

# Filtres optiques en Astronomie

Frédéric Pertuisot  
1er Décembre 2017



- Introduction
- Un peu de théorie
- Filtres colorés
- Filtres spécifiques
- Choix des filtres



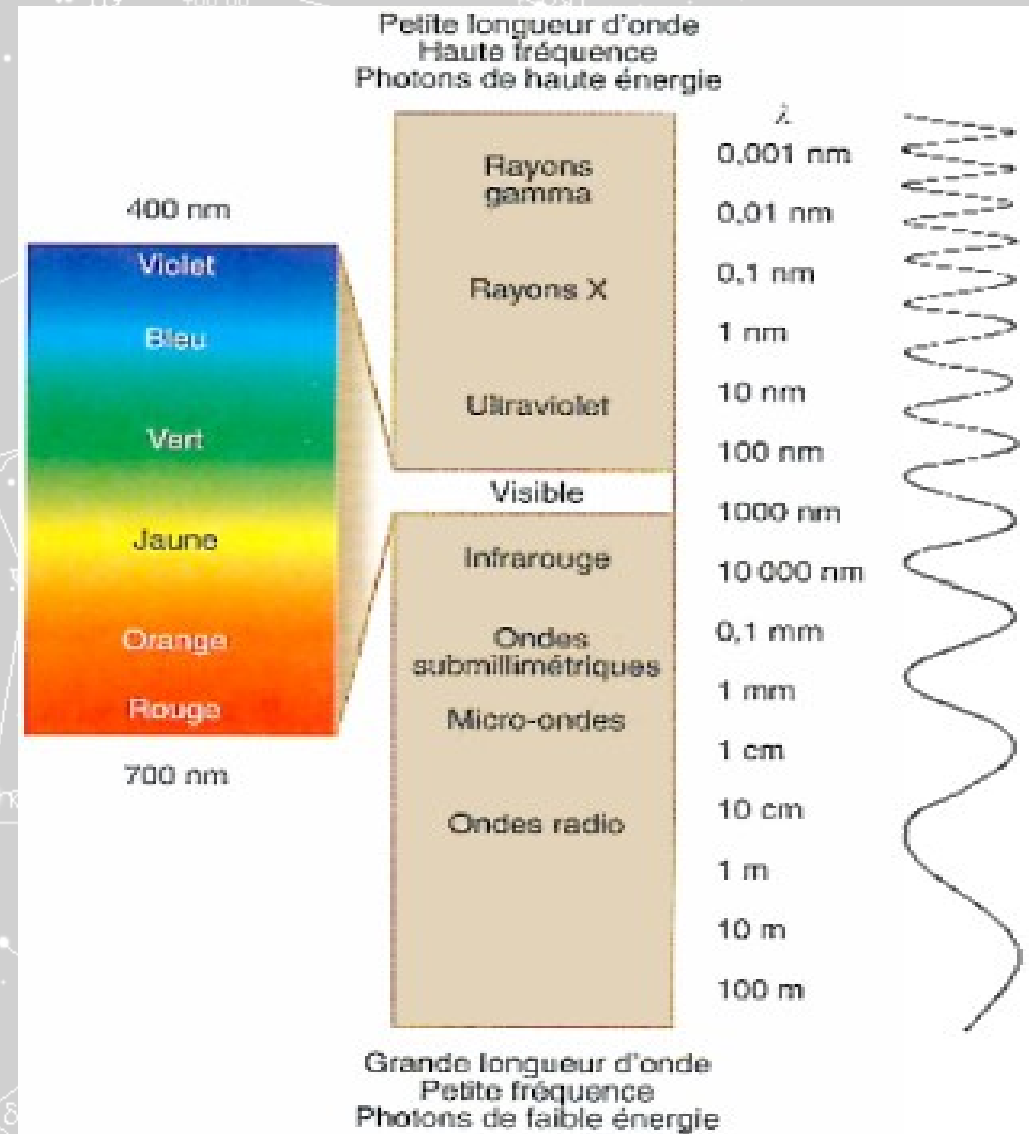
Onde :

Propagation d'une perturbation

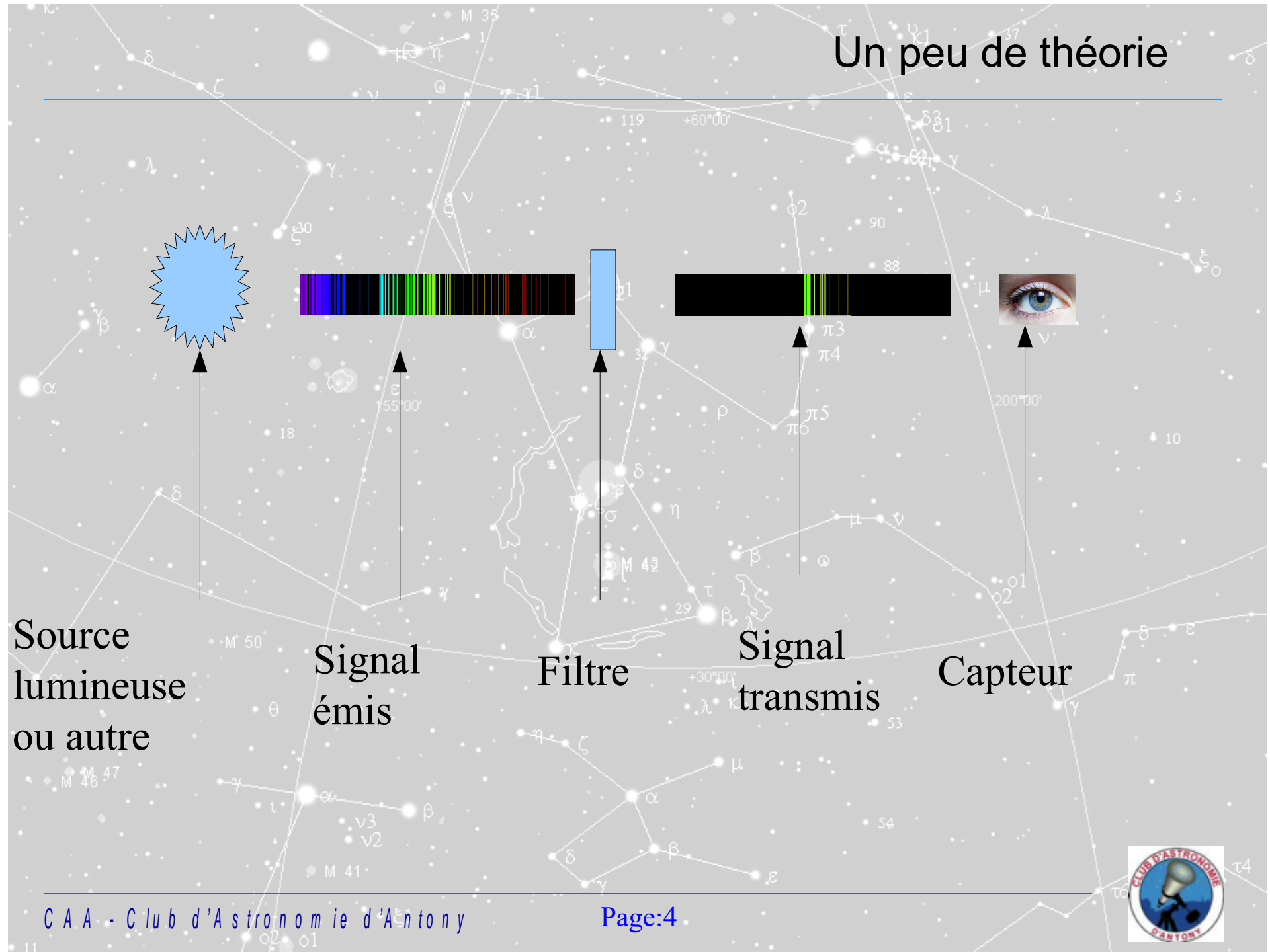
- Ondes Electro-magnétiques

- Lumière
- Ondes radio

- Son,.....



# Un peu de théorie



Source  
lumineuse  
ou autre

Signal  
émis

Filtre

Signal  
transmis

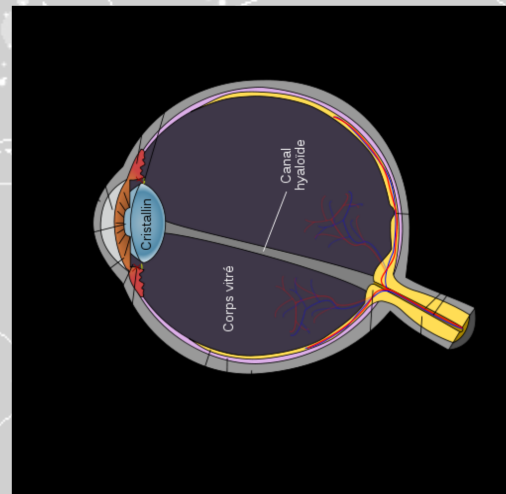
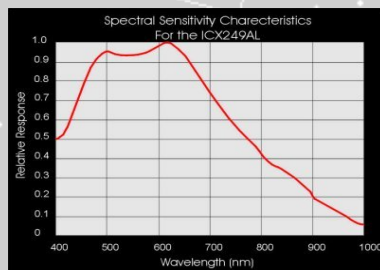
Capteur



