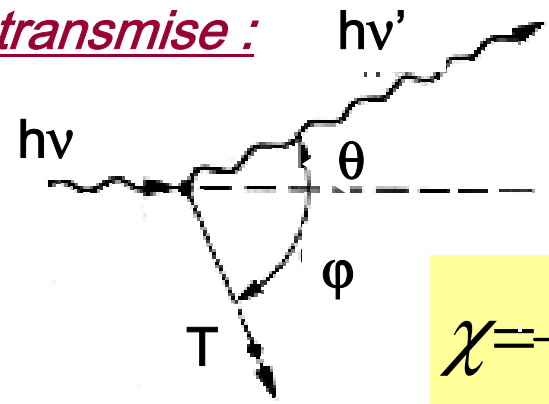
Effet Photo électrique



Effet Compton



Énergie transmise :



$$\chi = \frac{h\nu}{m_e c^2}$$

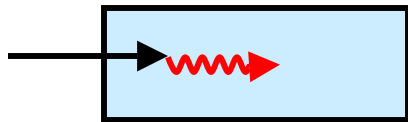
$$T = E_c \chi (1 - \cos\theta)$$

$$E_c = \frac{E_0}{1 + \chi(1 - \cos\theta)}$$

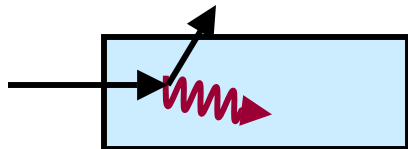
$$T_{\max} = \frac{2\chi E_0}{1 + 2\chi}$$

Double Compton

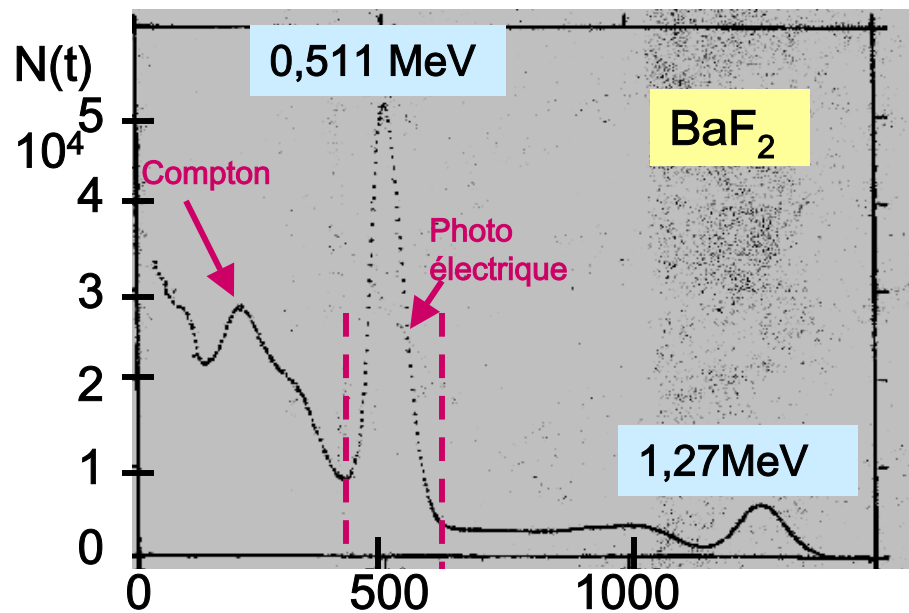
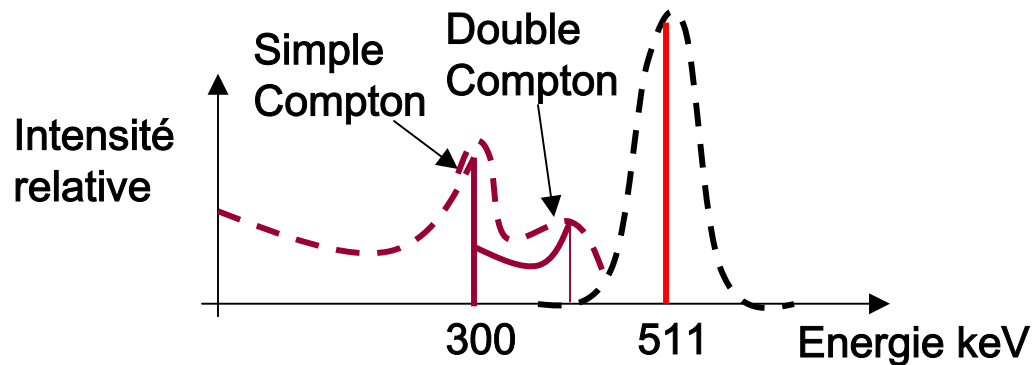
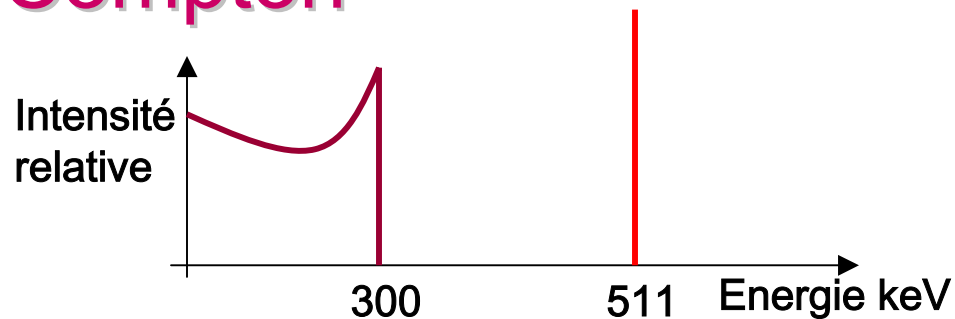
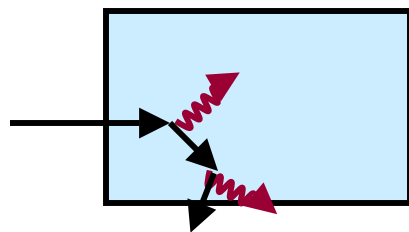
Un γ Photo-électrique :



