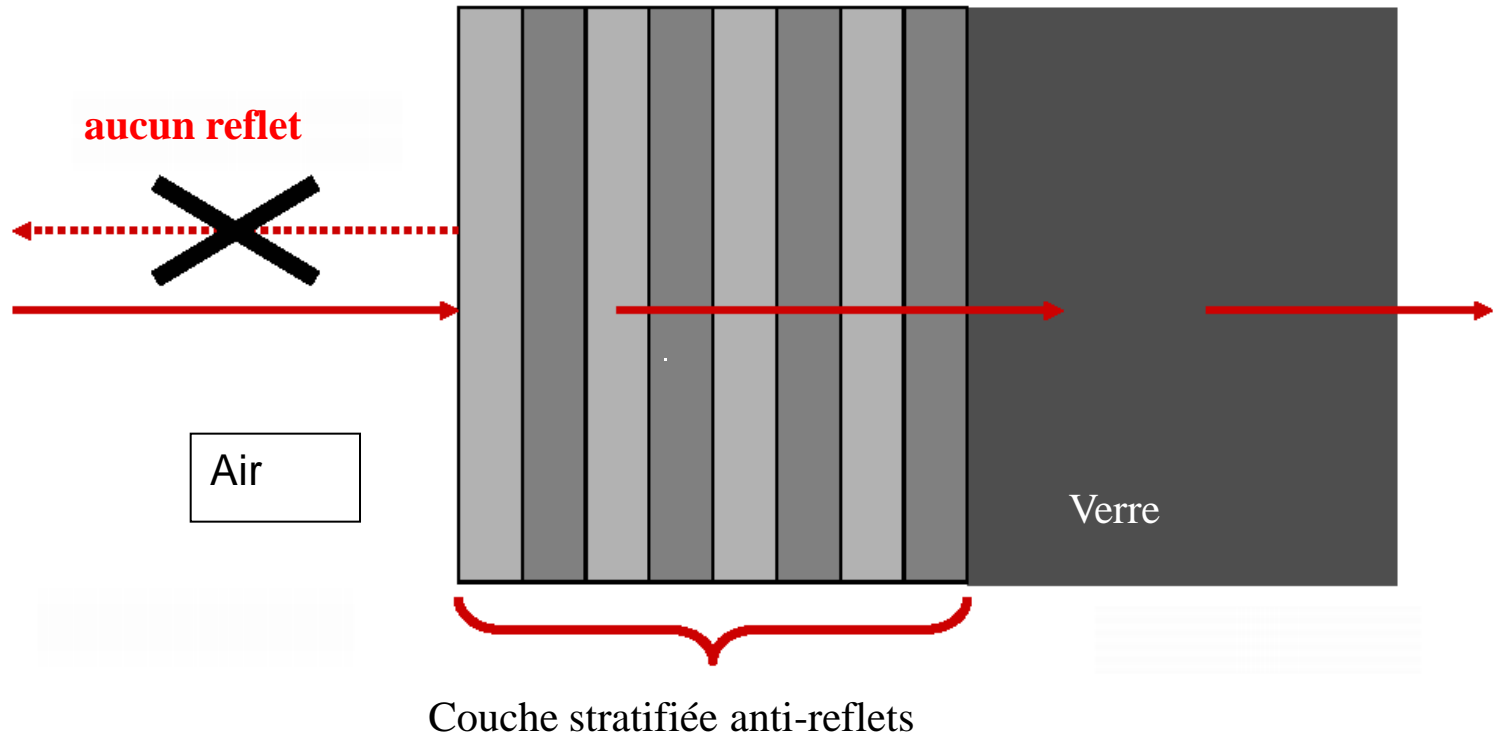


Cours PMO

3 - Filtres et photodétecteurs

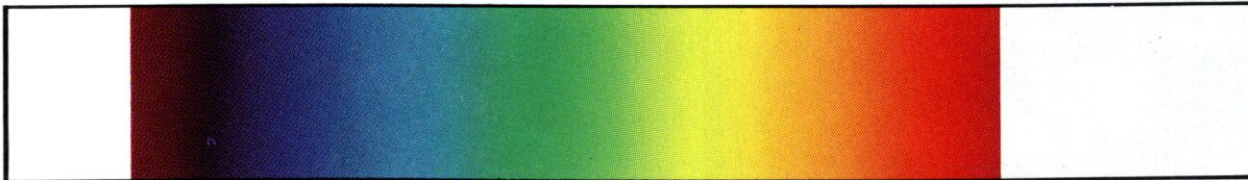
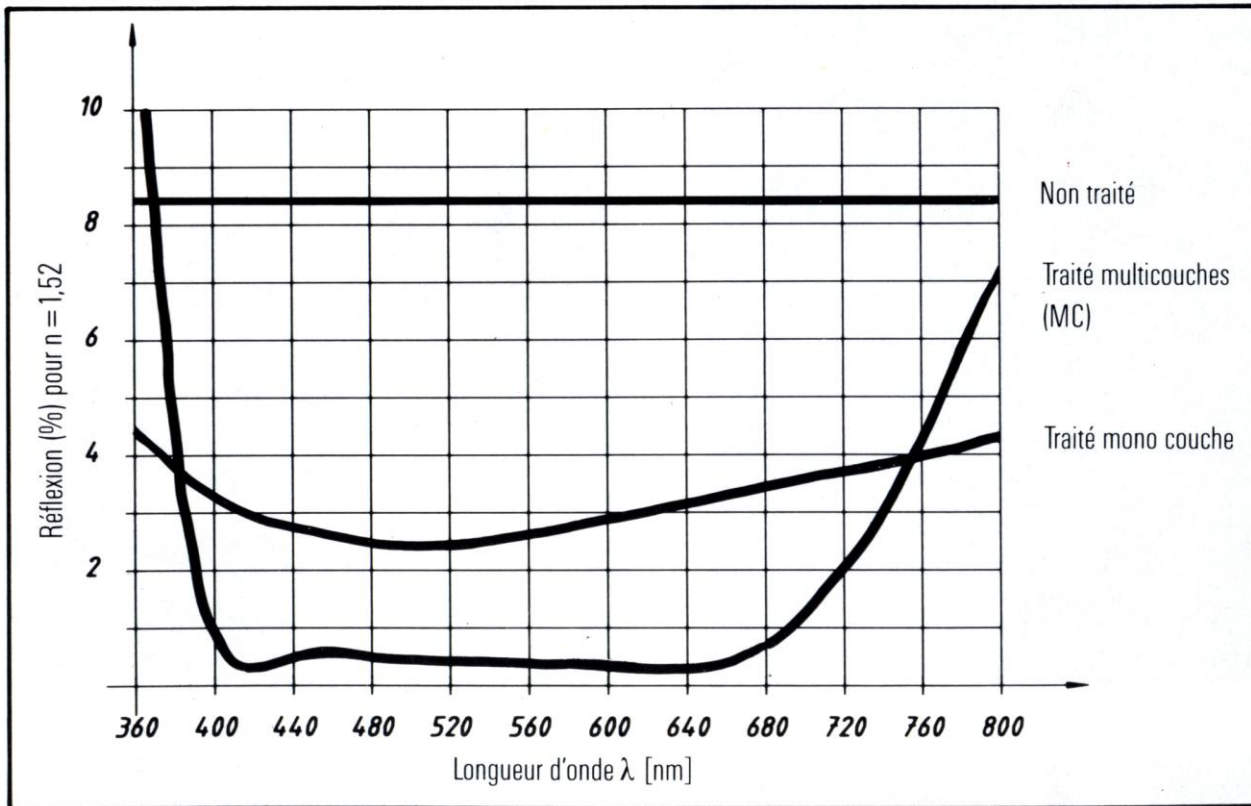
Interface air/verre - avec traitement antireflets



Une stratification de couches minces de divers matériaux arrive à effacer la réflexion pour une large gamme d'angles d'incidence (application de l'interférence)

Les couches anti-reflets

2



Quel filtre choisir ?

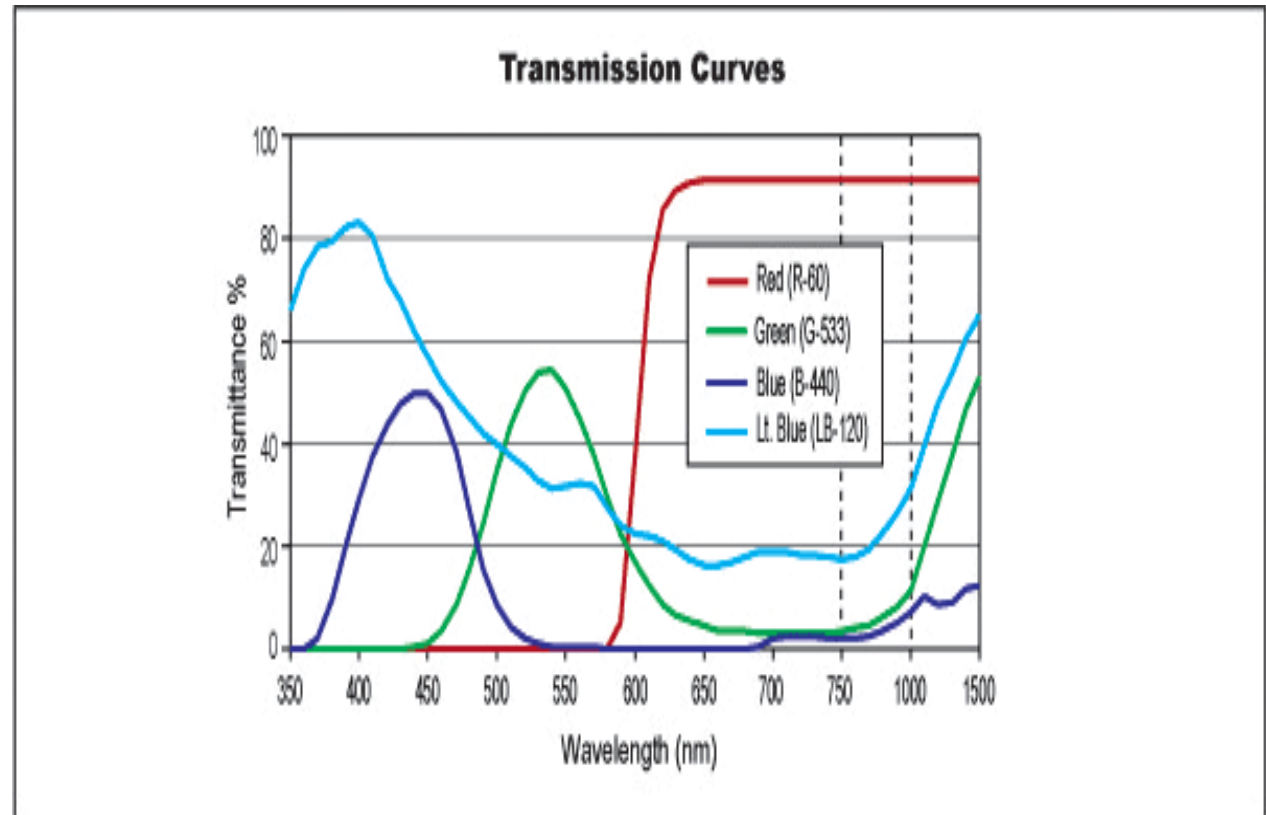
Filtres interférentiels

- Grand choix
- Attention, la réponse dépend de l'angle d'incidence
- Chers
- Fragiles (température)

