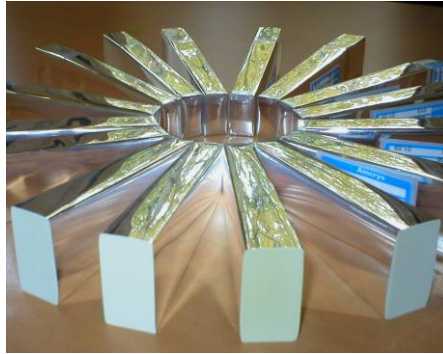


Scintillateurs & détecteurs de lumière



Jean Peyré

Centre de Sciences Nucléaires et de
Sciences de la Matière (CSNSM)
Université Paris Sud - CNRS-IN2P3

91405 Orsay Campus
Tél. : +33 1 69 15 52 13
Fax : +33 1 69 15 50 08
<http://www.csnsm.in2p3.fr>



Jean.Peyre@csnsm.in2p3.fr

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Scintillateurs & détecteurs de lumière

Sommaire

I – Introduction

II - Les scintillateurs inorganiques

III - Les scintillateurs organiques

V - Collection de lumière

VI- Conversion de lumière

VI_a - Lecture par Photomultiplicateurs

VI_b - Lecture par Photodiodes

VII – Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur



Jean Peyré

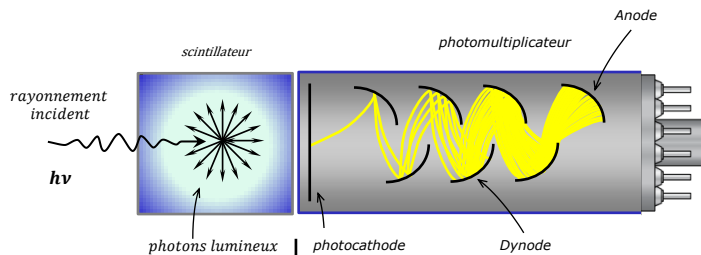
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

I - Introduction

Caractéristiques Générales

Ensembles toujours composés d'au moins:

- 1/ Scintillateur
- 2/ détecteur de lumière ou "photo-détecteur"



Scintillateur

Conversion rayonnement ionisant en lumière

Photo-détecteur

Conversion lumière en signal électrique

Scintillateurs

Deux grandes familles

Scintillateurs Inorganiques

- Cristaux
 - Généralement
 - Z et densité élevés
 - Beaucoup de lumière
 - Faible rapidité
- Gaz nobles (Ar, Kr, Xe)
utilisés à l'état liquide

Scintillateurs Organiques

- Molécules aromatiques
 - Z moyen faible
 - Densité voisine de 1
 - Moins de lumière
 - Mais plus rapide

II - Les scintillateurs inorganiques

Scintillateurs inorganiques

Pour les scintillateurs inorganiques, la luminescence est essentiellement une **propriété cristalline**. Il y a deux groupes de scintillateurs inorganiques : les **scintillateurs activés** et les **scintillateurs intrinsèques**

les scintillateurs activés - NaI(Tl), CsI(Na), LaBr₃(Ce), ...

La luminescence est produite par de faibles quantités d'impuretés introduites dans le réseau cristallin. Malheureusement, il n'est pas possible de prédire théoriquement les propriétés de luminescence d'un tel cristal. Par contre, il existe quelques ions qui produisent de la luminescence dans de nombreuses liaisons.

Le Thallium, le Cerium, le Sodium sont des impuretés couramment introduites. Les propriétés de luminescence de ces impuretés dépendront également de la nature du cristal dans lequel elles ont été introduites.

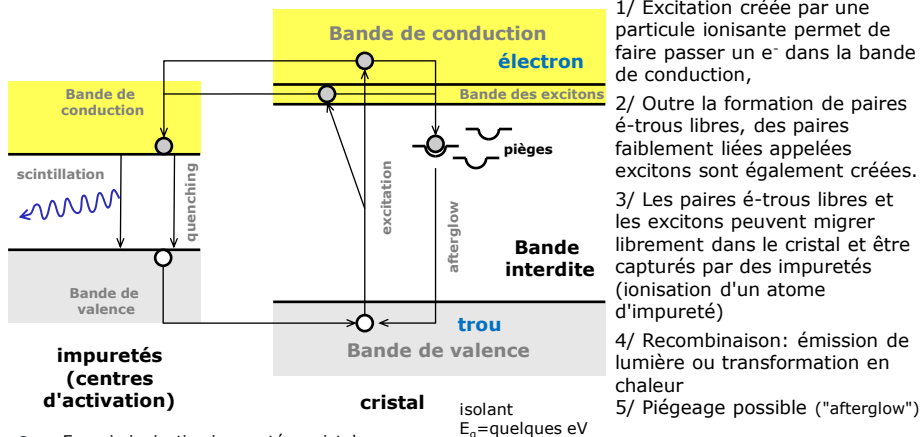
les scintillateurs intrinsèques - BGO, CsI, BaF₂, ...

Pour certains matériaux, il n'est pas nécessaire d'introduire des impuretés pour produire de la luminescence. Par contre, pour les cristaux purs, la luminescence peut être soit une propriété du réseau cristallin idéal, soit produite par des défauts du réseau qui jouent alors le rôle d'activateurs.

Scintillateurs inorganiques

Mécanisme de scintillation

Pour les scintillateurs inorganiques, le mécanisme de scintillation est déterminé par la structure électronique en bande du réseau cristallin



Scintillateurs inorganiques

1. Transition permise
⇒ durée de vie courte (fluorescence) -> scintillation
2. Transition interdite
⇒ durée de vie plus longue (phosphorescence) -> "afterglow"
Défauts : lacunes, ions en position interstitielle,...
création d'états métastables : pièges
- 3) Transition non radiative : transformation en chaleur dans le réseau (« quenching »)

Exemple : pour le NaI(Tl), 12% de l'énergie absorbée dans le scintillateur est convertie en photons par désactivation d'un état excité de l'activateur (rendement énergétique de conversion).



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Scintillateurs inorganiques

$E = h\nu; \quad \lambda\nu = c$

Mécanisme de scintillation

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ (vitesse lumière dans le vide)
 $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ (cste Planck)
 $E = \text{énergie en J}$
 $\lambda = \text{longueur d'onde en m}$
 $\nu = \text{fréquence en Hz}$

$$E(\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$$

Exemple du NaI

$Gap: E_g = 7,5 \text{ eV} \quad \rightarrow \quad \lambda \cong 165 \text{ nm}$

- Détection de ces photons **pas** facile
- **Absorption** de cette longueur d'onde par l'iodure de sodium

UV			Visible				IR	
200	300	400	500	600	700	800	Longueur d'onde (nm)	
12	5	4	3	2	Energie photon (eV)			



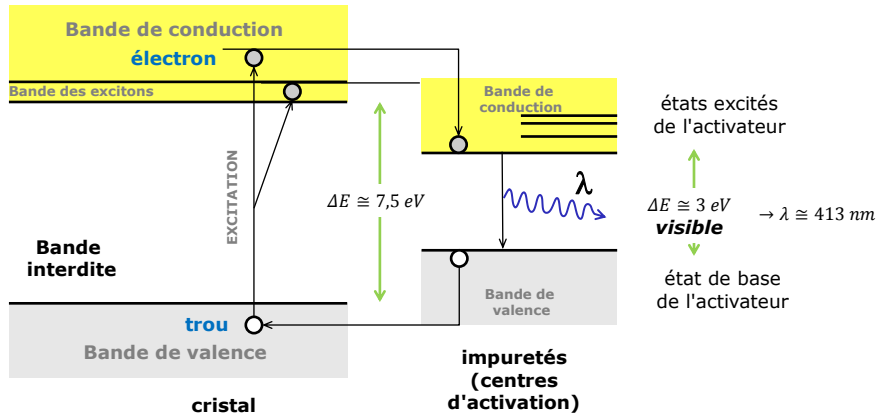
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Scintillateurs inorganiques

Mécanisme de scintillation Exemple du NaI(Tl)

- Activateur : par exemple 10^{-3} mole de thallium



Scintillateurs inorganiques

Propriétés principales

Material	Composition & densité	Indice & Longueur d'onde		Constantes de temps		Quantité de lumière		
		Specific Gravity	Wavelength of Maximum Emission (nm) λ_{max}	Index of Refraction at λ_{max}	Principal Decay Constant (μs)	Pulse 10-90% Rise Time (μs)	Total Light Yield in Photons/MeV	Absolute Scintillation Efficiency for Fast Electrons
NaI(Tl)	3.67	415	1.85	0.23	0.5	38000	11.3%	1.00
CsI(Tl)	4.51	540	1.80	1.0	4	52000	11.9	0.49
CsI(Na)	4.51	420	1.84	0.63	4	39000	11.4	1.11
LiI(Eu)	4.08	470	1.96	1.4	—	11000	2.8	0.23
BGO	7.13	505	2.15	0.30	0.8	8200	2.1	0.13
BaF ₂ slow component	4.89	310	1.49	0.62	3	10000	4.5	0.13
BaF ₂ fast component	4.89	220	—	0.0006	—	—	—	0.03 ^a
ZnS(Ag) (polycrystalline)	4.09	450	2.36	0.2	—	—	—	1.30 ^b
CaF ₂ (Eu)	3.19	435	1.44	0.9	4	24000	6.7	0.78
CsF	4.11	390	1.48	0.004	—	—	—	0.05
Li glass ^c	2.5	395	1.55	0.075	—	—	1.5	0.10
For comparison, a typical organic (plastic) scintillator:								
NE 102A	1.03	423	1.58	0.002	With PMT & RC >>	10000	3.0	0.25

^a Using UV-sensitive PM tube.