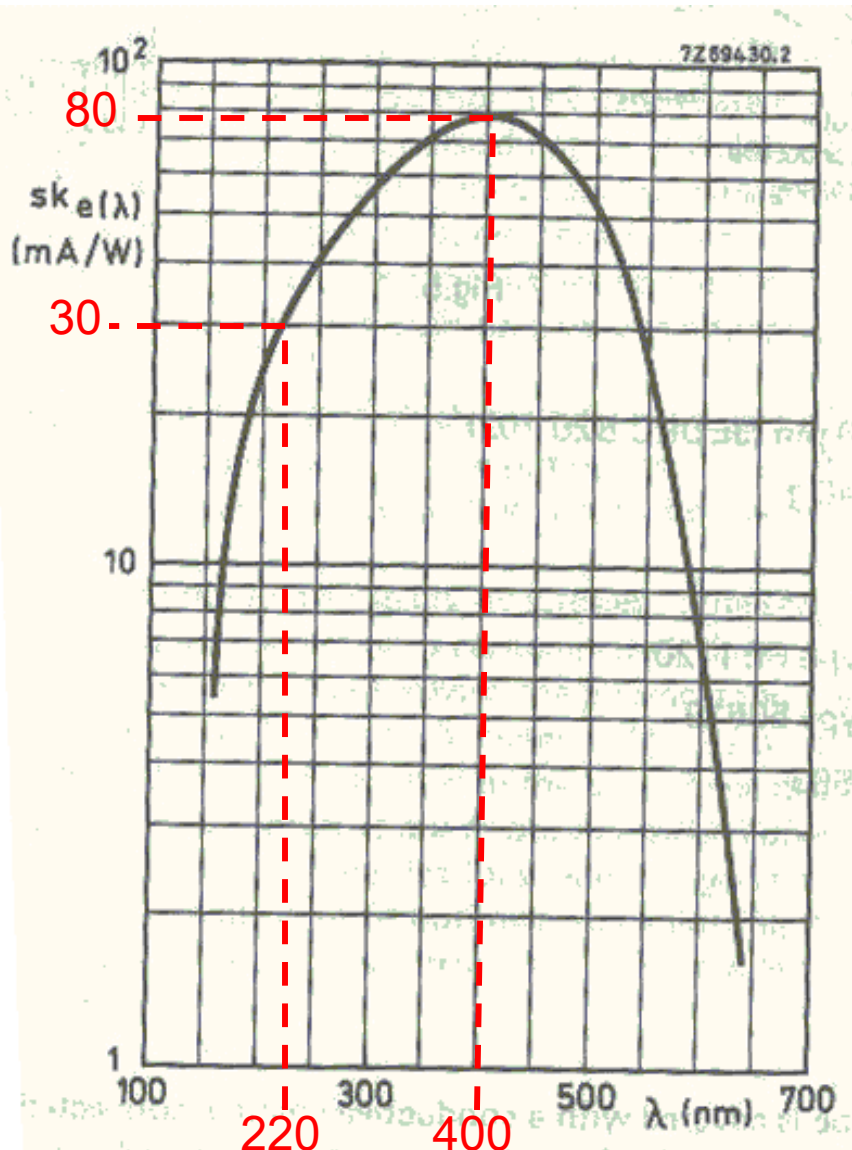
Un γ Compton :