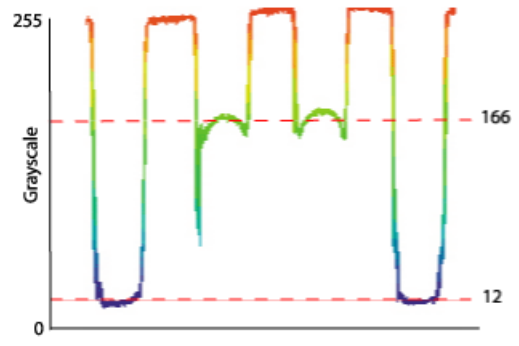
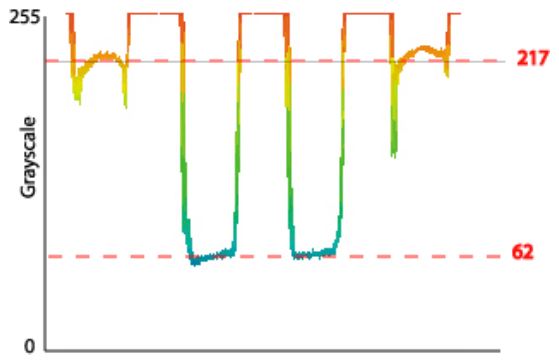
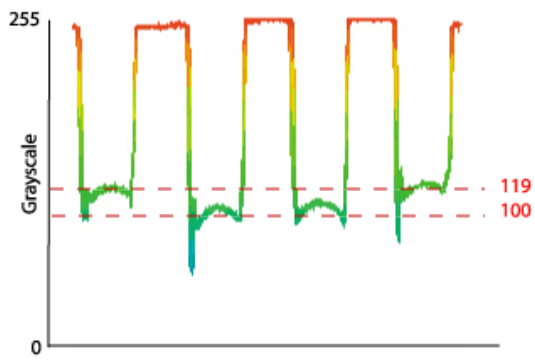
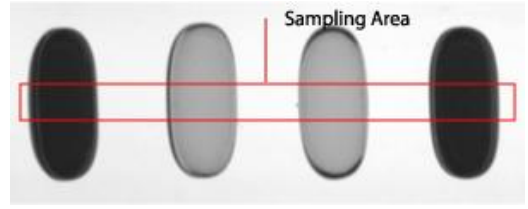
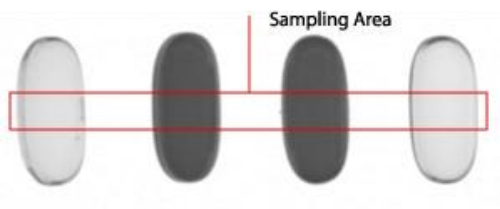
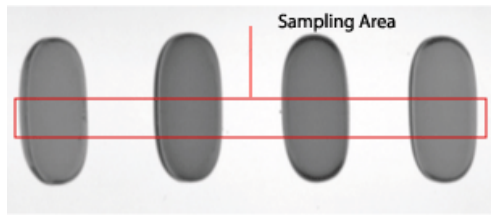
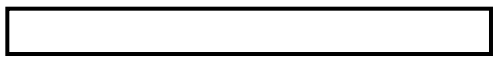
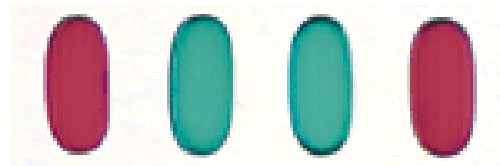
Filtres colorés

- Choix limité
- Réponse indépendante de l'angle d'incidence
- Bon marché
- robustes

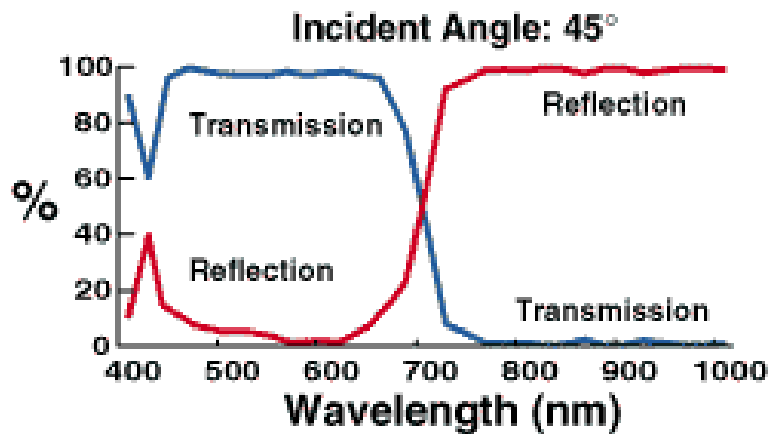
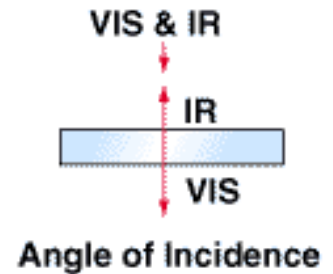
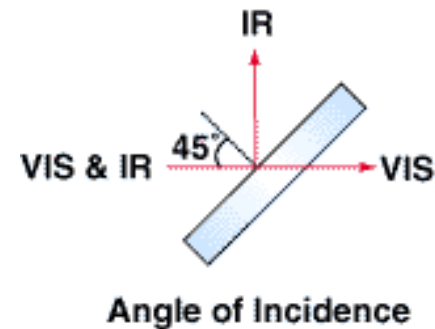
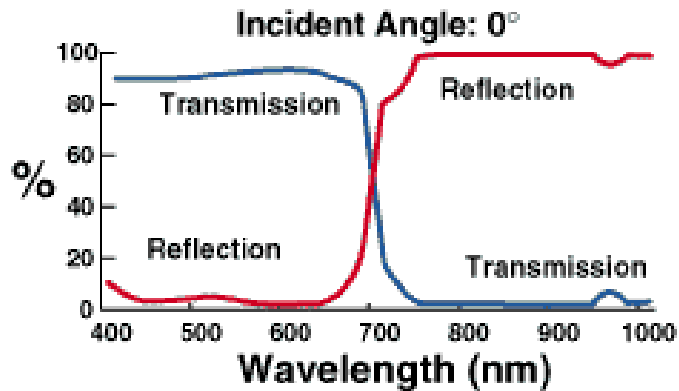
Filtres pour la sélection des couleurs



Utilisation des filtres colorés pour discerner les couleurs avec un détecteur monochromatique



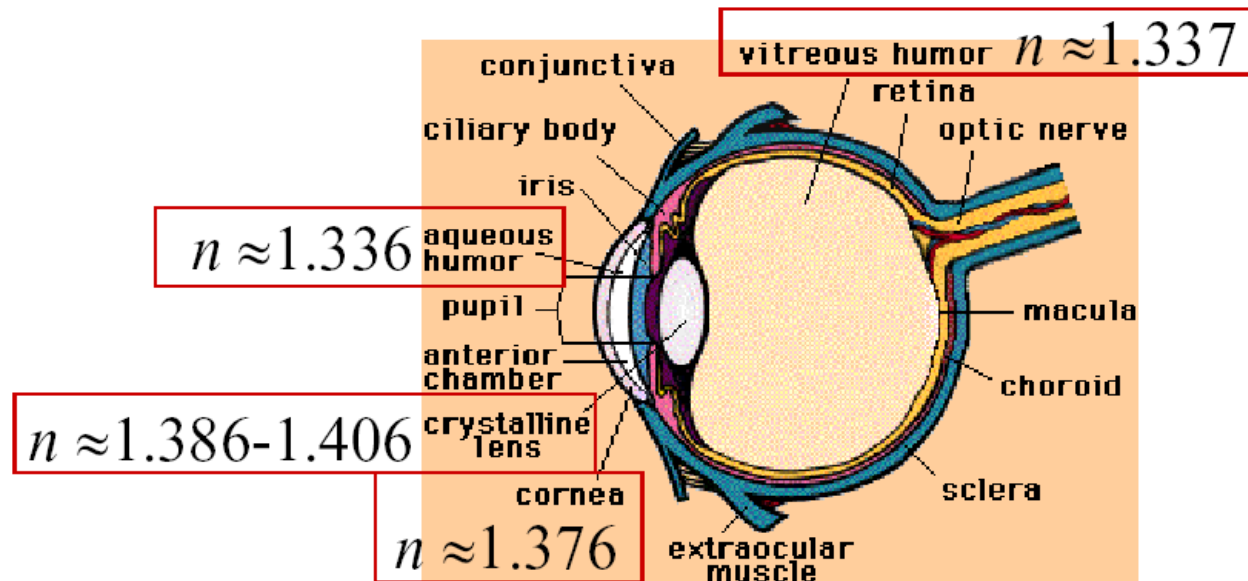
Hot mirrors , pour éviter de chauffer l'objet éclairé