^b For alpha particles.

^c Properties vary with exact formulation. Also see Table 15-1.

Source: Data derived primarily from Refs. 56-58.

NaI(Tl) 1.000.000/38.000-26 eV/photon
415 nm → ≈ 3eV rendement 11,5%
NE102 1.000.000/10.000-100 eV/photon
423 nm → ≈ 3eV rendement 3%

Scintillateurs inorganiques

Propriétés principales

	LaBr ₃	LaCl ₃	Nal(Tl)	CsI(Tl)	CsI(Na)	BGO	LYSO	PWO	CsI (pure)	
Density (g/cm ³)	5.29	3.86	3.67	4.51	4.51	7.13	7.10	8.29	4.51	
Light Output (ph/MeV)	63,000	49,000	39,000	52,000	45,000	9000	32,000	100	16,800	
$\Delta E/E$ (FWHM) @ 662 keV	PMT	<3%	3.5%	7%	6%	7.5%	10%	7.1%	>10%	7.5%
	APD	N/A	N/A	3.8%	4.9%	N/A	8.3%	N/A	N/A	4.3%
Peak λ (nm)	380	350 430	310 fast 415	550	420	480	420	420	315	
Fast Decay (ns)	25	25/213	620 fast 230	1000	630	300	41	6	35/6	
Hygroscopic	yes	yes	yes	slightly	yes	no	no	no	slightly	
Cost (per cm ³)	\$30	\$30	\$2	\$4.50	\$4.50	\$9	\$25	\$2	\$4.50	
Radiation length (cm)	N/A	N/A	2.9	1.86	1.86	1.1	1.2	0.85	1.86	

Ordres de grandeur, dépendent fortement du volume total, des quantités et formes des cristaux

Scintillateurs inorganiques

Réponses spectrales

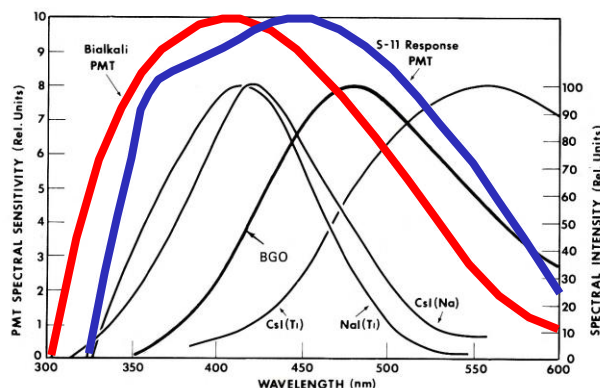
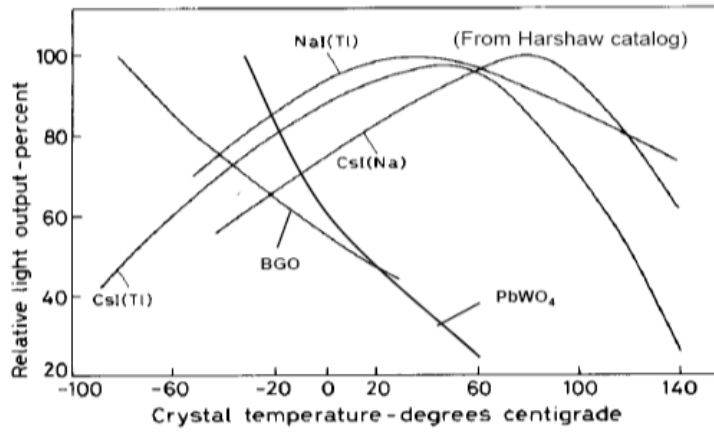


Figure 8-7 The emission spectra of several common inorganic scintillators. Also shown are the response curves for two widely used photocathodes. (Primarily from *Scintillation Phosphor Catalog*, The Harshaw Chemical Company. The emission spectrum for BGO is from Ref. 55.)

Scintillateurs inorganiques

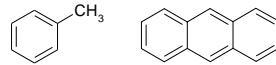
Variations par rapport à la température



III - Les scintillateurs organiques

Les scintillateurs organiques

- Moins chers que les inorganiques
- Composés de C et de H (faible n° atomique moyen, bas Z)
- La scintillation a pour origine la **désexcitation des électrons libres de valence de ces molécules organiques**. Ces électrons ne sont associés à aucun atome particulier et occupent les "**orbitales moléculaires dites π** ".
- **A contrario, les scintillateurs inorganiques se désexcitent et donnent de la lumière en particulier grâce à la présence du réseau cristallin.**



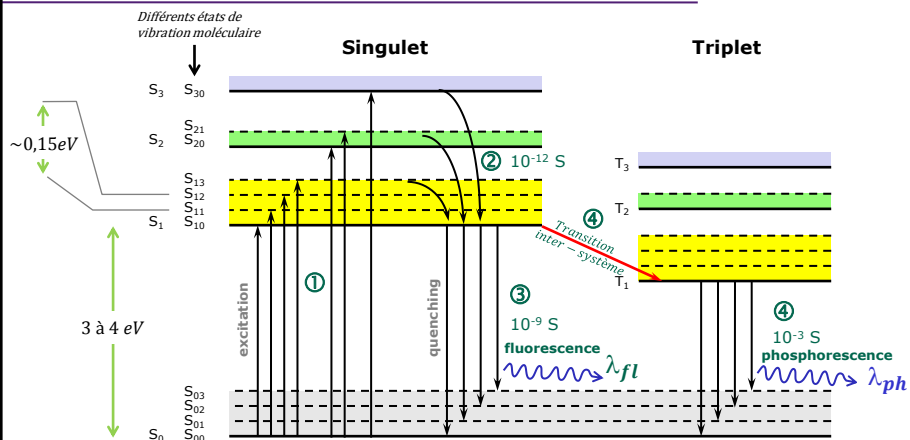
1. Spectrométrie γ
2. Comptage **X et γ (effet Compton)** -> détecteurs de grande surface
3. Spectrométrie β
4. haute efficacité pour la détection de **neutrons** par réaction (n,p)



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Les scintillateurs organiques



1. Excitation de S_0 vers S_1 , S_2 ou S_3 .
2. Désexcitation rapide (pS) par transition interne non radiative de S_1 , S_2 ou S_3 vers S_{10}
3. Emission de lumière par fluorescence ($\tau \approx$ nS) par désexcitation de S_{10} vers un des états de vibration moléculaire de S_0 . Il peut aussi y avoir des phénomènes de "quenching" (transformation en chaleur sans émission de lumière)
4. **Ou** Emission de lumière par phosphorescence ($\tau \approx$ mS) par désexcitation de T_{10} vers un des états de vibration moléculaire de S_0 suite à une transition inter-système non radiative. De loin la moins probable.....



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Les scintillateurs organiques

Absorption & émission

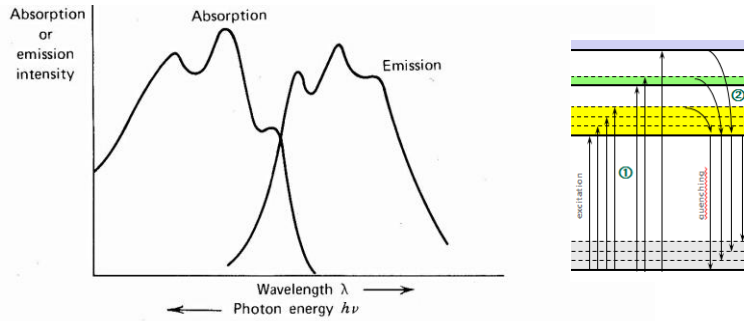


Figure 8-2 The optical absorption and emission spectra for a typical organic scintillator with the level structure shown in Fig. 8-1.