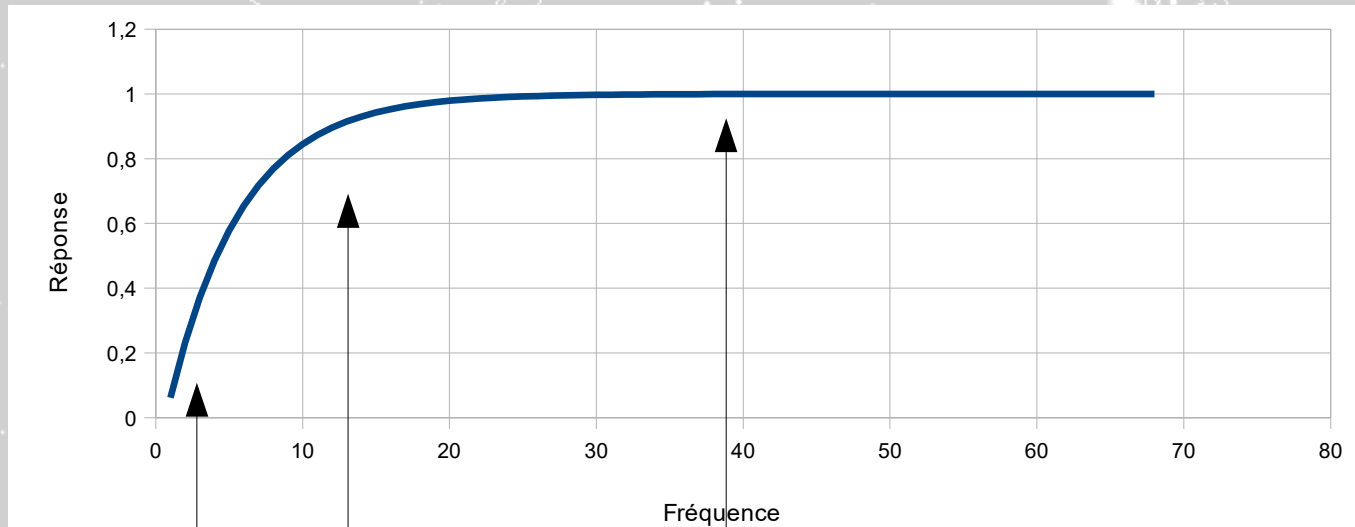
# Un peu de théorie

## Les filtres de M. Jourdain

- Œil
- Capteur CCD
- L'atmosphère
- Les optiques



# Un peu de théorie



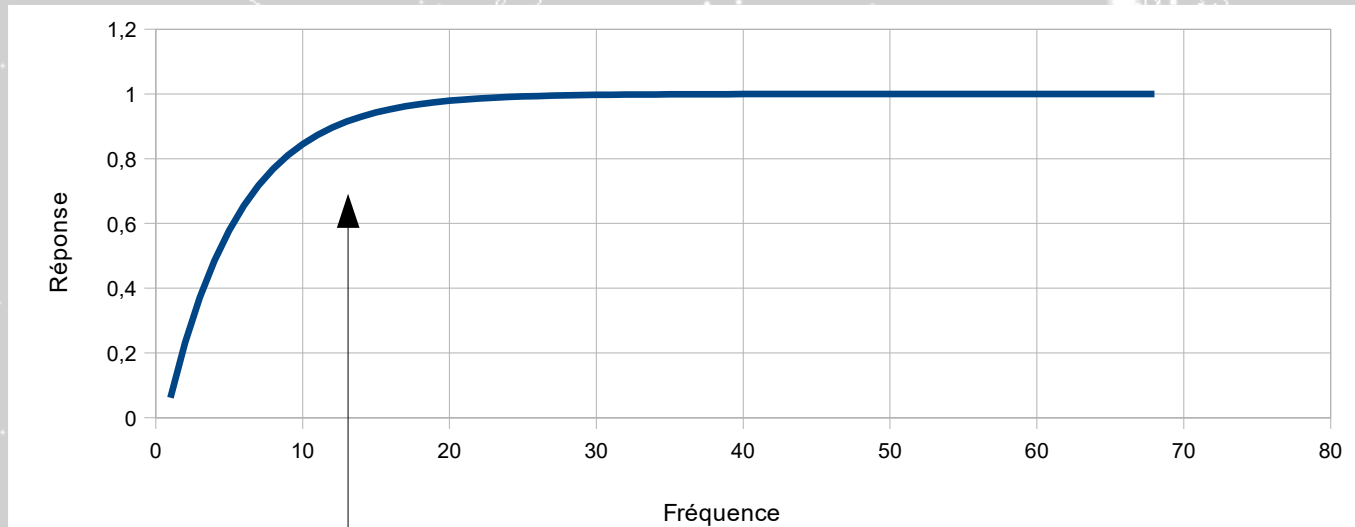
Fréquence de coupure

Tout le signal passe

Peu de signal passe



# Un peu de théorie



Fréquence de coupure

Fréquence de coupure :

- Puissance du signal reçu divisé par 2
- Amplitude réduite de  $\sqrt{1/2} \sim 0,707$



# Un peu de théorie

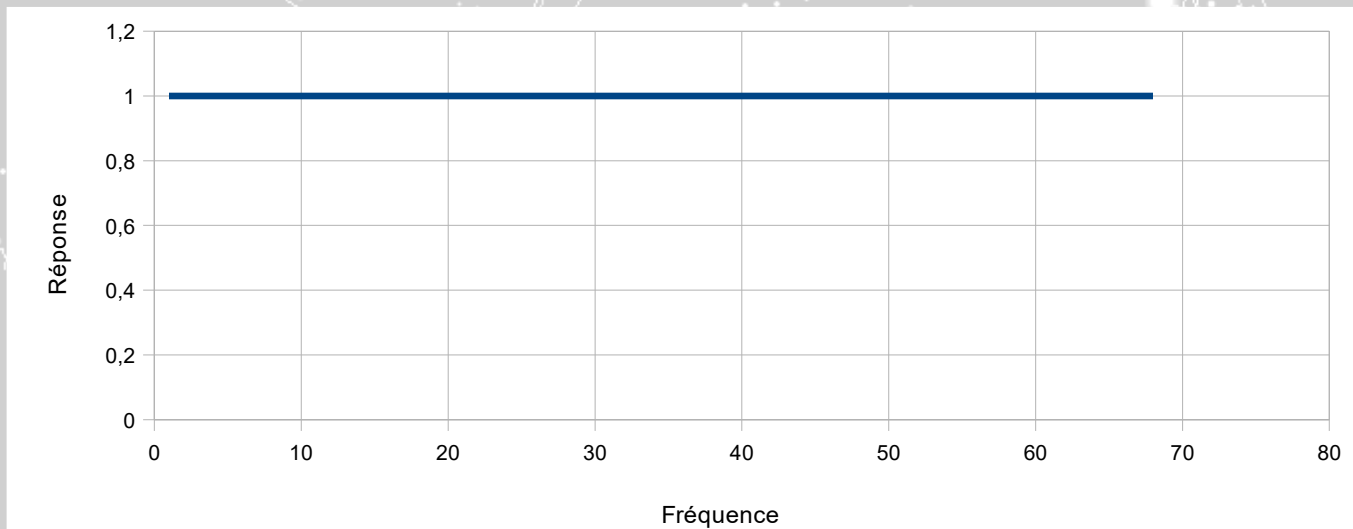
## Familles de filtres théoriques :