Le premier détecteur : la caméra-œil

- Focale 17 mm
- Résolution 1 minute d'arc

L'œil (ref. cours Perrenoud)



Les propriétés de l'œil, la photométrie

- L'oeil est une caméra !
- “autofocus” avec le cristallin- faiblit avec l'âge
- Adaptation à une grande gamme de lumière
100'000 lux – 0.01 lux
- Attention à ne pas l'abîmer (soleil, laser)
- Domaine de visibilité 400 – 700 nm
- Temps de réaction 0.1 sec (cinéma)

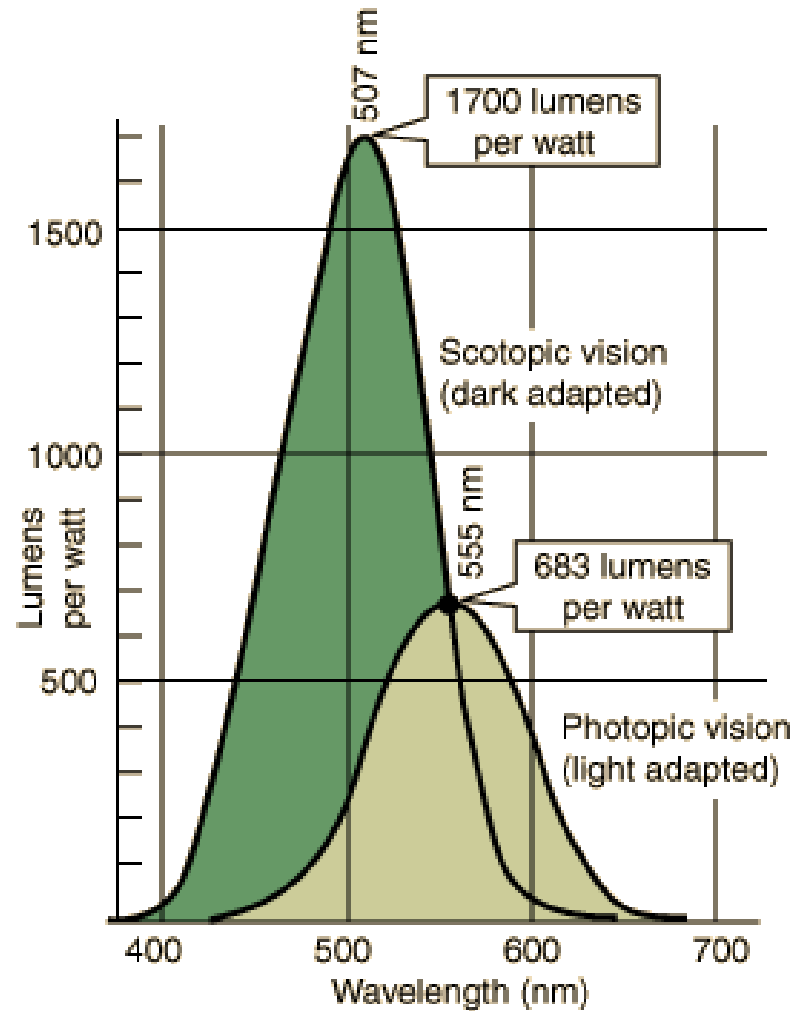
Sensibilité de l'oeil en fonction de la longueur d'onde

Scotopic :

Vision nocturne
(sans éclairage
public!)

Photopic :

Vision diurne

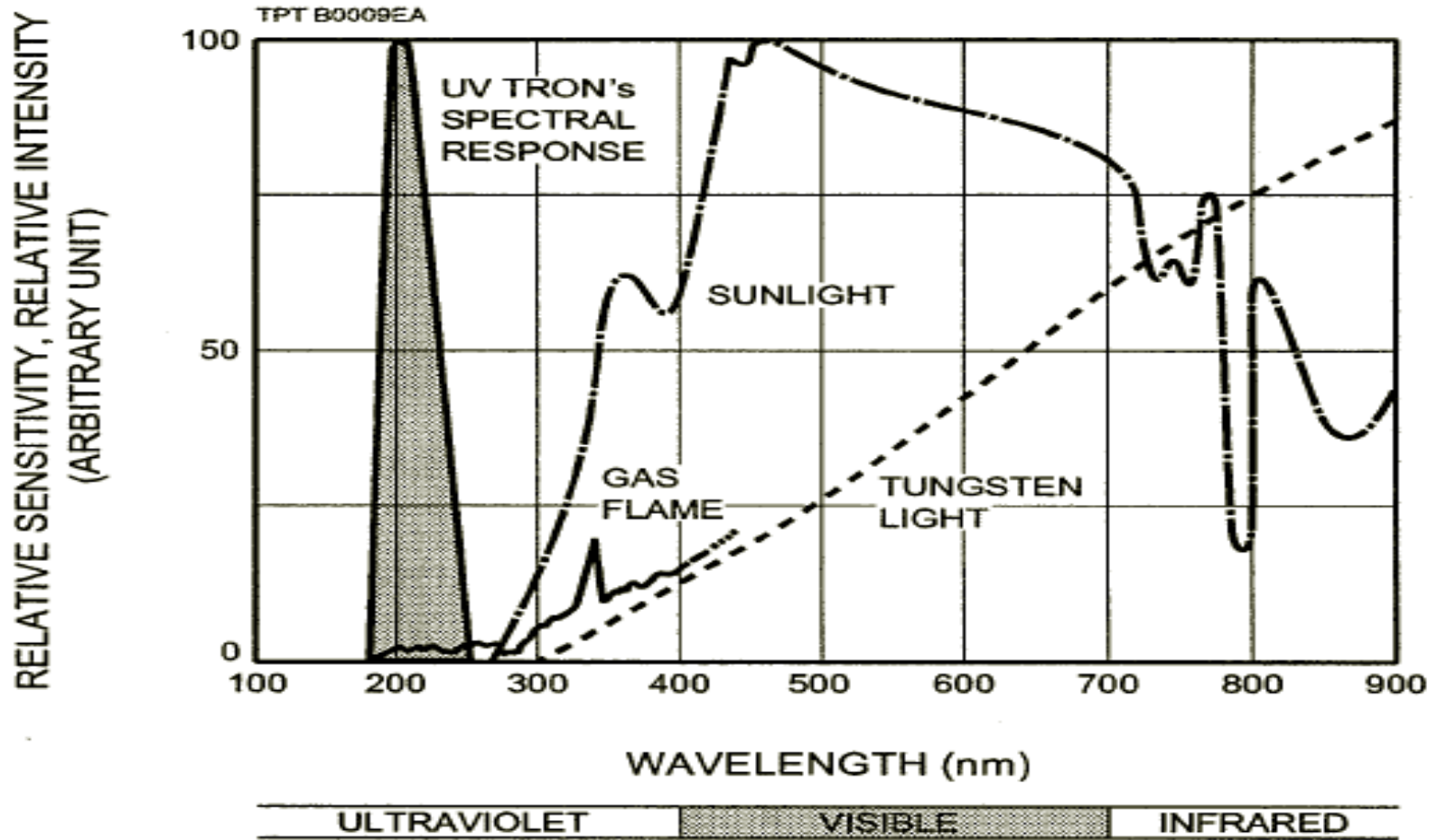


Photocellule sous vide

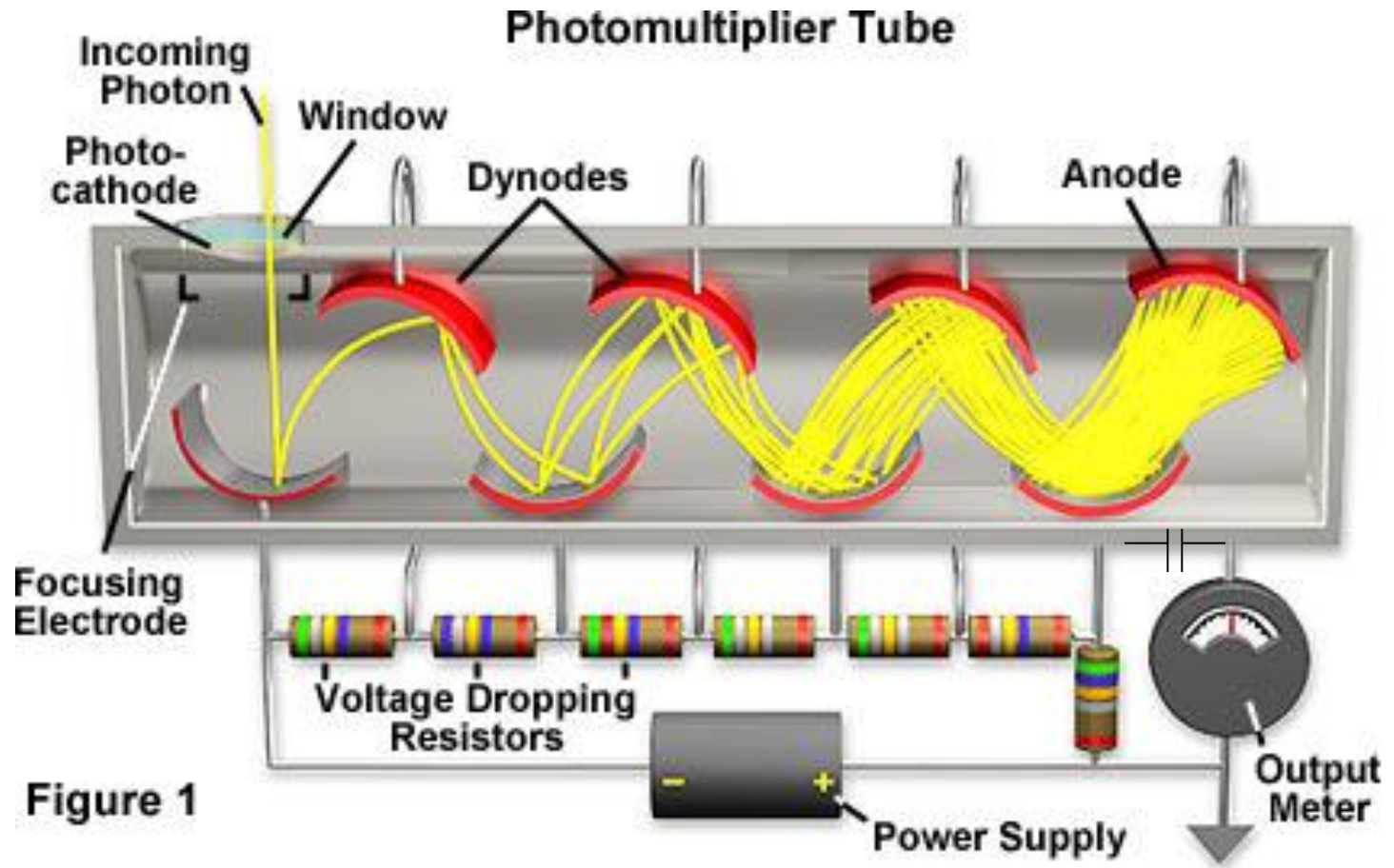
- Importance historique (Einstein)
- UV à IR selon le matériau
- Sélective en UV
- Rapide (< 0.1 nsec)



