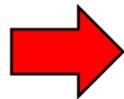
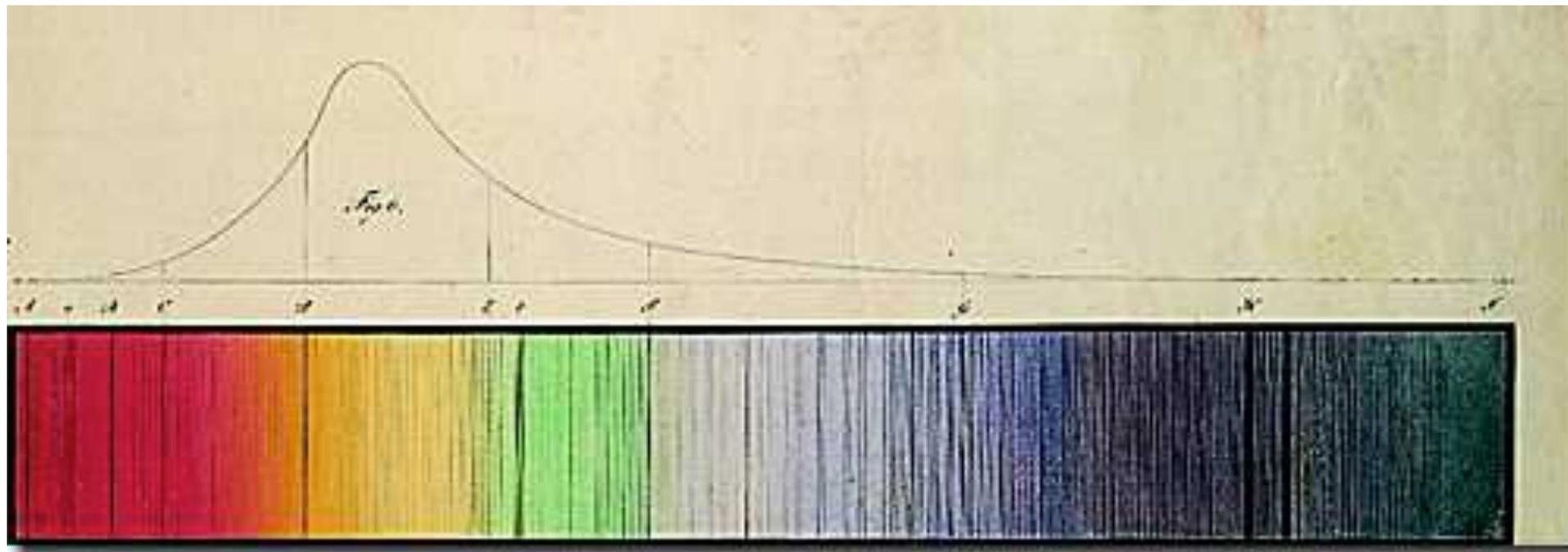


Systemes d'observation pour le domaine visible

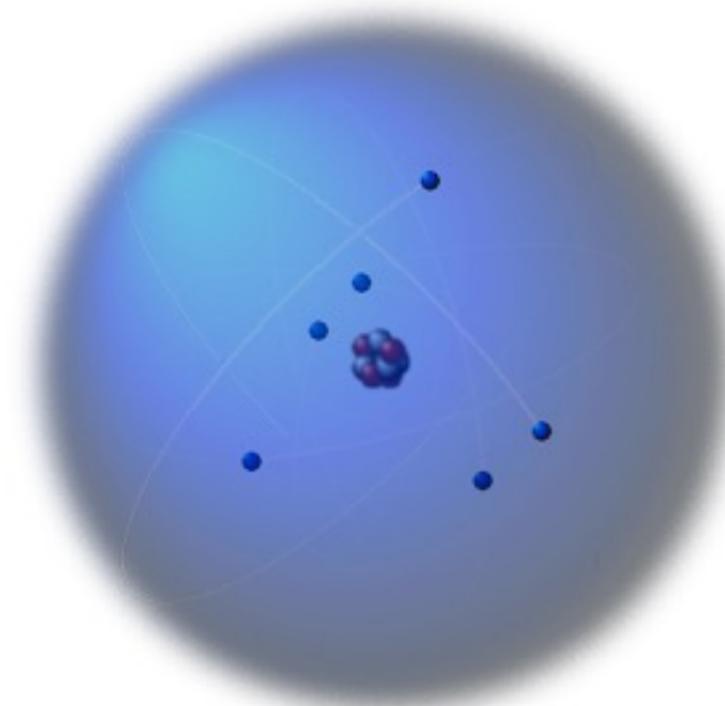
- le rôle de l'observation en astrophysique
- telescopes
 - systèmes optiques (réfracteurs, réflecteurs)
 - montures
 - optique active
 - optique adaptative
- instrumentation focale
 - les détecteurs pour le domaine visible
 - photométrie
 - imagerie
 - spectroscopie
- caractéristiques du système d'observation



Spectroscopie : 1814 Josef Fraunhofer

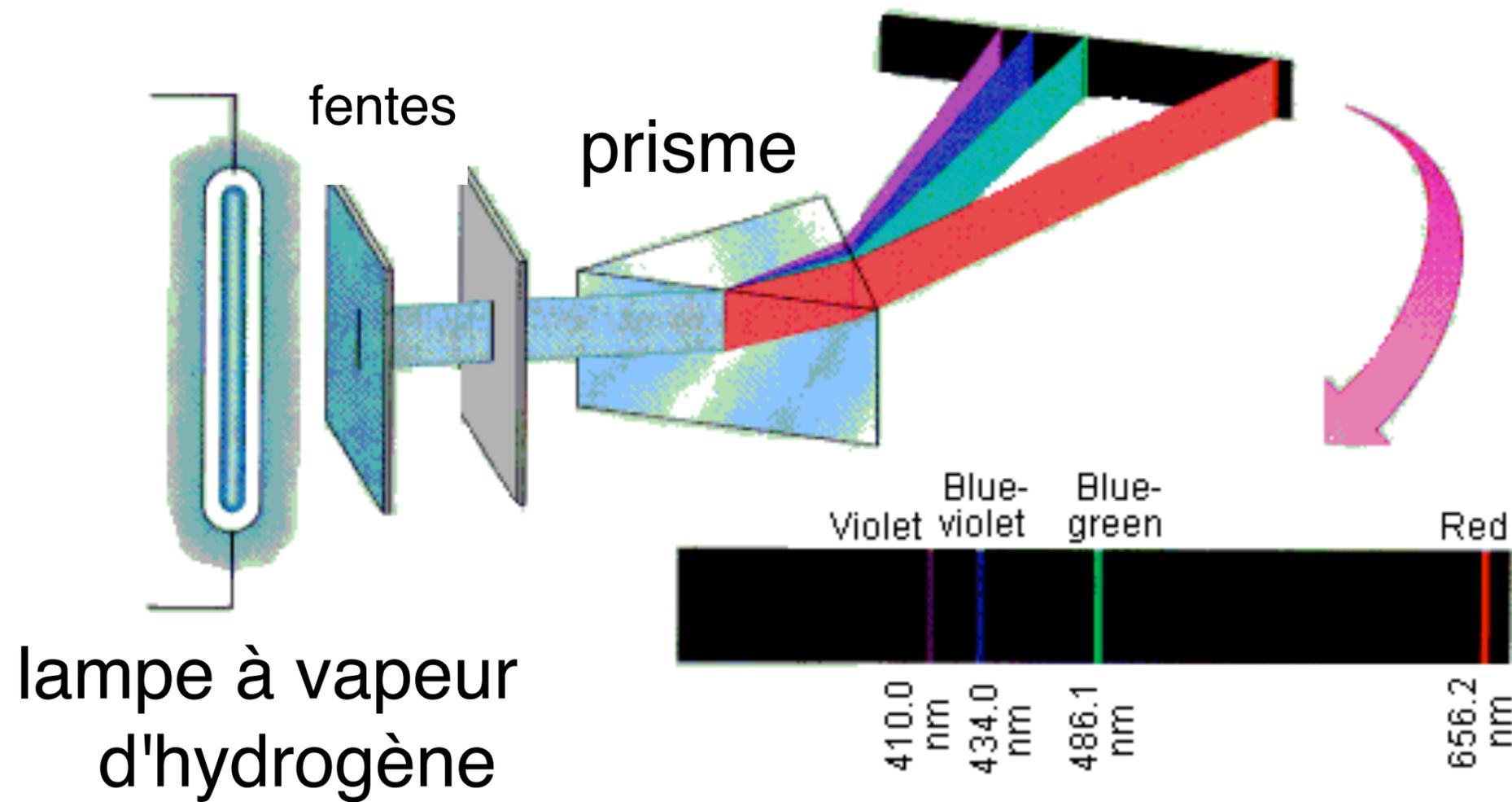


spectre visible du soleil

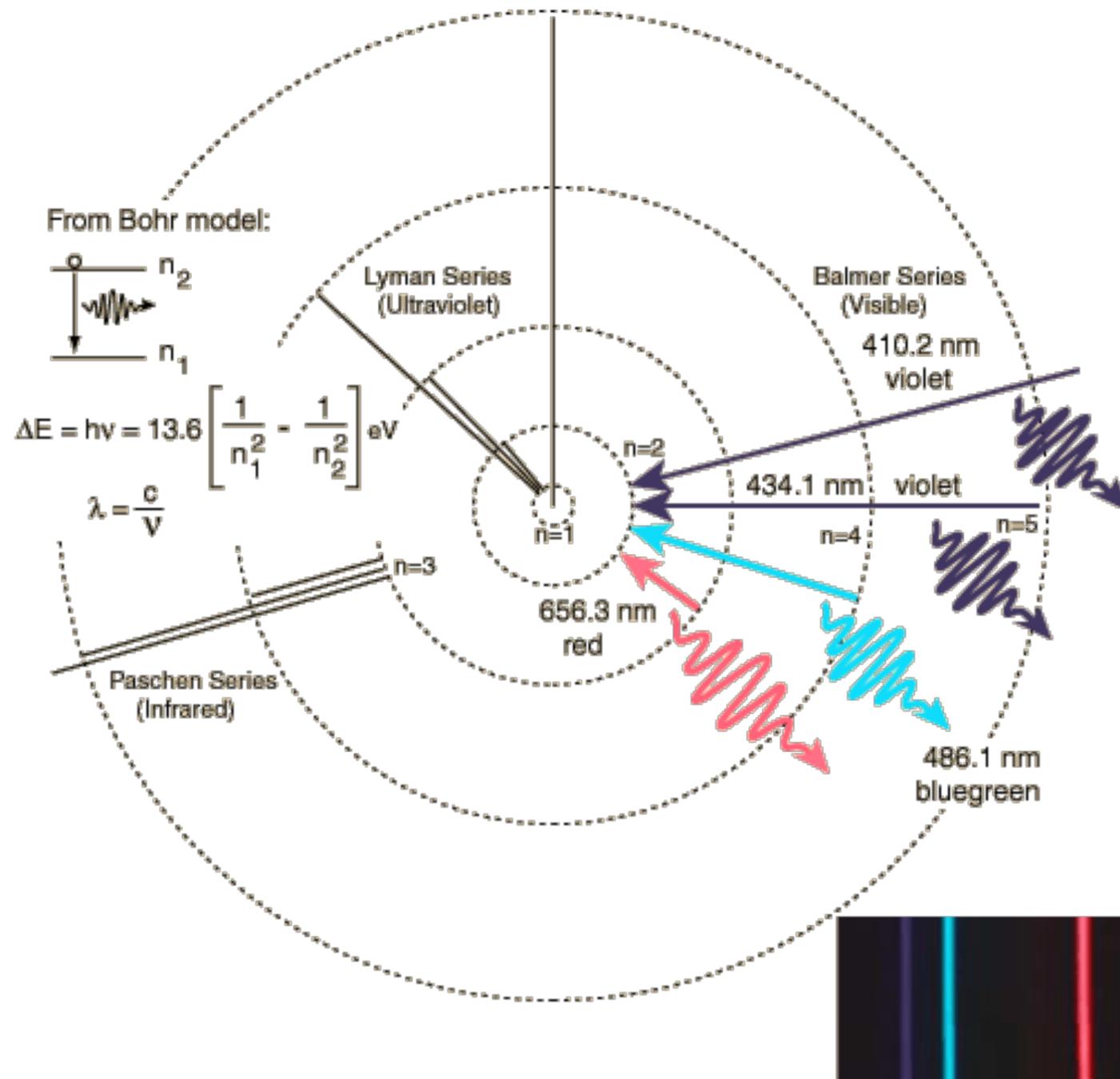


spectroscopie atomique
-> chimie et physique moderne :

le spectre d'émission de l'hydrogène



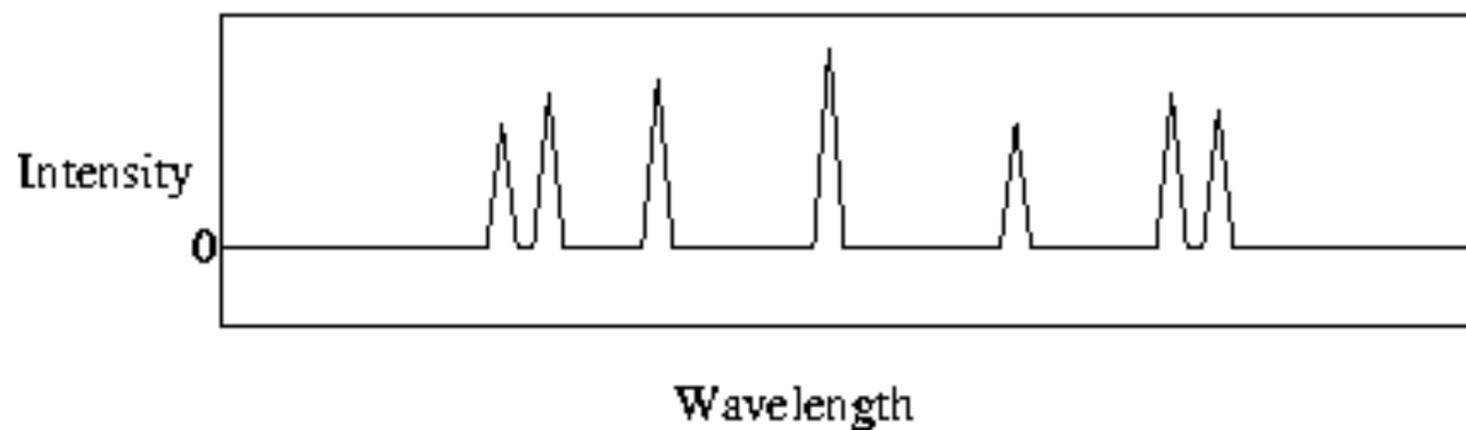
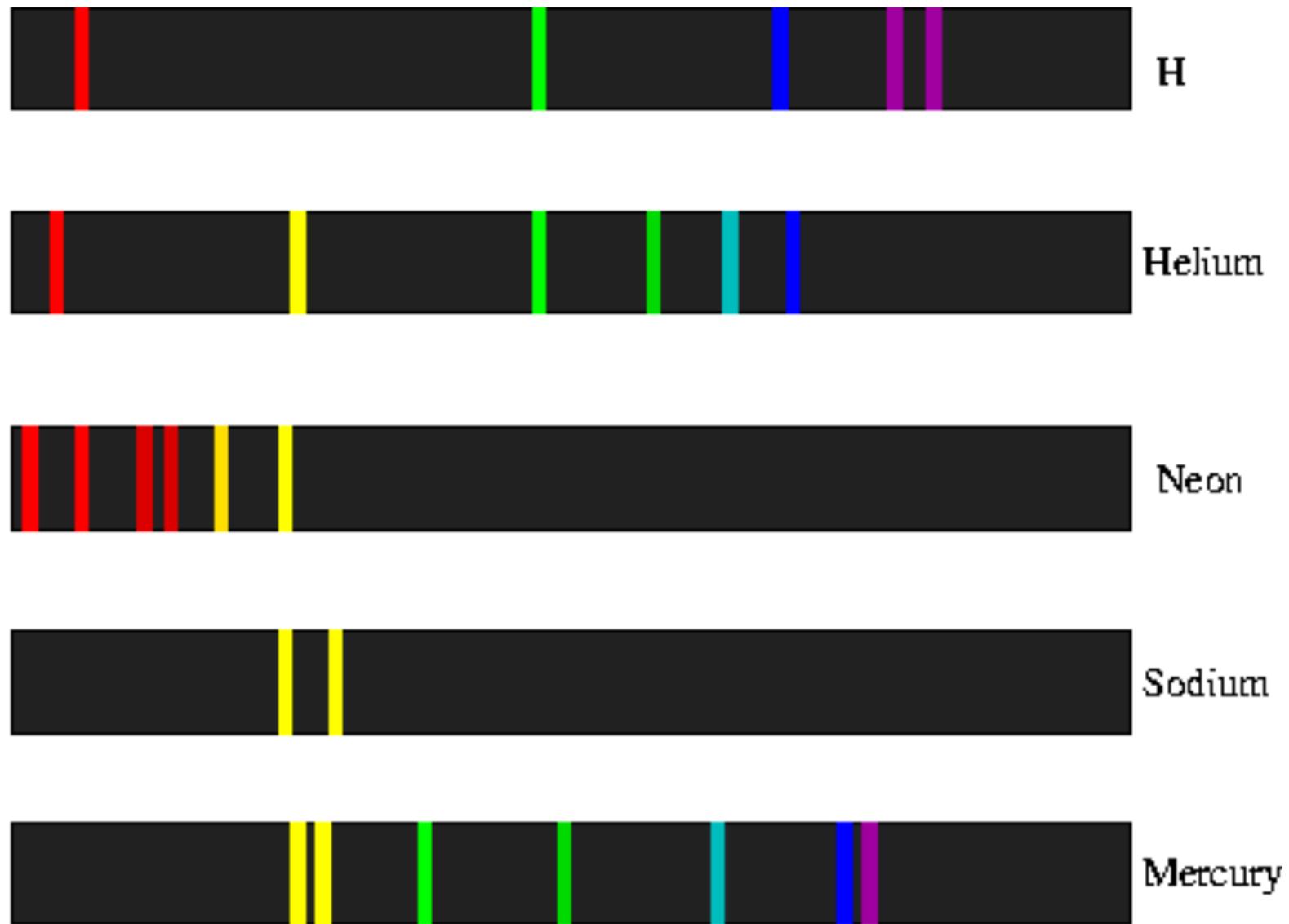
Niveaux et transitions électroniques de l'atome d'hydrogène



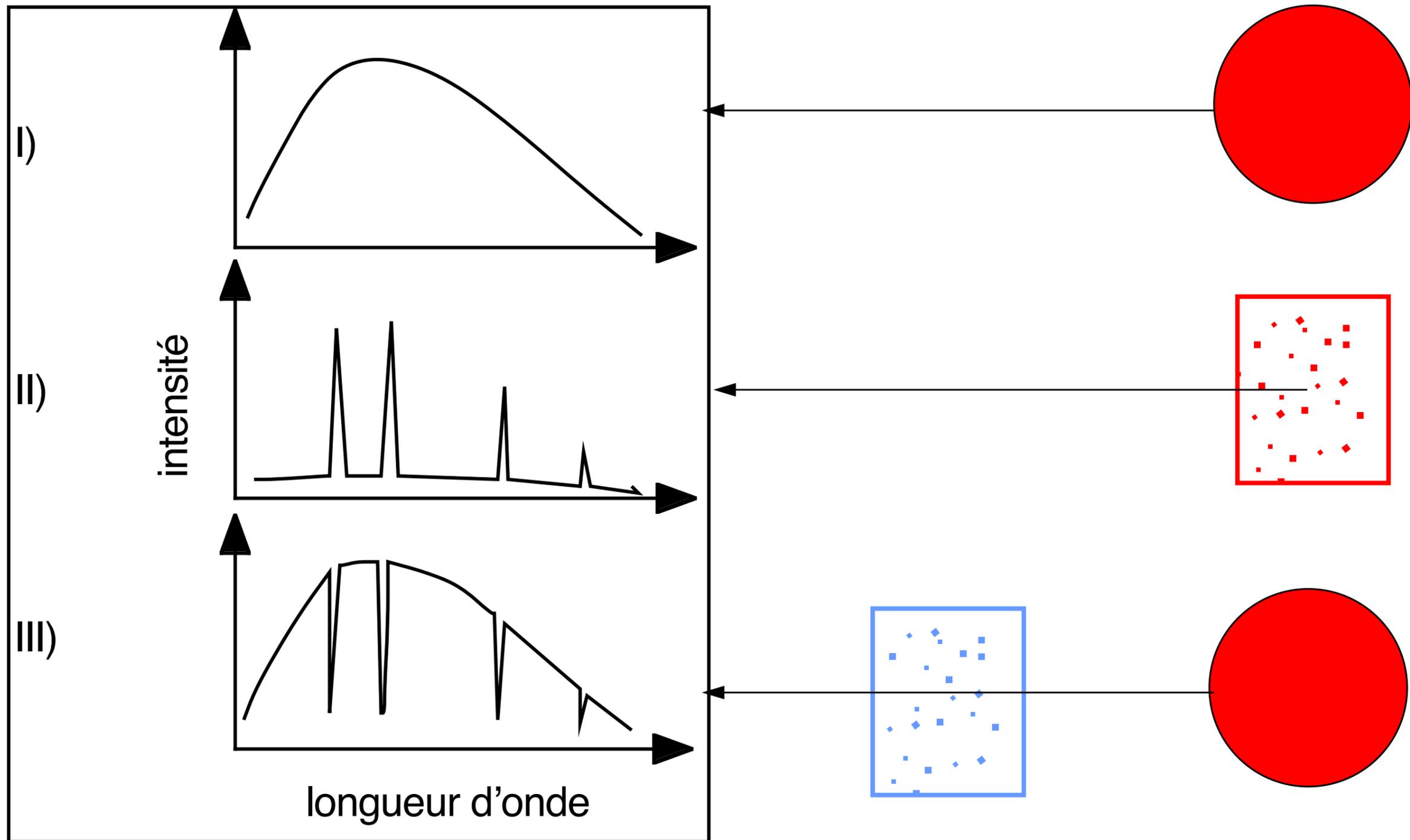
Analyse chimique
des étoiles
par spectroscopie

Chaque élément chimique est caractérisé par des lignes d'absorption et d'émission à des fréquences (longueurs d'onde) qui lui sont spécifiques.