Scintillateurs organiques

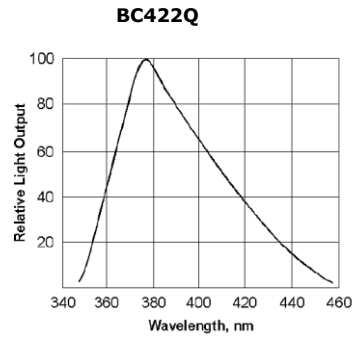
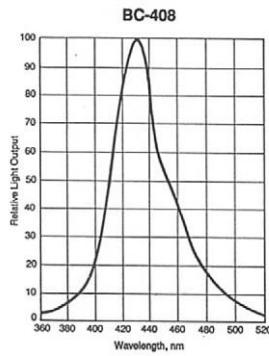
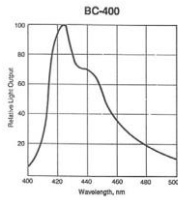
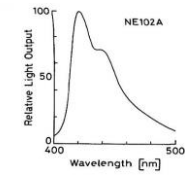
Propriétés principales - exemples

Composition & densité		Indice & Longueur d'onde		Constantes de temps		Quantité de lumière		
scintillator	density (g/cm ³)	index of refraction	wavelength of maximum emission (nm)	decay time constant (ns)	scintillation pulse height ¹⁾	H/C ratio ²⁾		
Monocrystals								
naphthalene	1.15	1.58	348	11	11	0.800	} Total Light Yield ≈ 10 000 photons/MeV	
anthracene	1.25	1.59	448	30-32	100	0.714		
Plastics ³⁾								
NE 102 A	1.032	1.58	425	2.5	65	1.105		
Plastics ⁴⁾								
BC-400	1.032	1.581	423	2.4	65	1.103		
BC-404	1.032	1.58	408	1.8	68	1.107		
BC-408	1.032	1.58	425	2.1	64	1.104		
BC-422	1.032	1.58	370	1.6	55	1.102		
BC-422Q	1.032	1.58	370	0.7	11	1.102		

¹⁾ relative to anthracene
²⁾ ratio of hydrogen to carbon atoms
³⁾ Nuclear Enterprises Ltd. Sighthill, Edinburgh, U.K.
⁴⁾ Bicron Corporation, Newbury, Ohio, USA

Scintillateurs inorganiques

Réponses spectrales



V - Collection de lumière

Collection de lumière

couplage optique

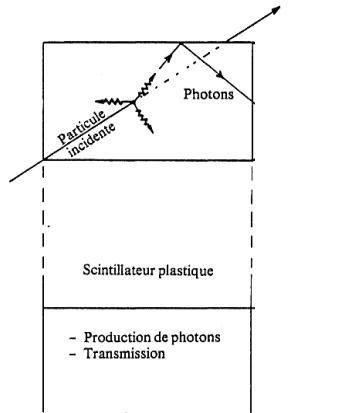


Schéma de fonctionnement d'un compteur à scintillation

D'après technologie des compteurs à scintillation L. Thornhill CERN

Collection de lumière

couplage optique

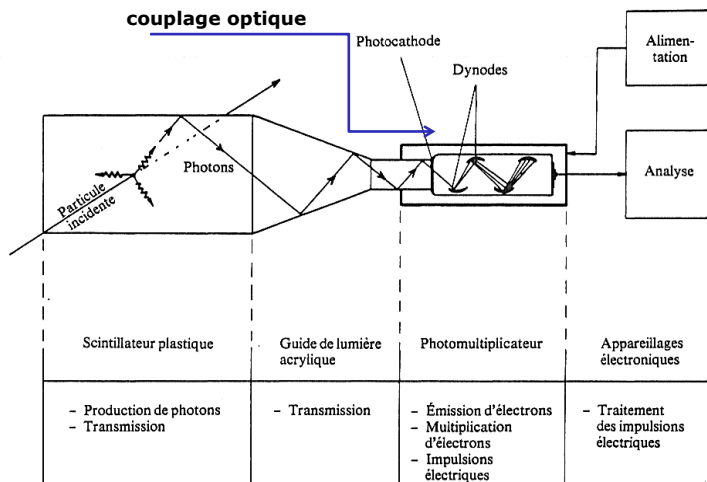


Schéma de fonctionnement d'un compteur à scintillation

D'après technologie des compteurs à scintillation L. Thornhill CERN

Collection de lumière

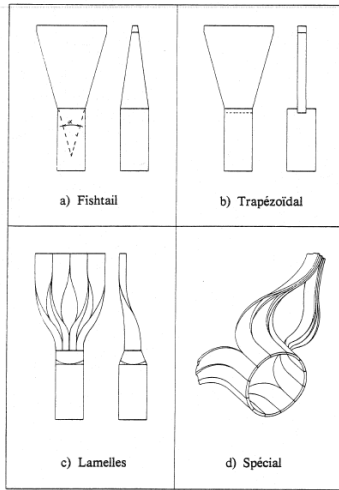


Fig. 6 Principaux types de guides de lumière

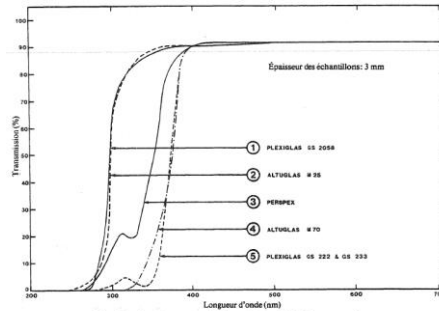


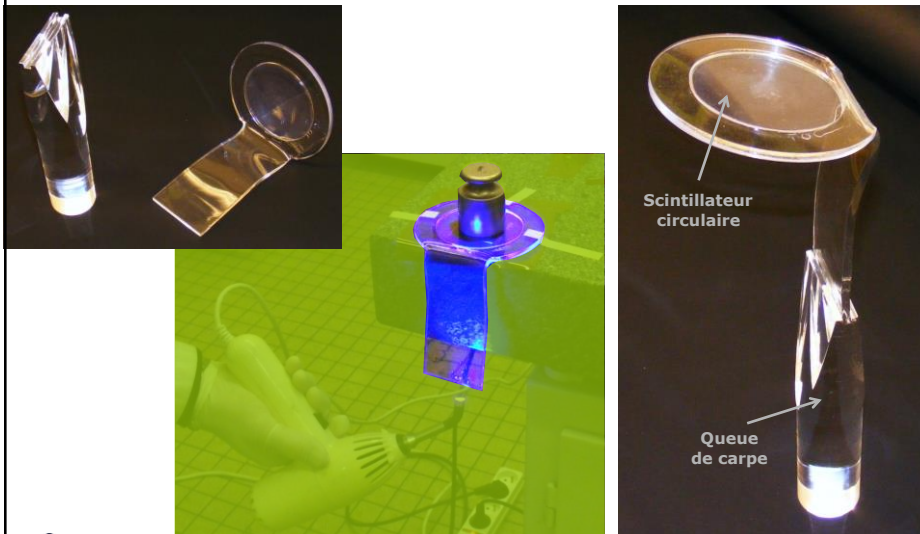
Fig. 3 Courbes spectrales de quelques PMMA commerciaux



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Scintillateur plastique & son guide

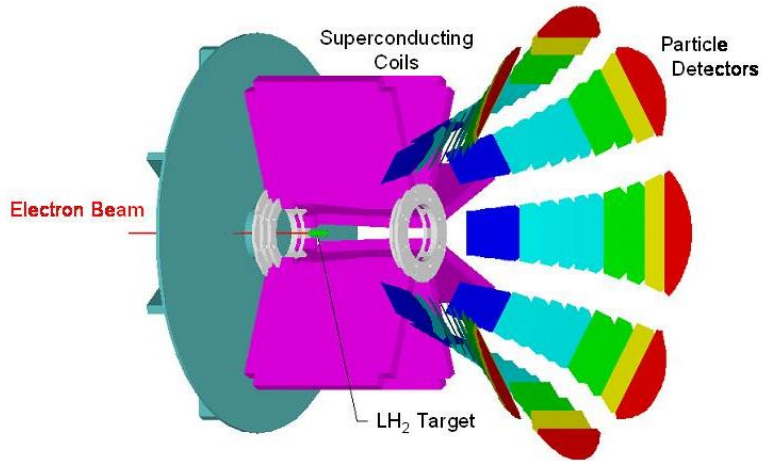


Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Collection de lumière

Exemple: 8 "Octants" de l'Expérience G0 au Jefferson Laboratory (USA)