spectres de sources et d'un détecteur de flamme UV



photomultiplicateur



Photomultiplicateur : avantages et inconvénients

- Forte amplification 10^8
- Peu de bruit
- Grande surface photosensible
- Rapide (nsec)
- Alimentation HT
- Encombrement
- Prix
- Consommation
- Fragile

Le gain dépend fortement de la tension appliquée

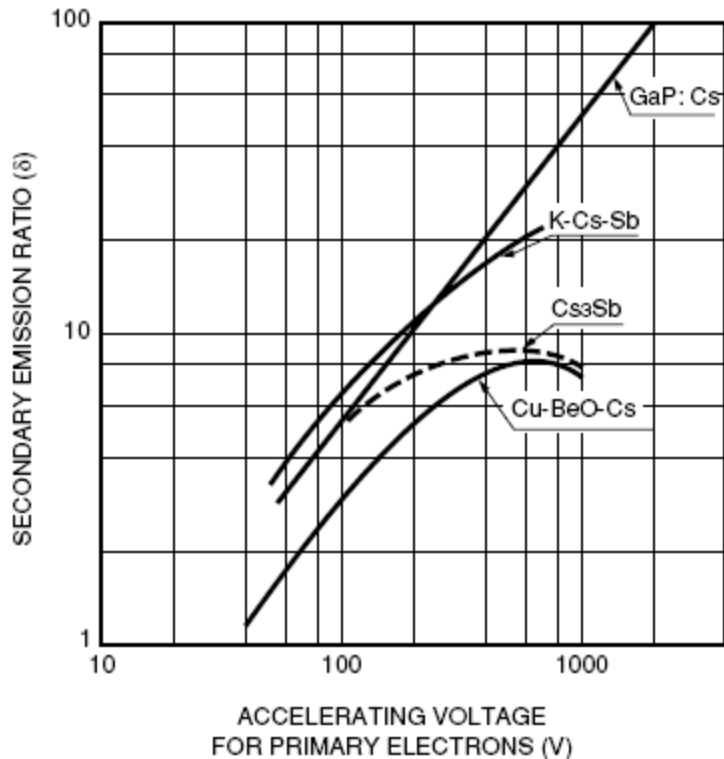


Figure 2-7: Secondary emission ratio

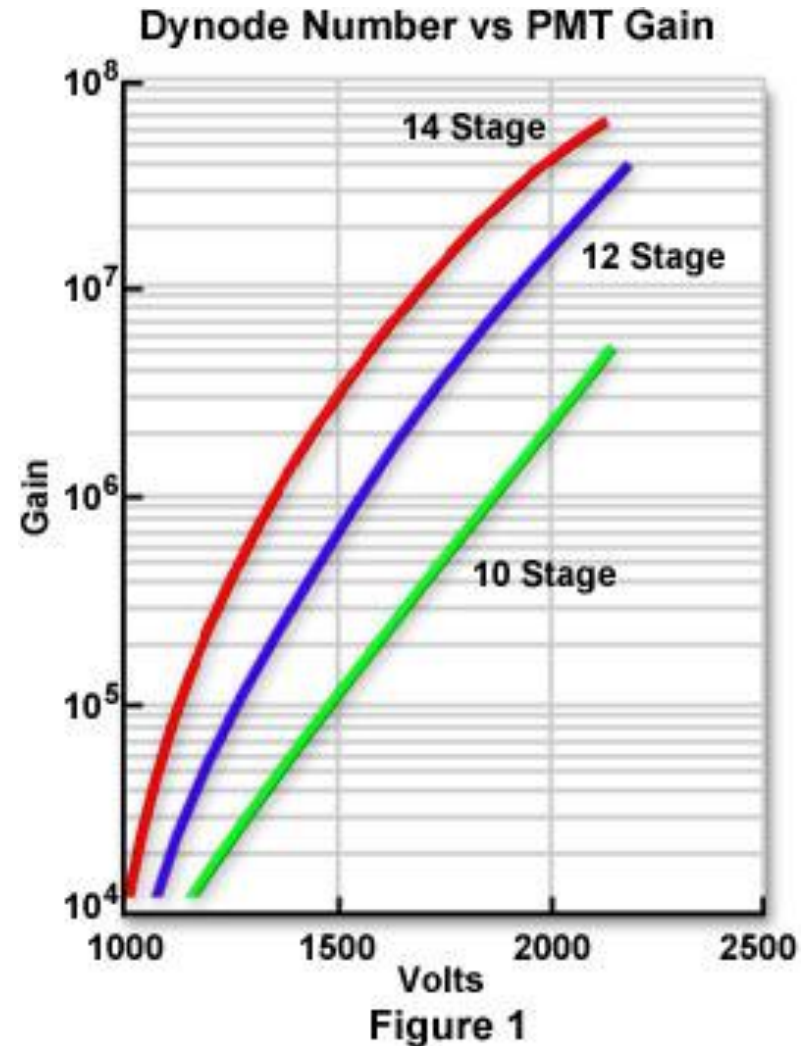


Figure 1

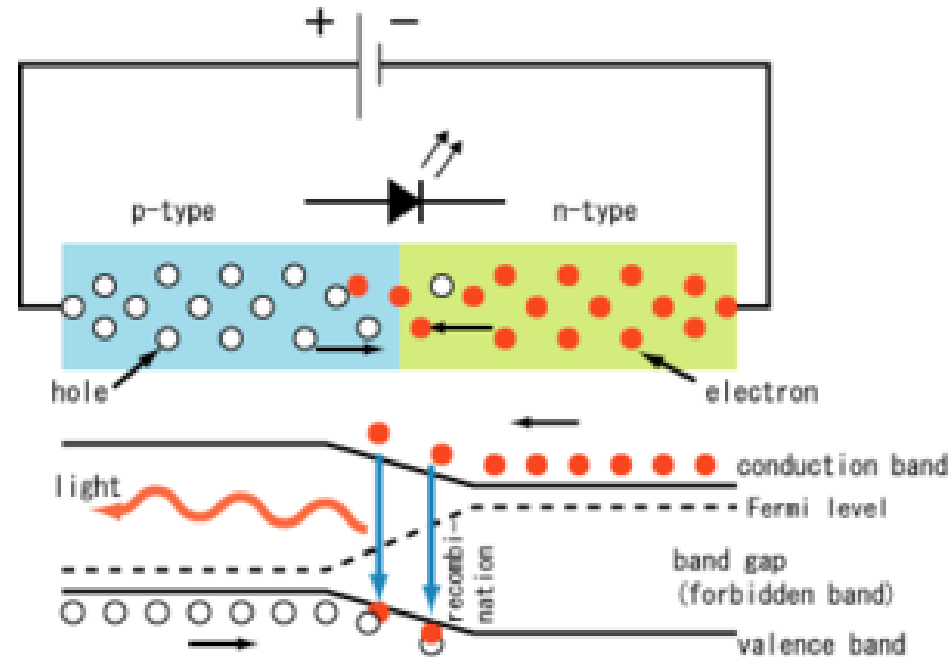
Détecteurs photoconducteurs

- La résistance diminue lorsqu'on l'éclaire
- Réponse lente mais suffisante pour commander un éclairage



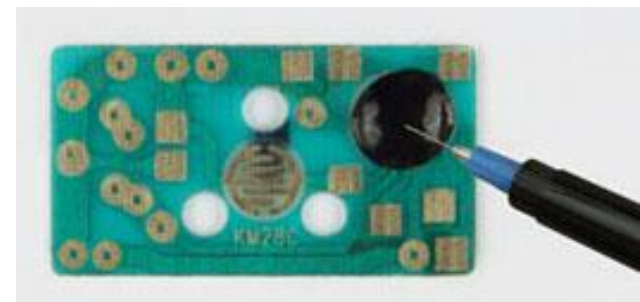
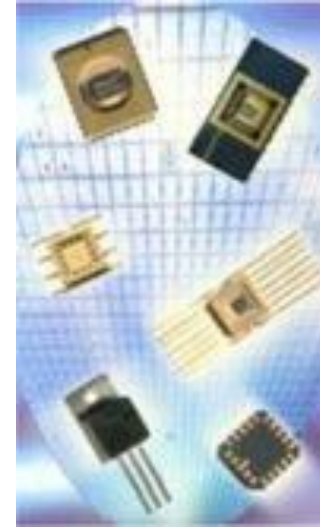
La photojonction p-n

- Toute jonction pn est photosensible (par exemple une LED !)
- Mais pas forcément optimisée pour la détection de lumière



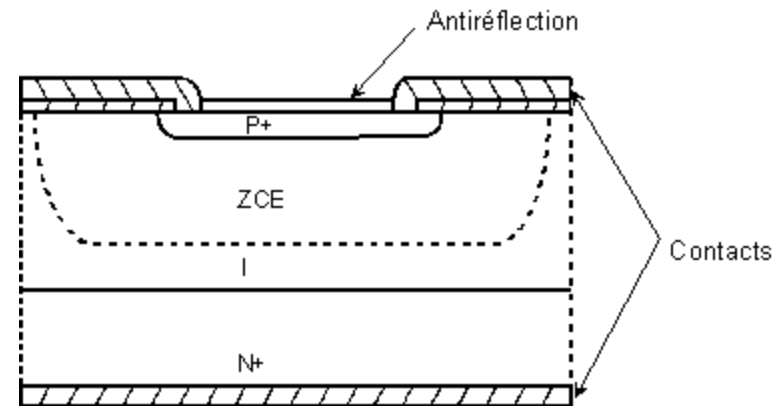
Tout semi-conducteur est un photodétecteur !