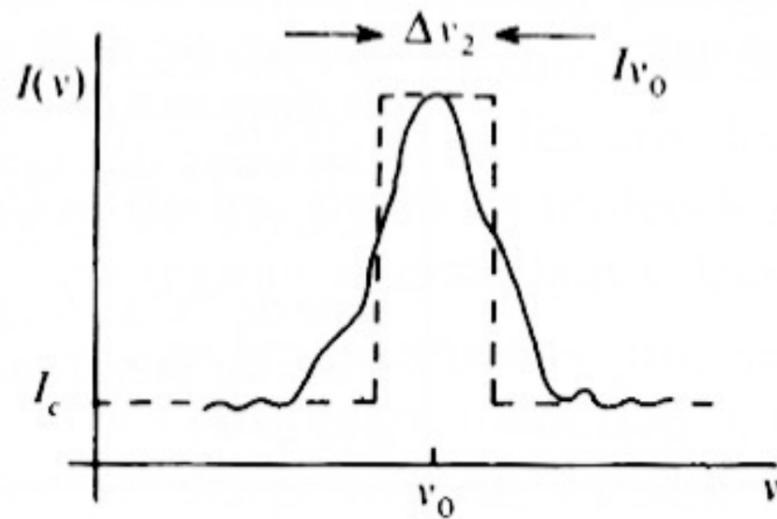
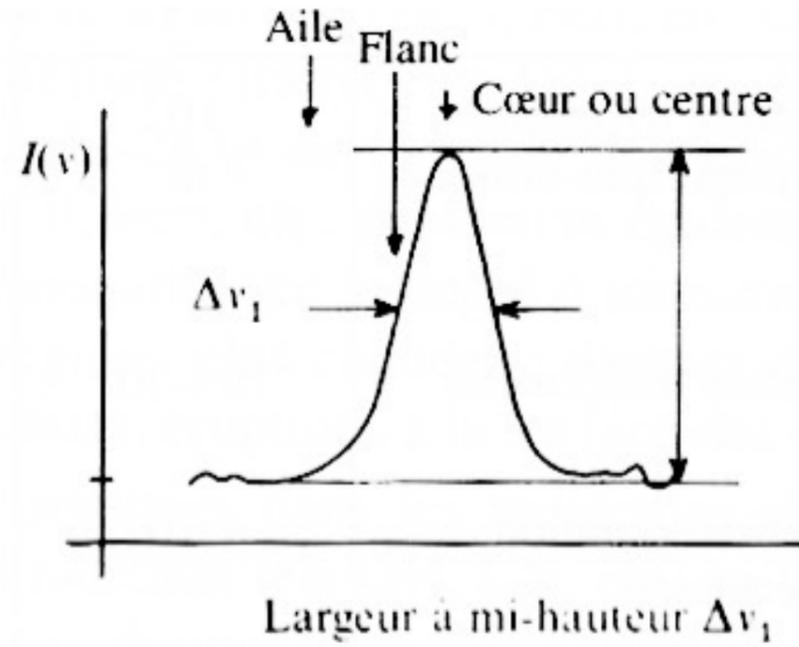
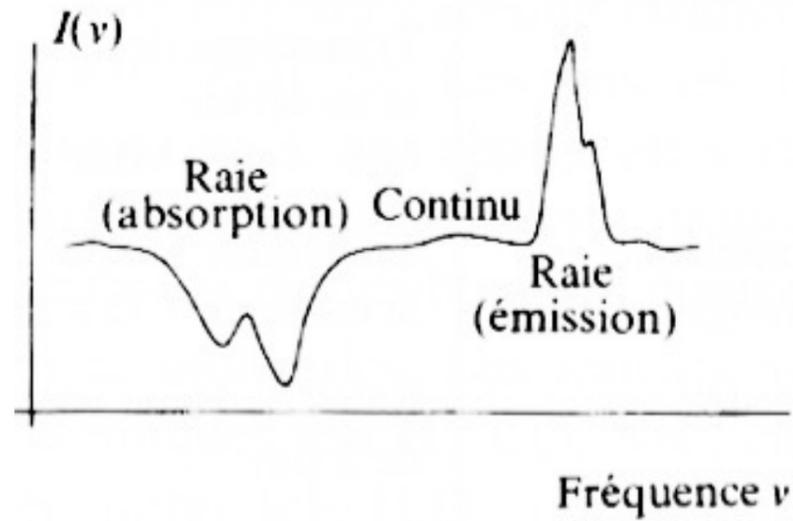
spectres d'émission



Les lois de Kirchoff (1859)

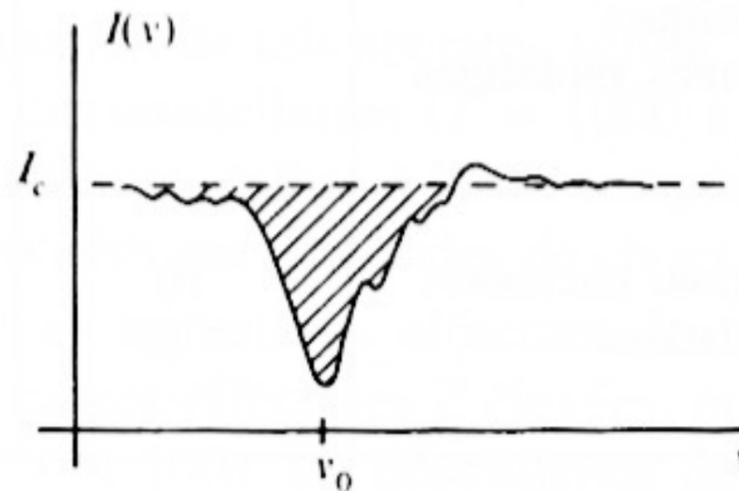


Spectroscopie



Largeur équivalente $\Delta\nu_2$

$$\int (I_\nu - I_c) d\nu = (I_{\nu_0} - I_c) \Delta\nu_2$$

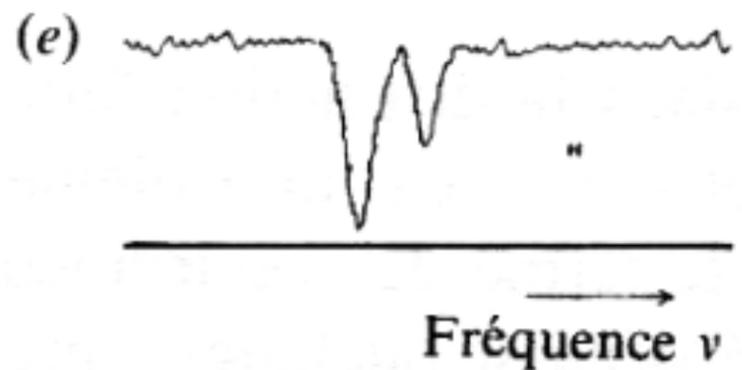
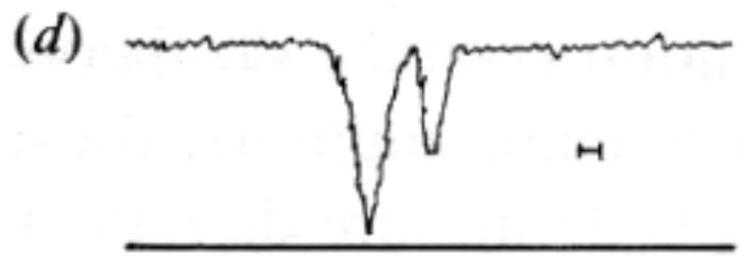
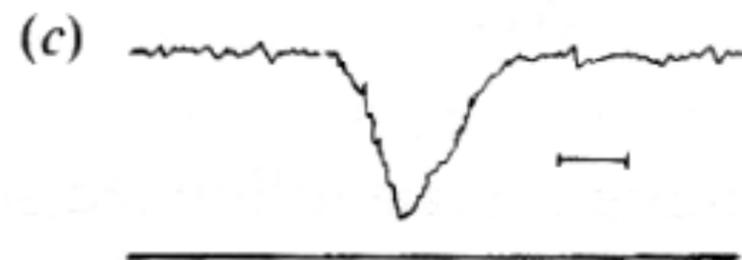
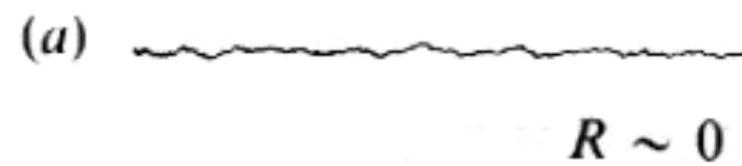


Intensité $\int |I(\nu) - I_c| d\nu$

Intensité relative $\frac{|I(\nu_0) - I_c|}{I_c}$ d'une raie d'absorbtion

Resolution spectrale

$$R = \lambda / \Delta\lambda$$



R
Pouvoir
de
résolution
croissant

Double – non résolue

Raies résolues

Largeur des raies atteinte – augmenter R
ne change rien

Analyse des raies spectrales

Position de la raie : identification d'un élément

Intensité (généralement dans plusieurs raies, et des probabilités de transition : mécanique quantique) => possible de calculer l'abondance de l'atome, ion ou molécule.

Rapports des intensités des raies (atome, ion, molécule + calculs détaillés des probabilités de transition) => densité et température de la région d'émission/absorption,

Largeur équivalente (intensité): abondance d'atomes (énergétique, T, P..)

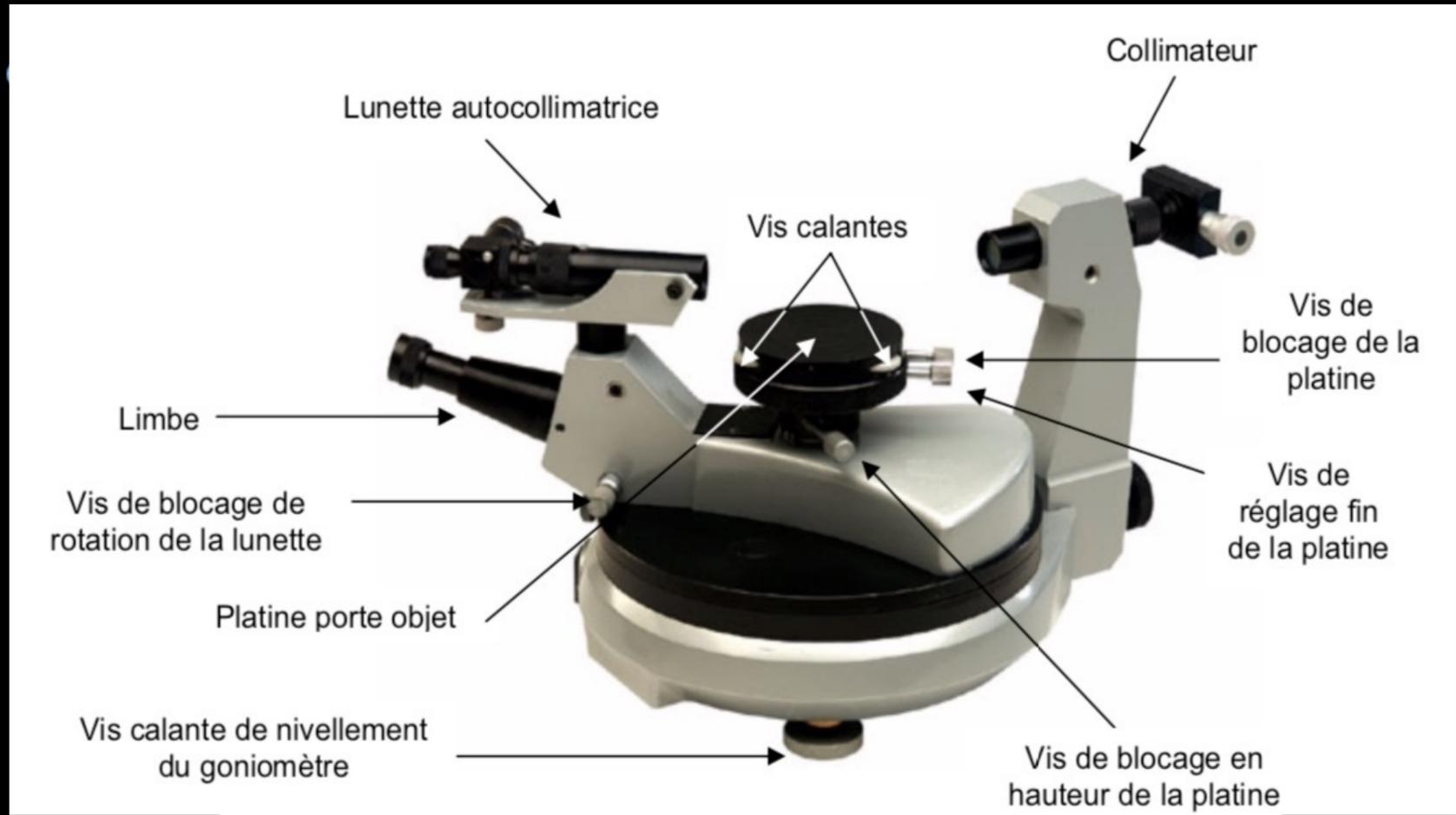
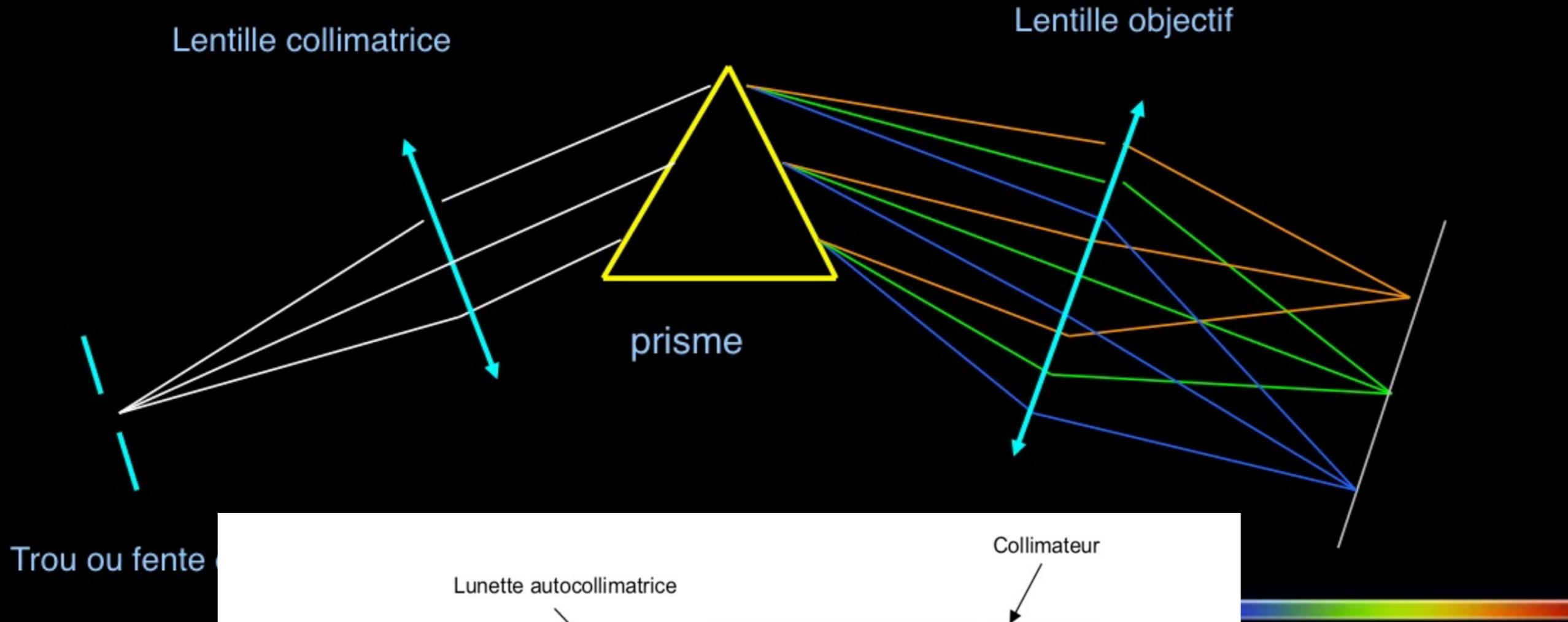
Décalage de la raie : vitesse radiale du milieu

Elargissement de la raie : => p.e. par la température

Dédoublément : champ magnétique

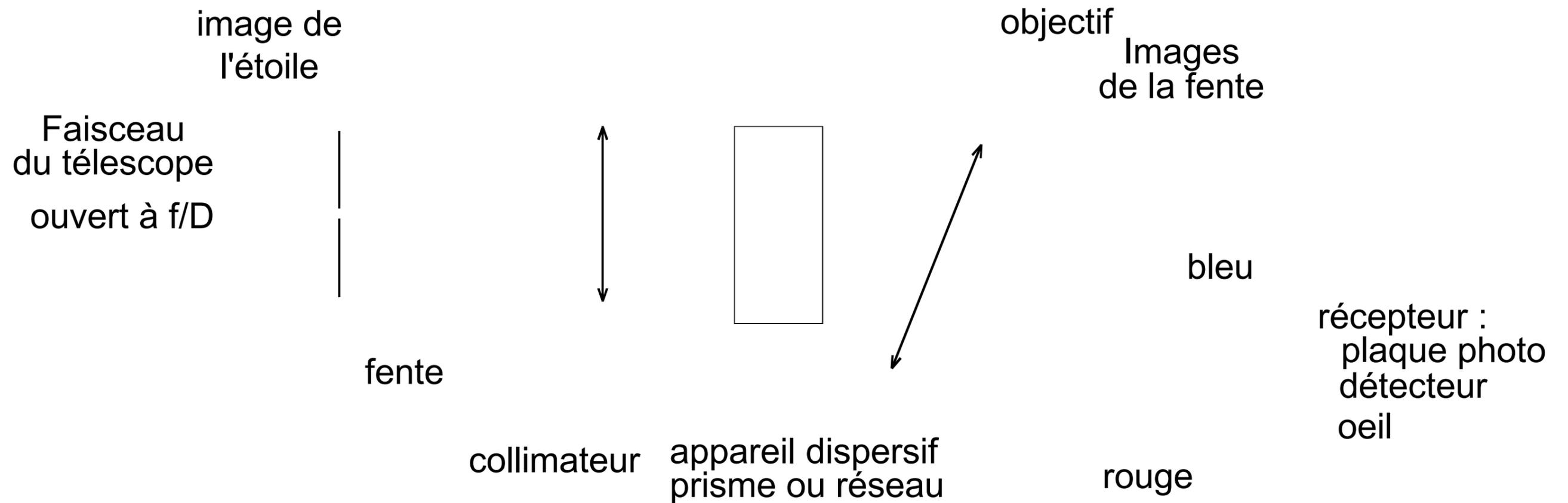
Absorption / émission : grad T, (-> densité)

Schéma de principe du spectrographe à prisme



Détecteur

Spectrographe Principe



Largeur de fente

étroite	raies fines
large	raies larges, mais plus de lumière

Règlages :

collimateur	faisceau de lumière parallèle
objectif	images de la fente sur récepteur
récepteur	orientation par rapport à la fente
disperseur	dispersion orthogonale à la fente
image	netteté sur la fente

spectrographes pour le domaine "optique "

mesure de la fonction d'auto-corrélation temporelle de la lumière

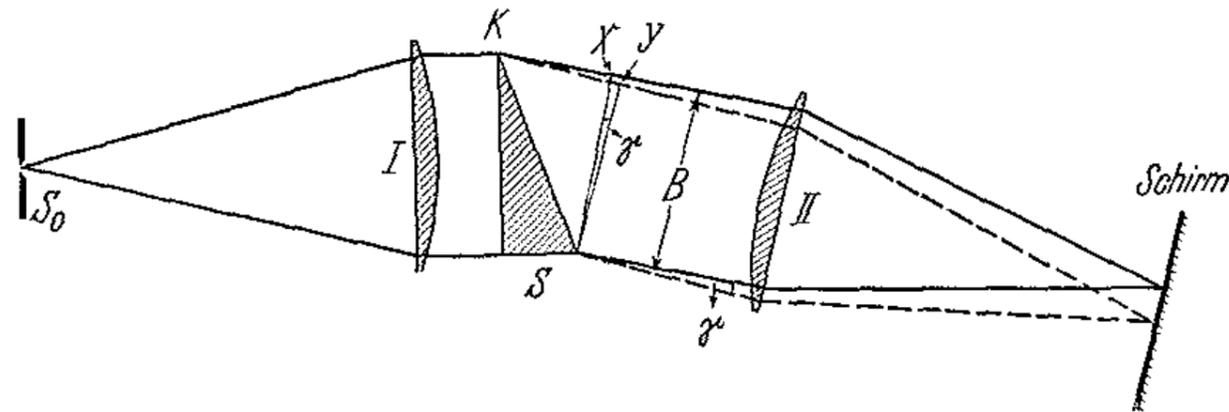


Abb. 195. Schema eines Prismenspektralapparates. Bei der Beleuchtung des Spaltes S_0 sind die Abb. 80 und 81 und 211 zu beachten. Für die Bestrahlungsstärke des Schirmes (Watt/m^2) ist allein die Apertur der Lichtbündel rechts von der Linse II maßgebend (also der Sinus der Bündel-Öffnungswinkel). Daher braucht weder die Kollimatorlinse I eine kurze Brennweite zu haben noch der Spalt S_0 unbequem eng zu sein.

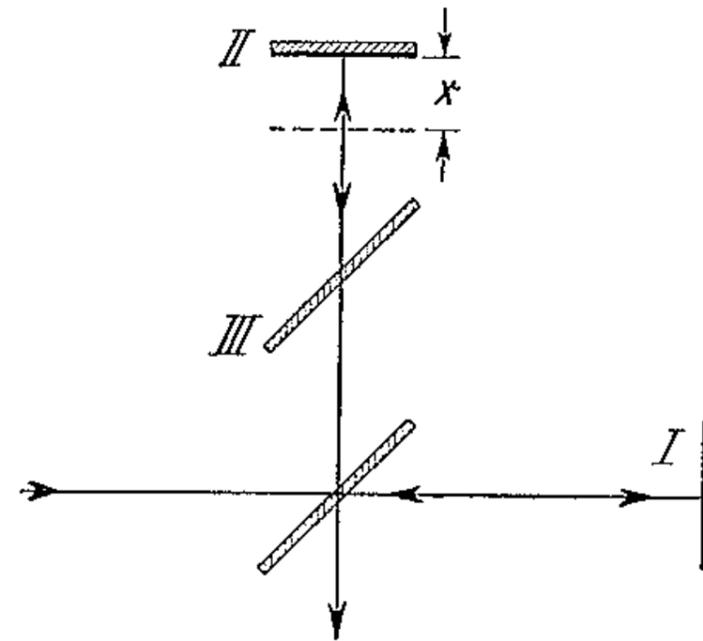


Abb. 179. Interferometer von MICHELSON. Bei den größten Ausführungen hat man die beiden zueinander senkrechten Lichtwege 30 m lang gemacht. Nur Bündelachsen gezeichnet.

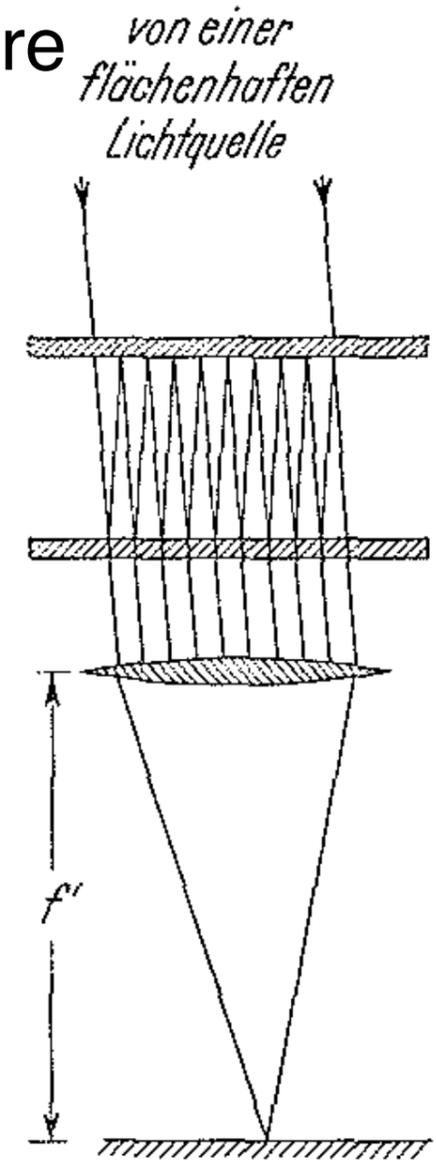


Abb. 217. Schema des Platten-Interferenzspektroskopes nach PEROT und FABRY. Nur die Achse eines einfallenden Lichtbündels gezeichnet. Die inneren Oberflächen durchlässig versilbert.