- Passe plat
- Passe haut
- Passe bas
- Passe bande





# Un peu de théorie

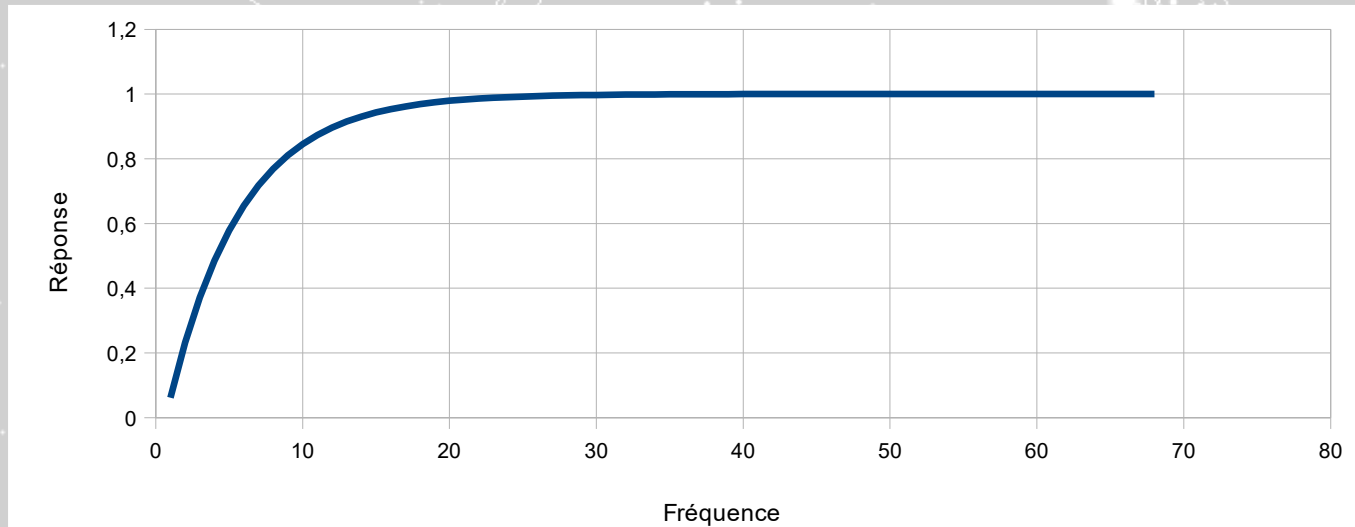


Filtre passe-plat

- $\text{Signal}_e(f) = \text{Signal}_s(f)$
- Peu d'intérêt



# Un peu de théorie

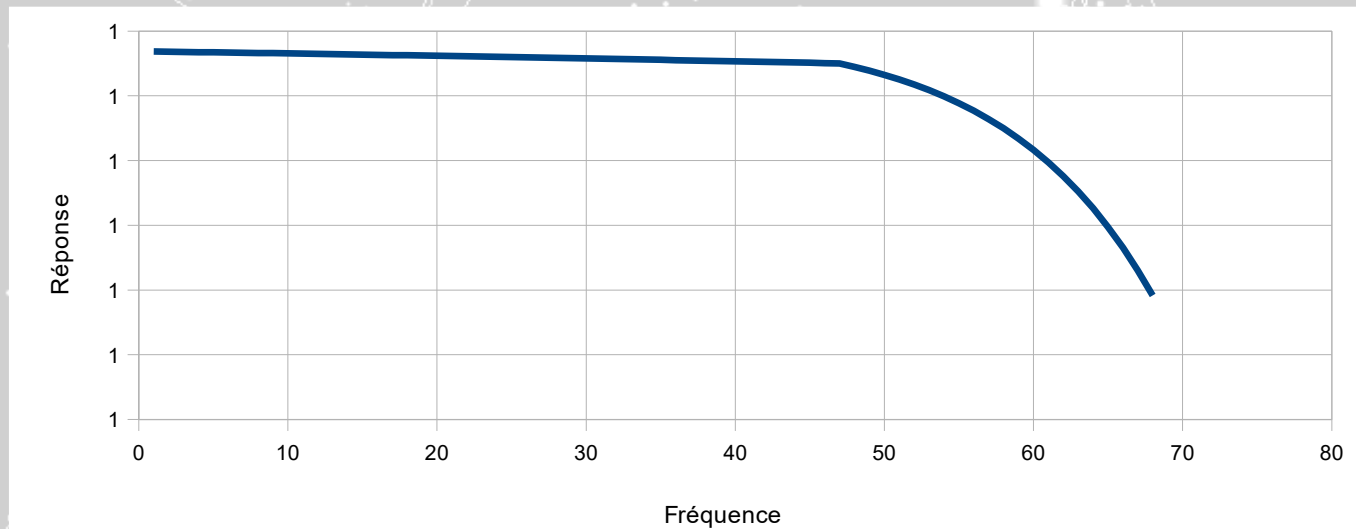


## Filtre passe-haut

- Les hautes fréquences sont préservées
- Les basses fréquences sont coupées
- Filtres type W25, IR-pass



# Un peu de théorie

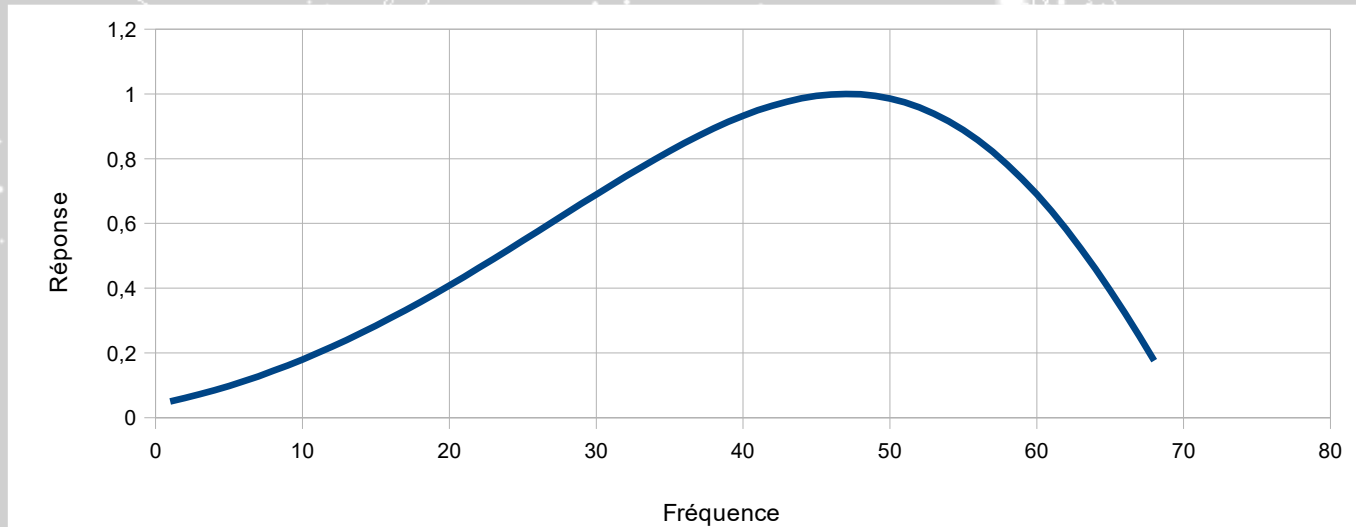


## Filtre passe-bas

- Les hautes fréquences sont coupées
- Les basses fréquences sont préservées
- Filtres type filtre anti IR



## Un peu de théorie



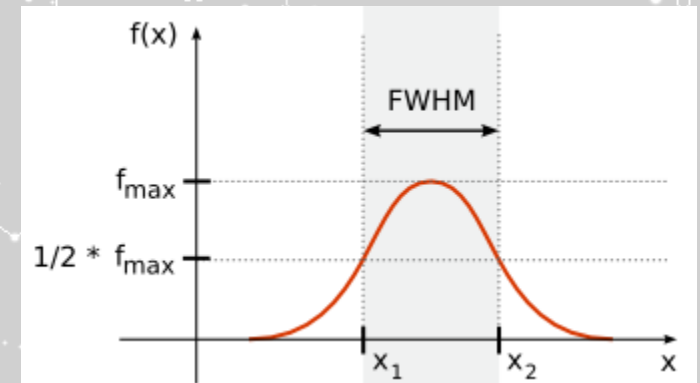
### Filtre passe-bande

- Les hautes fréquences sont coupées
- Les basses fréquences sont coupées
- Les fréquences moyennes sont préservées
- Filtres type Photométrique V $\mu$



## Un peu de théorie : Définition liée aux filtres passe bande

- FWHM ( Full Width at Half Maximum)
  - Largeur à mi-hauteur => Bande passante



- Bandes passantes (Astrodon)
  - Bande large  $< 100$  nm (Johnson/Cousins)
  - Intermédiaire  $11 \text{ nm} < x < 60$  nm (Méthane, U-Venus)
  - Bande étroite  $\leq 10$  nm
  - Bande ultra-étroite  $< 4$  nm



# Un peu de théorie

## Utilisation de filtres

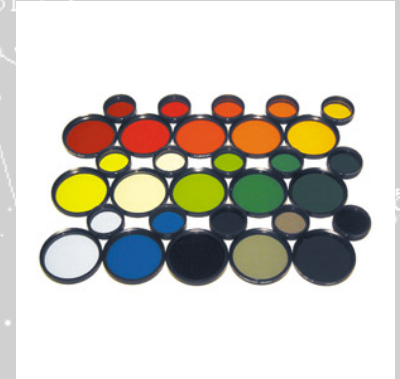
- Utilisation involontaire
  - Atmosphère
  - Optiques
- Mettre en évidence certaines fréquences
  - Raies hydrogène
  - ....
- Supprimer certaines fréquences
  - Lampes Mercure
- Photométrie
  - Détermination de la température



# Filtres colorés

Plusieurs formats :

- 31.75 mm ,50 mm ou
- pour optique photo



Quelques dizaines d'euro pour un filtre 31.75 mm

Beaucoup plus pour un filtre pour optique photographique  
(ie ~100€ pour un rouge foncé en 72 mm)

Repérer par la référence Wratten



# Filtres colorés

## Usage visuel :

- Augmenter le contraste de certaines zones
- Réduire le chromatisme

## Usage photographique :

- Augmenter le contraste de certaines zones
- Réduire le chromatisme
- Réduire la pollution lumineuse
  - Mais limité à la photographie N&B





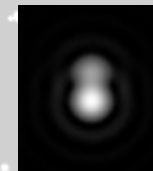
# Filtres colorés

## Augmentation du contraste :

- Le filtre rouge (#25) permet de faire des observations de jours
- Séparer deux étoiles doubles proches avec une forte différence de magnitude
  - En utilisant un filtre qui coupe la plus brillante

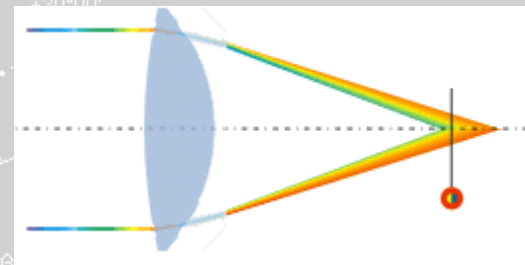
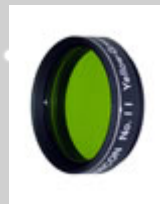
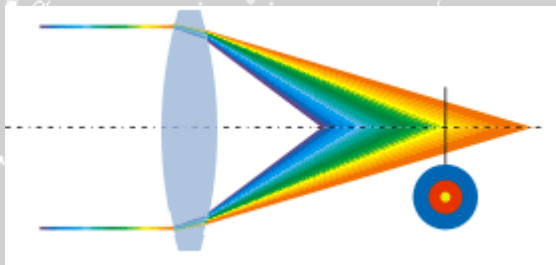
## Utilisable que pour des objets lumineux