- Encapsulation nécessaire :
céramique, couvercle métallique, plastique opaque
- « globtop » résine époxy avec substance opaque



La photodiode p(i)n

- Optimisée pour la détection
- Plus rapide, mais cela dépend de sa surface
- Attention à ce qui se passe à la fenêtre!

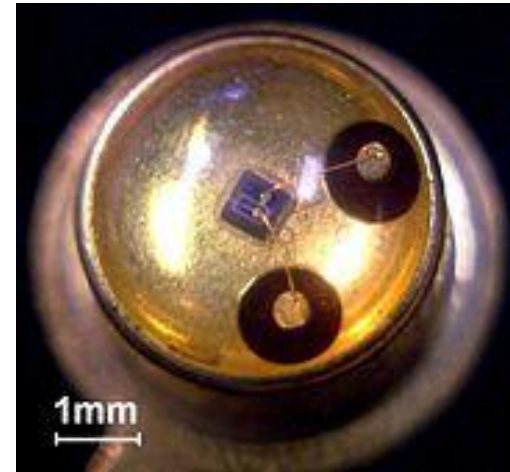


Les points délicats

- Réflexion sur la surface
- Uniformité de détection
- Surface : plus grande → réponse plus lente
- Bruit (détecteurs refroidis)

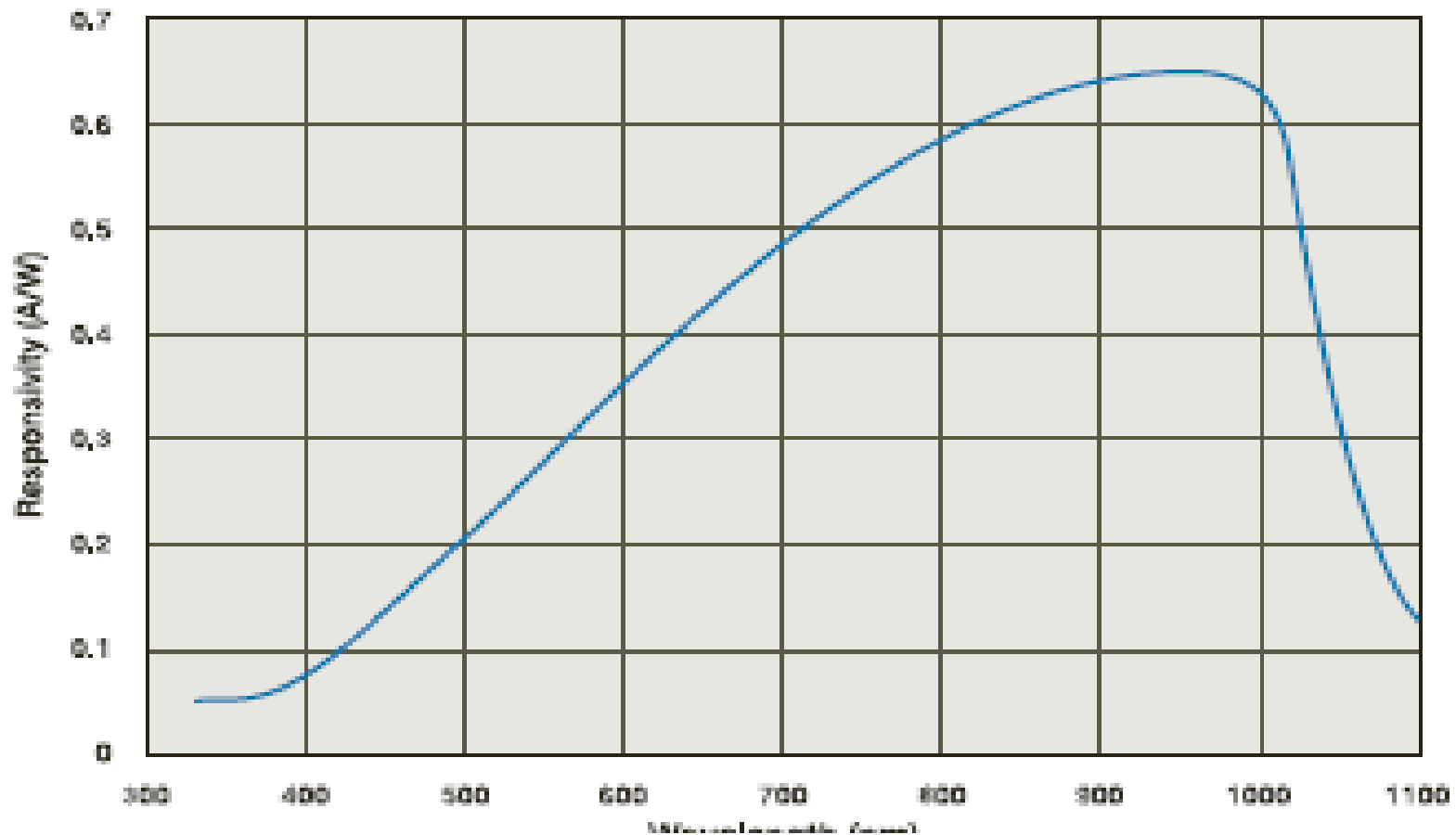
Le phototransistor

- La sensibilité de la jonction est multipliée par le gain en courant h_{fe} (40-100 x)
- Vitesse limitée (100 kHz)



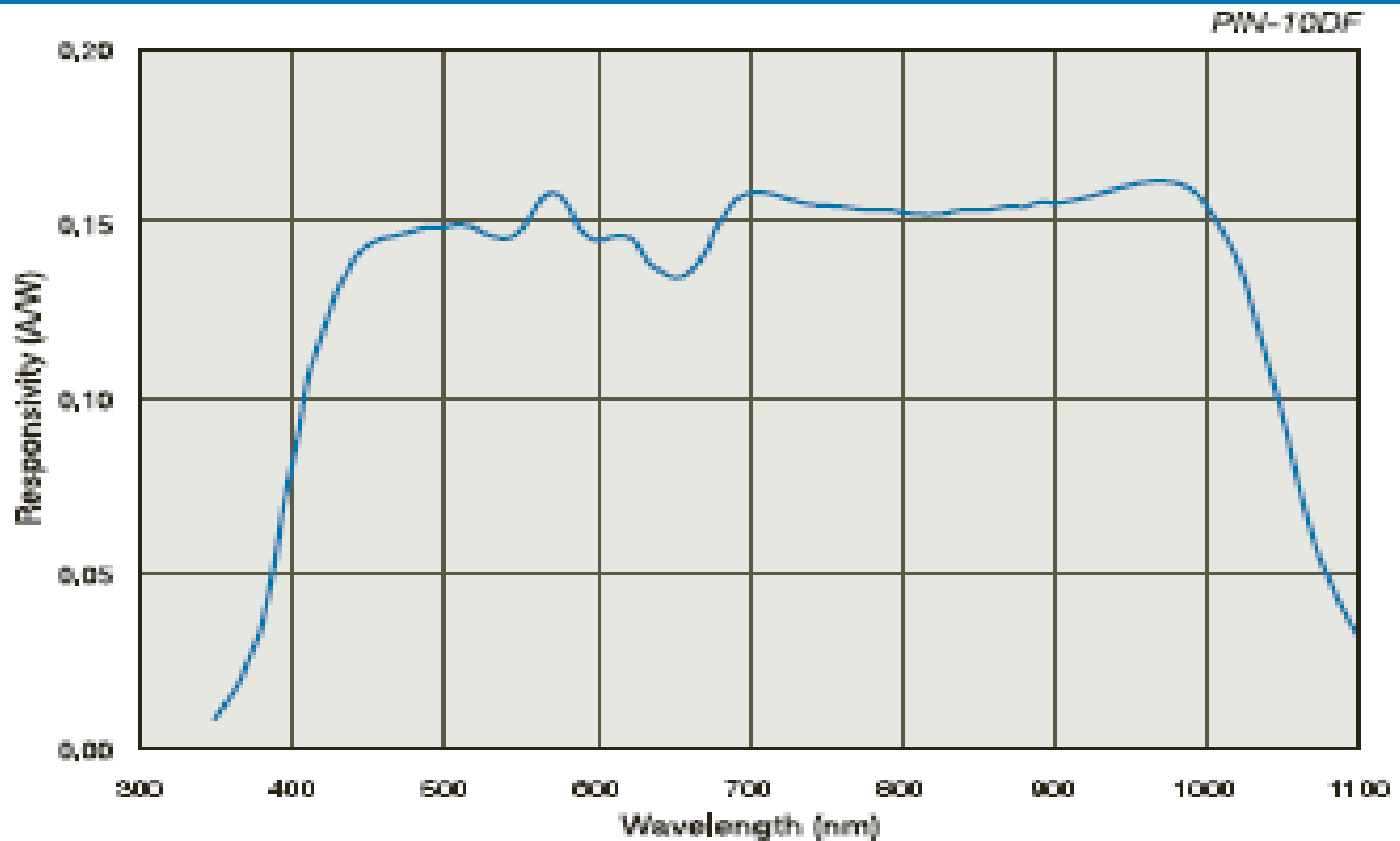
Réponse spectrale d'un détecteur silicium