Tous les designs de spectrographe ont en commun :

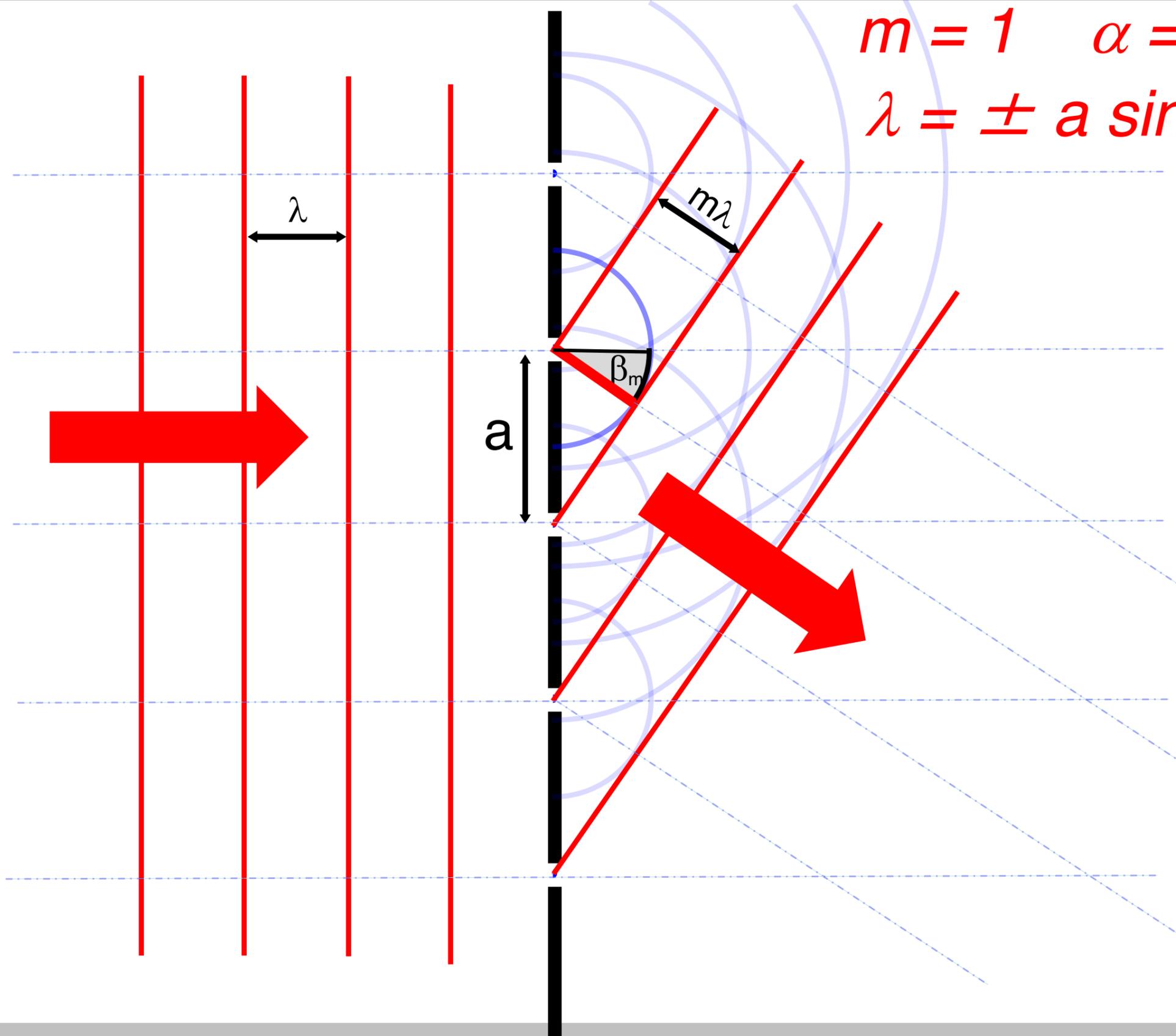
- un faisceau lumineux collimaté est divisé ou segmenté
- une partie du faisceau est retardé
- les faisceaux inerferent ensuite de manière cohérente

Spectroscopie - réseaux

$$m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta_m)$$

$$m = 1 \quad \alpha = 0$$

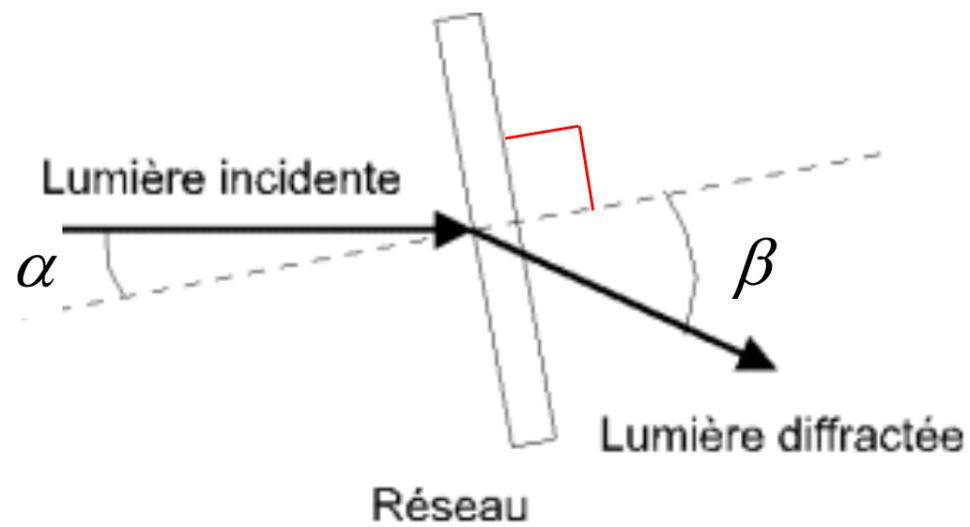
$$\lambda = \pm a \sin \beta_m$$



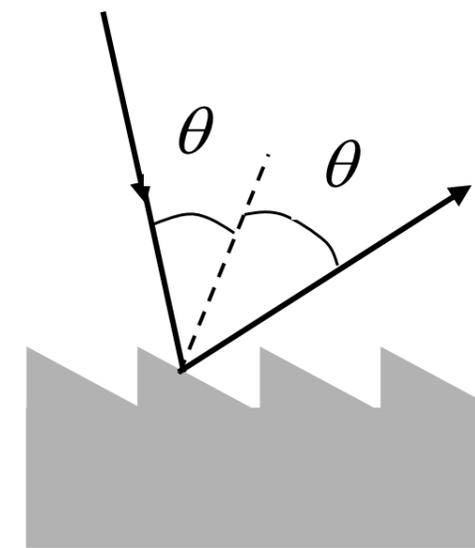
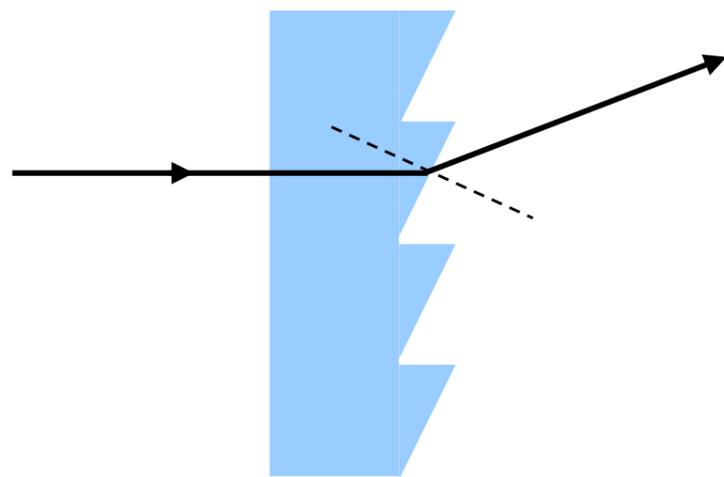
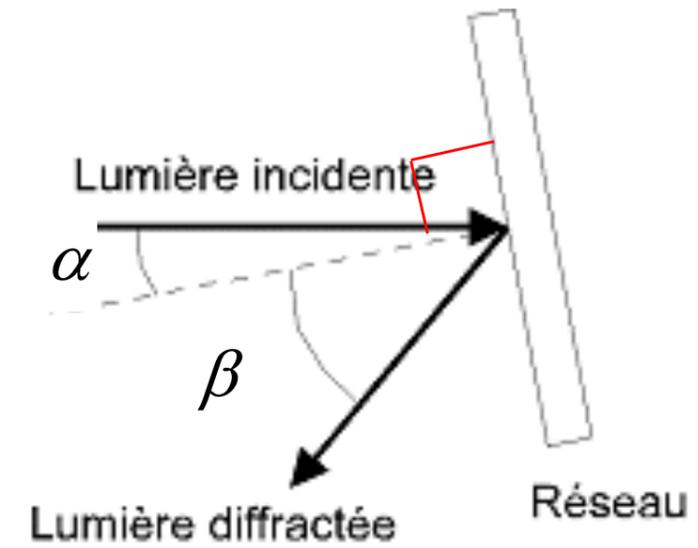
Types de réseaux

$$m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta_m)$$

à transmission



à réflexion

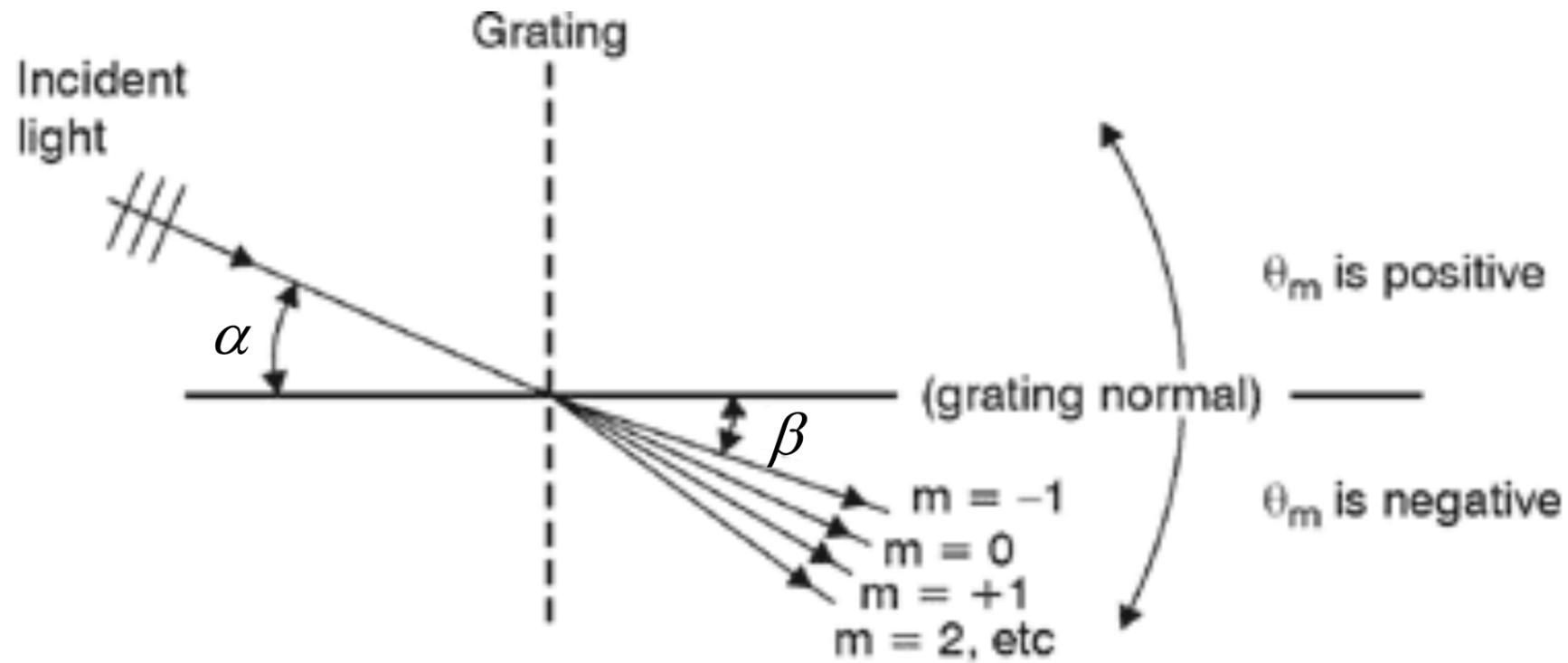


θ : angle de "blaze" (miroitement)

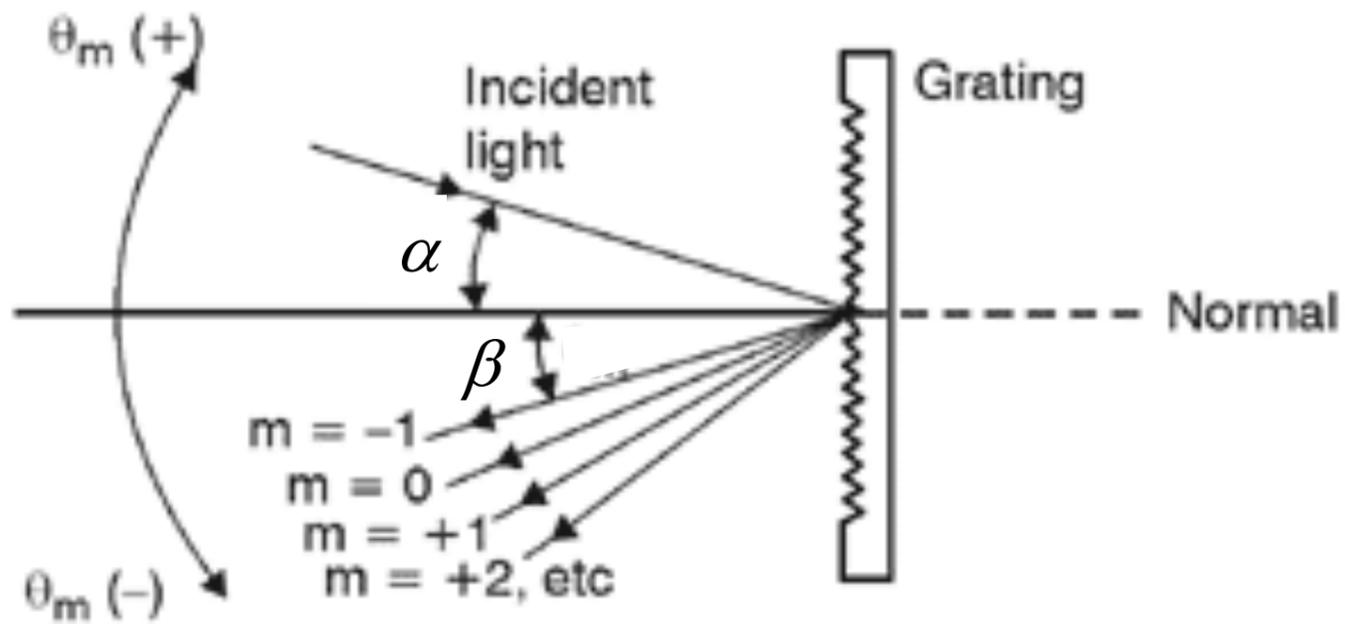
© C.Buil

Spectroscopie - reseaux

$$m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta_m)$$

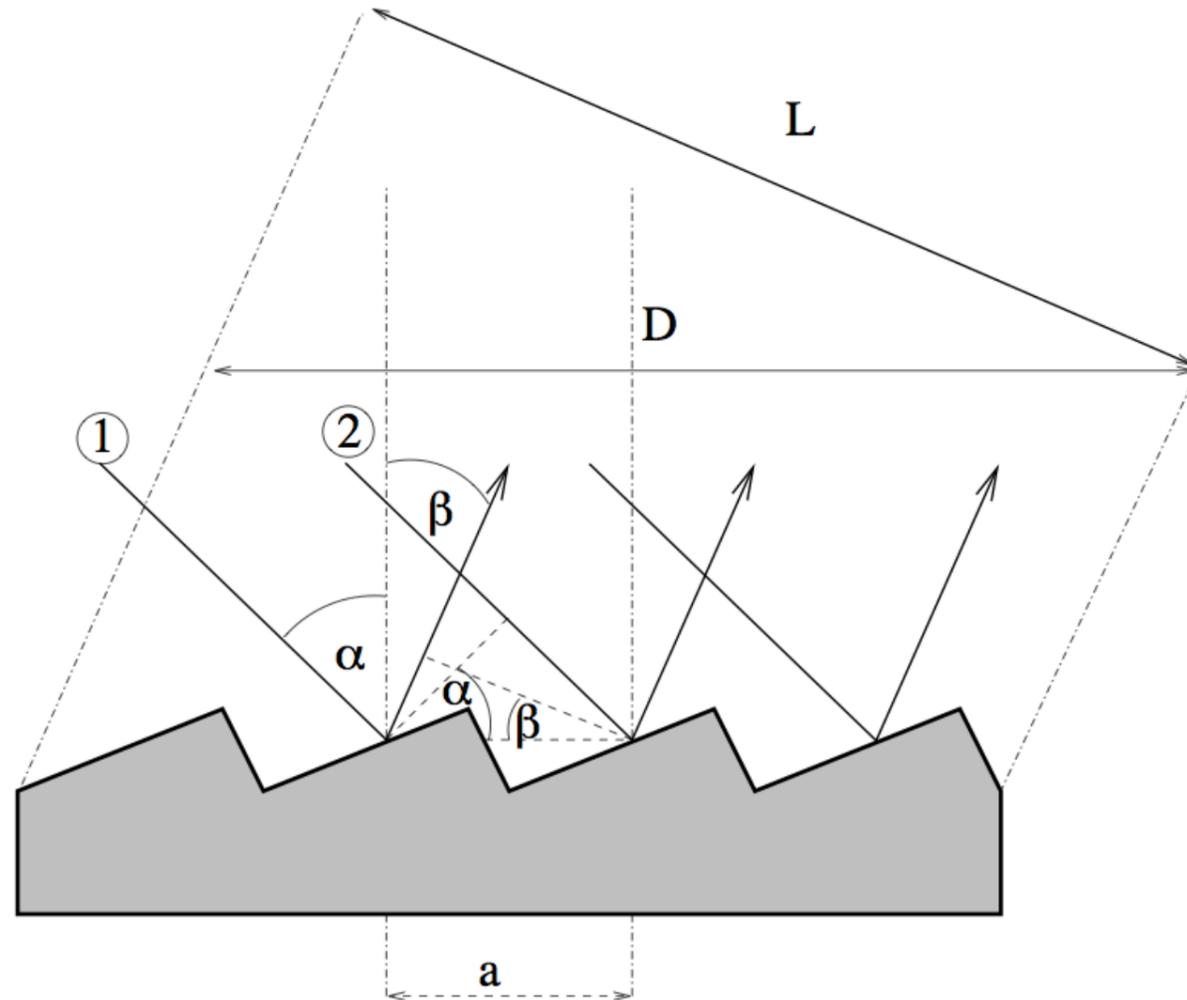


a. Transmission grating.



b. Reflection grating.

Spectrographe – réseau blazé



$$m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta)$$

α = angle d'incidence d'un rayon

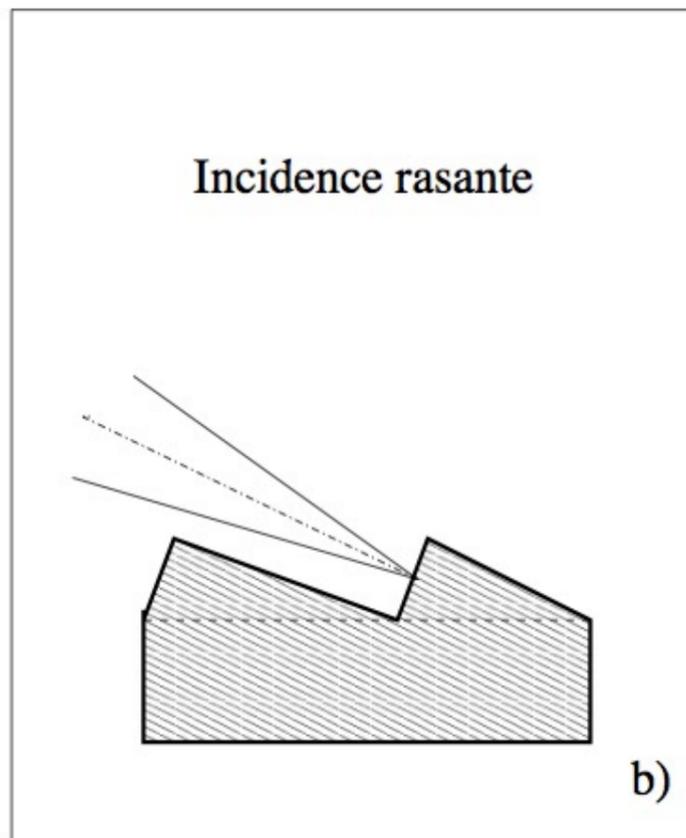
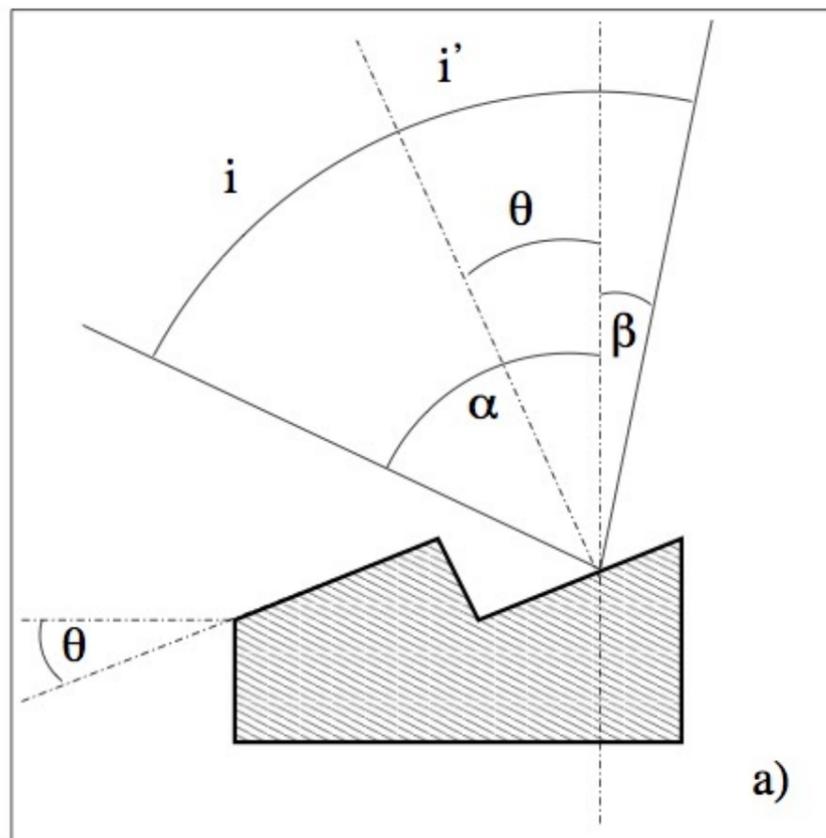
β = angle de diffraction

λ = longueur d'onde

n = nombre de traits par unité de longueur ($n = 1/a$)

m = ordre de diffraction (... , -3, -2, -1, 0 , 1, 2, ...)