CPRS
IN2P3
P.27

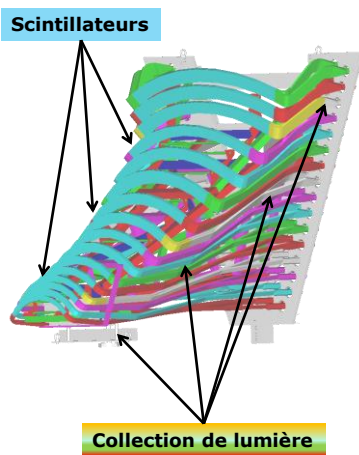
UNIVERSITÉ
PARIS
SUD

Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Collection de lumière

Exemple: 8 "Octants" de l'Expérience G0 au Jefferson Laboratory (USA)



**Champ magnétique
(8 secteurs)**

**16 paires
Scintillateur
(BC 408)**



CPRS
IN2P3
P.28

UNIVERSITÉ
PARIS
SUD

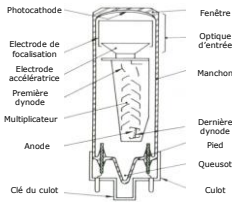
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

VI - Conversion de lumière

VI_a - Lecture par Photomultiplicateurs

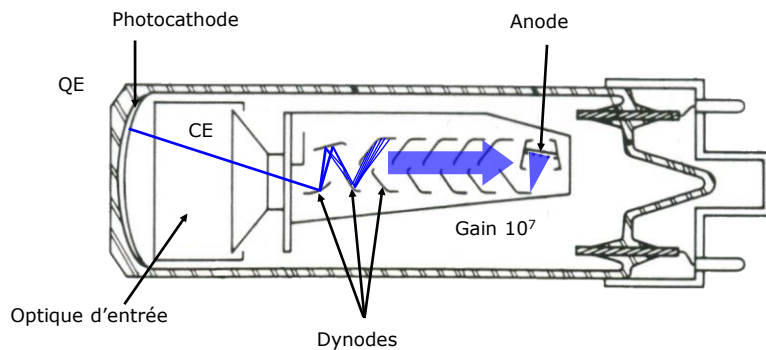
Photomultiplicateur



Le Photomultiplicateur (PM) est composé de :

- ❑ d'une photocathode qui effectue la **conversion du flux de photons incidents en un flux d'électrons** par effet photoélectrique.
- ❑ d'une optique d'entrée constituée d'une ou de plusieurs électrodes de focalisation et d'une électrode accélératrice. L'optique d'entrée est destinée à **concentrer tous les électrons issus de la photocathode sur la première électrode du photomultiplicateur**.
- ❑ d'un **multiplicateur d'électrons** formé d'une succession d'électrodes appelées dynodes, lesquelles multiplient en cascade le nombre des électrons pénétrant dans le photomultiplicateur.
- ❑ enfin, d'une **anode chargée de recueillir le flux d'électrons** issu de la dernière dynode du photomultiplicateur et sur laquelle est prélevé le signal de sortie.

Photomultiplicateur



Photomultiplicateur

- **G** Gain: M dynodes, $g_1 \sim 10$, $g_2 \dots g_M \sim 2$ à 3 Gain $\uparrow 10^7$
- **QE**: efficacité quantique (20 à 40% @ 400nm)
- **CE**: efficacité de collection 1ere dynode > 80%
- **N_{photons}** : nb de photons arrivant sur la photocathode
- **q_e**: $1,6 \times 10^{-19}$ C

$$G = \prod_{i=1}^M g_i$$

Charge en sortie de photomultiplicateur:

$$Q_{tot} = N_{photons} \cdot QE \cdot CE \cdot G \cdot q_e$$



- Les photomultiplicateurs sont sensibles au champ magnétique, **même au champ magnétique terrestre** (qqes Gauss) -> blindage



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photomultiplicateur



Fenêtre d'entrée



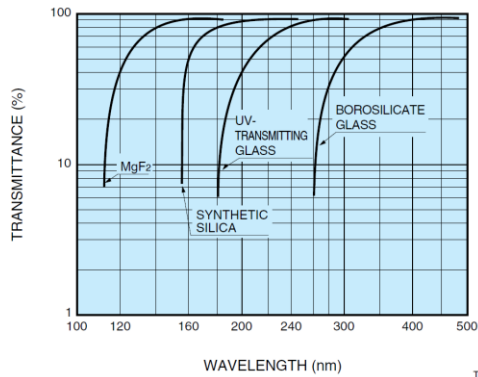
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photomultiplicateur

Transmission de la fenêtre d'entrée

Documentation Hamamatsu



UV			Visible				IR	
200	300	400	500	600	700	800	Longueur d'onde (nm)	
12	5	4	3	2		Energie photon (eV)		



Jean Peyré

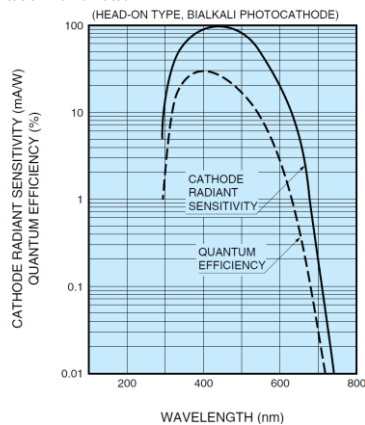
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photomultiplicateur

Réponse spectrale photocathode

Figure 4: Typical Spectral Response of Bialkali Photocathode

Documentation Hamamatsu



$$QE = \frac{N_{p.e.}}{N_{photons}} = \frac{S \times 124}{\lambda}$$

QE: Efficacité Quantique en %

S: sensibilité de la photocathode en **mA/W**

λ: Longueur d'onde en **nm**

les photocathodes sont souvent des composés de césium et d'antimoine. La surface des dynodes peut être recouverte soit de composés d'argent et de magnésium, soit de césium et d'antimoine.



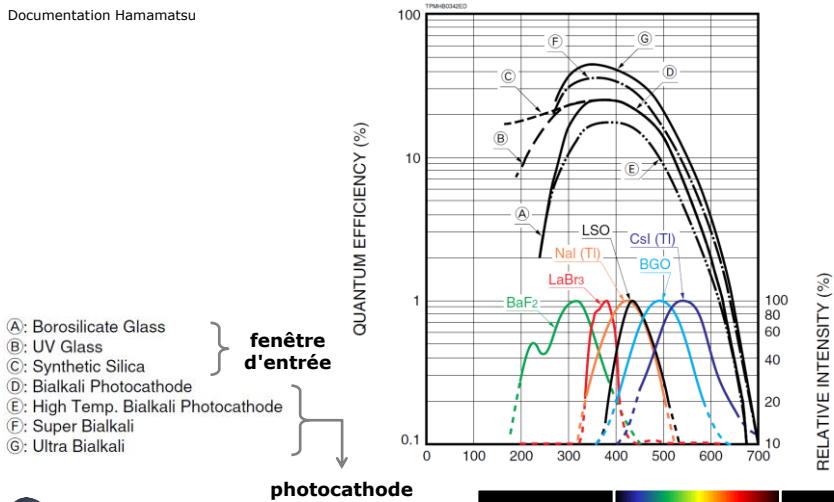
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photomultiplicateur

Réponse spectrale photocathodes versus scintillateurs

Documentation Hamamatsu



CNRS
IN2P3
P. 37

UNIVERSITÉ
PARIS
SUD

Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photo-détecteurs: Photomultiplicateurs



CNRS
IN2P3
P. 38

UNIVERSITÉ
PARIS
SUD

Jean Peyré

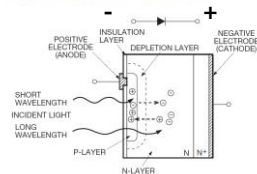
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

VI_b - Lecture par Photodiodes

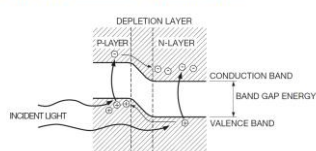
Photodiode

- Même principe qu'un détecteur à semi-conducteur
- Sensible des UV au proche IR (photomultiplicateur très limité au delà de 500 nm)
- Insensible au champ magnétique (contrairement au photomultiplicateur)
- Signal de sortie plus faible que les photomultiplicateurs (donc moins performant pour les faibles énergies)

[Figure 1] Si photodiode cross section



[Figure 2] Si photodiode P-N junction state



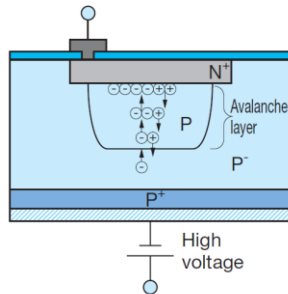
Documentation Hamamatsu

Avantage : bonne efficacité quantique (QE)

Inconvénient : gain de 1

Photodiode à avalanche (APD)

Operating principle of APD



Generated carriers produce new electron-hole pairs while being accelerated by high electric field. [ionization]



Newly generated carriers are also accelerated to produce further electron-hole pairs, and this process repeats itself. [Avalanche multiplication]

Gain proportional to the applied reverse bias voltage can be obtained.