■ Typical Spectral Response

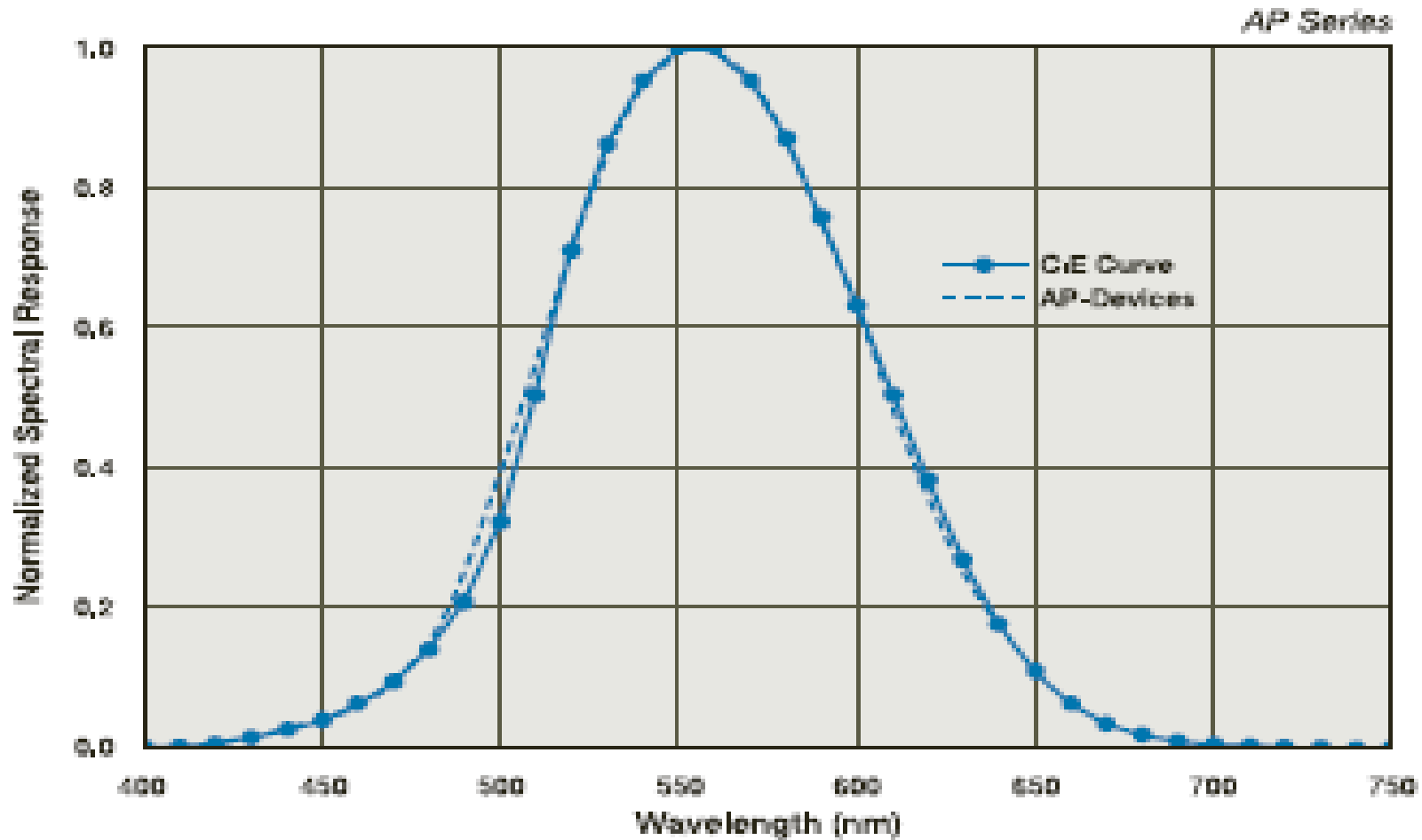


Détecteur silicium avec filtre : réponse "plate"

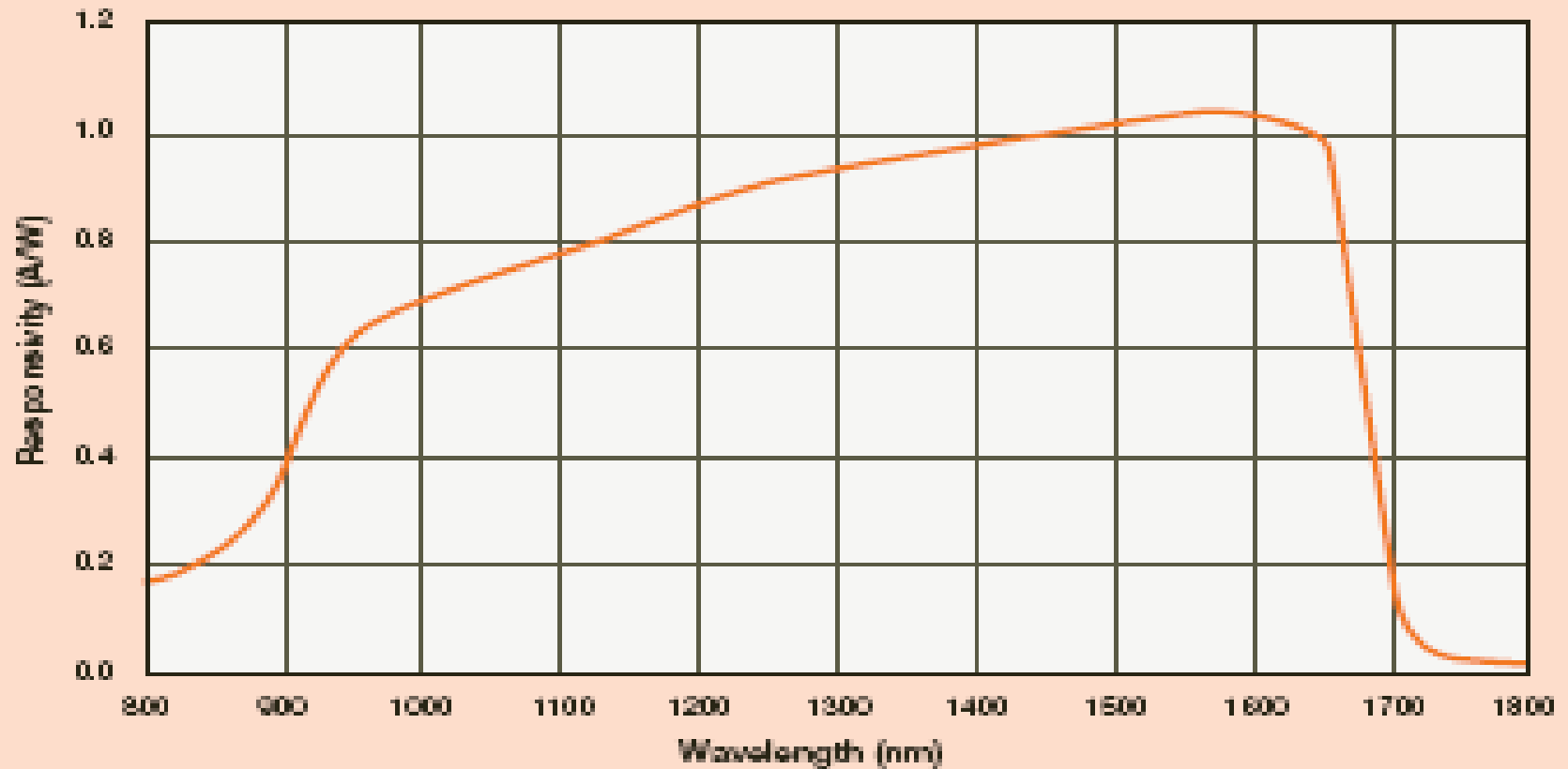
■ Typical Spectral Response



Détecteur silicium avec filtre pour mesures photométriques: même courbe de sensibilité que l'oeil humain

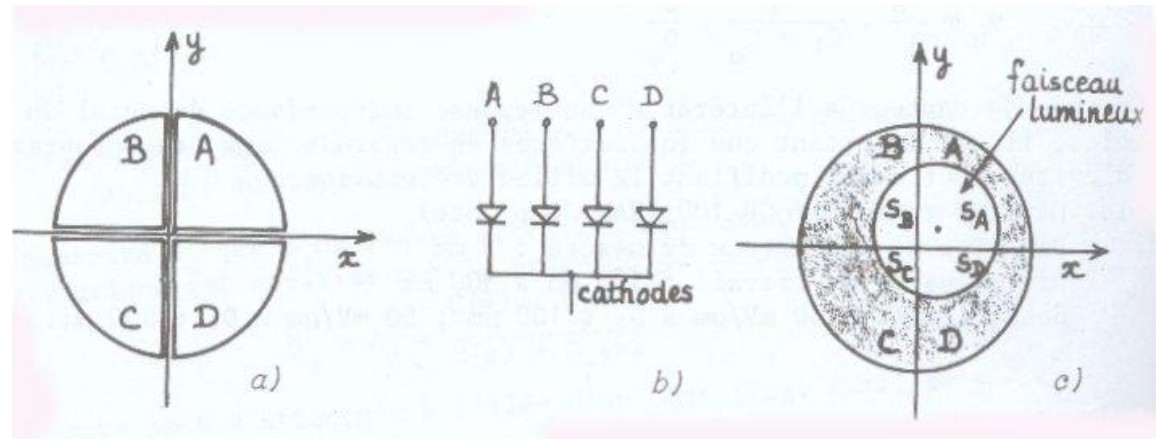


Typical Spectral Responsivity (InGaAs)