- La perte de luminosité peut-être importante
- Pour le filtre rouge profond (#29) => 5% de flux sortant



## Réduction du chromatisme :

- Filtre passe-bande centré sur la meilleure détection de l'œil
- Choix du filtre : Diamètre contre Défaut (rapport f/d)
  - Plus le diamètre est grand, plus on peut avoir une bande passante réduite
  - Plus le défaut est grand, plus on doit réduire la bande passante



## Réduction du chromatisme :

- **Avantage**
  - **Augmentation du contraste**
    - Diminution de la tache d'Airy
  - **Conservation du pouvoir résolvant**
    - Lié au diamètre
- **Inconvénient**
  - **Perte de luminosité**
    - Limité aux objets brillants
  - **Perte des informations des extrémités du spectre**
    - Le Mars



# Filtres colorés

## Réduction du chromatisme :

### – Choix du filtre :

- #8 :  $T=83\%$  495nm ==> ...
- #12 :  $T=74\%$  520nm ==> ...
- #15 :  $T=67\%$  530nm ==> ...
- #58 :  $T=24\%$  505nm ==> 560nm & 725nm ==> ...



	f/d 6	f/d 8	f/d 10
80 mm	8,12,15	-	-
100 mm	15,12	12,8,15	
120 mm	58,15	15,12	15
150 mm	58	58	15,12

Usage photographique :

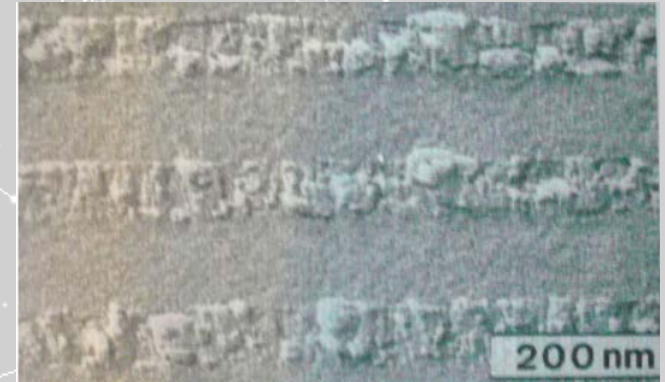
- Filtre passe haut 21,23A et **25**, 29
  - Très bonne transmission du rouge
  - réduction de la pollution lumineuse
- Remplace filtre H-alpha photographique
- Avec des capteurs N&B.



# Filtres spécifiques

## Filtres interférentiels :

- Réfraction des ondes lumineuses sur des couches superposées de différents matériaux
  - Dépose effectuée sous vide
  - Plusieurs filtres possibles
    - » Passe bas
    - » Passe haut
    - » Passe bande
    - » Coupe bande
    - » Étalon



# Filtres spécifiques

## Avantages :

- Grande précision dans la bande passante
- Taille de la bande passante faible si besoin

## Inconvénients :

- Complexe à produire : cher
- Le flux lumineux doit être strictement perpendiculaire
  - Problème pour les filtres/capteurs de grandes tailles
- Relativement fragile (par rapport aux colorés)

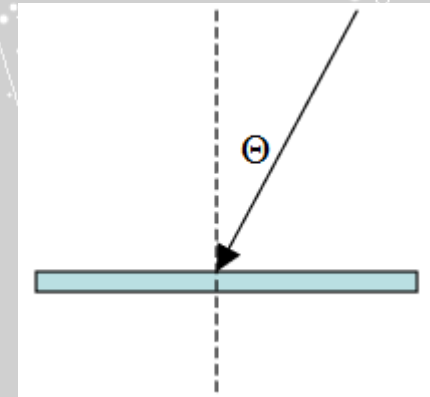




# Filtres spécifiques : Influence de la lumière incidente

Lorsque la lumière incidente rencontre le filtre avec un angle  $\Theta$  la longueur d'onde transmise est décalée

- $\lambda_{\Theta} = \lambda_0 \sqrt{(n_e^2 - \sin^2(\Theta))} / n_e$
- $n_e$  est l'indice de réfraction
  - $n_e \sim 1.8$  pour la couche superficielle



## Conséquence

- Avec un filtre avec une bande étroite (i.e. 3 nm)
- Avec une optique rapide (i.e. 2,8)

$\Rightarrow$  la longueur d'onde captée est décalée vers le bleu

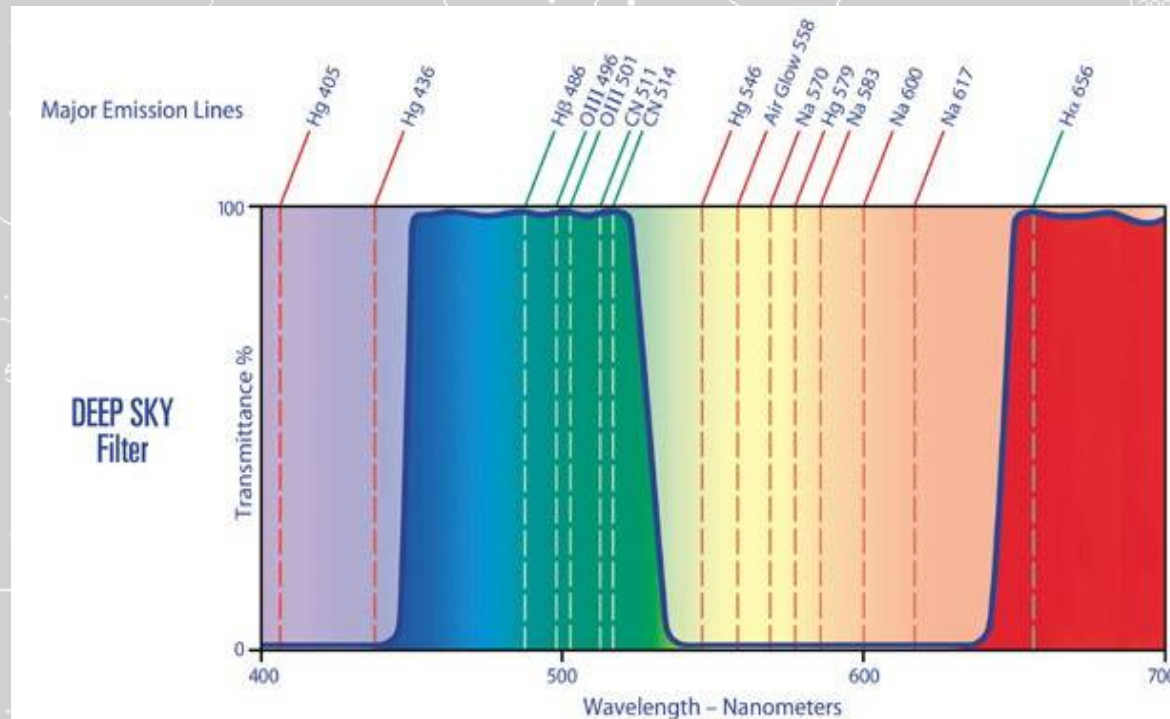




# Filtres spécifiques

## Utilisations :

- Arrêter les « mauvaises ondes »
  - Filtres anti-pollution
- Mettre en évidence les « bonnes ondes »
  - Filtres laissant passer certaines radiations
- ...