Deux γ Compton :



Rendement quantique pour le XP 2020Q



$$QE (\%) = S_{ke}(\lambda) \frac{124}{\lambda}$$

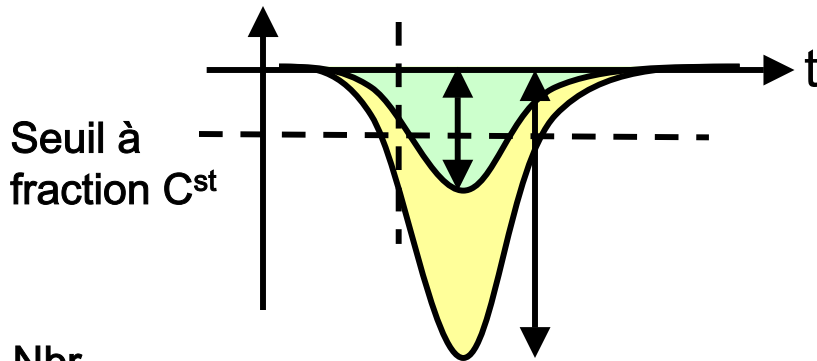
S_{ke} en mA/W

λ en nm

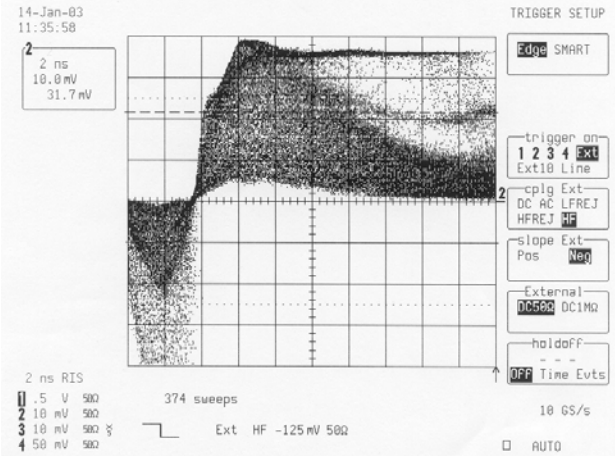
- A 400nm \Rightarrow QE=24,8%
- A 220nm \Rightarrow QE=17%