KAPDC0006EC

Documentation Hamamatsu

L'APD a du gain



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

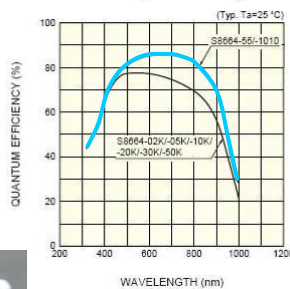
Photodiode à avalanche (APD)

Caractéristiques spectrales type Hamamatsu S8664-1010 APD

APD:

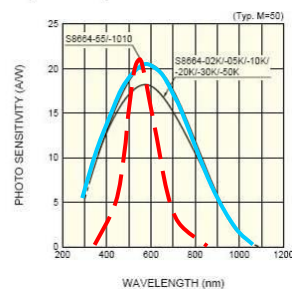
Surface active 100mm²

Quantum efficiency vs. wavelength



Efficacité Quantique
70% à 420nm,
85% à 550nm

Spectral response



APD S8664-1010

CsI(Tl)

Valeur
verticale
arbitraire pour
CsI(Tl)



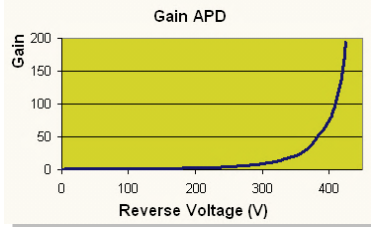
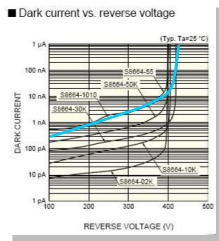
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photodiode à avalanche (APD)

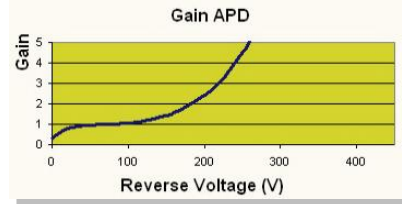
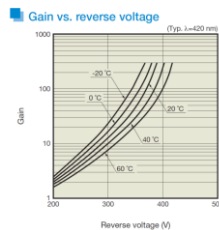
Autres caractéristiques
Hamamatsu S8664-1010 APD

APD: Capacité typique APD ~270pF



T° = 20°C
gain
M = 50 à 380V
M = 74 à 400V

Le gain varie beaucoup avec la température... et la HT...



- Nécessité d'une alimentation HT très stable
- Nécessité d'une température régulée



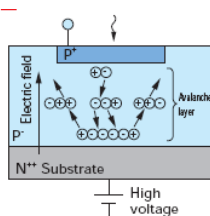
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

SiPM – APD Multipixels en mode Geiger

Autres noms : MPPC...

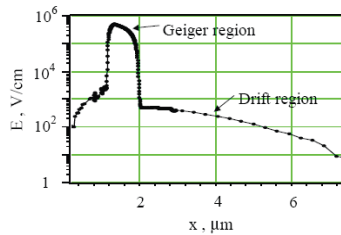
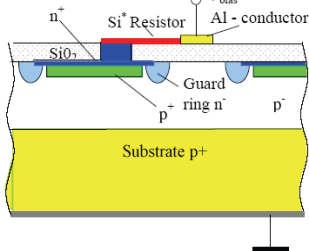
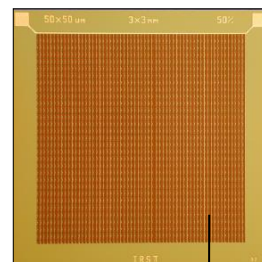
3x3 mm²



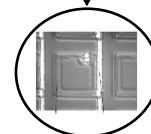
Generated carriers produce new electron-hole pairs while being accelerated by high electric field. [ionization]

Newly generated carriers are also accelerated to produce further electron-hole pairs, and this process repeats itself. [Avalanche multiplication]

Gain proportional to the applied reverse bias voltage can be obtained.



3600 cellules

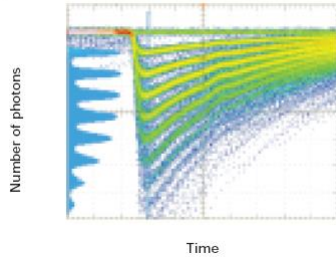


Jean Peyré

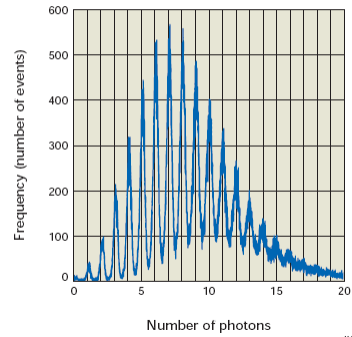
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

SiPM – APD Multipixels en mode Geiger

■ Pulse waveform when using an amplifier (120 times)
(S10362-11-050U, $M=7.5 \times 10^5$)



■ Pulse height spectrum when using charge amplifier
(S10362-11-025U, $M=2.75 \times 10^5$)

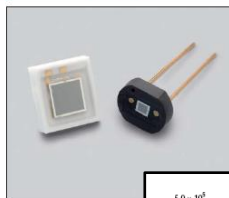


Jean Peyré

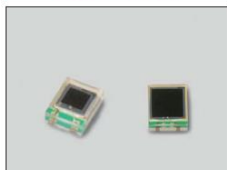
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

SiPM – APD Multipixels en mode Geiger

Ceramic



Surface mount type

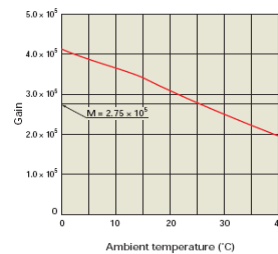
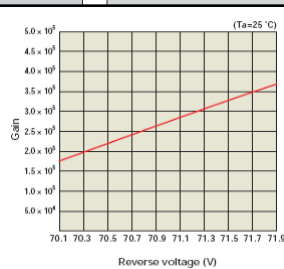
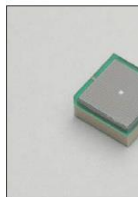


Metal (TE-cooled)



HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

4-side buttabl



Bruit de fond : plusieurs centaines de KHz par mm²



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Photodiode & APD

Photodiode & APD

- **QE**: efficacité quantique (~80%@400nm)
- **N_{photons}**: nb de photons arrivant sur la photodiode
- **G**: Gain de la photodiode (G=1 pour photodiode et G>1 pour APD)
- **q_e**: 1,6 x 10⁻¹⁹ C

Charge en sortie de photodiode: $Q_{tot} = N_{photons} \cdot QE \cdot G \cdot q_e$

SiPM

- **PDE**: Photon detection efficiency (~35% à 75% @ 450nm)
= **QE** x **Fill_factor** x **Avalanche probability**

Charge en sortie de SiPM: $Q_{tot} = N_{photons} \cdot PDE \cdot G \cdot q_e$



- Les photodiodes ne sont pas sensibles au champ magnétique

Photomultiplicateur

- **G** Gain: M dynodes, $g_1 \sim 10$, $g_2 \dots g_M \sim 2$ à 3 Gain $\uparrow 10^7$
- **QE**: efficacité quantique (20 à 40%@400nm)
- **CE**: efficacité de collection 1ere dynode > 80%
- **N_{photons}** : nb de photons arrivant sur la photocathode
- **q_e**: 1,6 x 10⁻¹⁹ C

$$G = \prod_{i=1}^M g_i$$

Charge en sortie de photomultiplicateur:

$$Q_{tot} = N_{photons} \cdot QE \cdot CE \cdot G \cdot q_e$$



- Les photomultiplicateurs sont sensibles au champ magnétique,
même au champ magnétique terrestre (qqes Gauss) -> blindage

Hybrid Photo Diode (HPD)