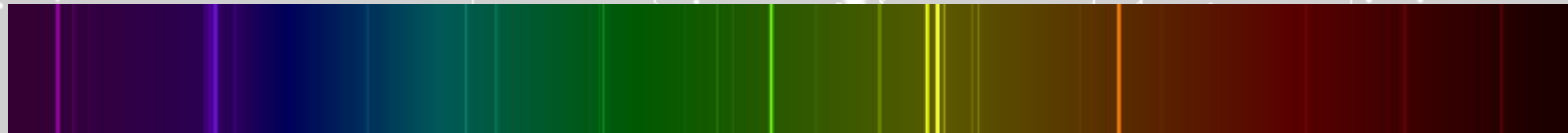


# Filtres spécifiques

## Pollution lumineuse :

### – Lampes au Mercure

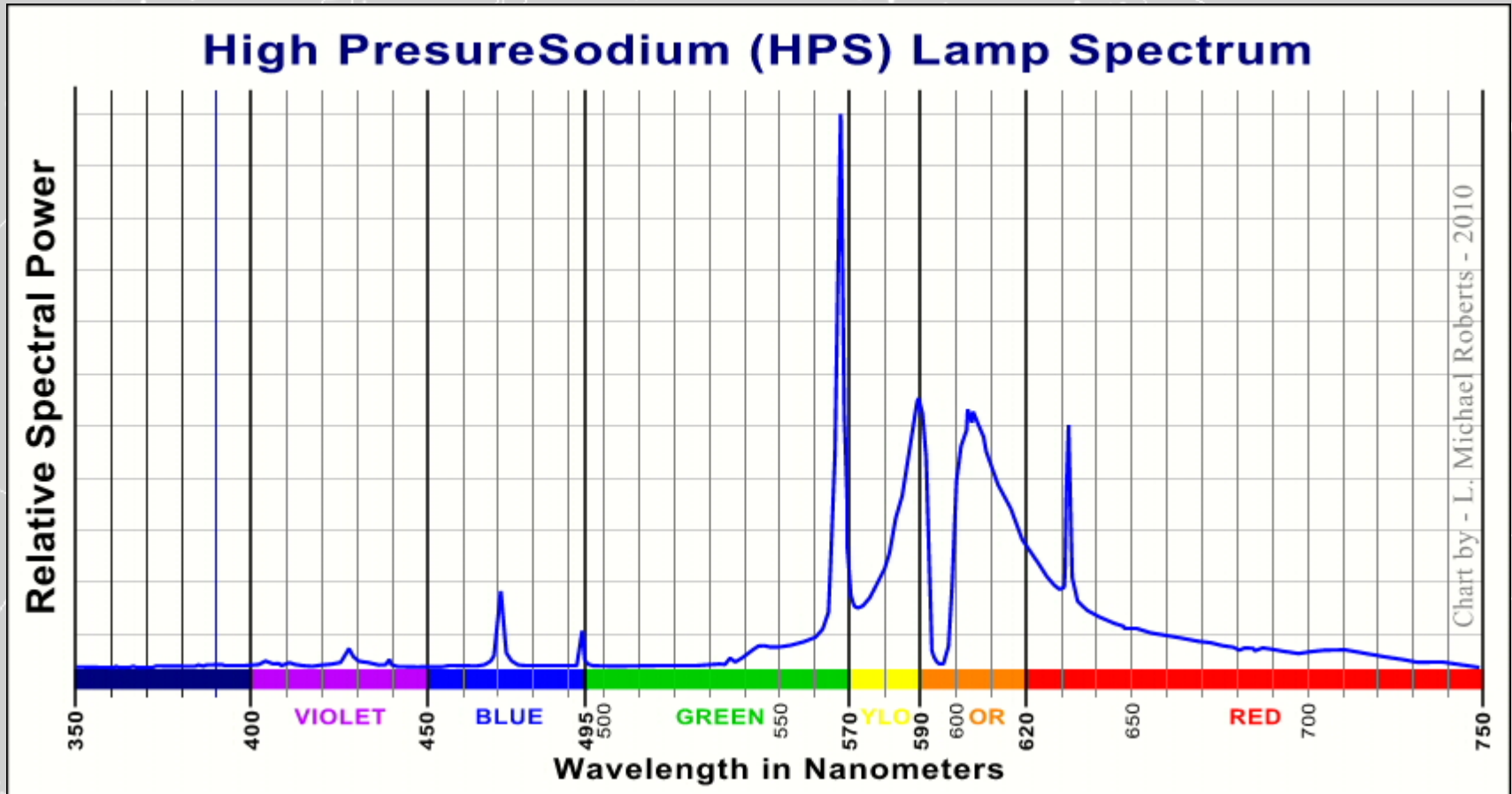
- 405nm / 436nm / 546nm / 579nm



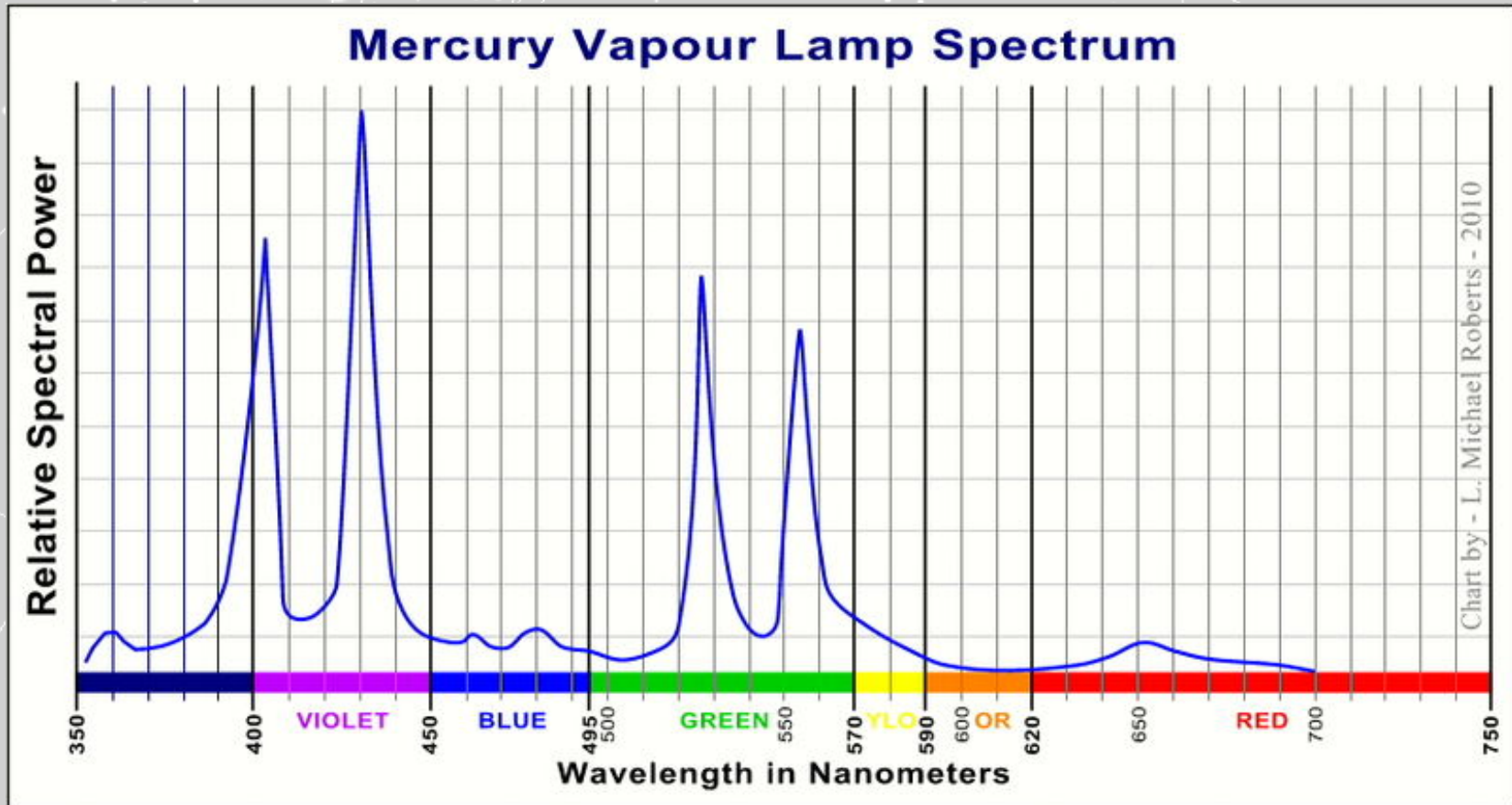
### – Lampes au Sodium

- 570nm / 583nm / 600nm



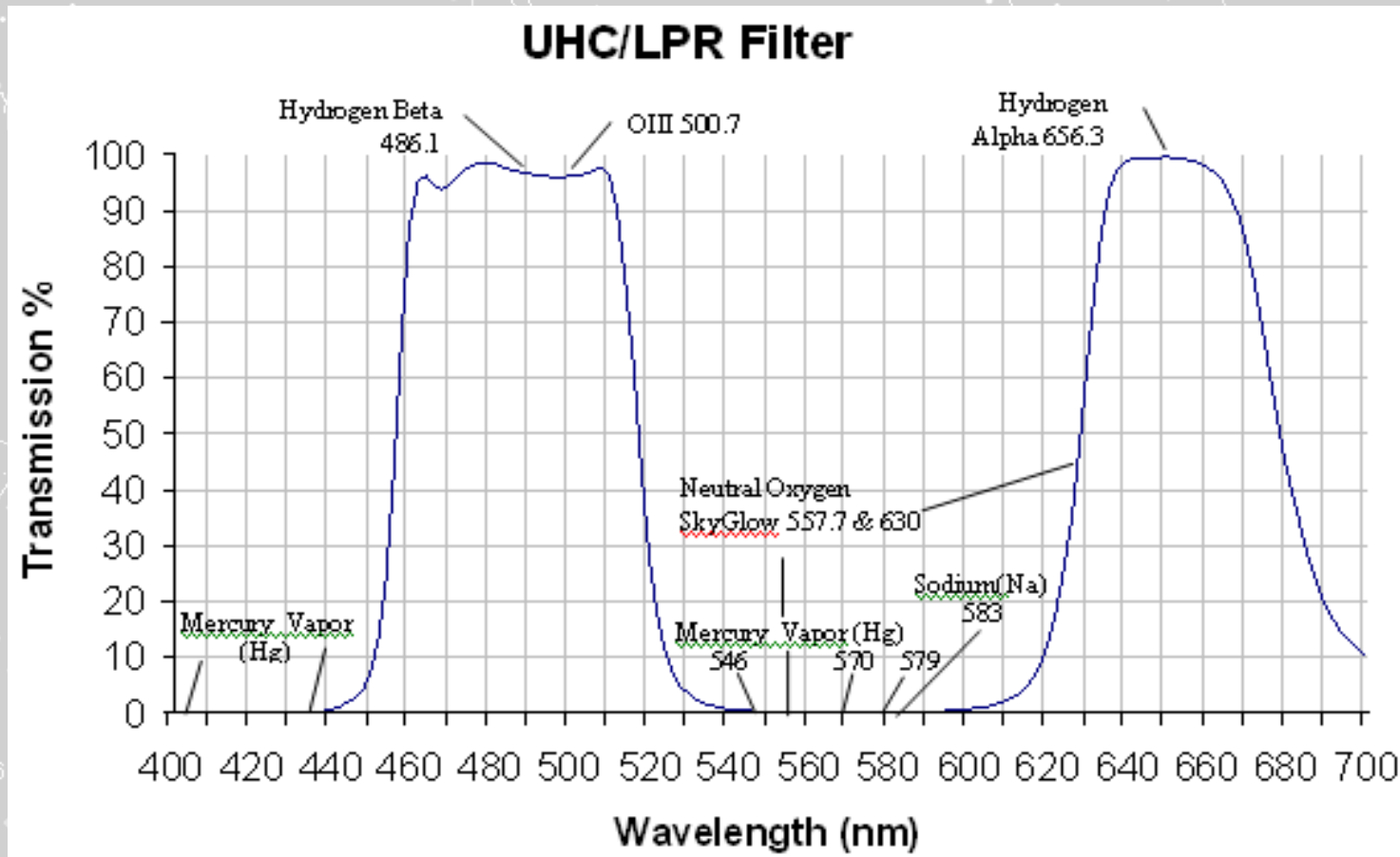


# Filtres spécifiques



# Filtres spécifiques

filtre LPR/CLS : les « pics » de pollution ne sont pas couverts. Pas de solution miracle





# Filtres spécifiques

En campagne aussi :

- Serres horticoles
  - Lampes au Sodium,
  - ...
- Boites de nuit
  - « laser »
  - ...