CFD

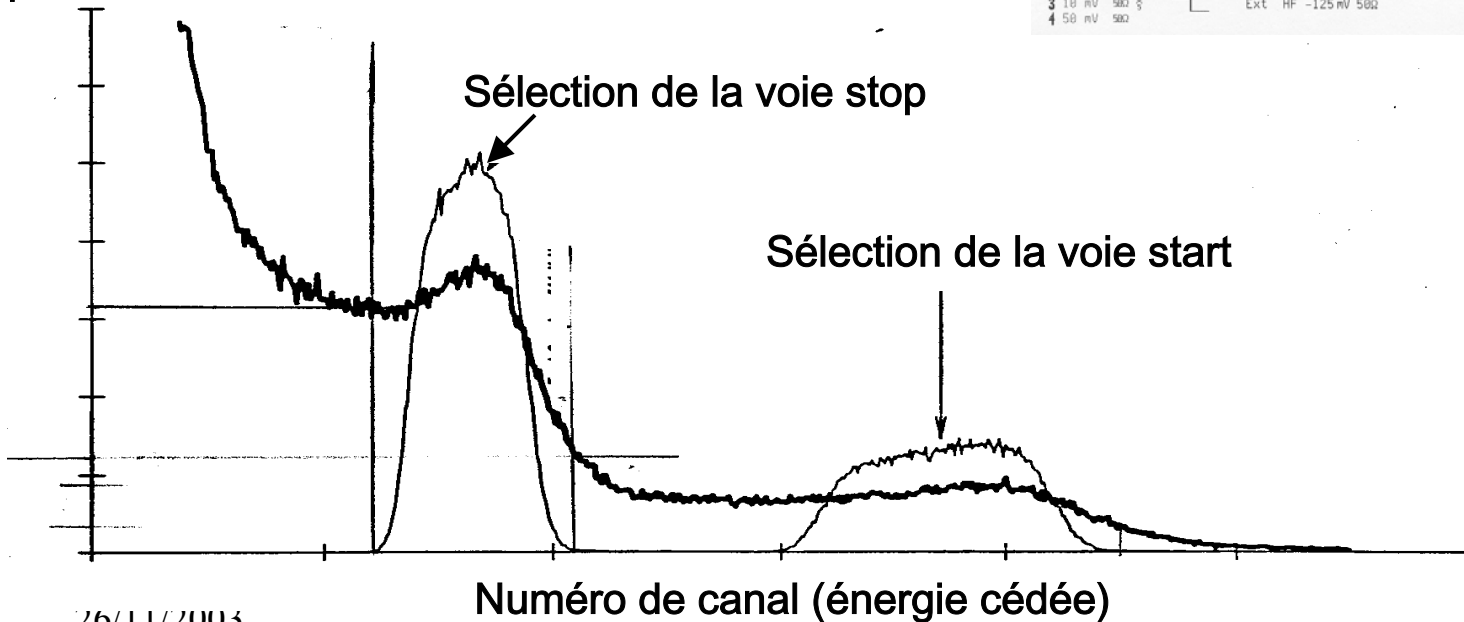
➤ changement de discriminateur à fraction constante => meilleur walk donc meilleure résolution.