Spectrographe - θ : angle de "blaze" (miroitement)



$$m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta)$$

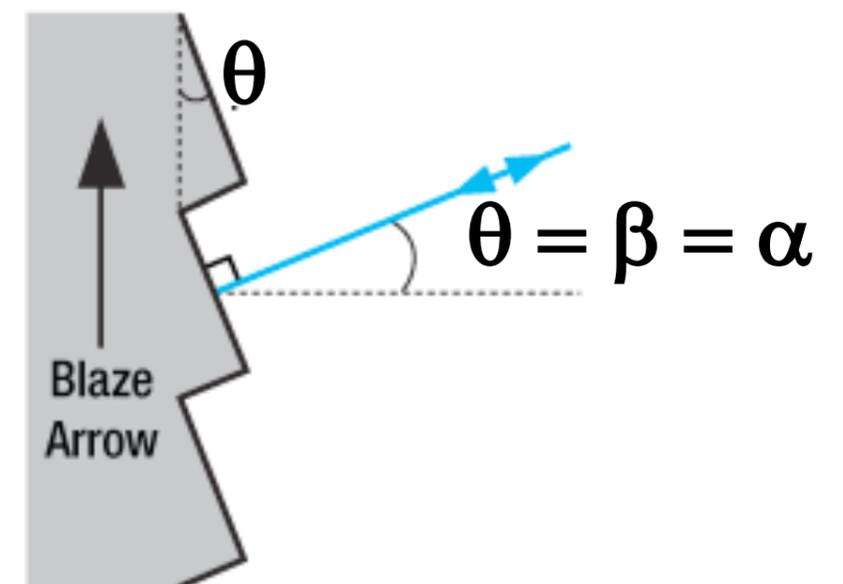
α = angle d'incidence
 β = angle de diffraction

lumière diffractée concentrée dans la direction de la réflexion géométrique

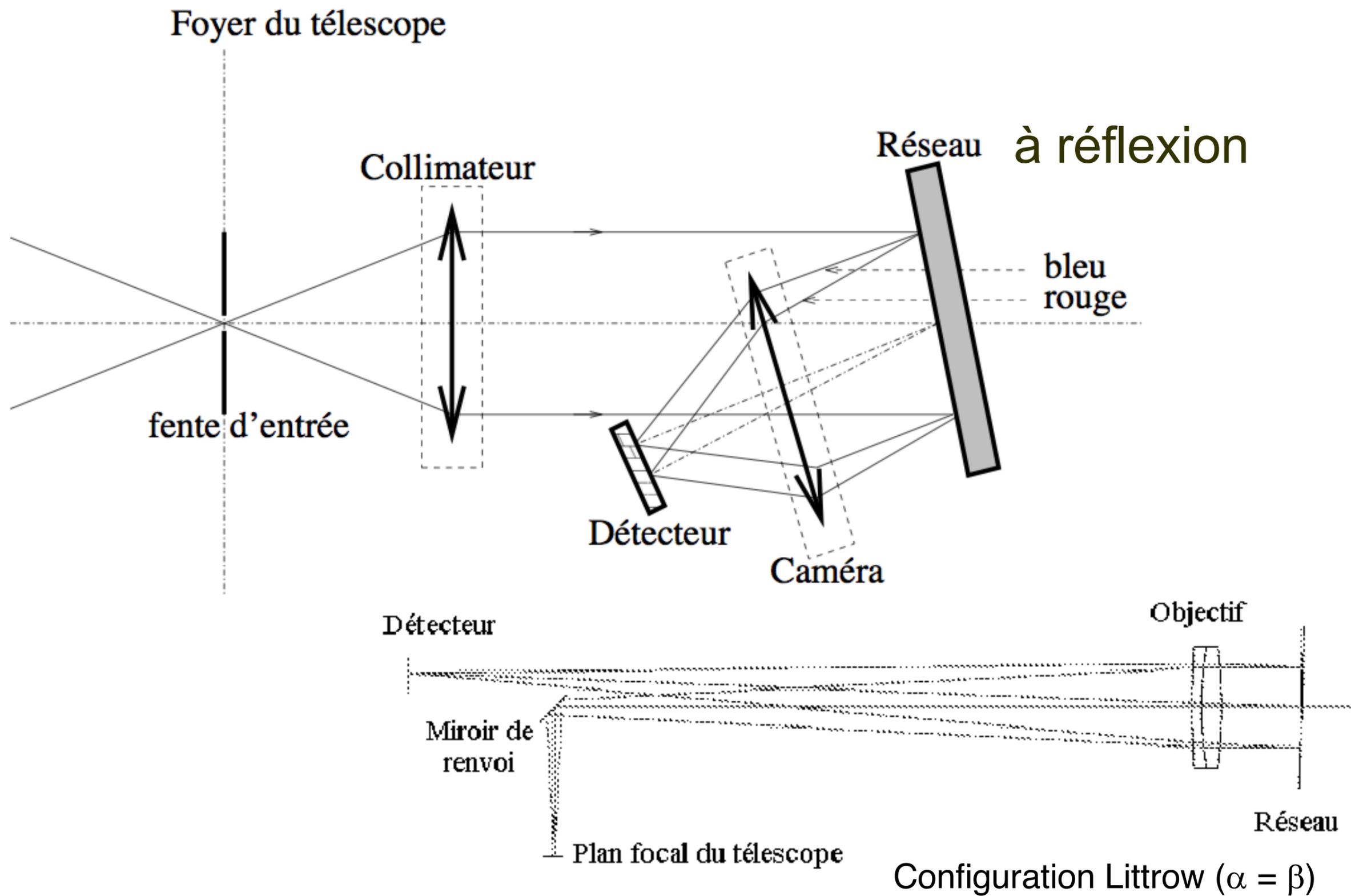
ordre le plus favorisé : celui pour lequel $\beta \approx i'$
 comme $i = i' \Rightarrow \alpha - \theta = \beta + \theta \Rightarrow \theta = (\alpha \pm \beta) / 2$

montage de Litrov :

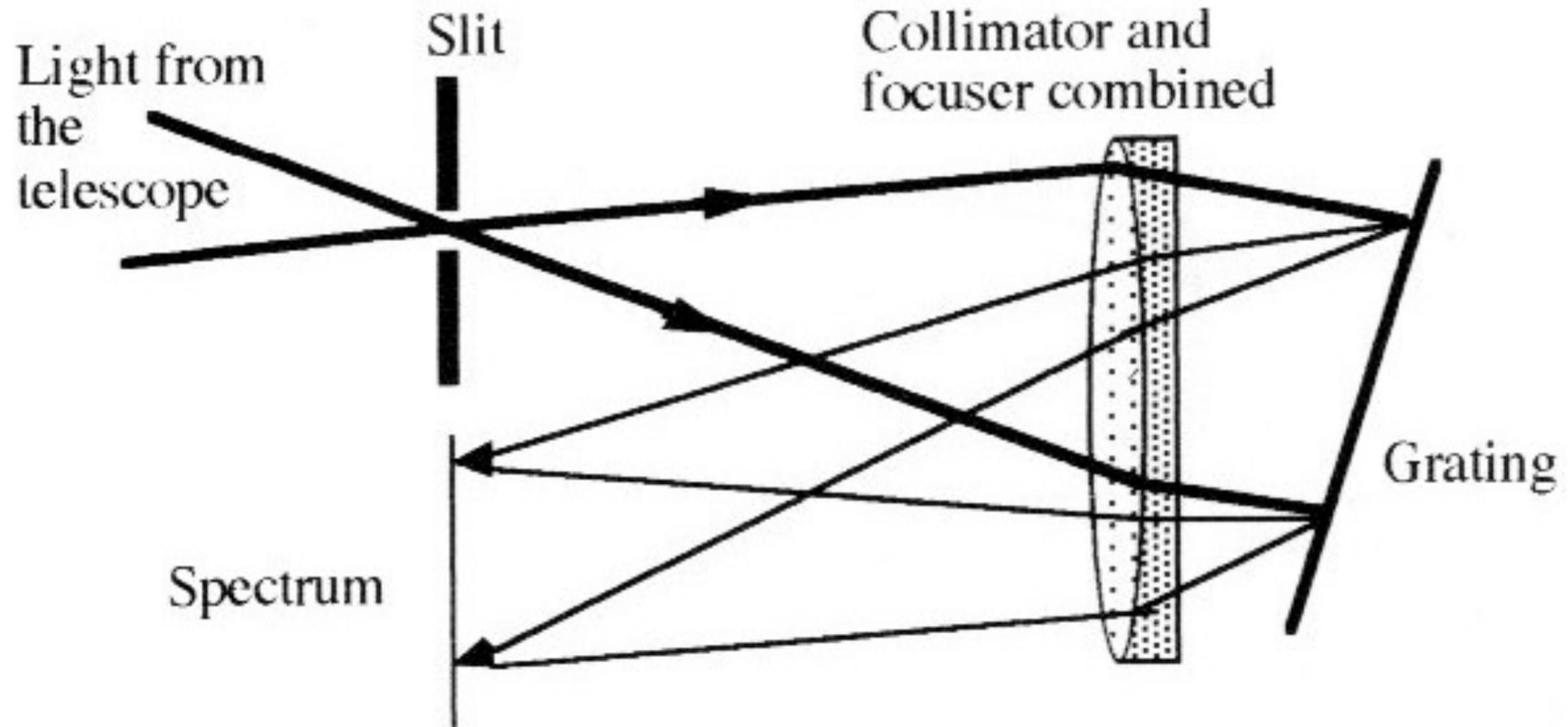
$$\theta = \beta = \alpha \Rightarrow m \cdot \lambda_B = 2a \cdot \sin(\theta)$$



Spectrographe à réseau pour l'astronomie



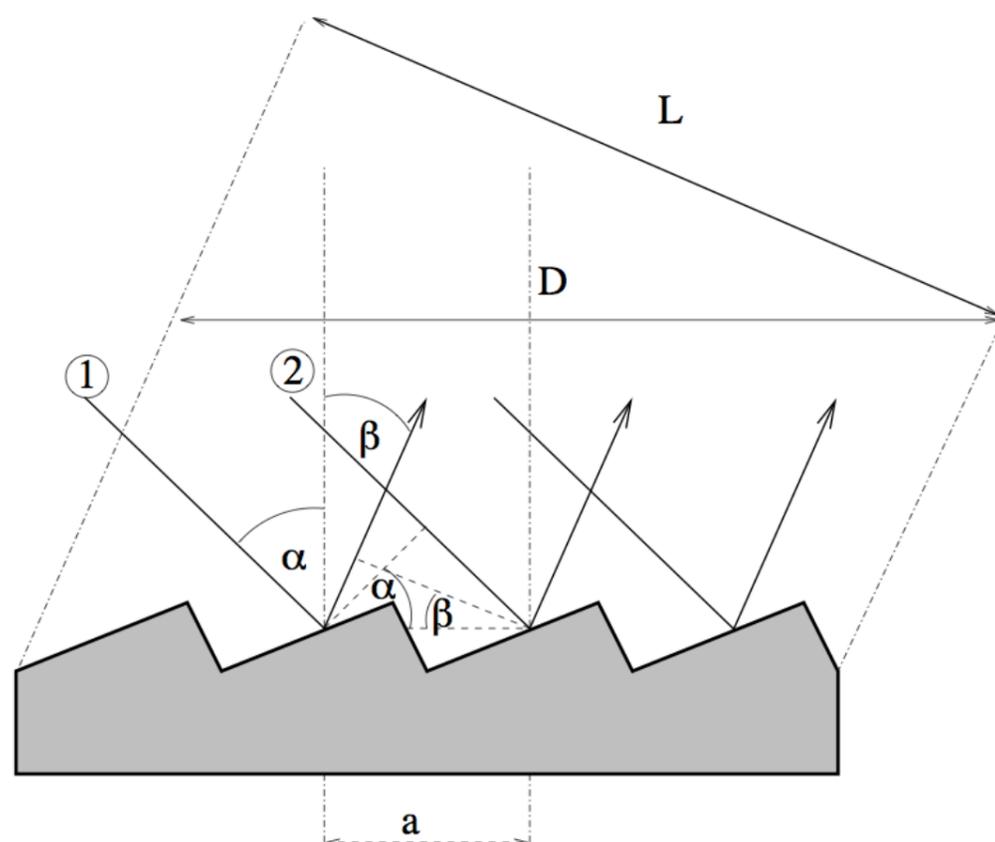
Design Littrow pour un spectrographe à réseau ($\alpha = \beta$)



Montage simple : même objectif sert de collimateur d'entrée et d'objectif de sortie (autocollimateur)

Desavantage : renvoie lumière parasite vers la fente de sortie (reflexion sur les surfaces de l'objectif)

spectrographe à réseau – résolution spectrale



$$m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta)$$

pour α fixe

$$m \cdot \delta\lambda = a \cdot \cos\beta \cdot \delta\beta$$

$$\delta\beta = \delta\lambda(m/a \cdot \cos\beta)$$

$$= \delta\lambda(m \cdot n / \cos\beta) \quad \text{avec } n = 1/a$$

largeur du faisceau emergent $L \rightarrow$ (focalisé sur camera)

résolution angulaire ($\Rightarrow \delta\Theta \sim \lambda/D$) de la camera : $\delta\beta \sim \lambda/L = \lambda/D \cos\beta$

$$\lambda/(D \cos\beta) = \delta\lambda(m \cdot n / \cos\beta) \quad \Rightarrow \quad R = \lambda/\Delta\lambda = m \cdot n \cdot D$$

avec $N = n \cdot D$ (nombre de traits)

$$R = \lambda/\Delta\lambda = m \cdot N$$

Coherent spectroscopy – using the periodic quality of light

spatial decomposition (“dispersive systems”) or
temporal modulation of incoming wave

Spectrometer	domain	R
gratings	visible, UV	10^3 - 10^6
	soft X rays	10^2 - 10^3
Bragg-crystal	soft X rays	10^3
Fabry-Perot	visible, IR	10^4 - 10^6
heterodyne	radio	$> 10^6$
	mm, sub-mm	$> 10^5$
atomic resonance	visible, UV	10^7

Resolution **R=** $\lambda/\Delta\lambda = m \cdot N$ **N : nombre de traits**

Types des réseaux de diffraction

Il existe trois principales méthodes de fabrication réseau:

- Gravure sur du verre d'une série de traits parallèles très fins, avec une pointe de diamant
- moulage en résine d'un patron gravé au diamant
- réseaux holographiques (figure d'interférence figée dans émulsion photo, puis attaque chimique des zones non exposées)

Types de Spectrographes

Spectrographes mono-objet

Spectrographe à dispersion croisée (spectroscopie échelle)

Spectrographes multi-objet

Spectrographes – prisme objectif (slitless)

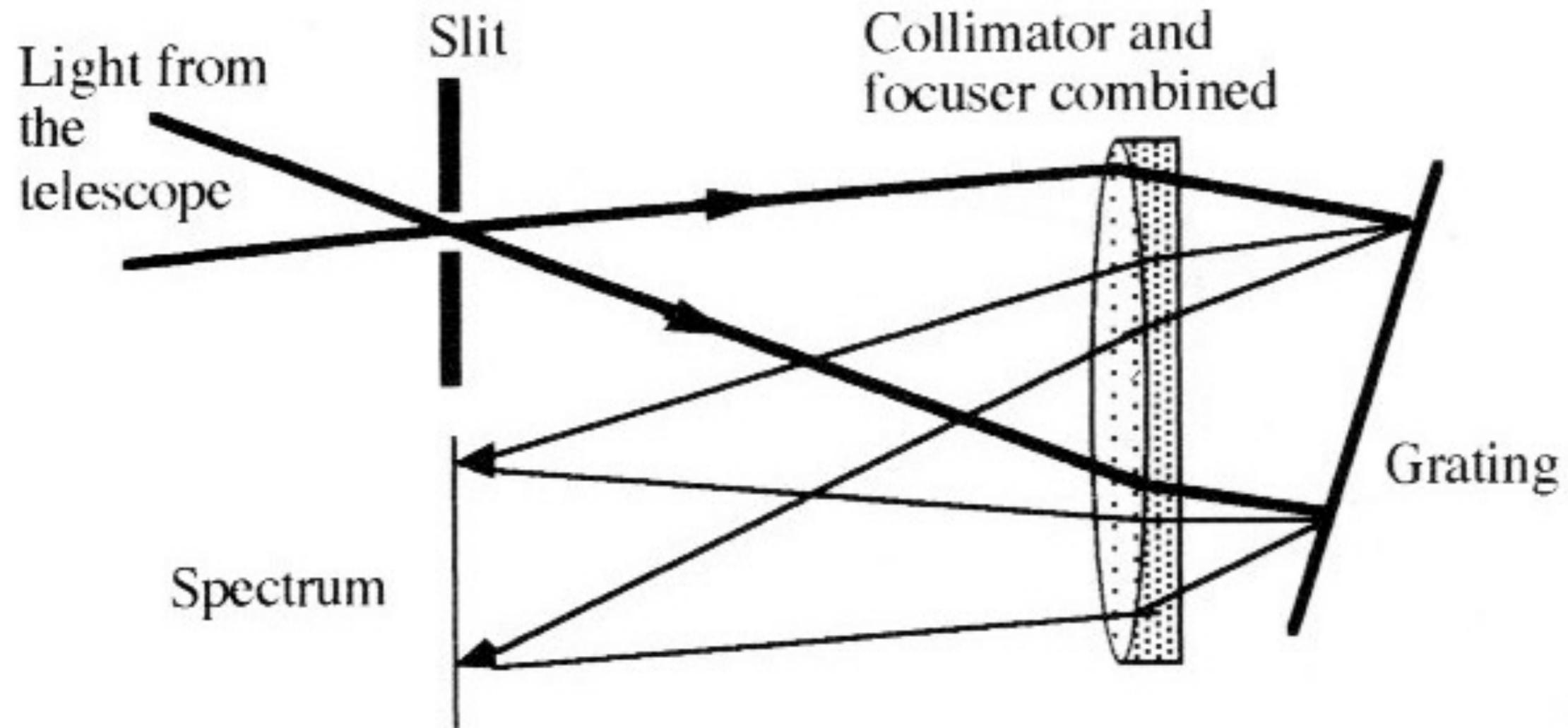
Spectrographe à fente large

Spectrographes à fibres

Spectrographes à masques

Spectroscopie intégrale du champ

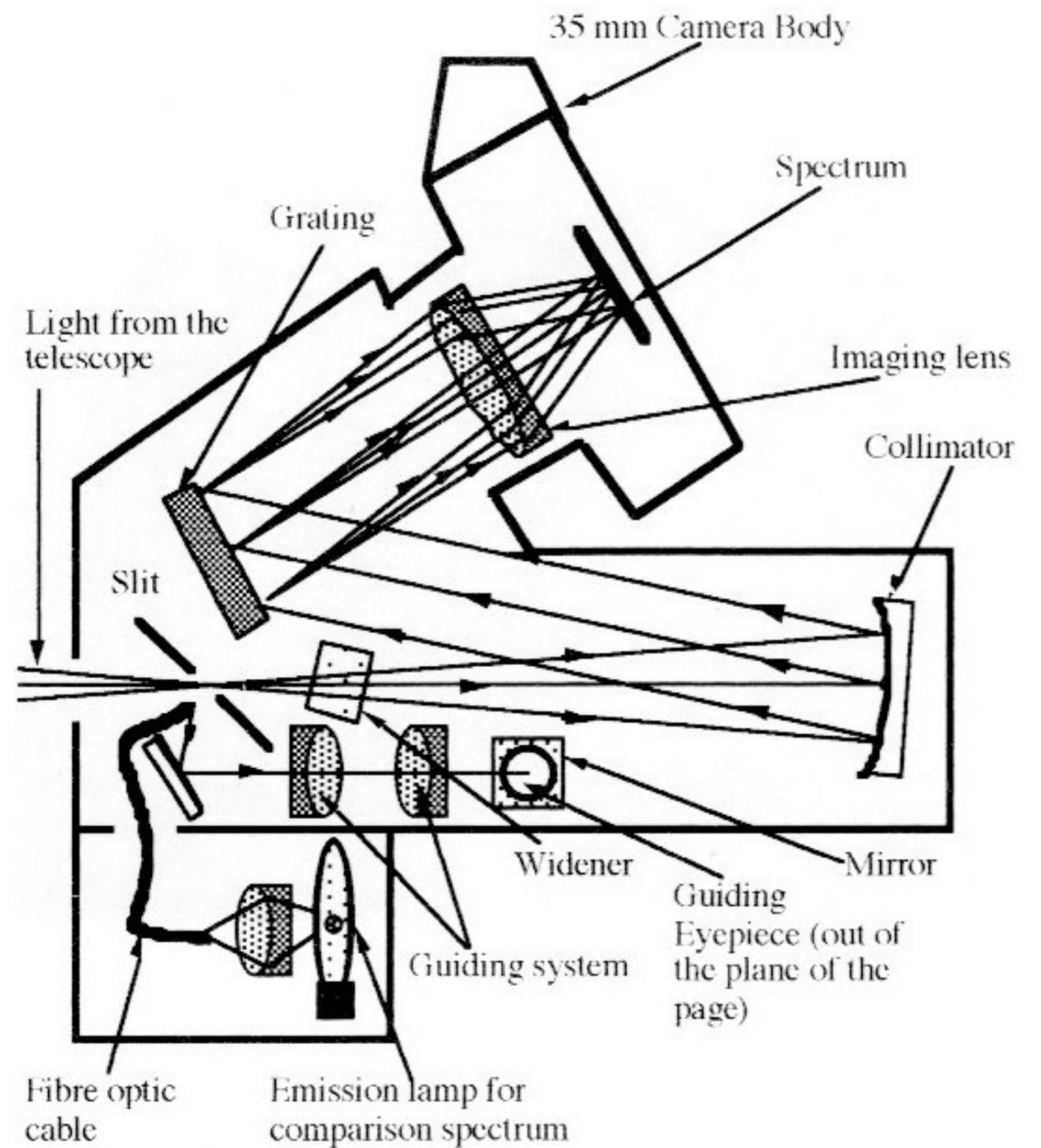
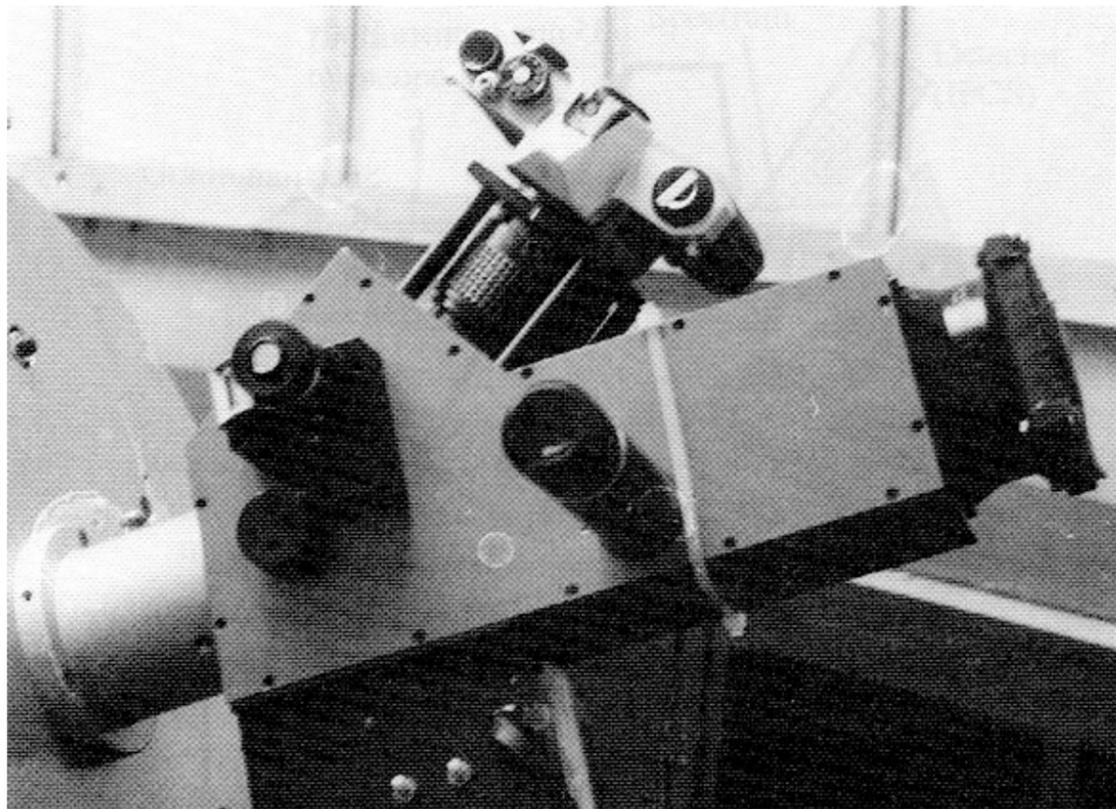
Design Littrow pour un spectrographe à réseau