## Utilisation détournée des anti-pollution :

- Coupure de la majorité des fréquences
  - Les étoiles sont elles aussi coupées sauf les rayonnements H et OIII
  - Les nébuleuses sont plus contrastées



## Filtres spécifiques

Cas de l'hydrogène :

- Rayonnement principal H-Alpha => 656.28nm



Le H-alpha n'est pas visible.....à l'œil

Que faire ?????



Cas de l'hydrogène :

- Utiliser le rayonnement secondaire :
  - H-bêta => 486nm



Parfaitement visible

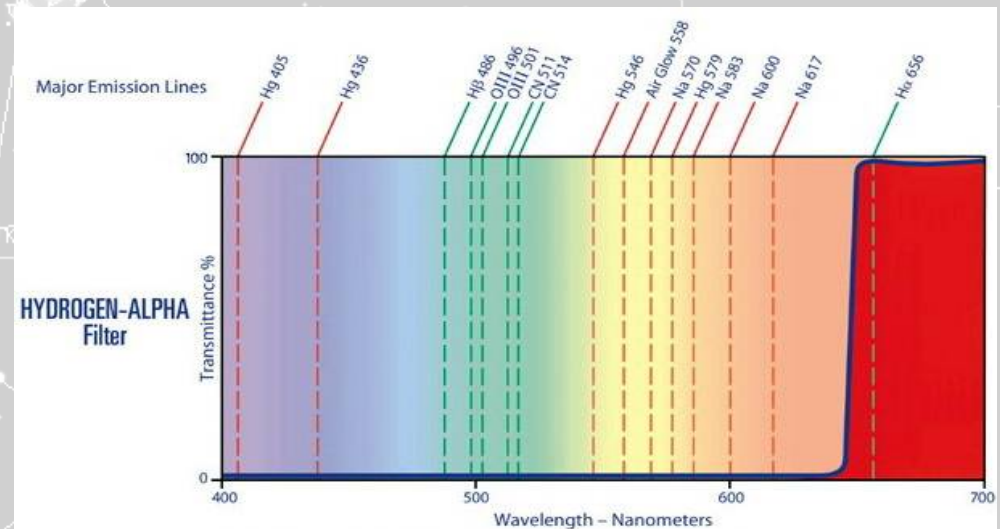
- Proche du pic de détectivité de l'œil
  - Mais peu de rayonnement dans cette longueur d'onde
- Utilisation d'optique de grand diamètre (250mm mini)

# Filtres spécifiques

## Cas de l'hydrogène (en photographie):

- Filtres solaire

- Filtres ciel profond



## Filtre Solaire :

- Utilisation de deux filtres
  - Filtre H-Alpha classique
    - Largeur de bande relativement faible
  - Filtre étalon
    - Succession de Dirac régulier
    - Largeur de bande très faible
- Faire coïncider les maxima de transmission des deux filtres sur la bande H-Alpha



## Filtre Photographique :

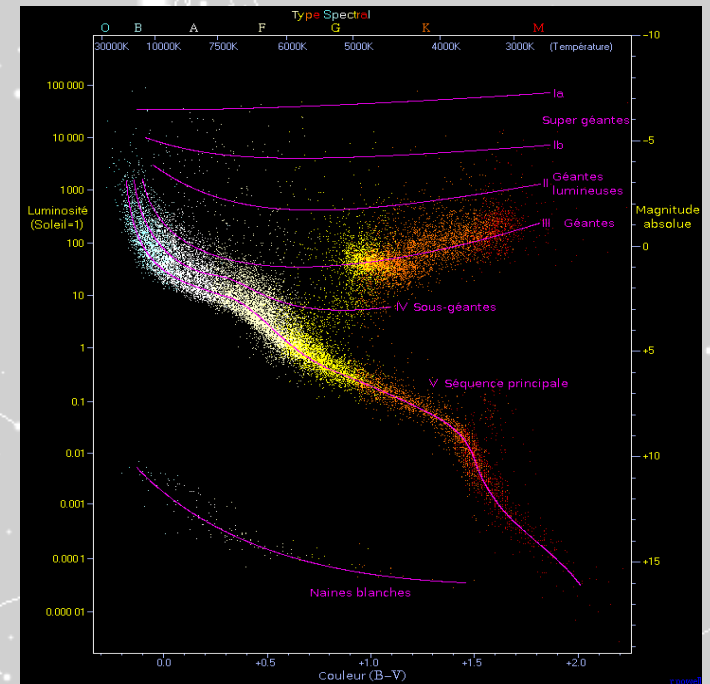
- Filtre à faible bande passante
  - $12 \rightarrow 3$  nm
  - Coût assez élevé
- Plus la bande est faible, plus le contraste est marqué
  - Mais le temps de pose pour les étoiles du fond de ciel est élevé
- « H-Alpha Night sky »
  - Filtre passe haut non interférentiel
  - Coût assez faible
  - Destiné au TP-2415, mais toujours utilisable en CCD avec des optiques photographiques



# Filtres spécifiques

Filtre autres :

- OIII
  - Visuel ou photographique
- SII
  - Photographique uniquement
- NIII
  - Photographique uniquement
- Series Johnson/Bessel & Sloan
  - Filtres étalonnés pour analyses quantitatives
    - le B-V  $\rightarrow$  température des étoiles
- Filtres cométaires



# Filtres spécifiques

Trichromie :



- Large bande
  - 3 filtres RVB dont la détection ne se chevauchent pas
- Bande étroite
  - 2/3 filtres faible bande
    - H-Alpha+OIII+SII/NIII
    - Affectation RVB dépendant d'un standard choisit
      - » En gal H-alpha = Rouge
- Il faut en général refaire la MAP entre chaque filtre





# Filtre Méthane

## Utilisation :

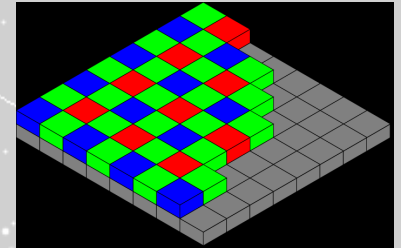
- Bandes de CH<sub>4</sub>  
sur les planètes géantes
- Longueur d'onde : 889 nm
- Filtres du marché
  - Baader : 8 nm
  - ZWO : 20 nm
  - Gerd Neumann : 50nm
- Bining
  - Faible réponse des camera  
==> besoin de passer en Bining 2