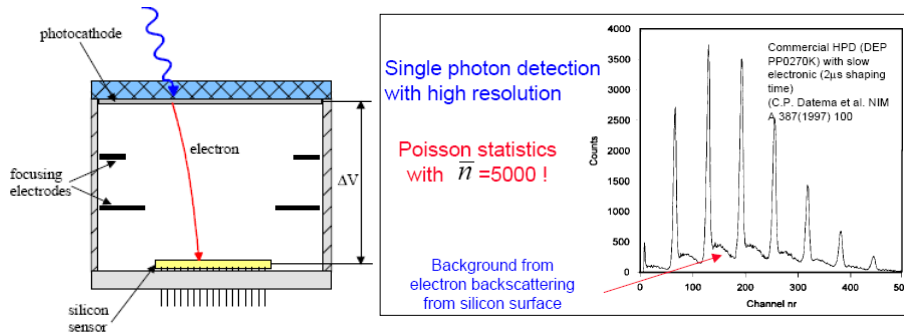
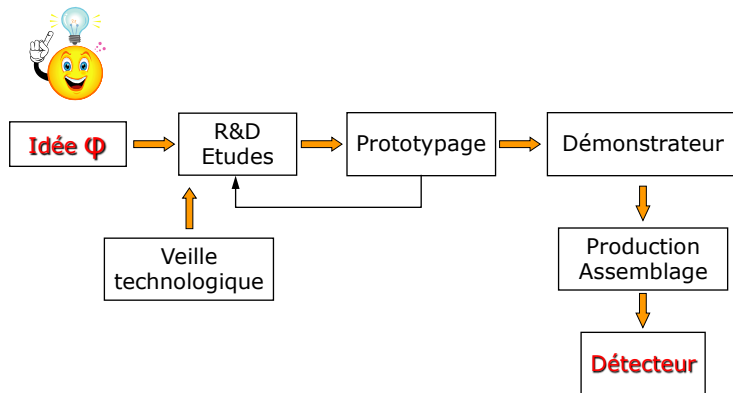


Photo cathode like in PMT, ΔV 10-20 kV

$$G = \frac{e\Delta V}{W_{Si}} = \frac{20 \text{ keV}}{3.6 \text{ eV}} \approx 5 \cdot 10^3 \quad (\text{for } \Delta V = 20 \text{ kV})$$

VII – Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur

Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur



- Mécanique, ingénierie système
- Electronique, instrumentation & mesures
- Thermique
- Simulations et expertise en détection
- Fabrication de détecteurs
- Relations industrielles

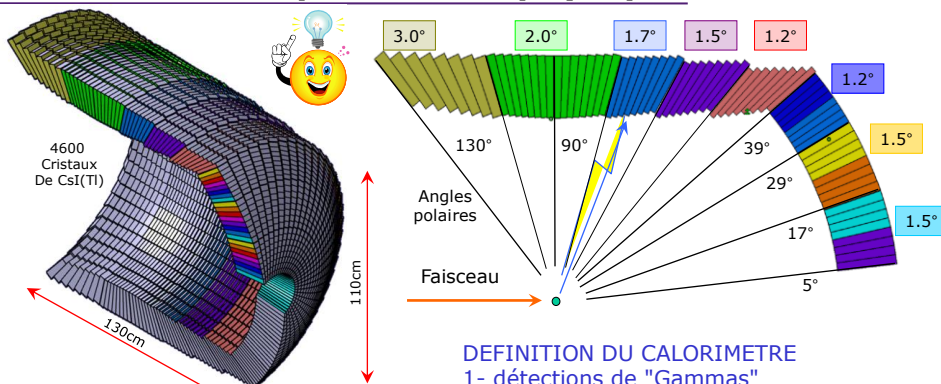


Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

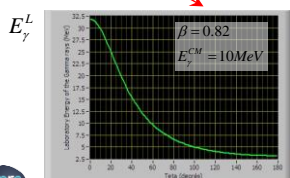
1 - Les simulations de la future expérience de physique

R3B
FAIR au GSI
Allemagne



DEFINITION DU CALORIMETRE

- 1- détections de "Gammas"
- 2- Les angles des cristaux sont définis par l'effet Doppler
- 3- La longueur et le matériau sont définis par l'énergie à absorber (100keV à 20 MeV)
- 4- La résolution en énergie (5%@1MeV)



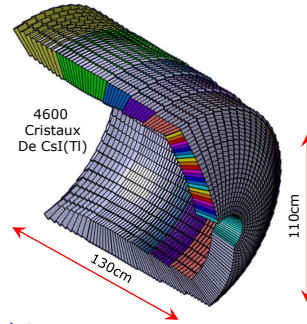
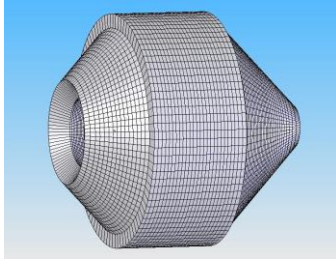
θ Effet Doppler



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

1 – Les simulations de la future expérience de physique



Modèle idéal

Nombre de modèles de Cristaux > 50
 > Cela implique un prix élevé
 Couverture géométrique totale de la surface de détection

Modèle réel

Nombre de modèles de Cristaux: 11
 > Couverture géométrique 88%
 Nombre de modèles de Cristaux: 25
 > Couverture géométrique 96%

Les discussions portent sur le prix des cristaux (2M€ pour un coût total de 3,3M€):

1. Nombre de modèles différents (influe sur le coût de l'usinage de ceux-ci)
2. Le volume total de cristaux (influe sur le coût global de la matière première)

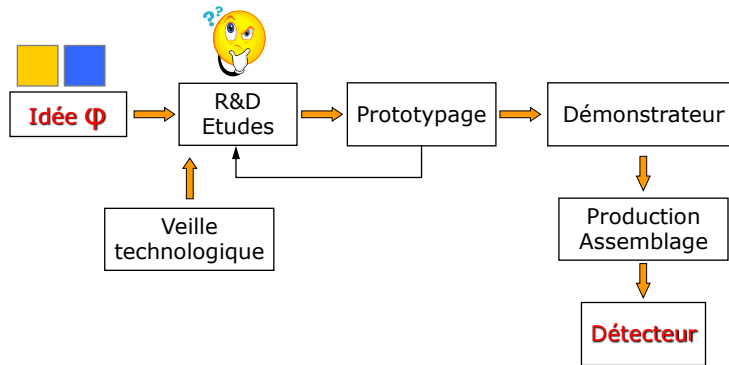
> Les simulations sous GEANT4 permettent de voir l'influence de la couverture géométrique et du volume total de cristaux



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
 Oléron 2015

Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur



- | | |
|---|--|
| ■ Mécanique, ingénierie système | ■ Electronique, instrumentation & mesures |
| ■ Thermique | ■ Simulations et expertise en détection |
| ■ Fabrication de détecteurs | ■ Relations industrielles |

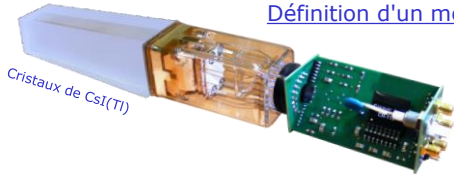


Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
 Oléron 2015

2 – Les simulations du détecteur

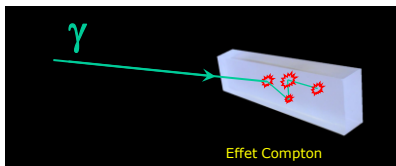
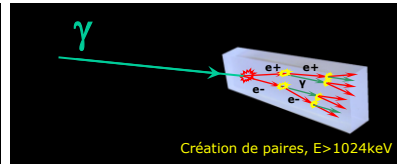
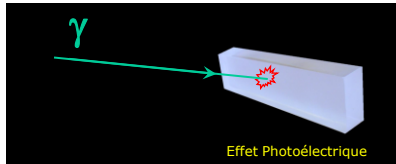
Définition d'un module de détection



Chaque module de détection est constitué de 2 cristaux, d'un photomultiplicateur 2 voies, d'une embase et de 2 préamplificateurs de charge



Les interactions en jeu



En fonction de l'énergie du photon incident, on peut avoir un des 3 effets présentés ou une combinaison des 3:

- > Il s'agit de phénomènes dont on connaît bien les lois de probabilité en fonction de l'énergie
- > Il en découle la nécessité d'utiliser un **logiciel de simulation physique** (type Geant4) pour modéliser la réponse du cristal