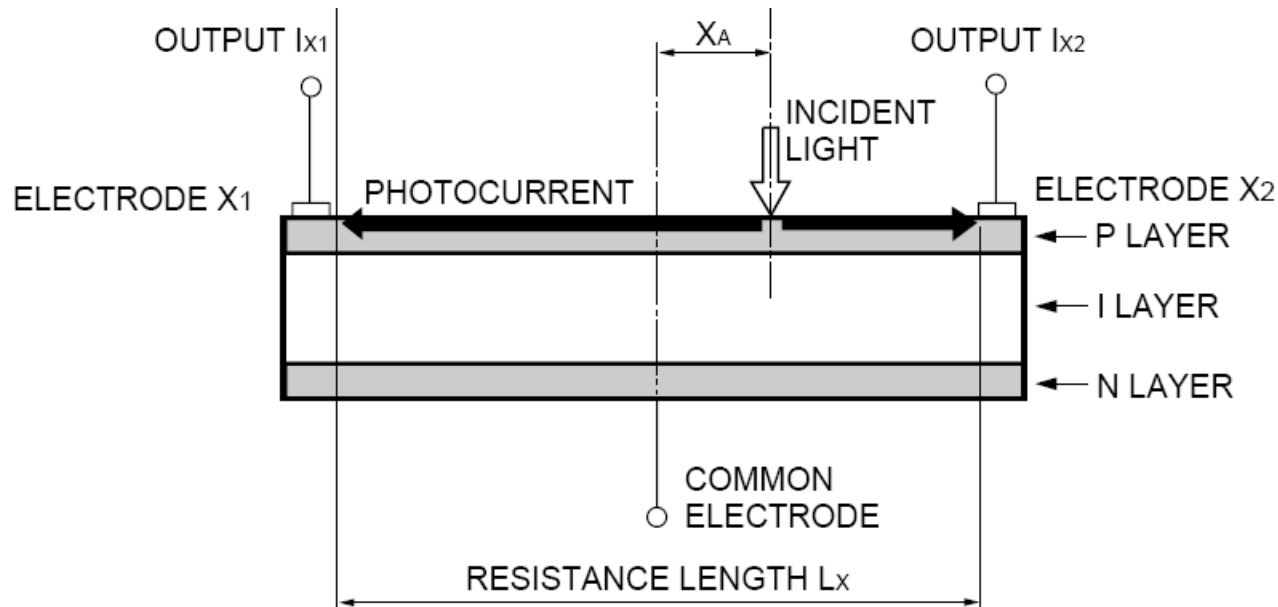


Les détecteurs segmentés

- 2, 4, n quadrants
- Idéal comme détecteur de zéro
- Utilisé dans tous les lecteurs CD, DVD
- Faible gamme de mesure



Les détecteurs PSD : 1 D

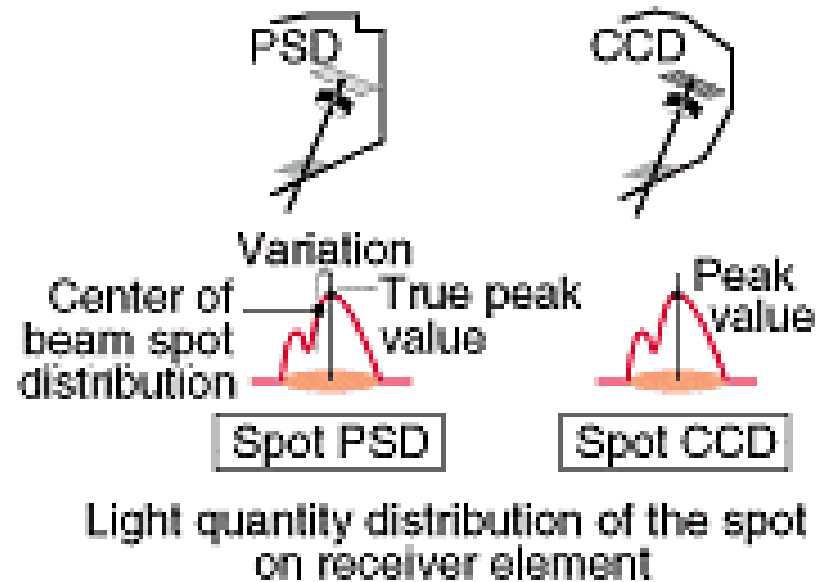
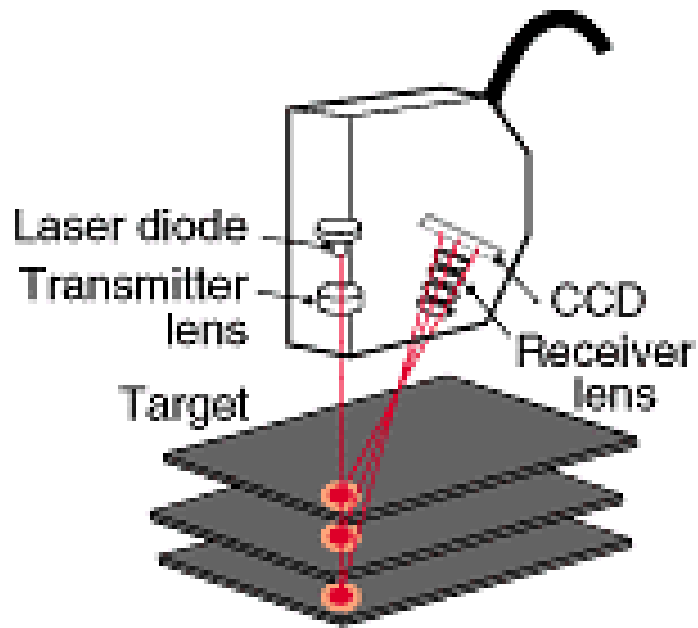


$$\frac{I_{x2} - I_{x1}}{I_{x1} + I_{x2}} = \frac{X_A}{L_x}$$

- Même principe pour le 2D

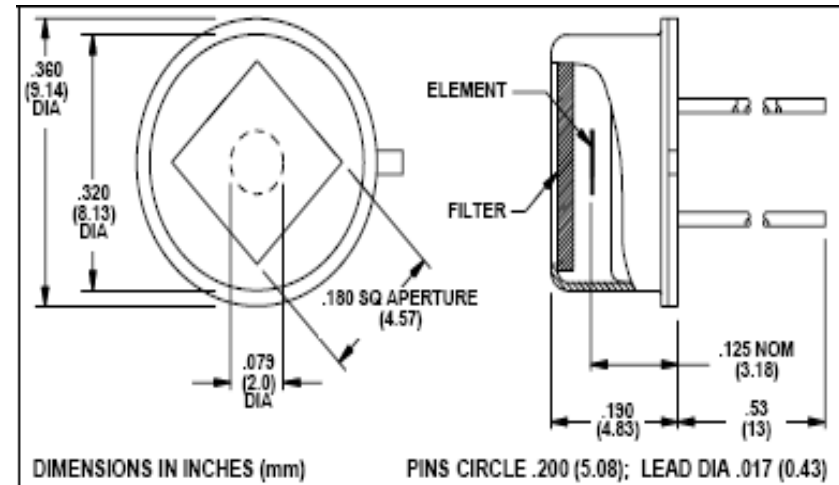
Les détecteurs PSD

- Caméra ou détecteur ?



Les détecteurs pyroélectriques (thermiques)

- Réponse indépendante de la longueur d'onde : 0.1 – 1'000 μm
- Détecteur AC, nécessite un signal modulé
- Signal plus faible qu'avec une photodiode