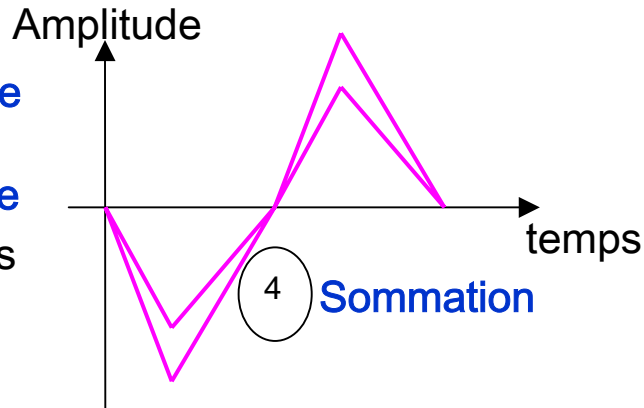
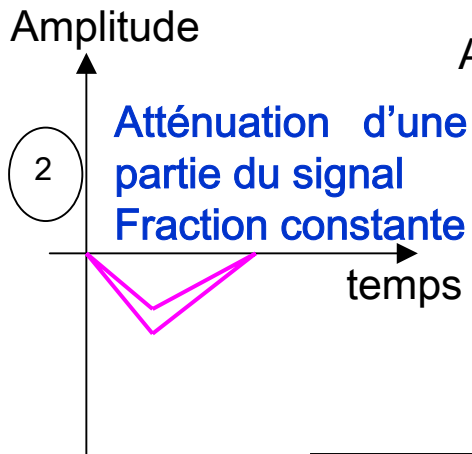
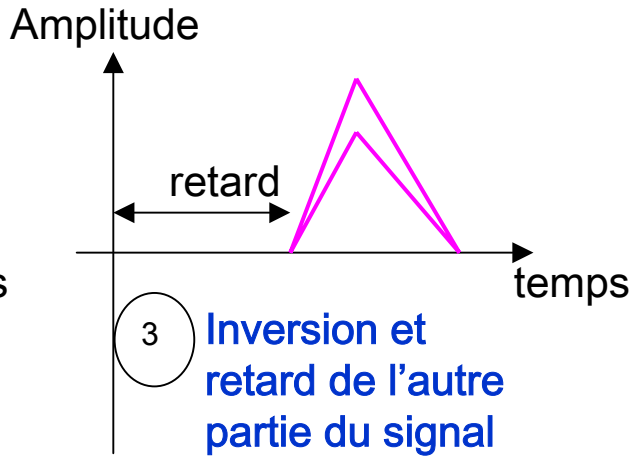
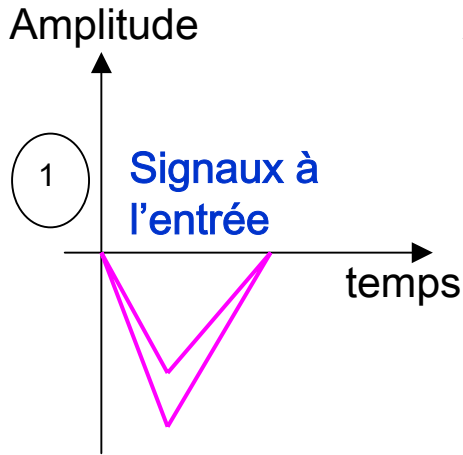
Réglage du Walk



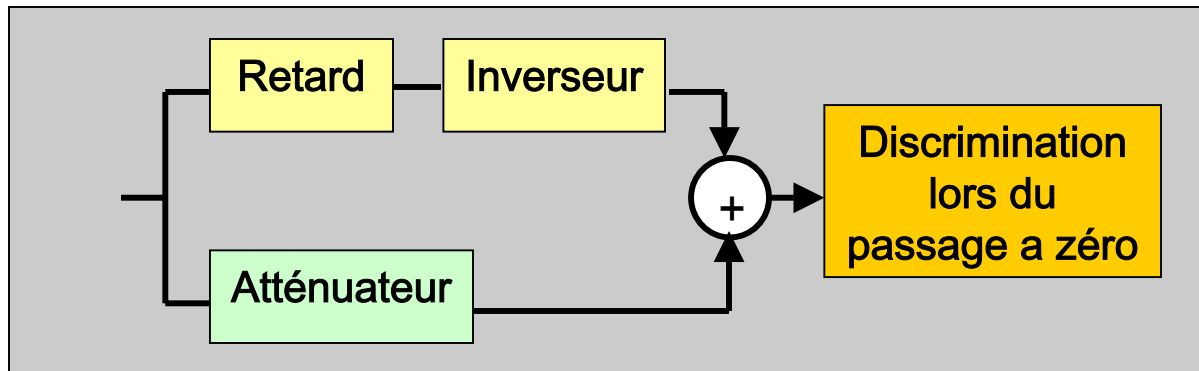
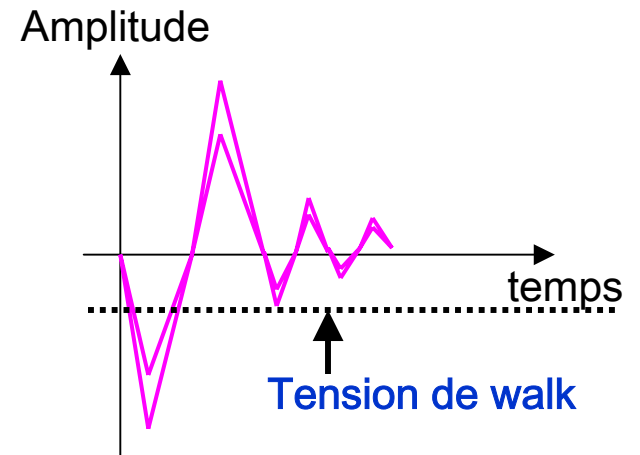
Nbr
d'impulsions