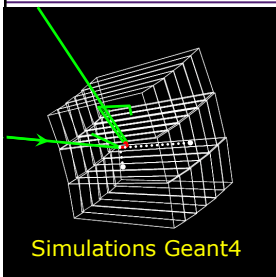


UNIVERSITÉ PARIS SUD
Jean Peyré

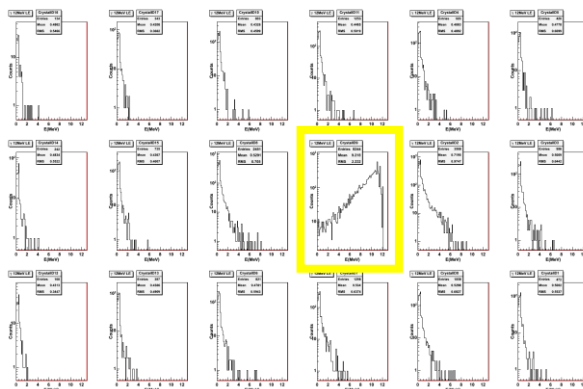
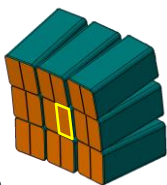
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

2 – Les simulations du détecteur

Résultats d'une simulation Géant4



- Le cristal du centre est touché
- 25000 tirages pour tracer ces histogrammes Energie/Nb-coups
- Donne pour chaque événement l'énergie déposée dans chaque cristal

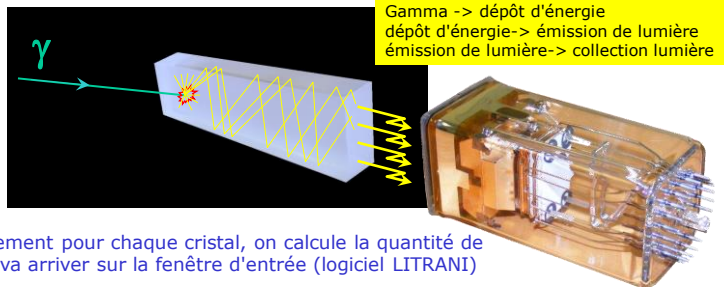


UNIVERSITÉ PARIS SUD
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

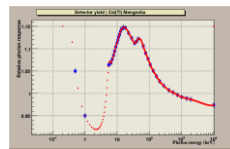
2 – Les simulations du détecteur

Collection de la lumière à partir de l'énergie déposée



• Individuellement pour chaque cristal, on calcule la quantité de lumière qui va arriver sur la fenêtre d'entrée (logiciel LITRANI)

• On tient compte de la non linéarité de conversion, de la transmission optique ainsi que des états de surface du cristal (poli, dépoli, réflexion par adjonction d'un réflecteur). Dans un second temps, on y ajoute le rendement quantique du photodétecteur ainsi que la correspondance en longueur d'onde entre lumière émise et conversion photon-électron.



Non linéarité du cristal de CsI(Tl)

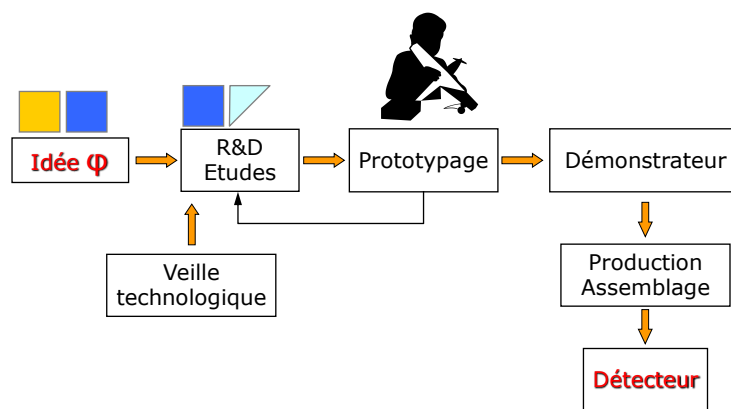
1. Validation de la définition de l'ensemble Cristal-photodétecteur-électronique
2. Réalisation d'un prototype



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur



- Mécanique, ingénierie système
- Thermique
- Fabrication de détecteurs

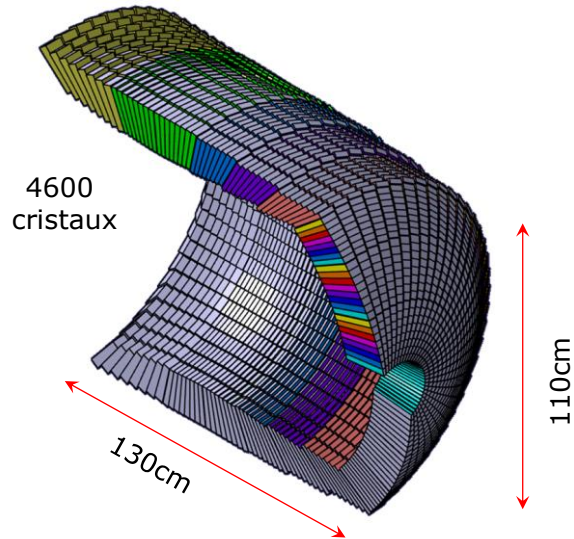
- Electronique, instrumentation & mesures
- Simulations et expertise en détection
- Relations industrielles



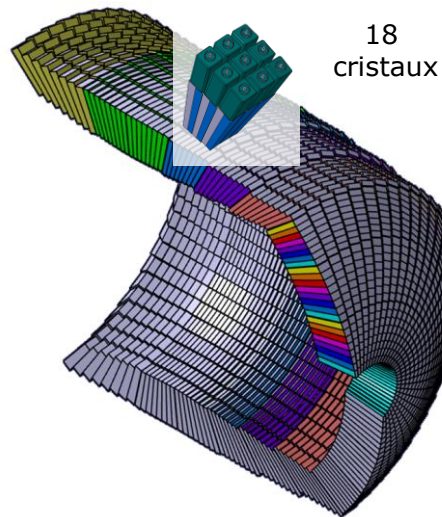
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

3 – Réalisation d'un prototype

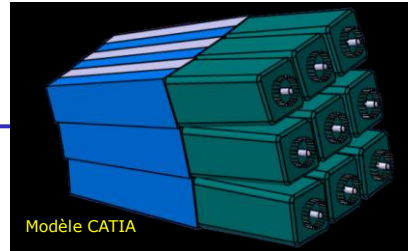
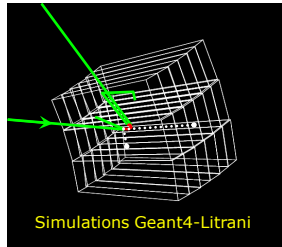


3 – Réalisation d'un prototype



3 – Réalisation d'un prototype

cristaux
CsI(Tl)



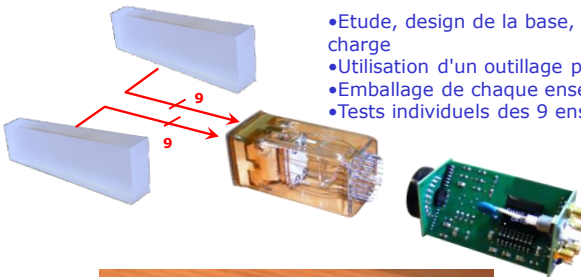
Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

3 – Réalisation d'un prototype

Assemblage des différents éléments

- Etude, design de la base, intégration de préamplificateurs de charge
- Utilisation d'un outillage pour le collage (étude du montage)
- Emballage de chaque ensemble (ESR)
- Tests individuels des 9 ensembles (mécanique+électronique)