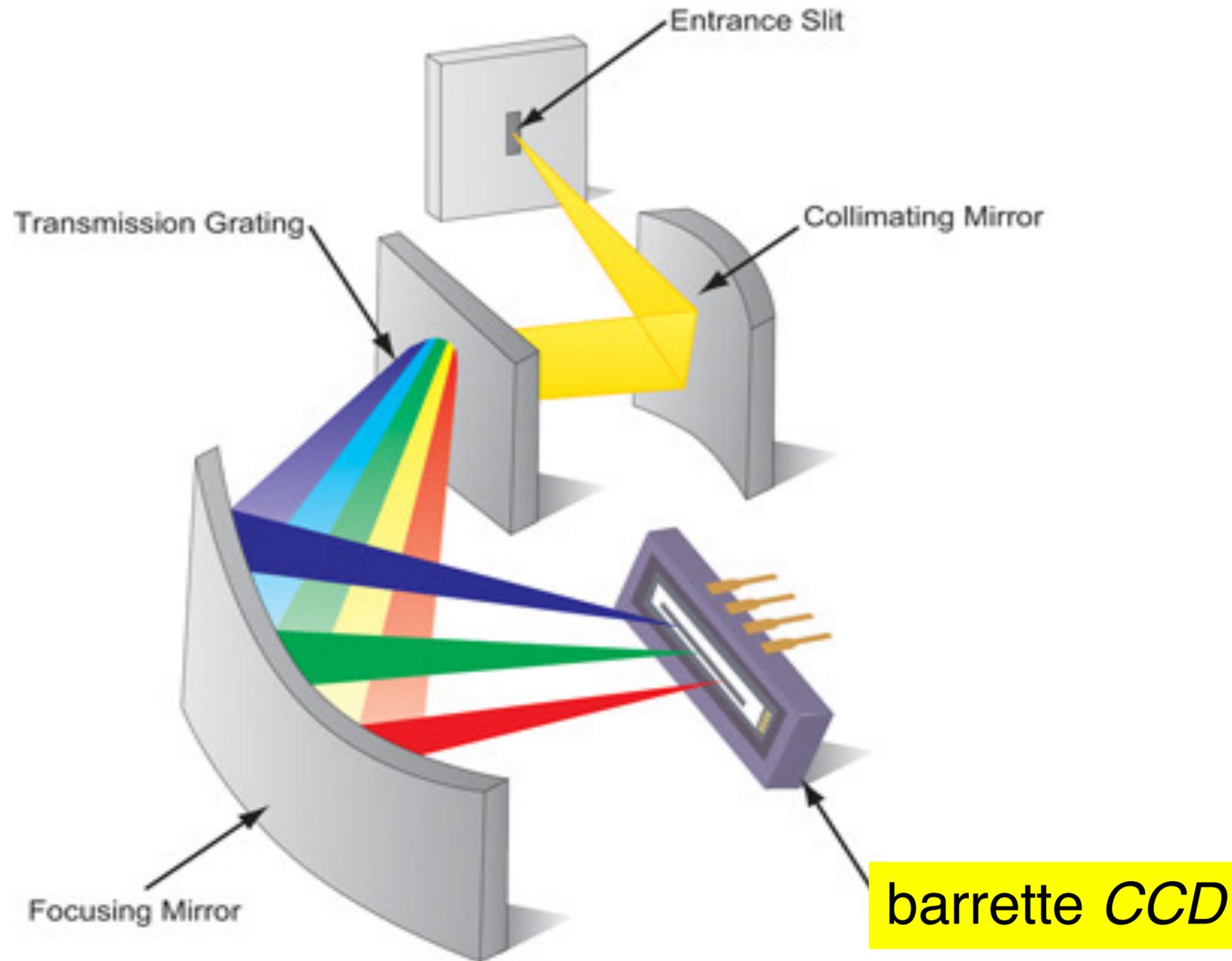
Montage simple : même objectif sert de collimateur d'entrée et d'objectif de sortie (autocollimateur)

Desavantage : renvoie lumière parasite vers la fente de sortie (reflexion sur les surfaces de l'objectif)

Spectrographe basique Cassegrain



Spectroscopie avec un capteur CCD



Spectroscopie avec un capteur CCD

L'information transportée par les photons

Les détecteurs astronomiques actuels permettent d'enregistrer des matrices 2-D.

Les quantités mesurées des photons incidents sont uniquement

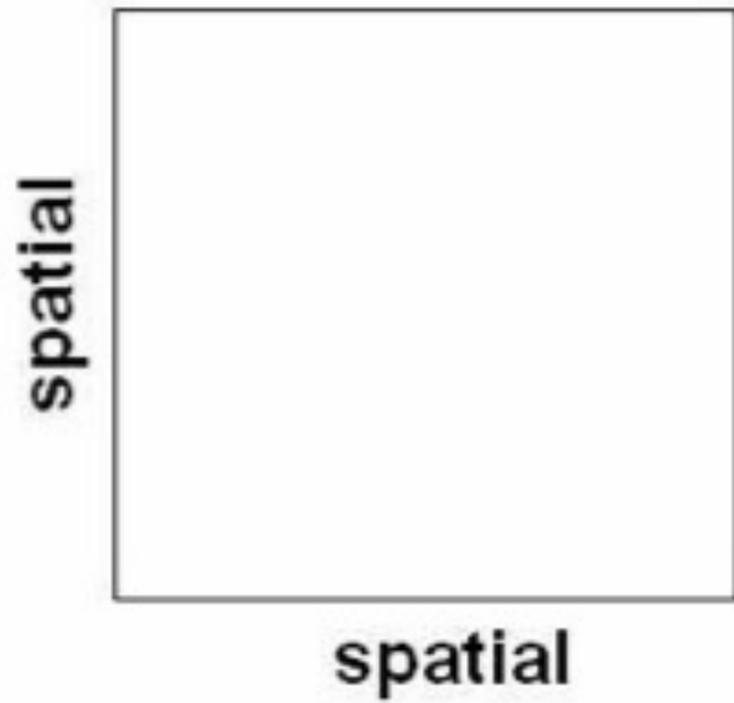
- intensité
- temps d'arrivée

ce qui n'est pas directement mesuré :

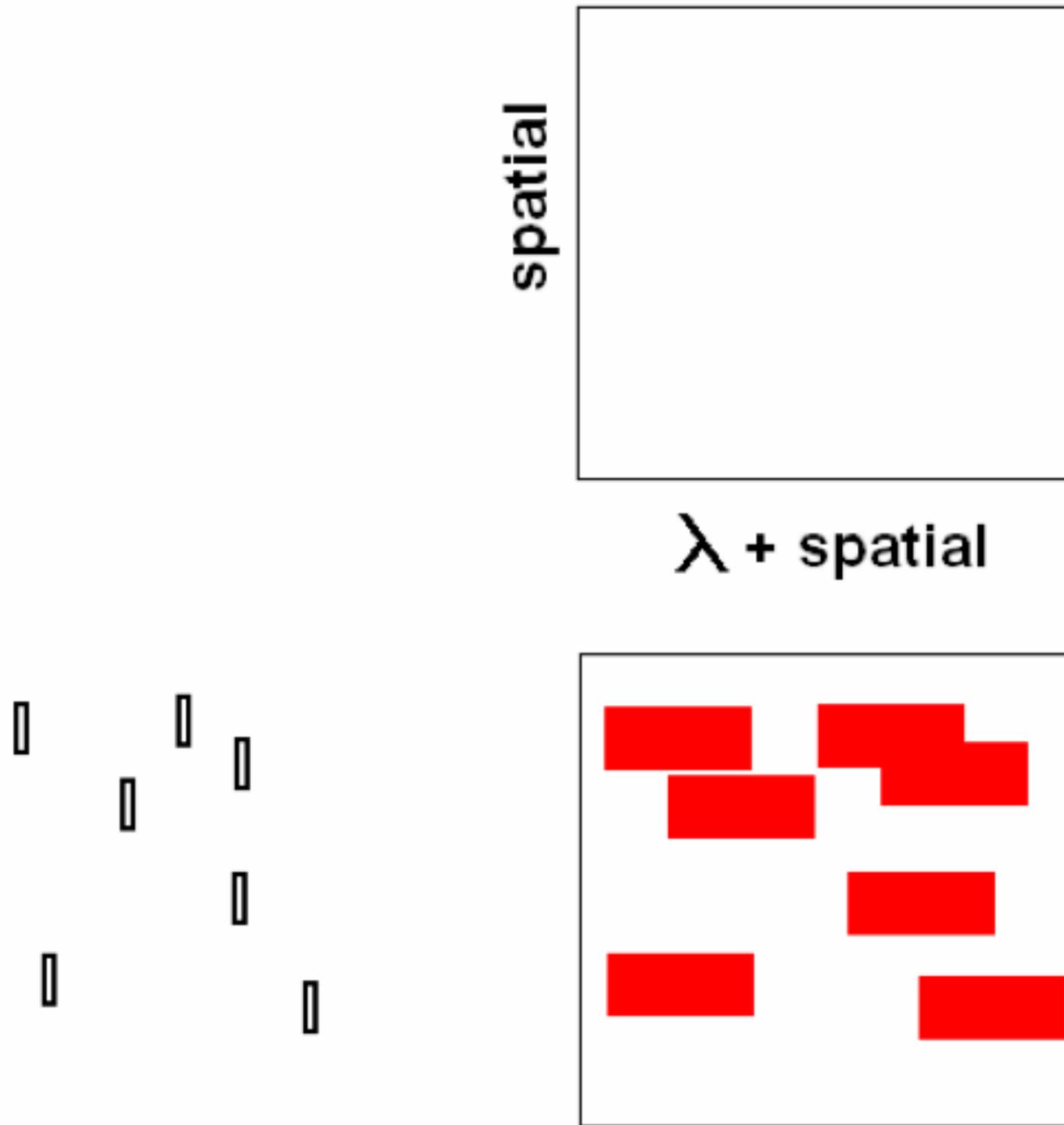
- longueur d'onde
- angle d'incidence du photon
- polarisation

Une optique et/ou un dispositif mécanique est utilisé pour accéder à ces quantités de mesure.

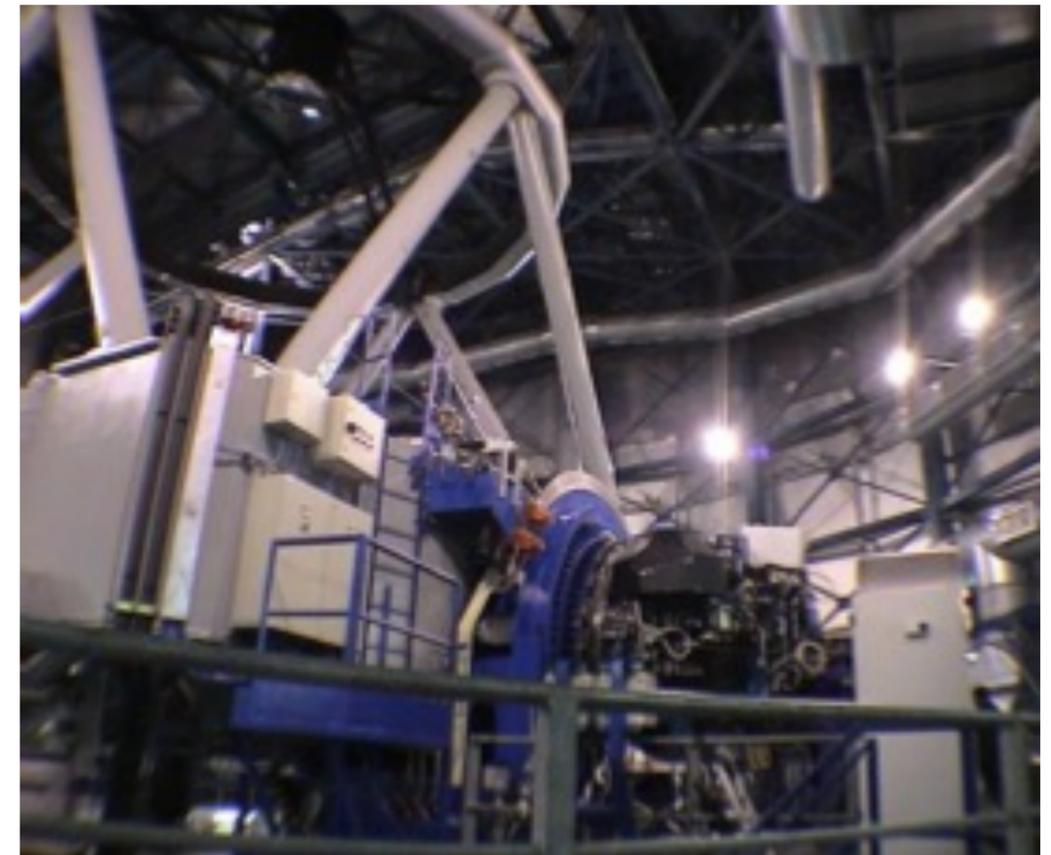
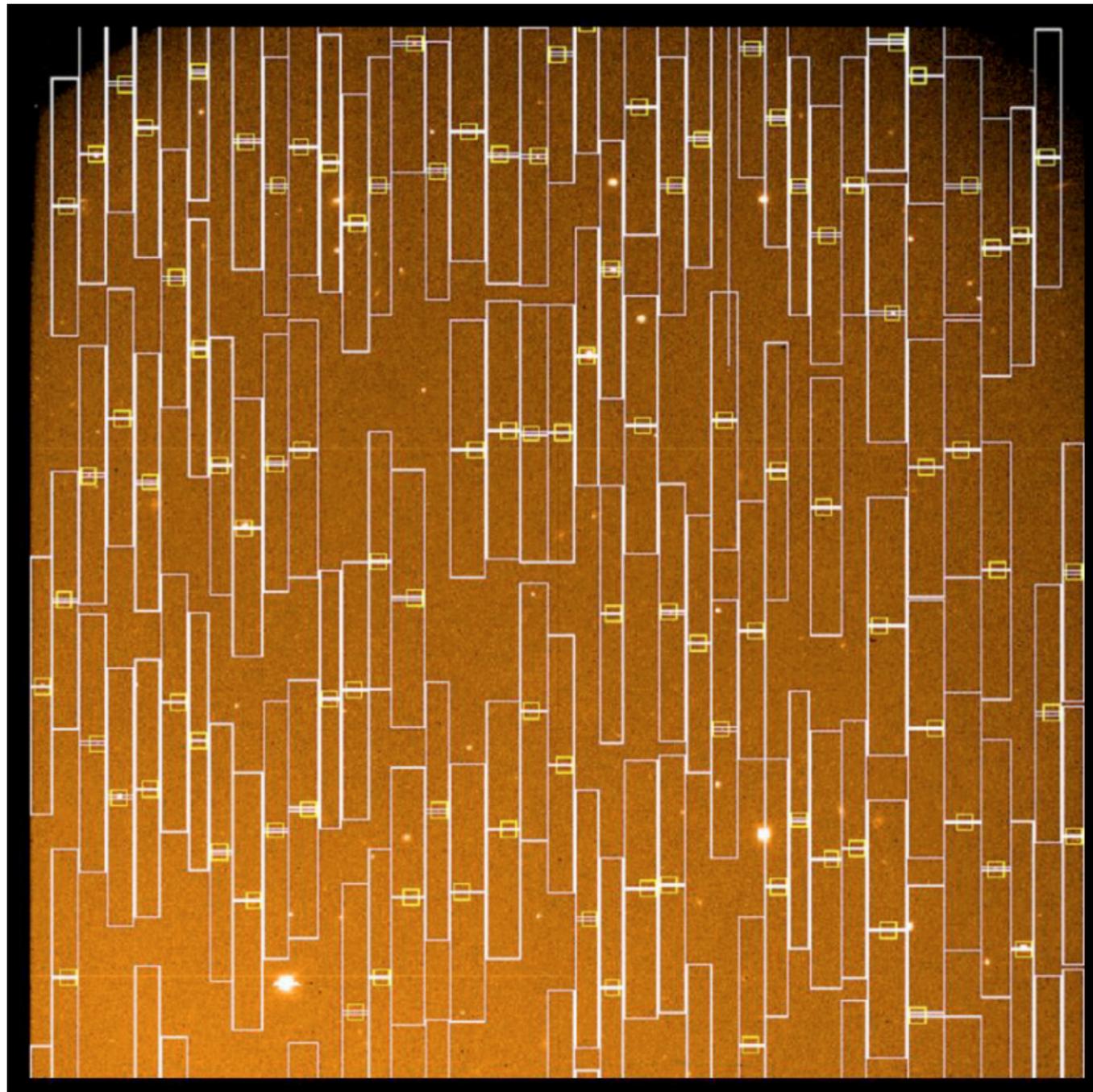
1) Imagerie - voir TP CCD



2) spectroscopie multi-fentes {intro}



VIMOS - Multi-Object Spectroscopy

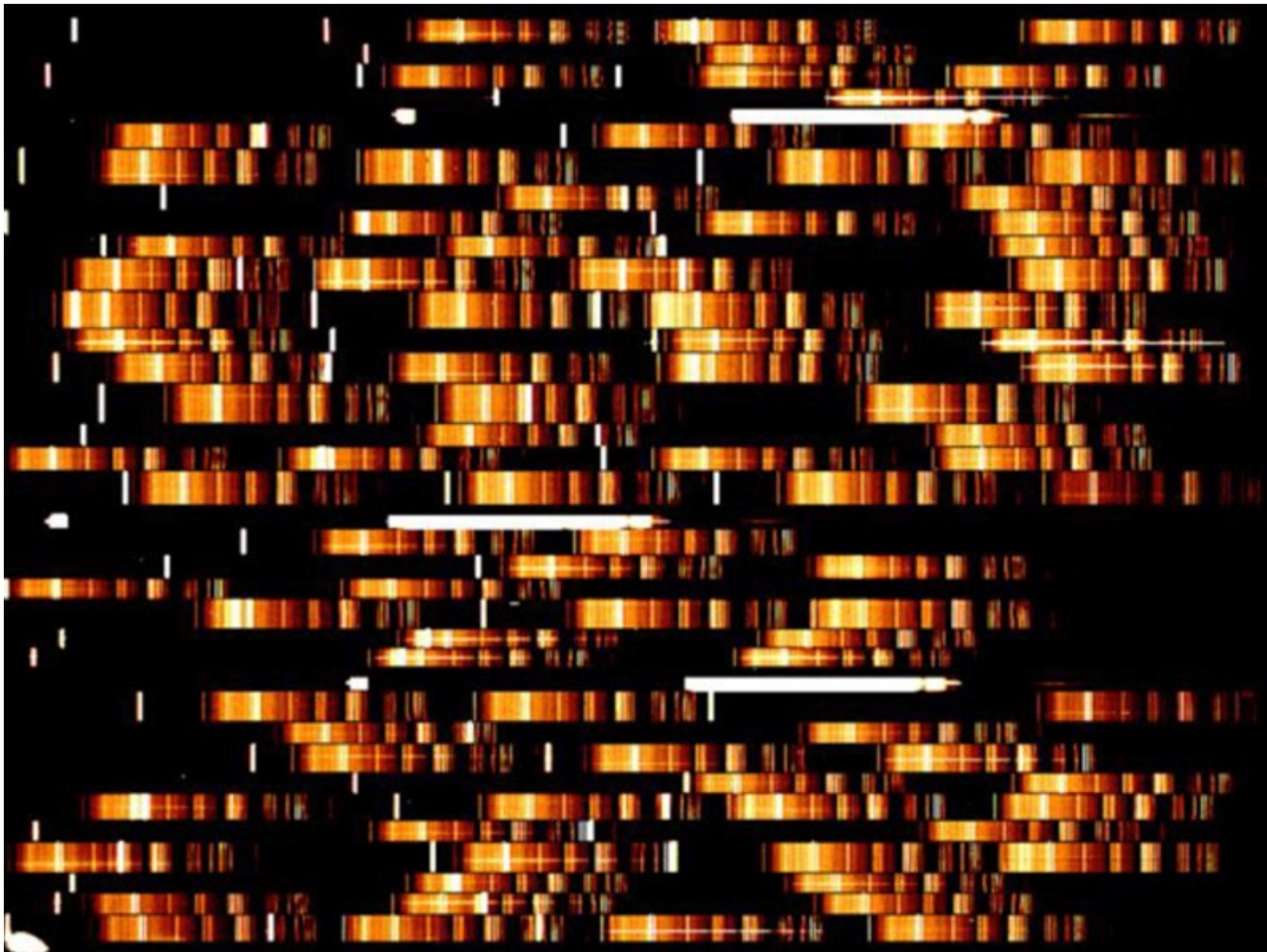


VIMOS Mask Design on Pre-Image

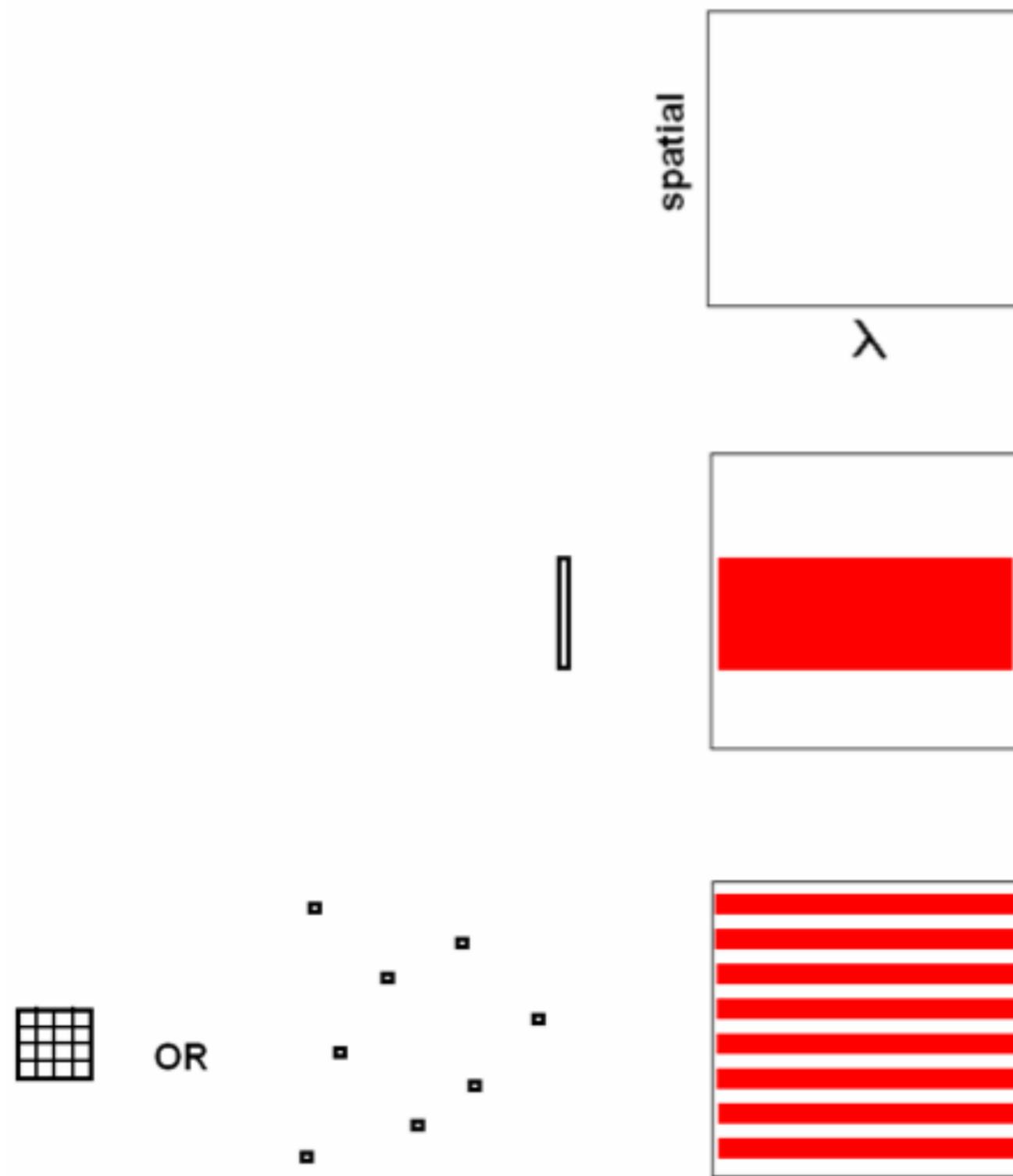
ESO PR Photo 09k/02 (13 March 2002)