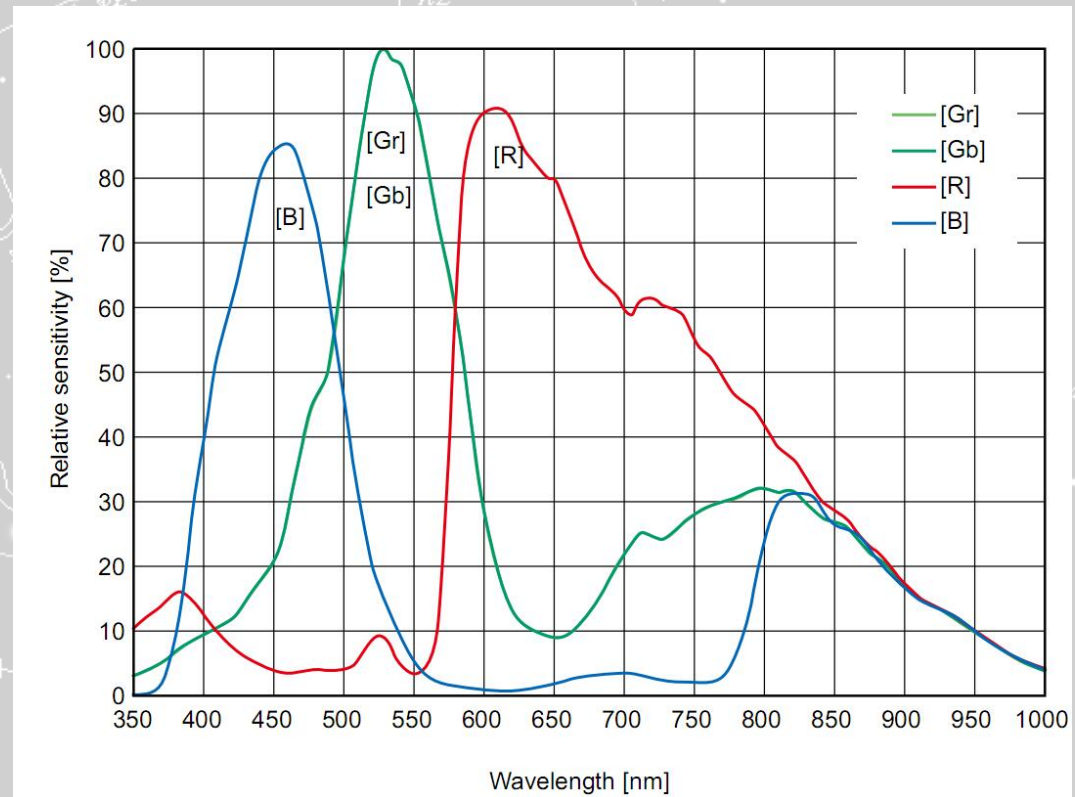
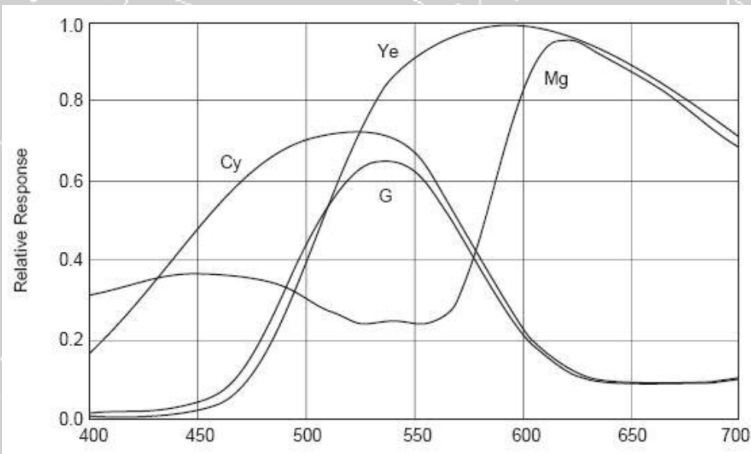
# Matrice couleur

Bayer mais pas seulement....

- CYGM (Cyan, Yellow, Green Magenta)
- ICX 249AK

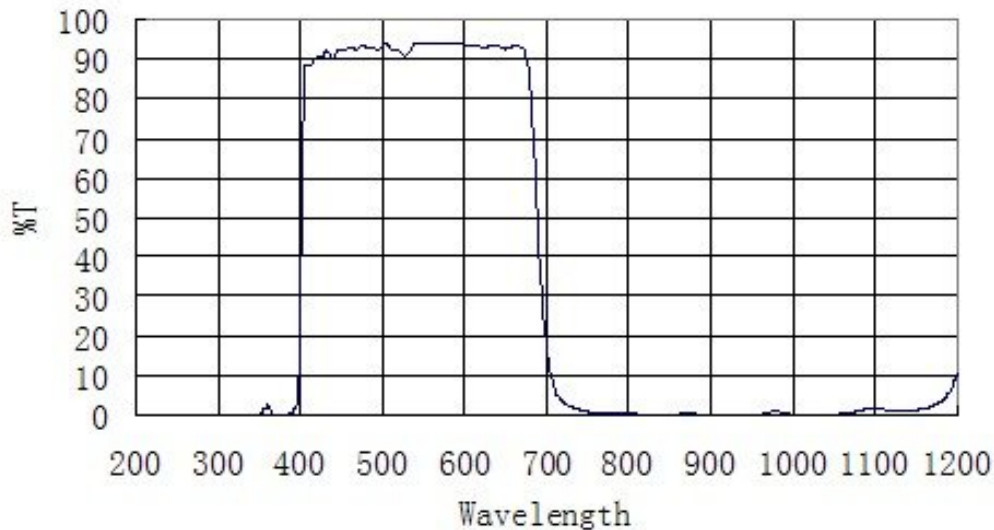
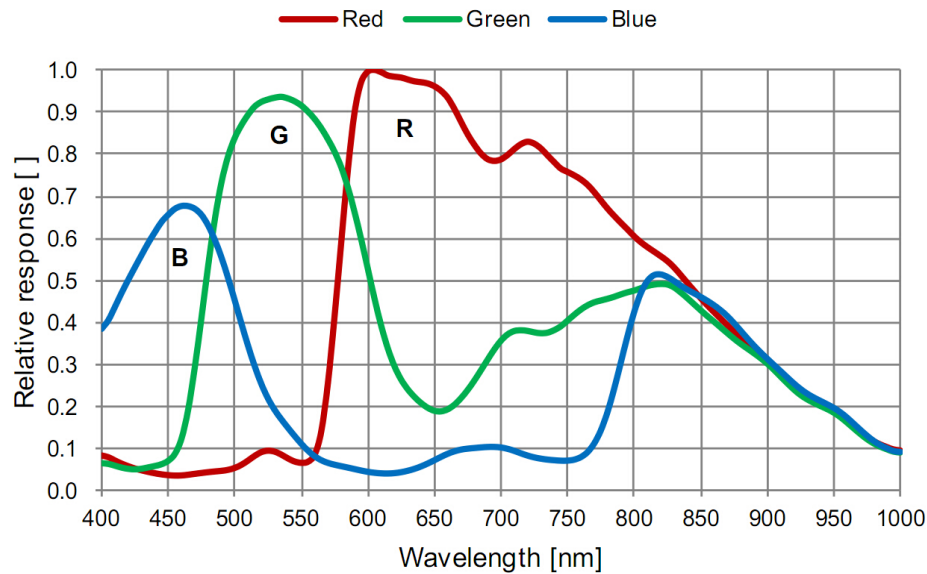


Cy	Ye	Cy	Ye
G	Mg	G	Mg
Cy	Ye	Cy	Ye
Mg	G	Mg	G



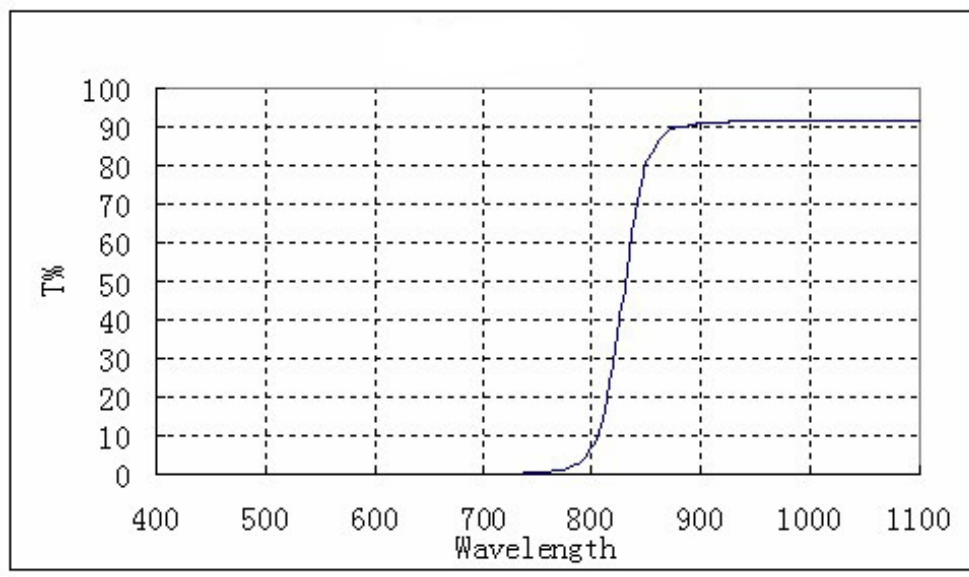
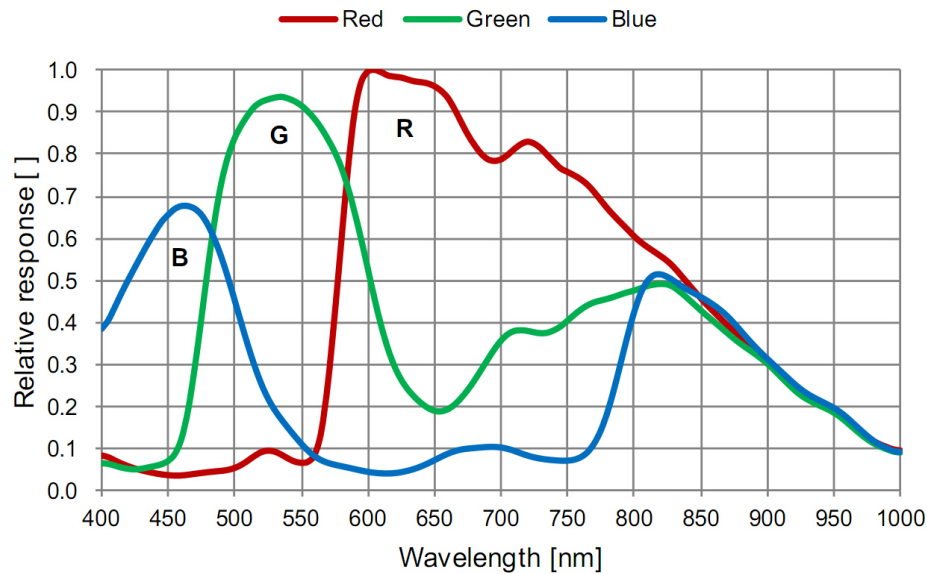