Discriminateur à fraction Constante



Réglage du WALK :



Calcul de la résolution en temps

$$P(t)dt = \alpha e^{-\alpha t}$$

$$\left. \begin{aligned} \langle t \rangle &= \int_0^{\infty} t \cdot P(t) dt = \frac{1}{\alpha} = \tau \\ \langle t^2 \rangle &= \int_0^{\infty} t^2 \cdot P(t) dt = \frac{2}{\alpha^2} \end{aligned} \right\} \sigma^2 = \langle t^2 \rangle - \langle t \rangle^2 = \frac{2}{\alpha^2} - \frac{1}{\alpha^2} = \frac{1}{\alpha^2}$$

$\Rightarrow \sigma = \tau$

Temps de vie

$$\sum = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$$

Nbr événements

$$\Rightarrow \sigma_{\Sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \Rightarrow$$

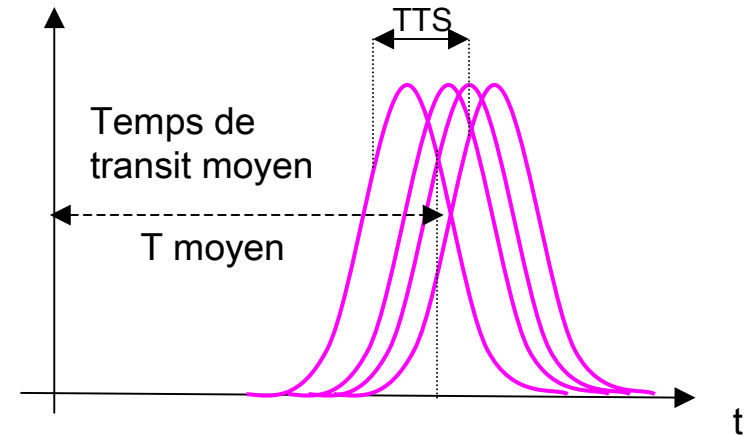
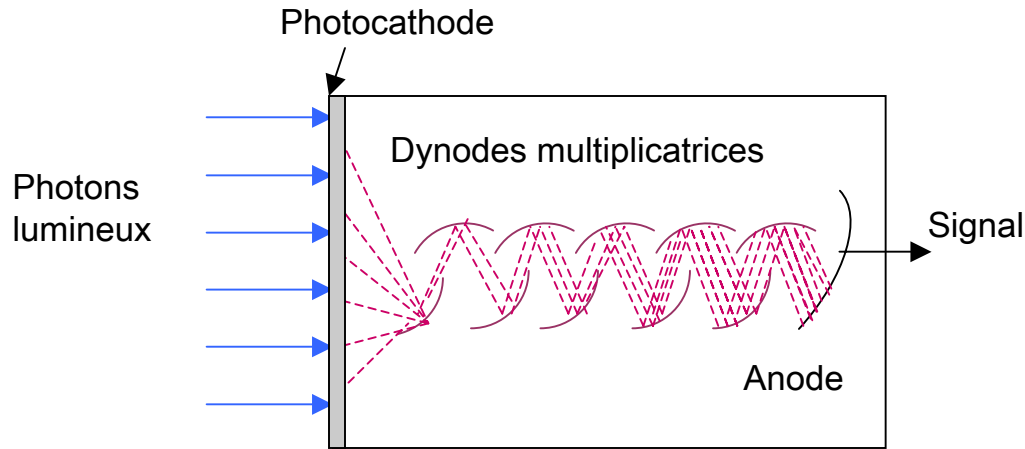
$$\sigma_{\Sigma} = \frac{\tau}{\sqrt{n}}$$