© European Southern Observatory

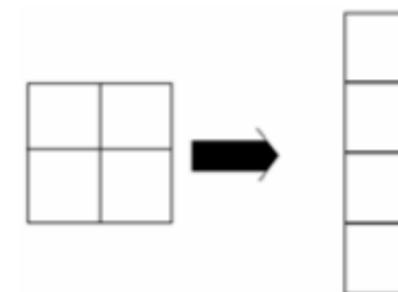




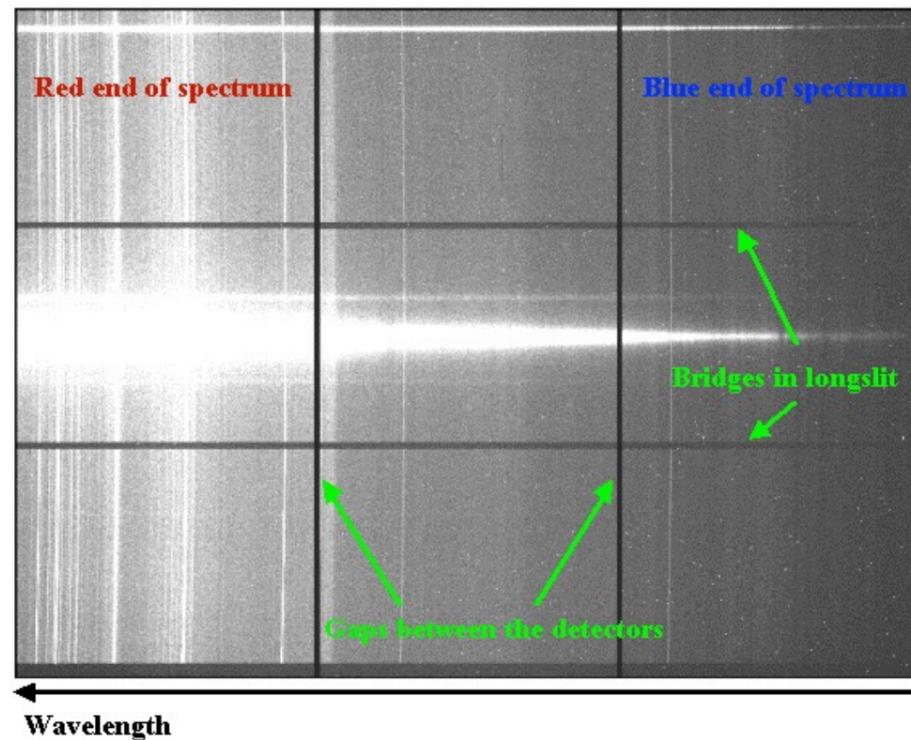
3) spectroscopie longue-fente, IFU, ou multi objet {intro}



IFU (Integral Field Unit)
Spectroscopie Integrale du
Champ

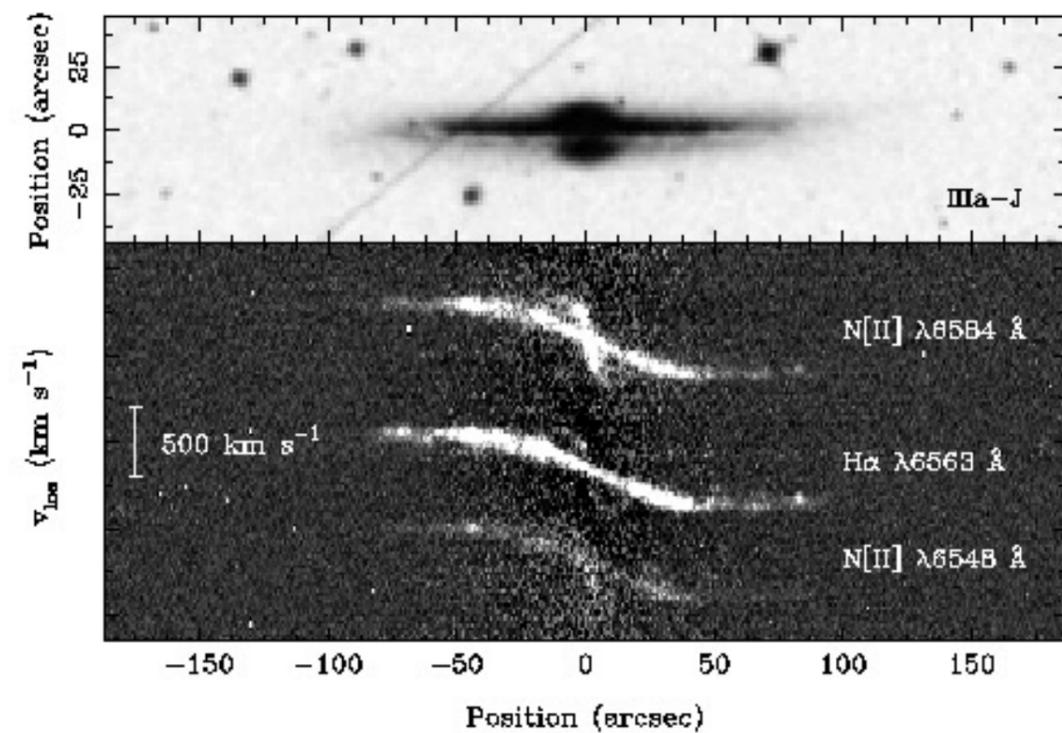


Spectro-imagerie : spectroscopie longue-fente



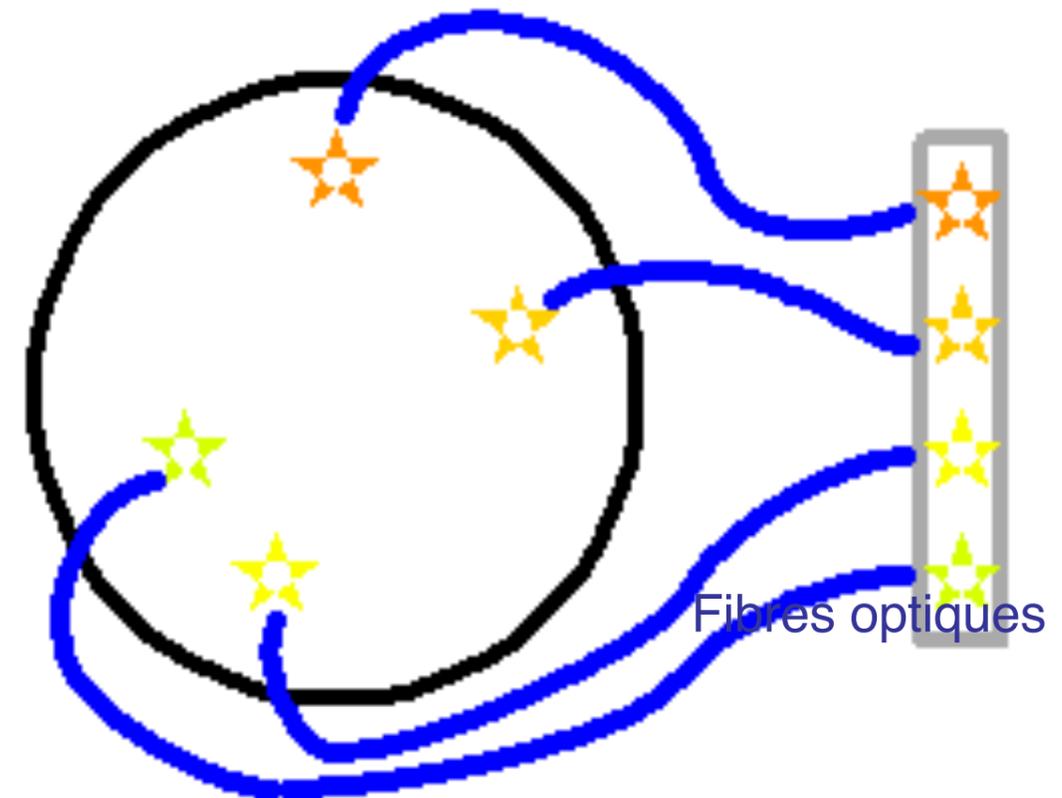
Gemini : GMOS longslit observation of a nearby galaxy. The full detector array is read out. The gaps between the detectors are shown. The longslits have bridges, causing small gaps in the spatial coverage. These bridges are necessary in order to keep the slit stable.

NGC 6722



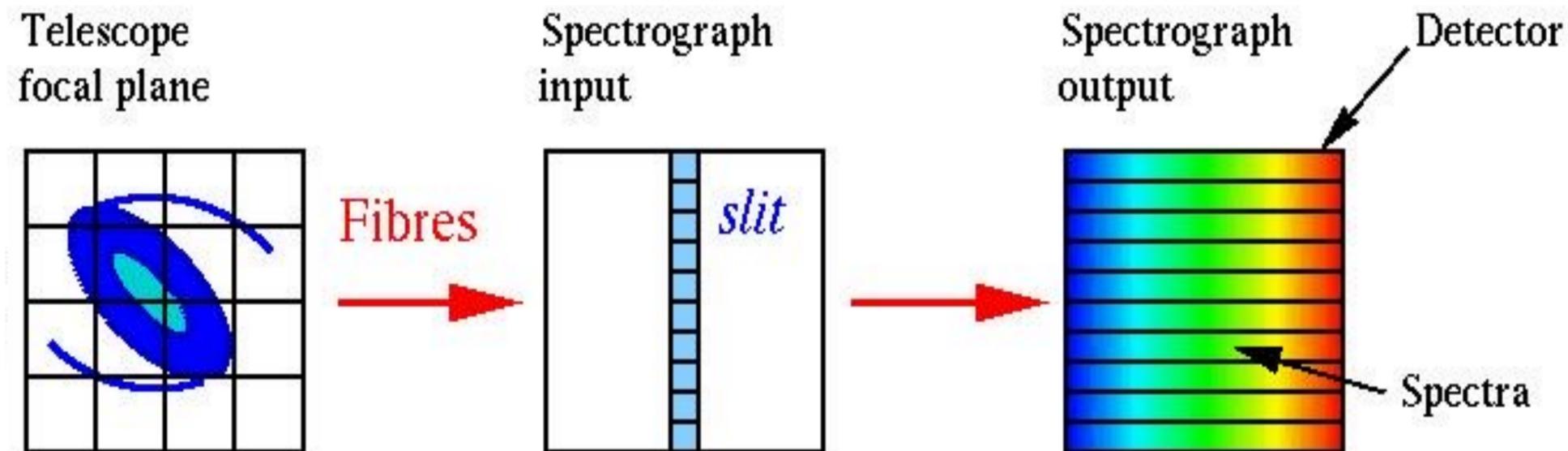
spectrométrie multi objet

spectrométrie sur un champ non limité à un seul point source.



Spectroscopie intégrale du champ

Integral field spectroscopy is a technique to produce a spectrum for each spatial element in an extended two-dimensional field. The observation produces a data-cube containing both spatial and spectral information.



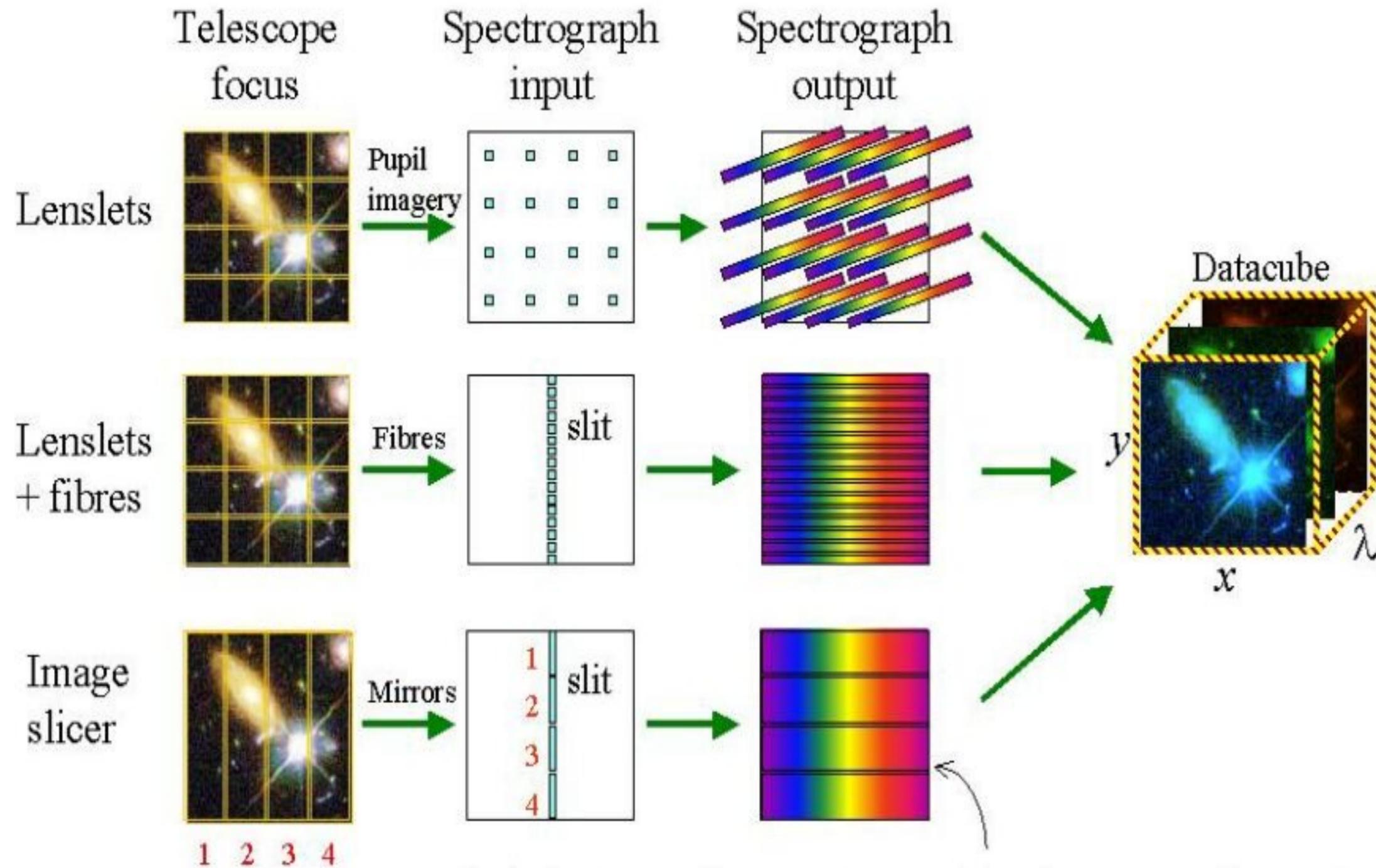
Spectroscopie intégrale du champ

Trois familles principales d'image slicers
en UV, visible and IR proche:

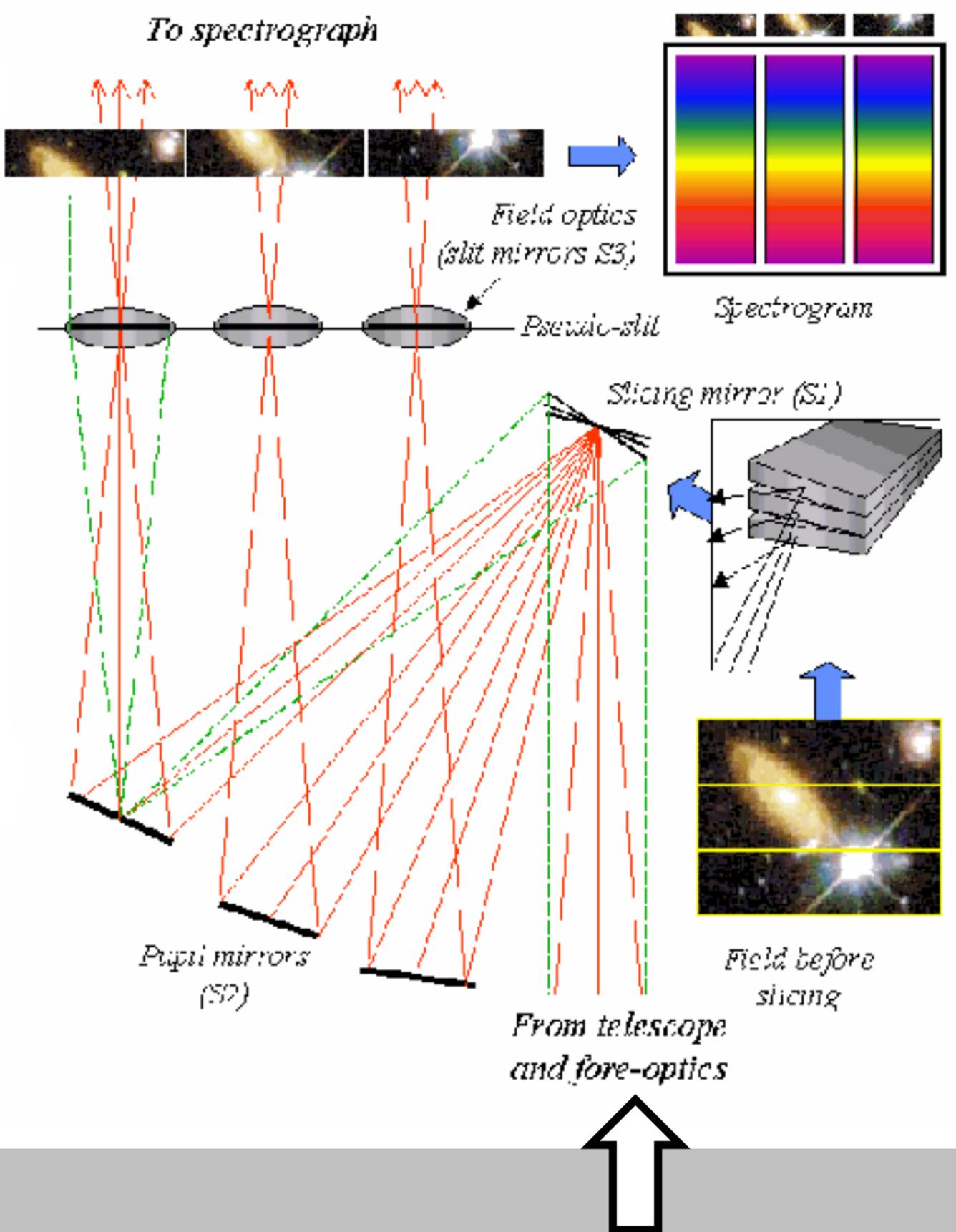
- Reflectif
- Refractif (microlenses)
- Fibres optiques

Où une combinaison de microlentilles et fibres

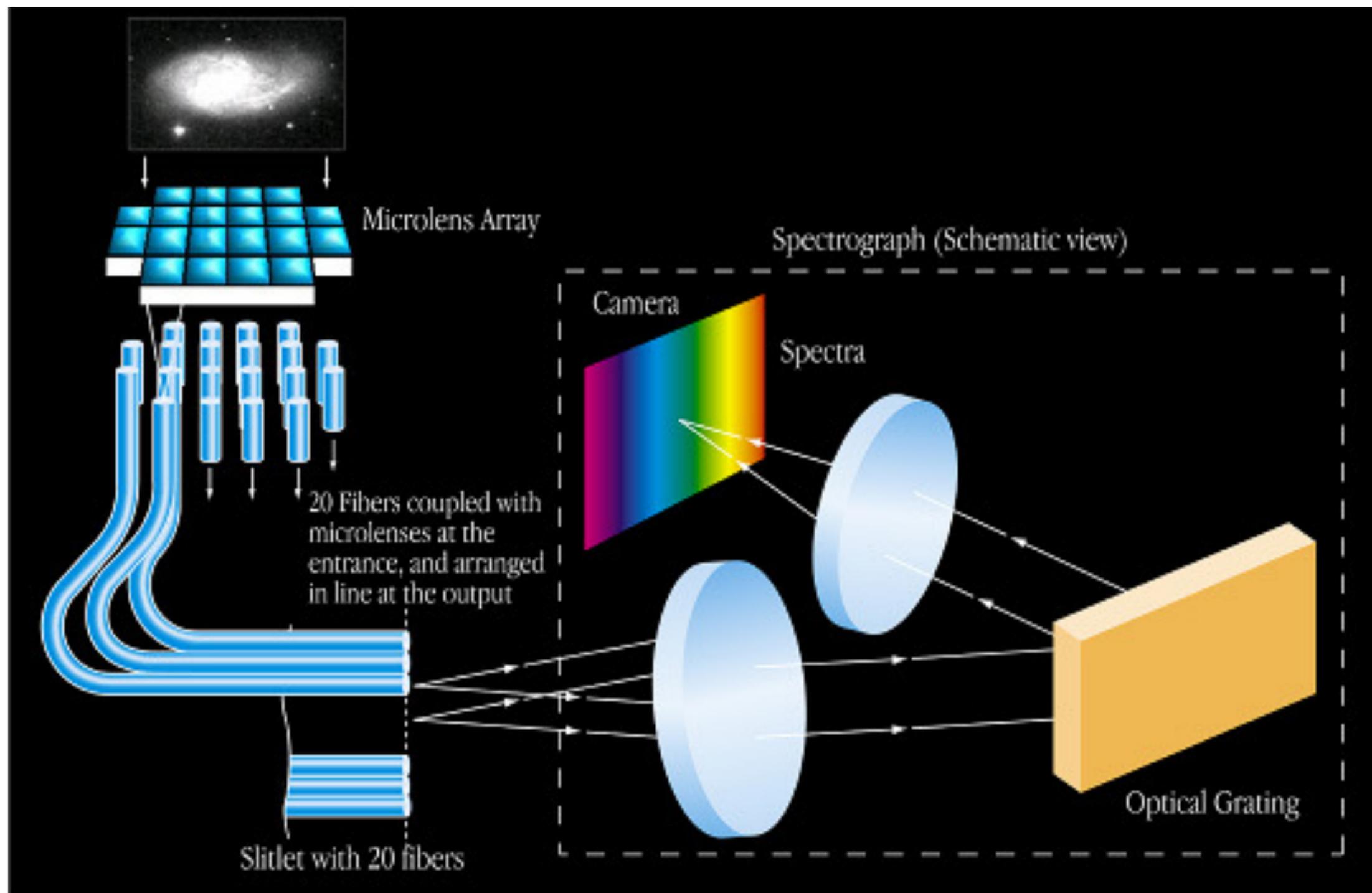
methodes pour la spectroscopie integrale du champ