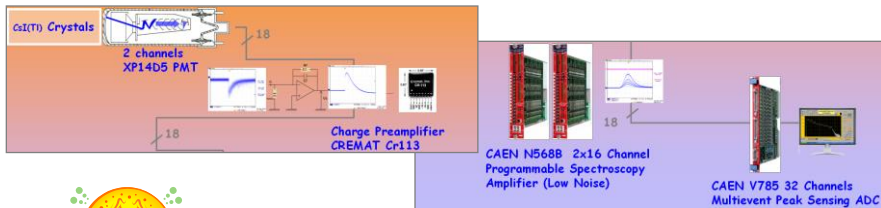


Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

4 – Test et Mesure du prototype

Réalisation d'un banc de test de laboratoire



- Mise au point du banc de test
- Calibration des voies en source

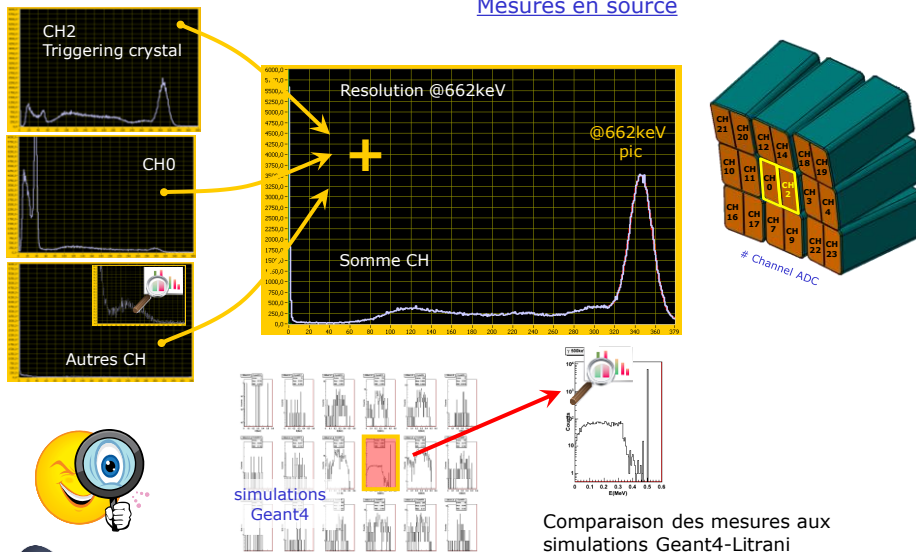


Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

4 – Test et Mesure du prototype

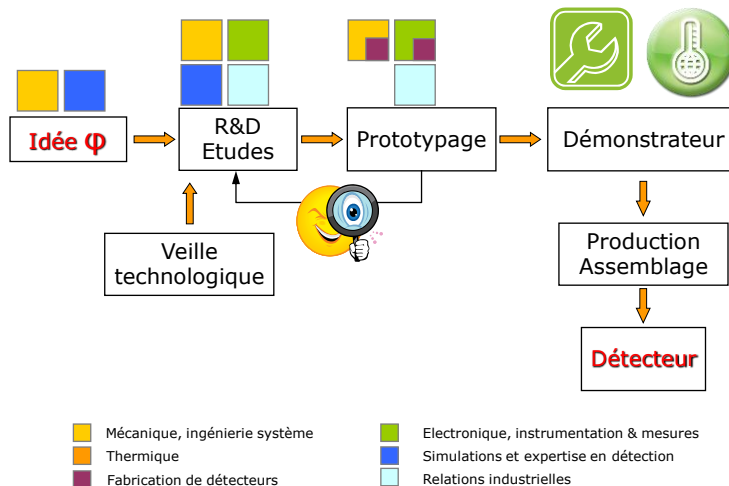
Mesures en source



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur



Jean Peyré

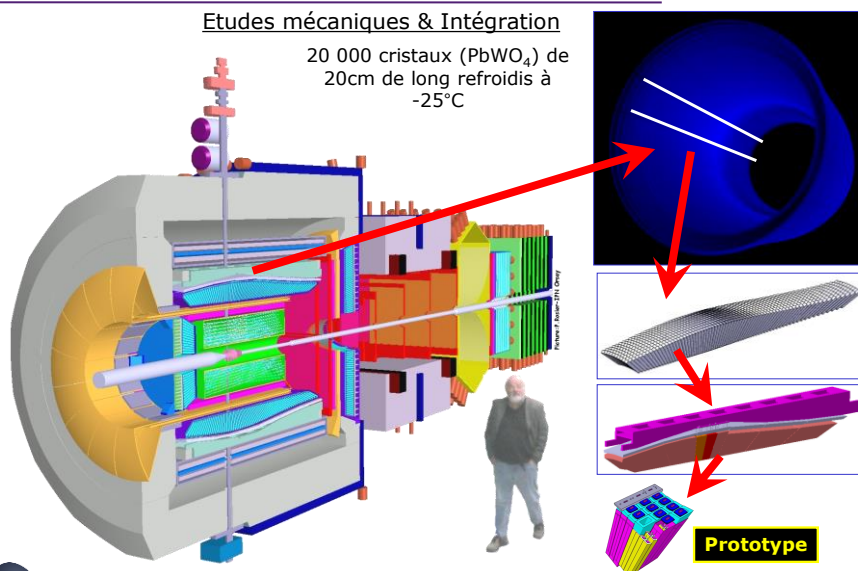
Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

5 - Design et Ingénierie

PANDA
FAIR au GSI
Allemagne

Etudes mécaniques & Intégration

20 000 cristaux (PbWO_4) de
20cm de long refroidis à
-25°C

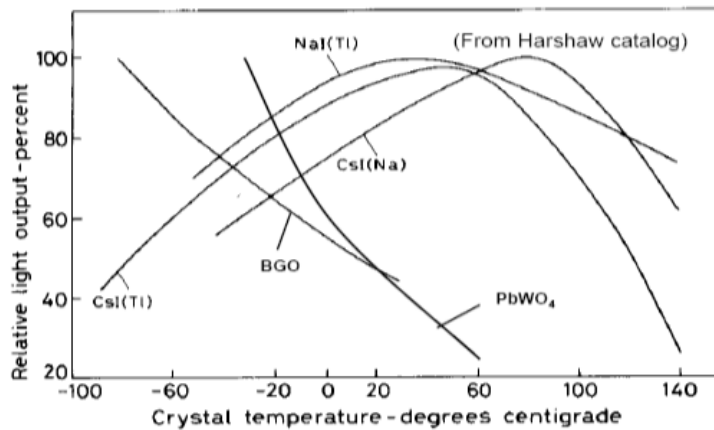


Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Scintillateurs inorganiques

Variations par rapport à la température

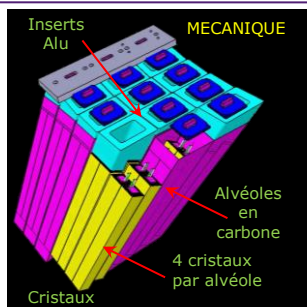


5 – Design et Ingénierie

PANDA
FAIR au GSI
Allemagne

Etudes mécaniques

- Simulations mécanique (SAMCEF), calculs sous charge, ...
- Design sous CATIA
- Prototypage



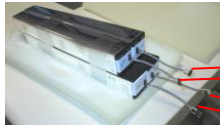
Prototype

5 - Design et Ingénierie



Etudes thermiques

- Simulations thermiques (FLOWTHERM)
- Prototypage + démonstrateur



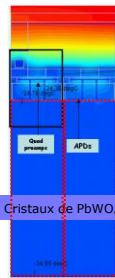
Cristaux de PbWO₄



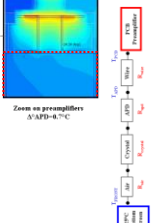
Ensemble de 4 préamplificateur

Simulation

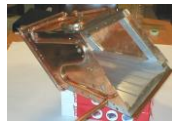
Simulations thermiques



Ensemble de 4 préamplificateurs



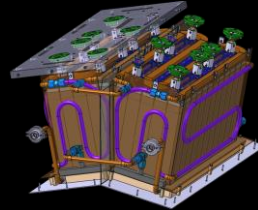
Prototype



Ecran thermique en Cuivre du **prototype** 60 cristaux

Démonstrateur

THERMIQUE+MECANIQUE



Refroidissement et/ou stabilisation en température $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$

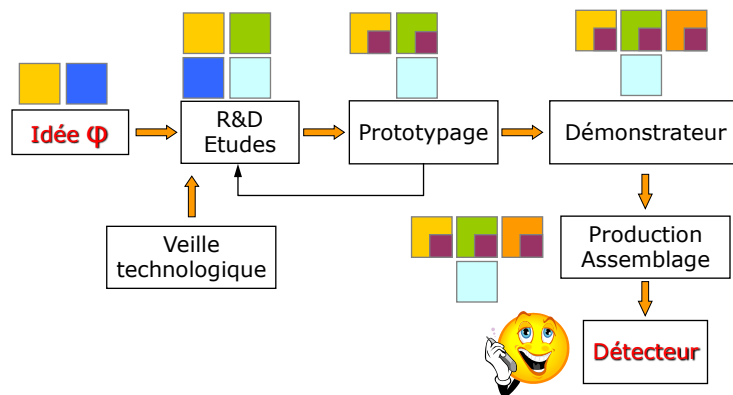
Réalisation **démonstrateur** de 480 Cristaux en 2009



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015

Les Différentes étapes de la conception d'un détecteur



Jean Peyré

Ecole Technique de base des détecteurs
Oléron 2015