# Matrice couleur : cas de l'IMX 224



⇐IR-Cut

# Matrice couleur : cas de l'IMX 224



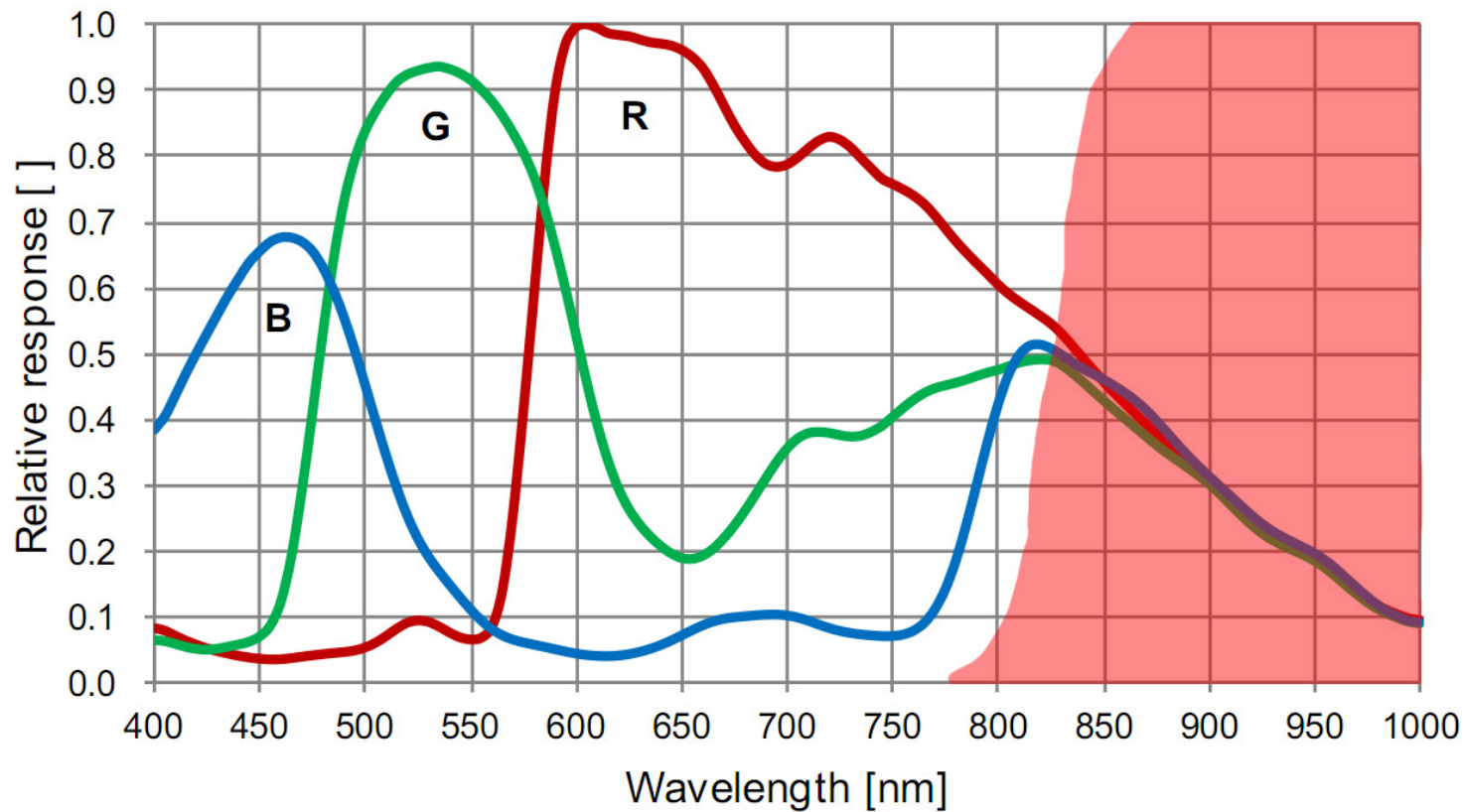
⇐IR-Pass



# Matrice couleur : cas de l'IMX 224

## Utilisation en IR

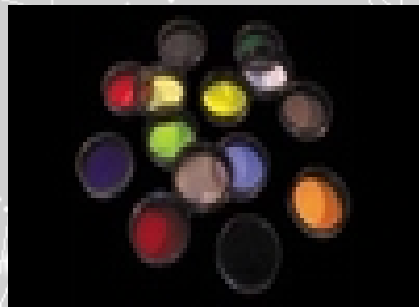
ASI224MC + IR 850 PASS



# Choix des filtres

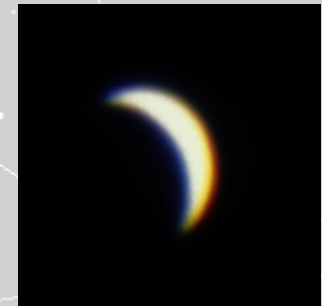
## Visuel planétaire :

- Large gamme
  - Base de 4 filtres
    - R : 25 ou 23A
    - B : 80A/82A,
    - V : 56
    - J : 8/11
  - En avoir trop ne sert à rien



## Visuel Mercure :

- Pour réduire fond de ciel
- Filtres rouges : #25, #29, #23A



# Choix des filtres

## Visuel Venus :

- Pour réduire fond de ciel
- Termineur
  - Filtres rouges : **#25,#29**



## Photographique Venus :

- Nuages
  - Filtre violet #47
  - Filtre spécifique U-Venus...





## Visuel Mars :

- Nuages

- Filtre jaune profond #15

- Mers & pôles

- Filtre jaune profond #15
- Filtres rouge #25 et Rouge Profond #29
- Filtre bleu #82A



- Zones bleues-vertes

- Filtre jaune #12
- Filtre rouge claire #23A

- Tempêtes de poussières &

- Filtre bleu profond #38A
- Filtre vert clair #56

- Zones à faibles contrastes

- Filtre bleu clair #80A





# Choix des filtres

## Visuel Jupiter & Saturne :

- Nuages

- Jaune-vert #11



- Bandes

- Jaune profond #15

- Orange #21

- Rouge clair #23A

- Bleu #80A



- Régions polaires

- Rouge clair #23A

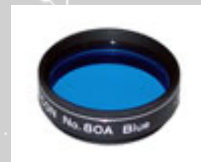


- Transit

- Rouge #25

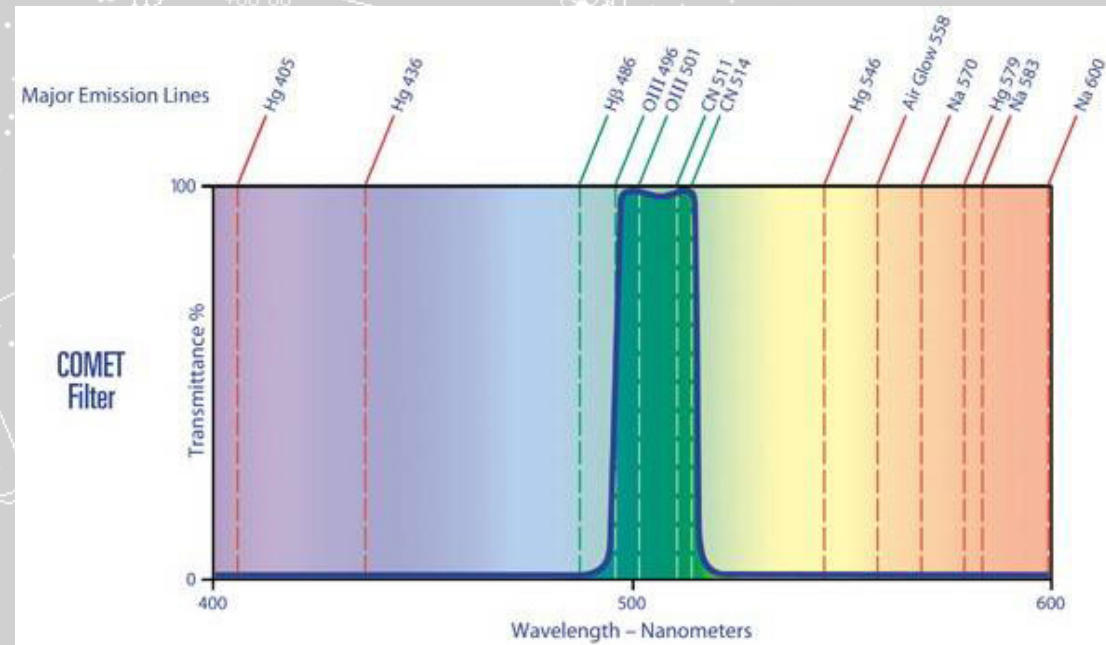
- Tache rouge

- Bleu #80A



## Choix des filtres

- Uranus & Neptune
- Jaune clair #8
- Jaune profond #15



- Comètes
- Jaune clair #8
- Jaune #12
- Jaune profond #15
- Orange #21 + Bleu 38A
- Ligne D sodium
- Filtres interférentiels « comet filter »
- Attention au rapport prix/usage



Visuel stellaire :

- OIII
- UHCs
  - A choisir en fonction de l'endroit d'utilisation
- H-Beta ( $D \gg 200$ )



Usages Filtres :

<http://www.lumicon.com/astronomy-accessories.php?cid=1&cn=Filter>

Filtre bande étroite

<http://www.aicccd.com/archive/aic2007/Goldman-AIC2007Talk2.pdf>

Astrophotography for the amateur

M. Covington ISBN 0-521-40984-5 Cambridge

Optique 6ième édition

G. Bruhat ISBN 2-10-048856-2 Dunod