Reflective Image Slicer



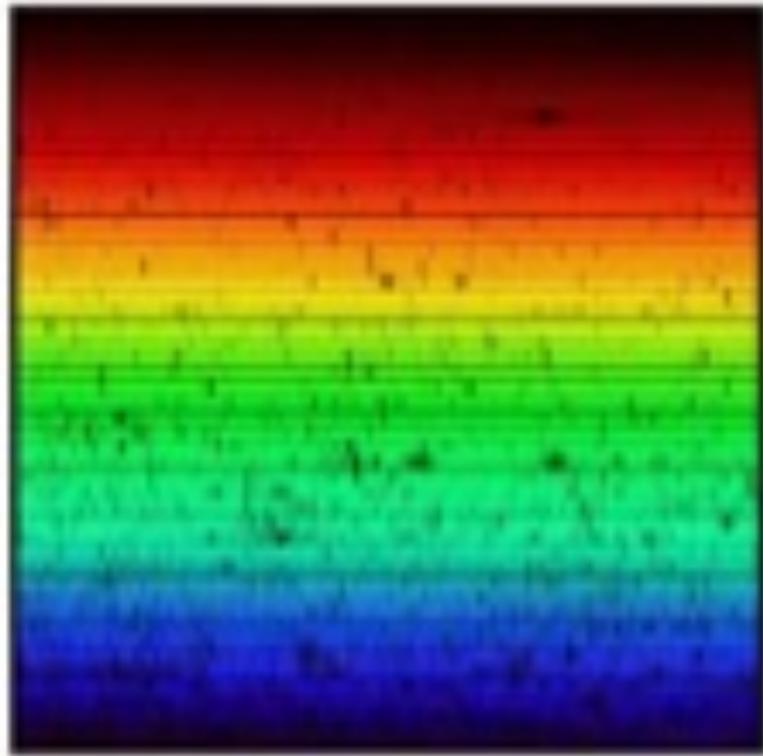
Les mini-champs intégraux déployables



How the IFUs function

4) Spectrographe à dispersion croisée

(cross-dispersed spectroscopy)

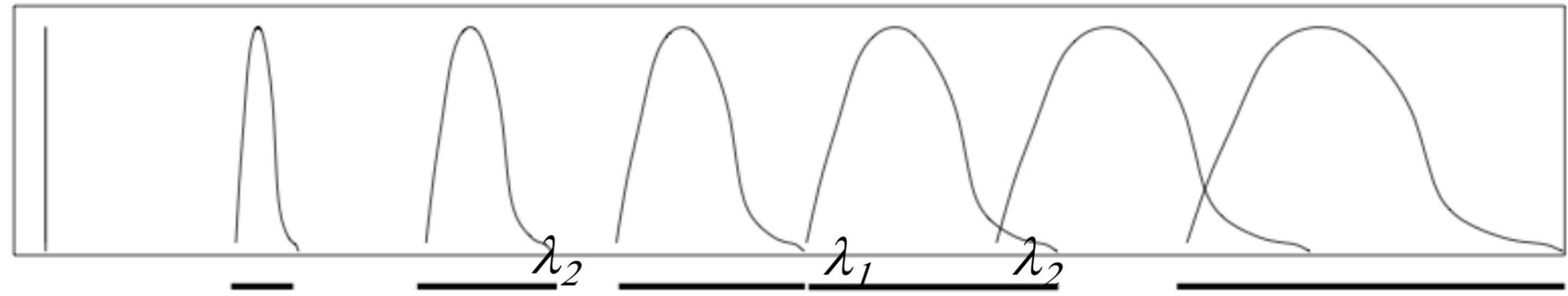


spectroscopie Echelle

les ordres de diffraction (m) $m\lambda = a(\sin \alpha \pm \sin \beta_m)$

$$m\lambda = a(\sin \alpha + \sin \beta) \Rightarrow \sin \beta(\lambda) = mn\lambda + \sin \alpha$$

$$n = 1/a$$



ordre m = 0 1 2 3 4 5 6

m = 1,2 ordres se produisent à des angles de plus en plus grands

fin de l'ordre m : $\sin \beta^m(\lambda_2) = mn\lambda_2 + \sin \alpha$

debut de l'ordre m+1 : $\sin \beta^{m+1}(\lambda_1) = (m+1)n\lambda_1 + \sin \alpha$

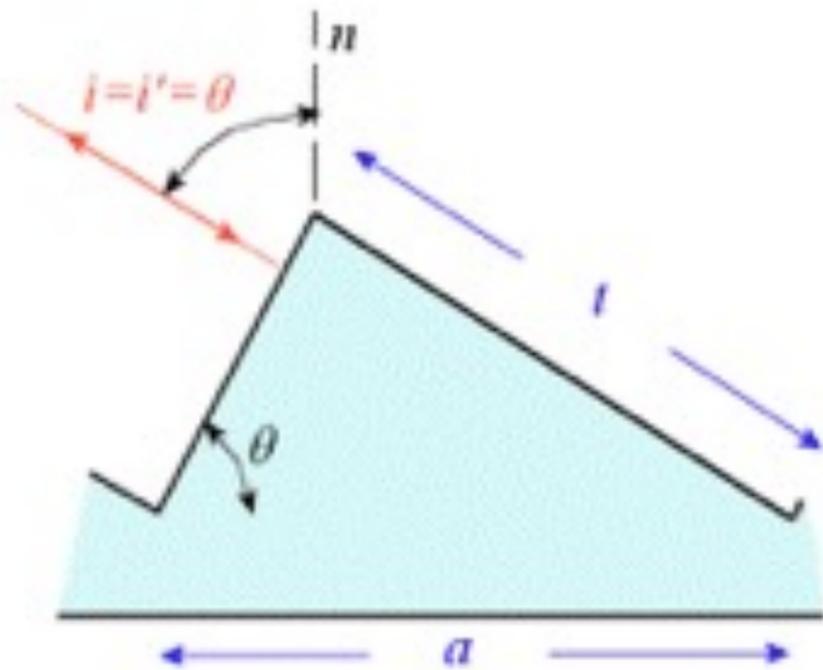
On exige $\sin \beta^{m+1}(\lambda_1) > \sin \beta^m(\lambda_2)$

\Rightarrow condition pour pouvoir separer les ordres
 $m \cdot n \cdot \lambda_1 + n \cdot \lambda_1 > m \cdot n \cdot \lambda_1 + m \cdot n \cdot \Delta\lambda \Rightarrow m < \lambda_1 / \Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m+1}$$

Spectrographe Echelle

Le montage est de type Littrow (un seul et même miroir collimateur). Le principe d'un tel spectrographe consiste à utiliser un ordre d'interférence m très élevé. Le réseau échelle a une période 'a' grande ($a \gg \lambda$) et un angle d'incidence i élevé avec $i=i'=\theta$ (condition de Littrow) =>



intervalle spectral libre

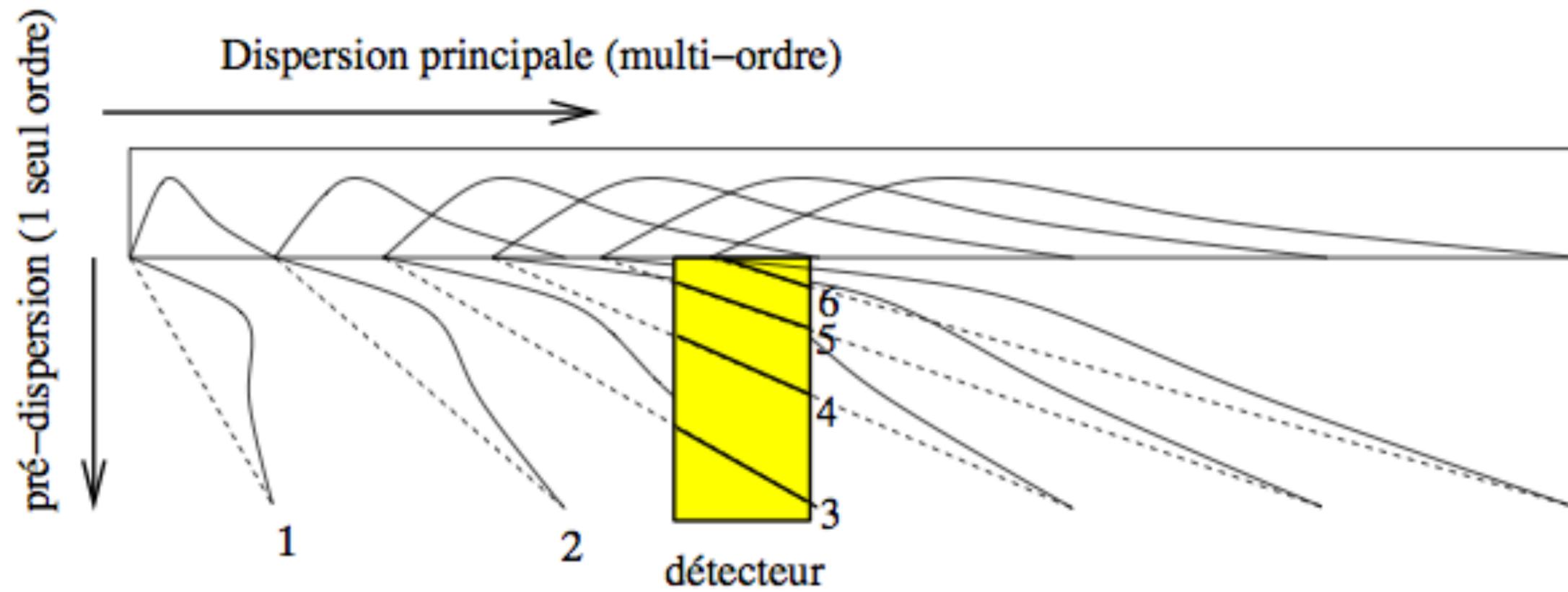
$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{m+1}$$

Pour m élevé : confusion des ordres

=> disperseur (réseau ou prisme) ayant une direction de **dispersion perpendiculaire à la direction de dispersion du réseau échelle.**

Chaque ordre se voit ainsi séparé et l'on a un étalement du spectre entier : on appelle communément ce spectre un échellogramme

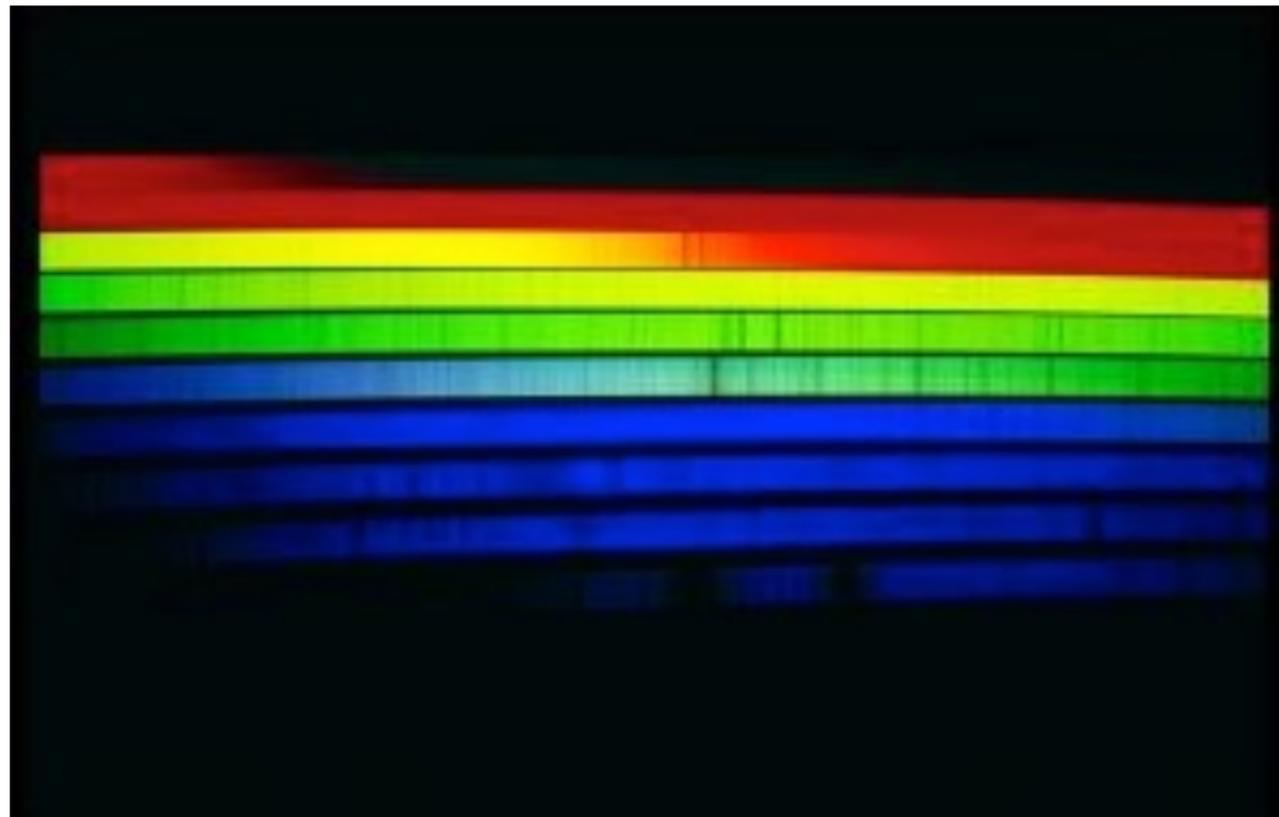
Spectrographe à dispersion croisée



Spectrographe Echelle

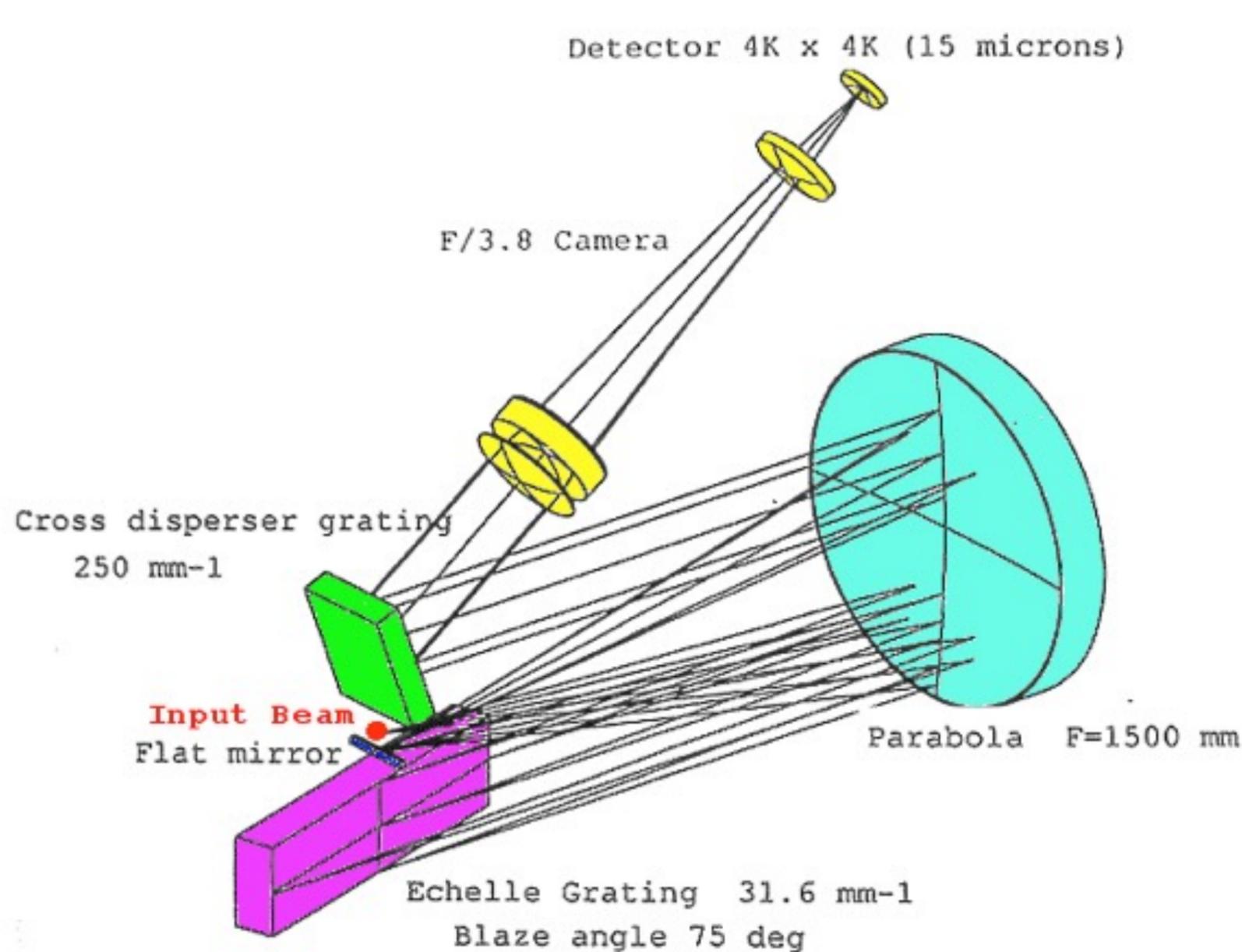
spectrograph qui s'adapte bien aux plans de detection deux-dimensionnels

Un reseau avec une constante relativement grossiere (grand d) est utilisé avec un ordre très élevé ($m > 50$). Un prisme est monté dans le faisceau, sa dispersion étant perpendiculaire à la dispersion du reseau de telle manière que les ordres ne se chevauchent pas.



Spectrographe Echelle

de très hautes résolutions, mais en contrepartie, très peu de flux lumineux est dispersé, puisque l'on sait que l'intensité d'un ordre est une fonction inverse du carré de l'ordre



$$m \cdot \lambda_b = 2a \sin i = 2t$$

$$R = 2 \cdot \text{tg } \theta \cdot \frac{f_{\text{coll}}}{L}$$

avec

F_{coll} = focale du collimateur

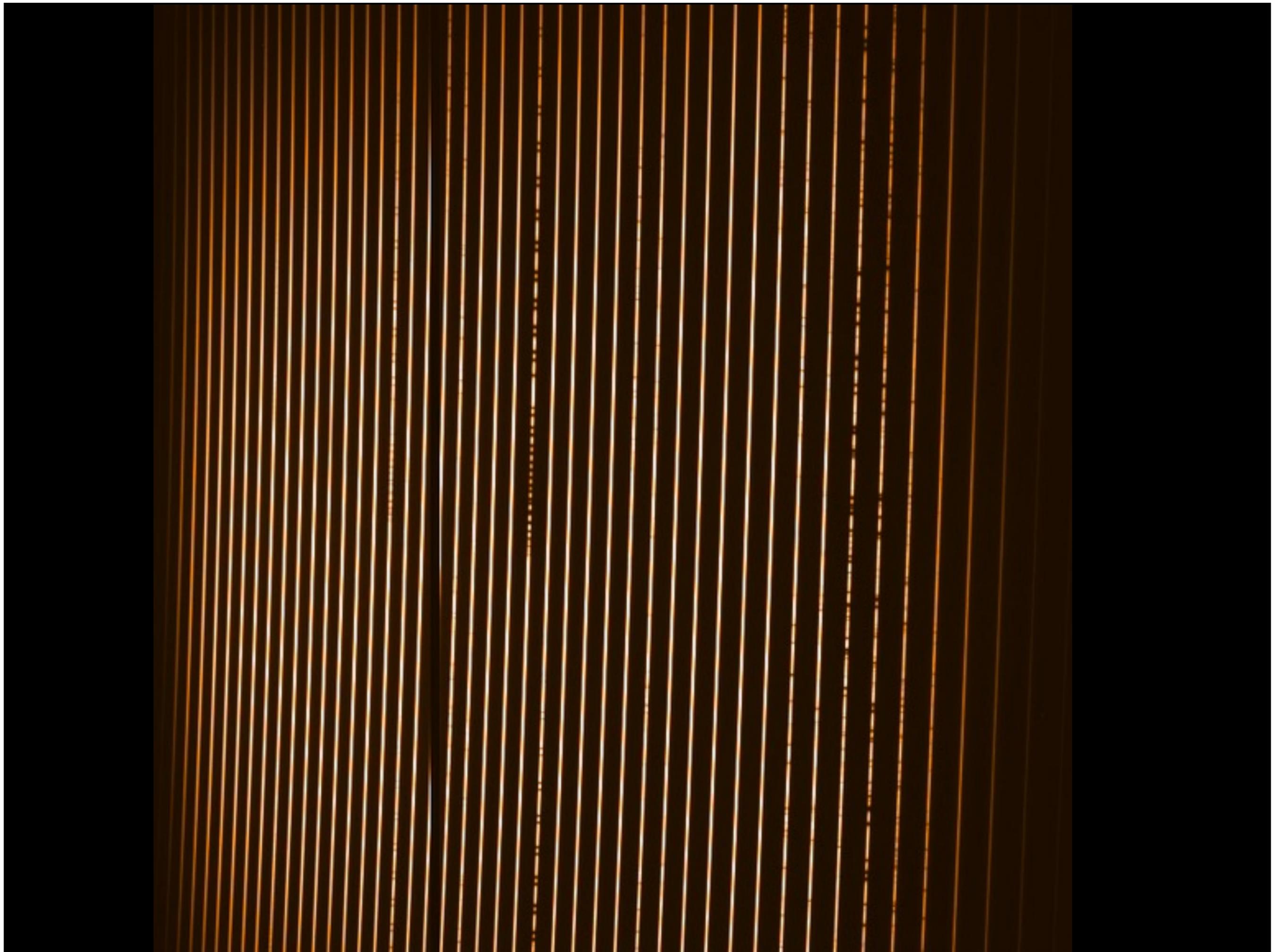
L = largeur de la fente

= \varnothing de la fibre \approx de 100 μm

$$\Rightarrow R = 2 \cdot 1500 / 0,1 \cdot \text{tg } 75$$

$$\approx 100000$$

(ce qui correspond à peu près à la résolution de HARPS qui est de 90000).