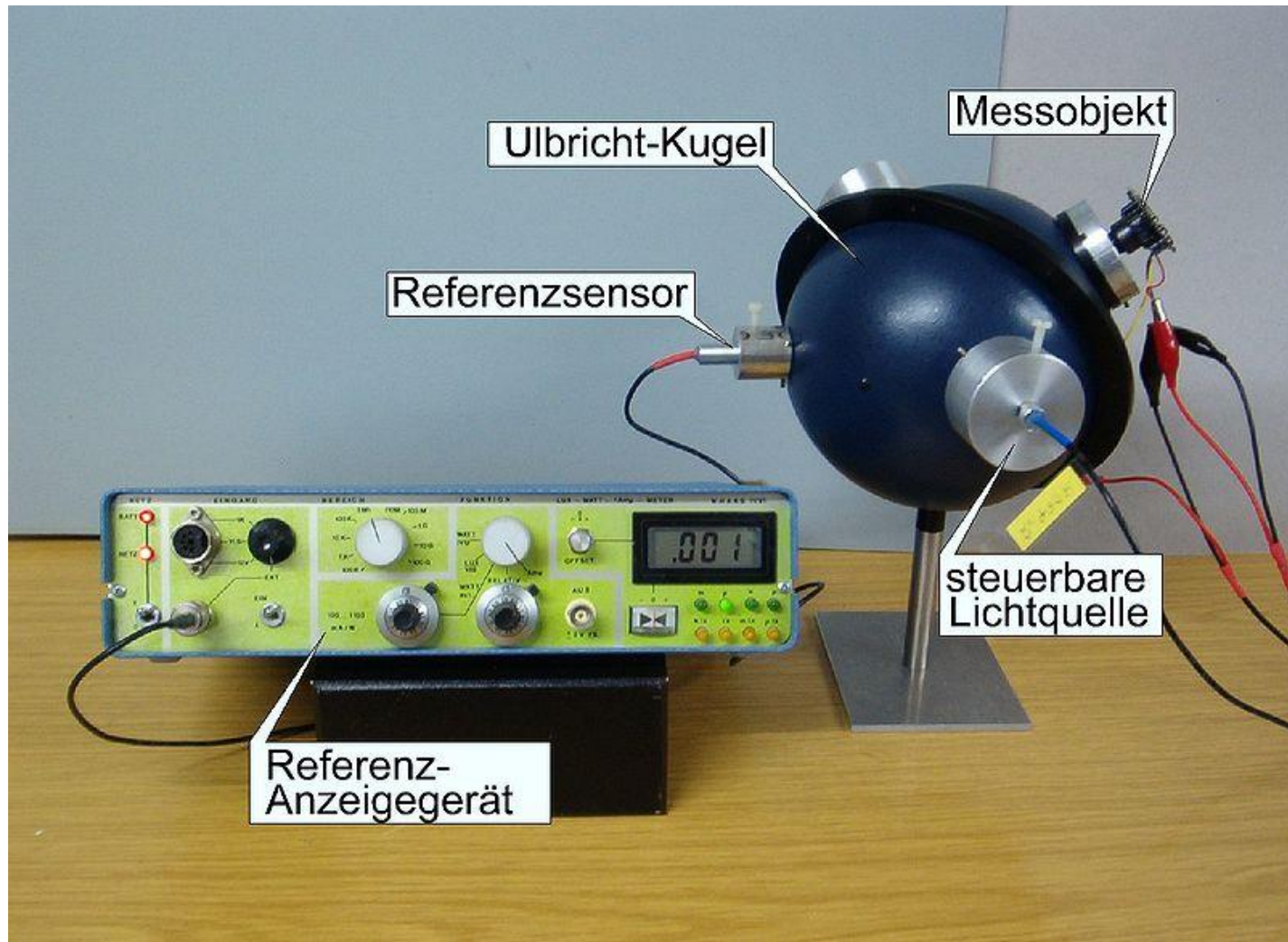


Le luxmètre

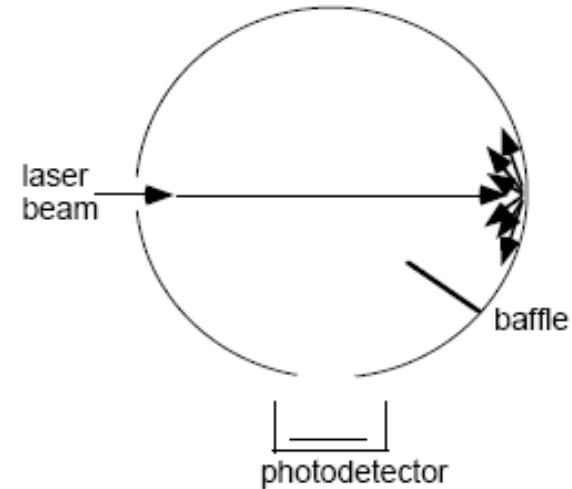
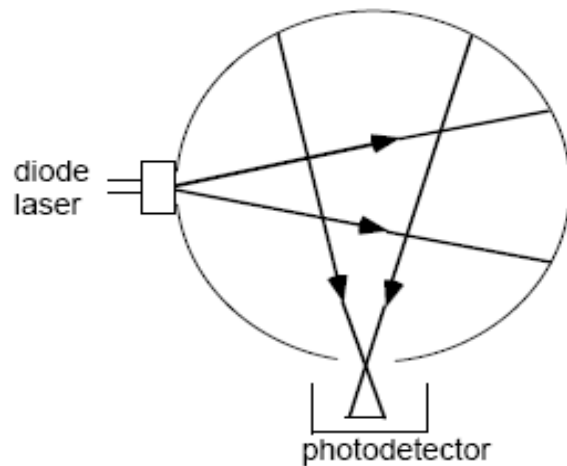
- Sensibilité corrigée pour correspondre à l'œil
- Caractéristique directionnelle
- Pas besoin d'être rapide



La sphère intégrante



La sphère intégrante est parfaite pour mesurer précisément la puissance d'un laser

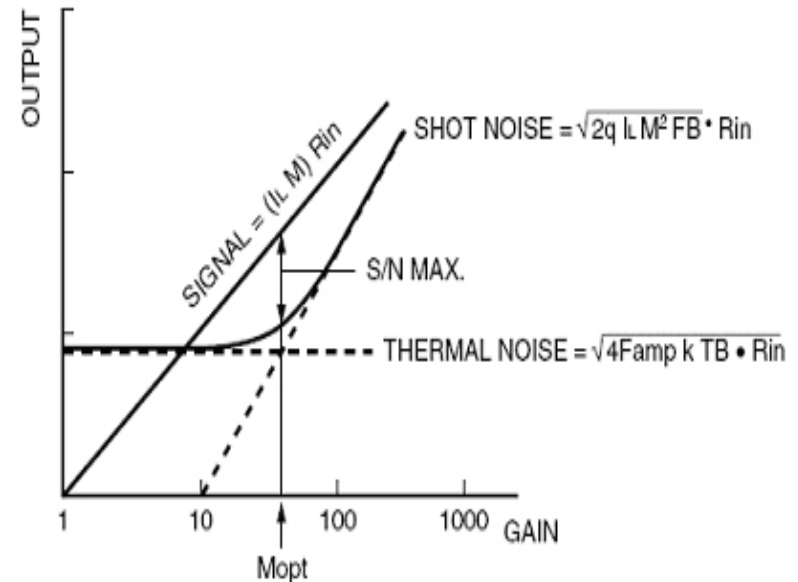
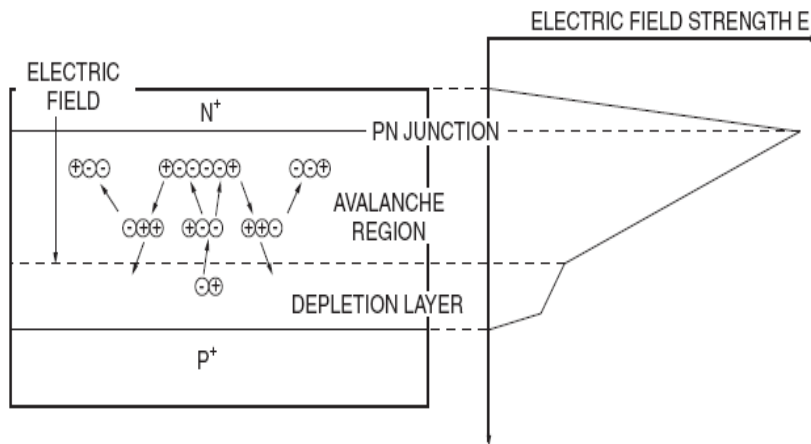


Comment ne pas mesurer l'éclairage ambiant !

- Vérifier que l'on mesure bien le signal
- Masquer le détecteur
- Filtre devant le détecteur
- Moduler et détecter en phase

La photodiode à avalanche -gain optimum pour le meilleur rapport signal/bruit

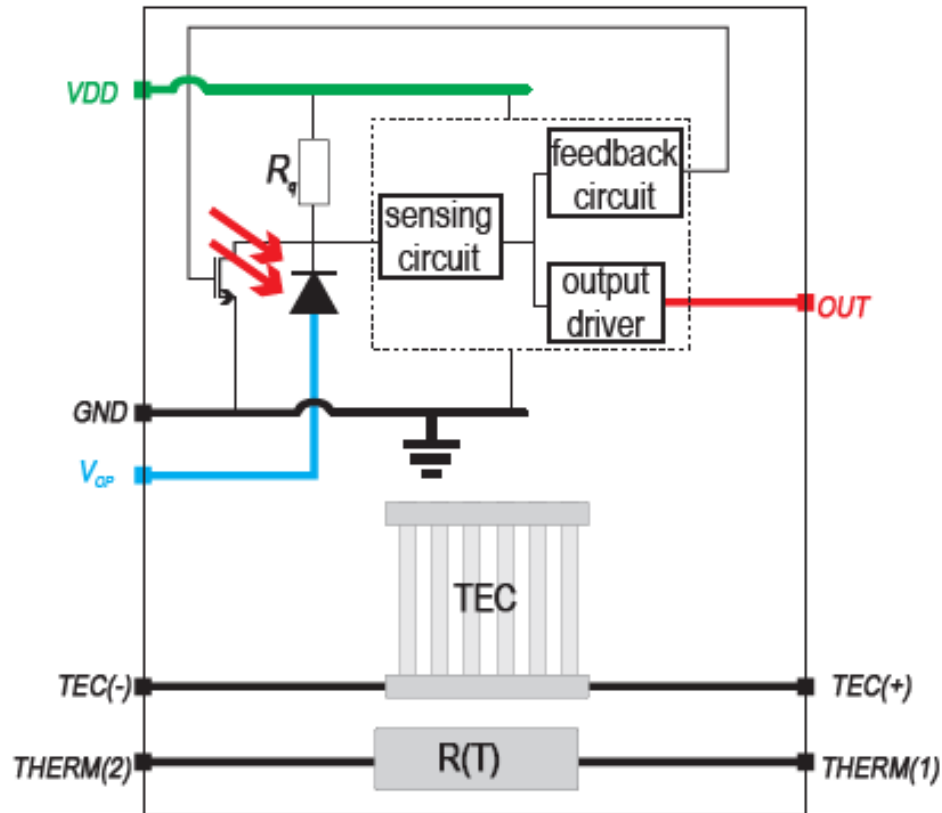
Figure 1-1 Schematic diagram of avalanche process



F_{amp} : Noise figure of next-stage amplifier
 R_{in} : Input resistance of next-stage amplifier
 k : Boltzmann's constant
 T : Absolute temperature

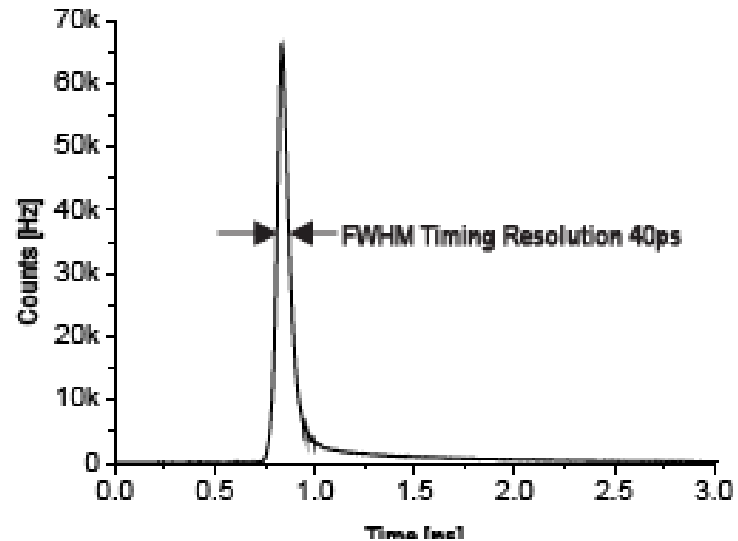
Détection d'un seul photon : le matos ...

BLOCK DIAGRAM



Les performances (limite de comptage) :

temps mort 45 nsec Jitter 40 psec



La détection d'un seul photon (SPAD)

- Électronique de sauvegarde (arrêt de l'avalanche)
- Petite surface de détection
- Mais : gain énorme d'encombrement par rapport au photomultiplicateur