Calcul thermalisation

Energie de thermalisation = KT  $E=KT=8,65 \cdot 10^{-5} \times 300$

$E=0,026eV$

Choix des PM



Marque et référence	Domaine spectral (nm)	QE (%)	Gain	Temps de montée (ns)	Temps de transit moyen (ns)	TTS (ns)
Hamamatsu R7400U 06	160 – 650	11 / 220nm	$0,7 \cdot 10^6$	0,78	5,4	0,23
Hamamatsu R5900U 06	160 – 650	11 / 220nm	$2 \cdot 10^6$	1,48	?	0,26
Hamamatsu R2083Q	160 – 650	15 / 220nm	$2,5 \cdot 10^6$	0,7	16	0,37
Philips XP2020Q	150 – 650	17 / 220nm	$40 \cdot 10^6$	1,5	28	0,25

Durée de vie de l'OrthoPositronium

La situation expérimentale n'est pas très claire.
La précision de la mesure est de 200 ppm alors
que la précision théorique est de 2 ppm
Le but est donc d'améliorer QED:

Extra dimension

Théorie :

Une particule neutre peut disparaître dans une extra dimension.

=> l'OrthoPositronium est donc un bon candidat
besoin de mesurer 10^{-8} ... 10^{-9} positons

Actuellement les mesures se font sur une source avec environ 10^{-6} positons sous gaz.

Thèse de Paolo Crivelli : cherche à atteindre les 10^{-8} ... 10^{-9}

Contact : crivelli@cern.ch

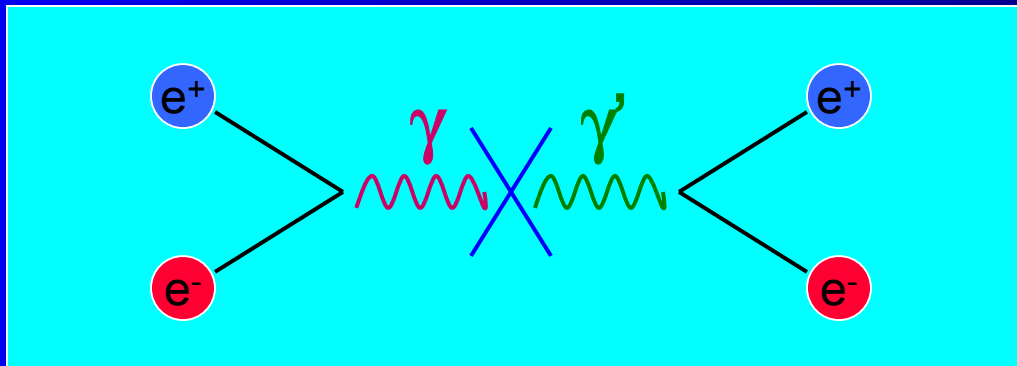
Thèse encadrée par : A.Roubia (ETH Zurich) et S.Gnedenko

Univers Miroir

Modèle expliquant la dissymétrie de l'univers (parité) :

Le complément de la parité violée serait dans un “monde miroir” où l'OrthoPositronium peut aussi disparaître.

Ceci est dû au fait que le monde miroir et le notre seraient couplés par la gravité mais également par un faible couplage électromagnétique qui subsiste.



- Mécanisme d'oscillation
- Besoin d'un Faisceau
- Besoin du vide

A.Roubia (ETH Zurich), S.Gnedenko (INR Moscou)