Schematic of SPIRAL on the AAT.

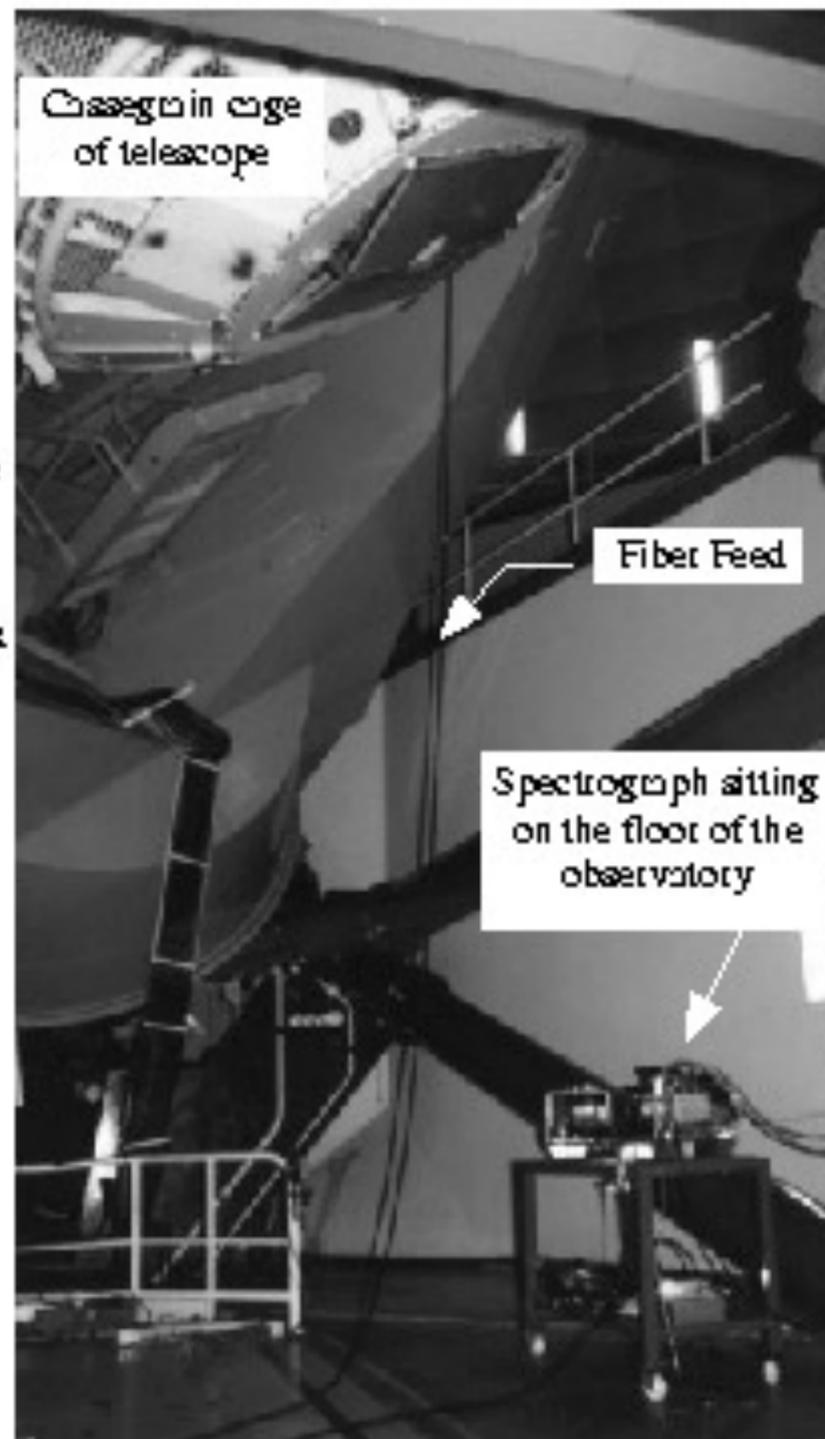
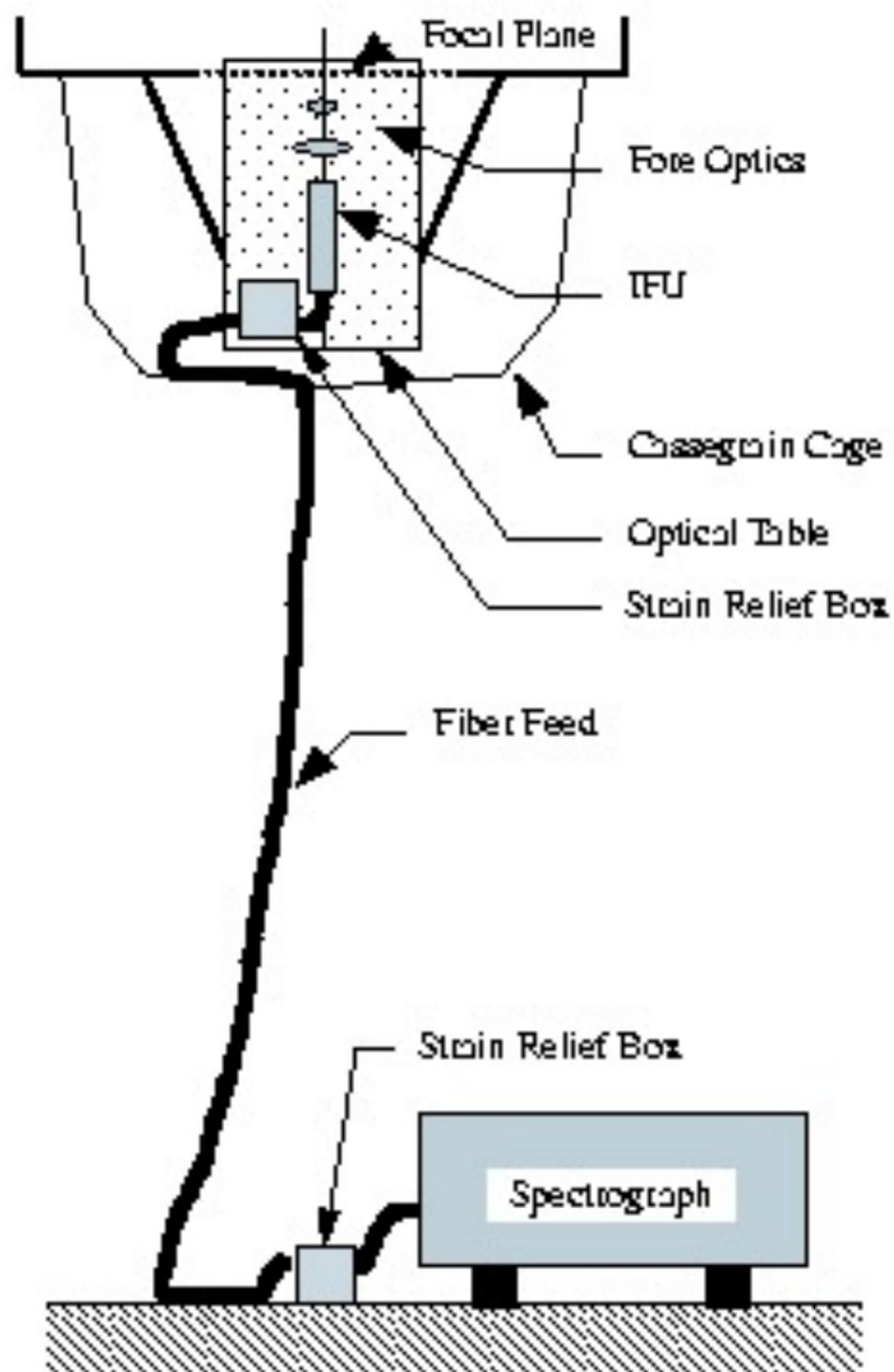
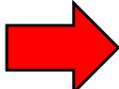


Figure courtesy of Matthew Kenworthy

Systemes d'observation pour le domaine visible

- le rôle de l'observation en astrophysique
- telescopes
 - systèmes optiques (réfracteurs, réflecteurs)
 - montures
 - optique active
 - optique adaptative
- instrumentation focale
 - les détecteurs pour le domaine visible
 - photométrie
 - imagerie
 - spectroscopie

 caractéristiques du système d'observation

Systemes d'observation



systeme optique

lentilles refractives
miroirs
lentilles de Fresnel

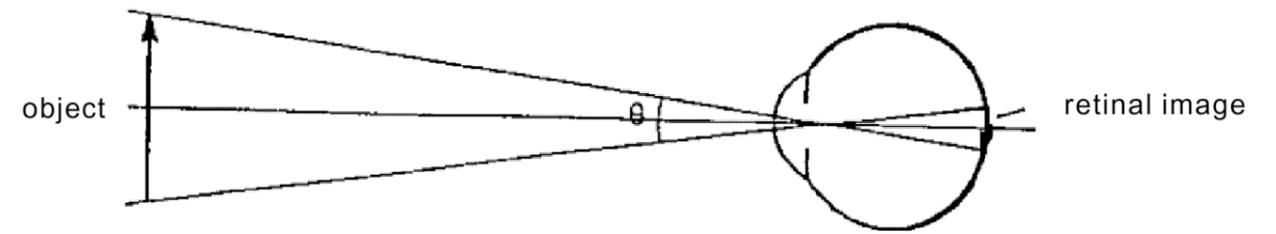
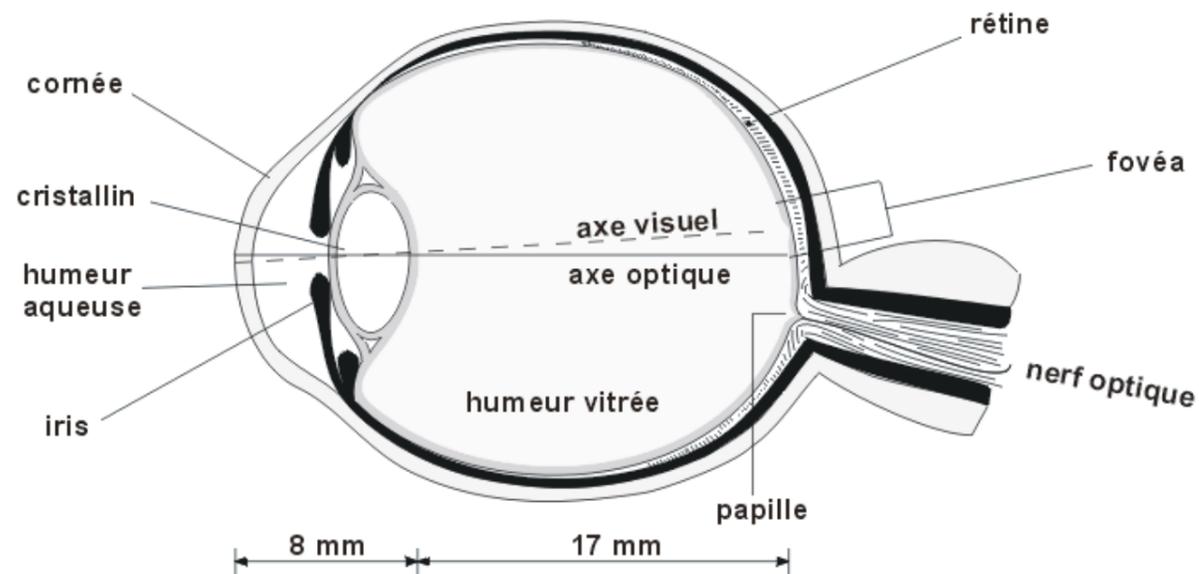


plan de detection

retine
pellicule
compteur de photons
photovoltaique
CCD ...

*Nous allons discuter de la caracterisation d'un systeme d'observation complet
– le systeme optique et le plan de detection*

Exemple : l'oeil humain



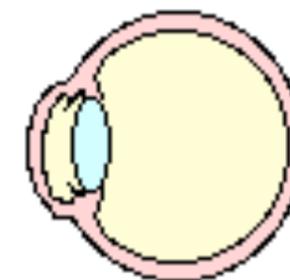
cristallin : index de réfraction ~ 1.44
ouverture de la pupille $D \approx 2-6$ mm

La sphère n'est pas la forme optimale pour une image de qualité homogène

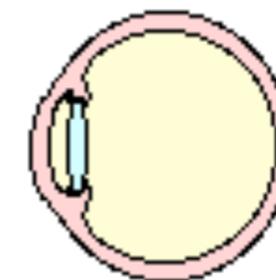
- partie centrale \approx bonne qualité
- zones périphériques \approx floues.

Déviations de la projection idéale à cause :

- ouverture de la pupille ()
- erreurs de foyer (aberration sphérique)
- aberration chromatique
- dispersion



$f \sim 1.59$ cm
proche



$f \sim 1.7$ cm
loin

Rapport focal $\approx f/2,5 - f/10$

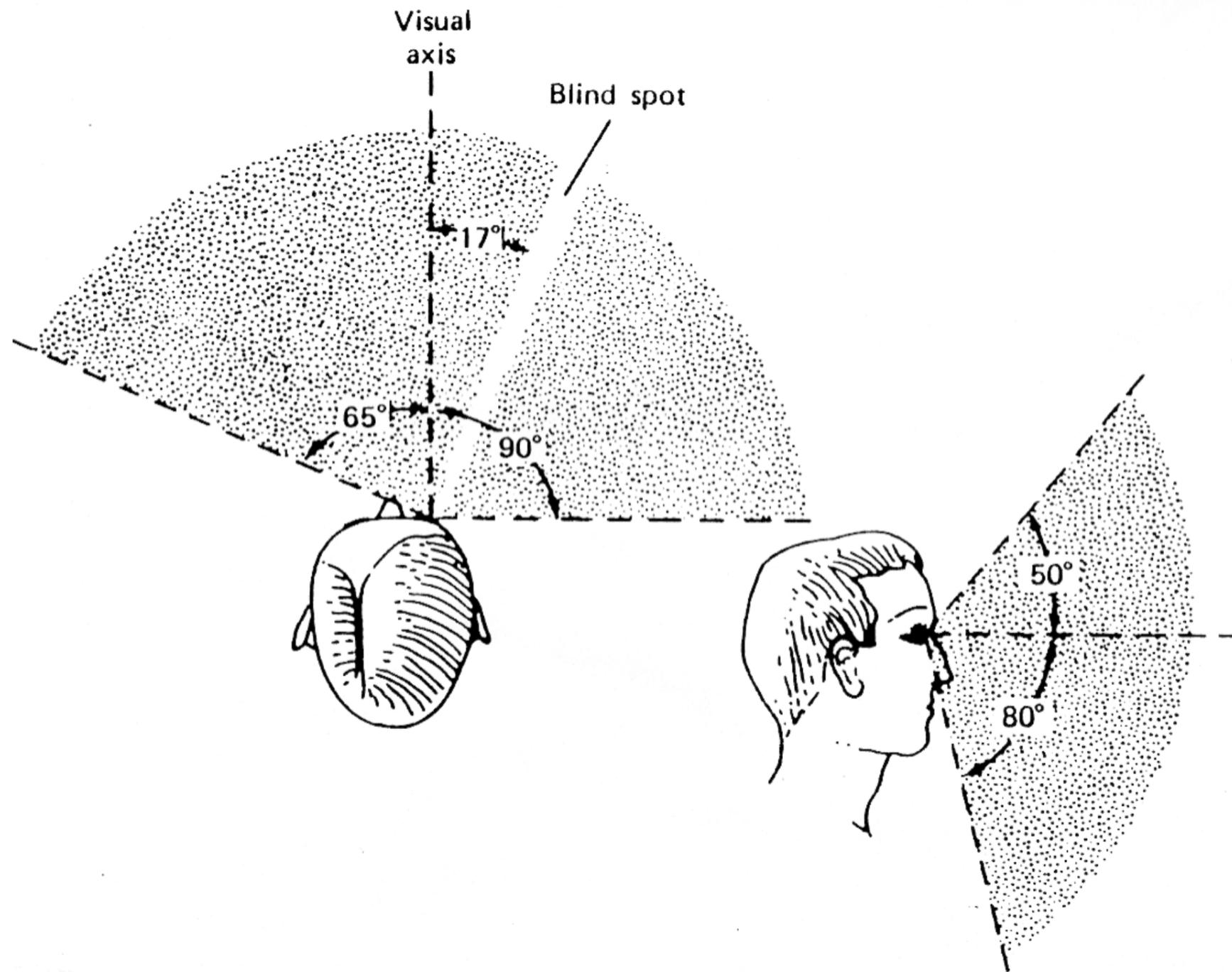
caractéristiques/ performances d'un instrument

- 1 prélèvement **spatial**
 - 1.1 champ de vue
 - 1.2 résolution angulaire
- 2 prélèvement **temporel**
 - 2.1 temps d'intégration
 - 2.2 résolution temporelle
- 3 prélèvement **spectral**
 - 3.1 couverture spectrale
 - 3.2 résolution spectrale
- 4 polarisation
- 5 Dynamique et sensibilité (CDV, T_{int} , λ ...)

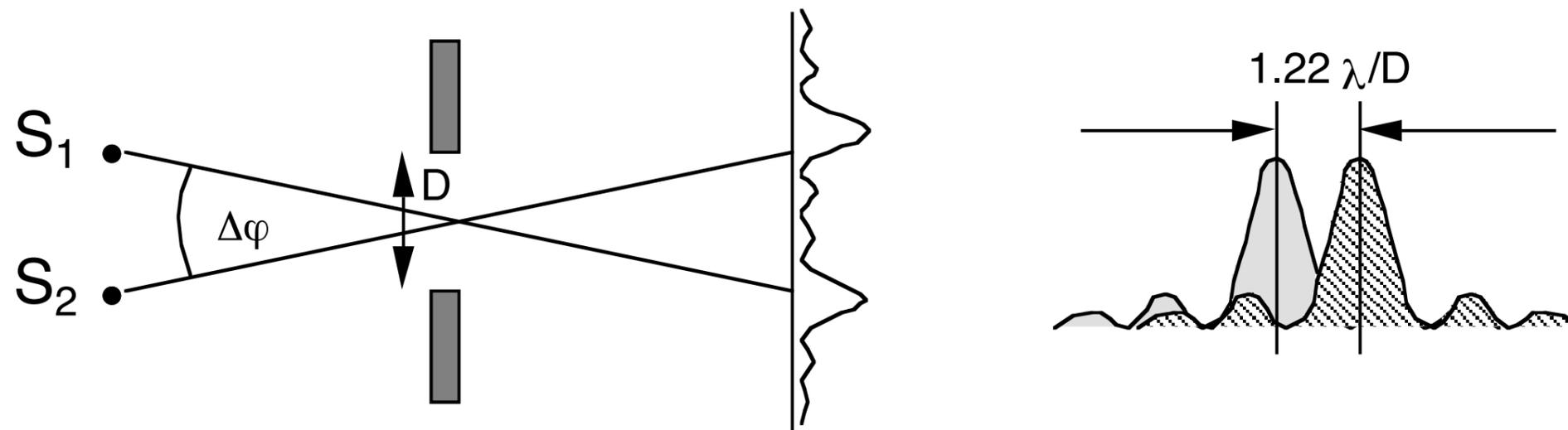
1.1 champ de vue

perception visuelle simultanée dans une région $\sim 130^\circ \times 160^\circ$

La fovea couvre les ~ 3 degrés centraux du champ visuel (acuité maximale)



1.2 résolution angulaire



distance angulaire $\Delta\varphi$ entre S_1 et S_2 avec le **maximum** de la figure de diffraction de S_1 qui **tombe sur la première interfrange** de S_2

=> les deux maxima principales se confondent : sources non résolues

diamètre D optimal ?

petit D => effets de diffraction dominant

grand D => effets d'aberrations (erreurs) de la lentille

$D = 3-4$ mm ~ meilleure acuité

oeil : $D \approx 3$ mm, $\lambda = 555$ nm, sur fovéa (cônes)

=> $\Delta\varphi > 1.22 \lambda/D = 2.25 \cdot 10^{-4}$ rad ≈ 1 arcmin (= 0.78')

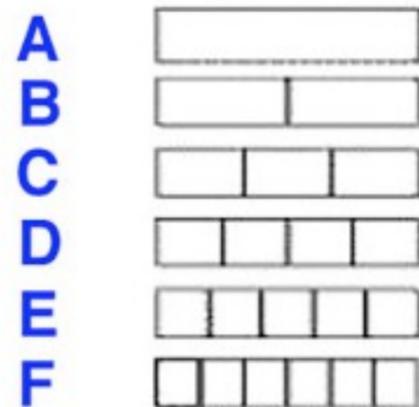
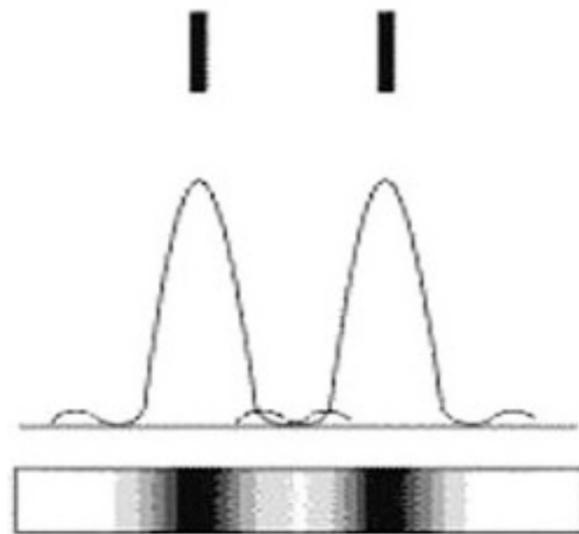
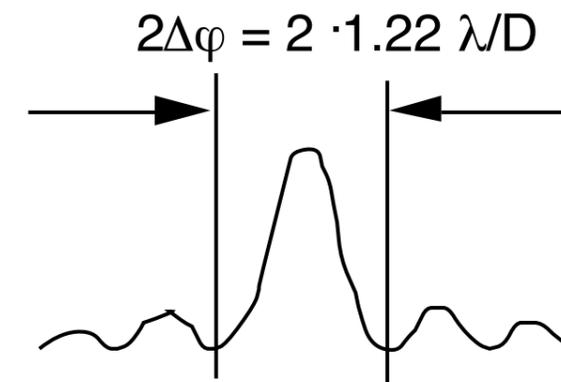
1.2 résolution angulaire / nombre de pixels

taille r de la tache sur la rétine

2 interfranges $2\Delta\varphi = 2 \cdot 1.22 \cdot \lambda/D$

distance d entre lentille et rétine : $d = 17 \text{ mm}$

$r = d \cdot 2\Delta\varphi = 17 \cdot 10^{-3} \cdot 4.5 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-6} = \underline{8\mu\text{m}}$



densité des pixels (cônes, bâtonnets)

nombre total $\sim 120 \cdot 10^6$

densité fovéa ($0.5\text{mm } \varnothing$) $\sim 140 \cdot 10^3 / \text{mm}^2$

=> distance entre cônes $\approx 2\text{-}2.6\mu\text{m}$,

taille d'un cône $\approx 1\text{-}2\mu\text{m}$

=> “**oversampling**” sur la fovéa

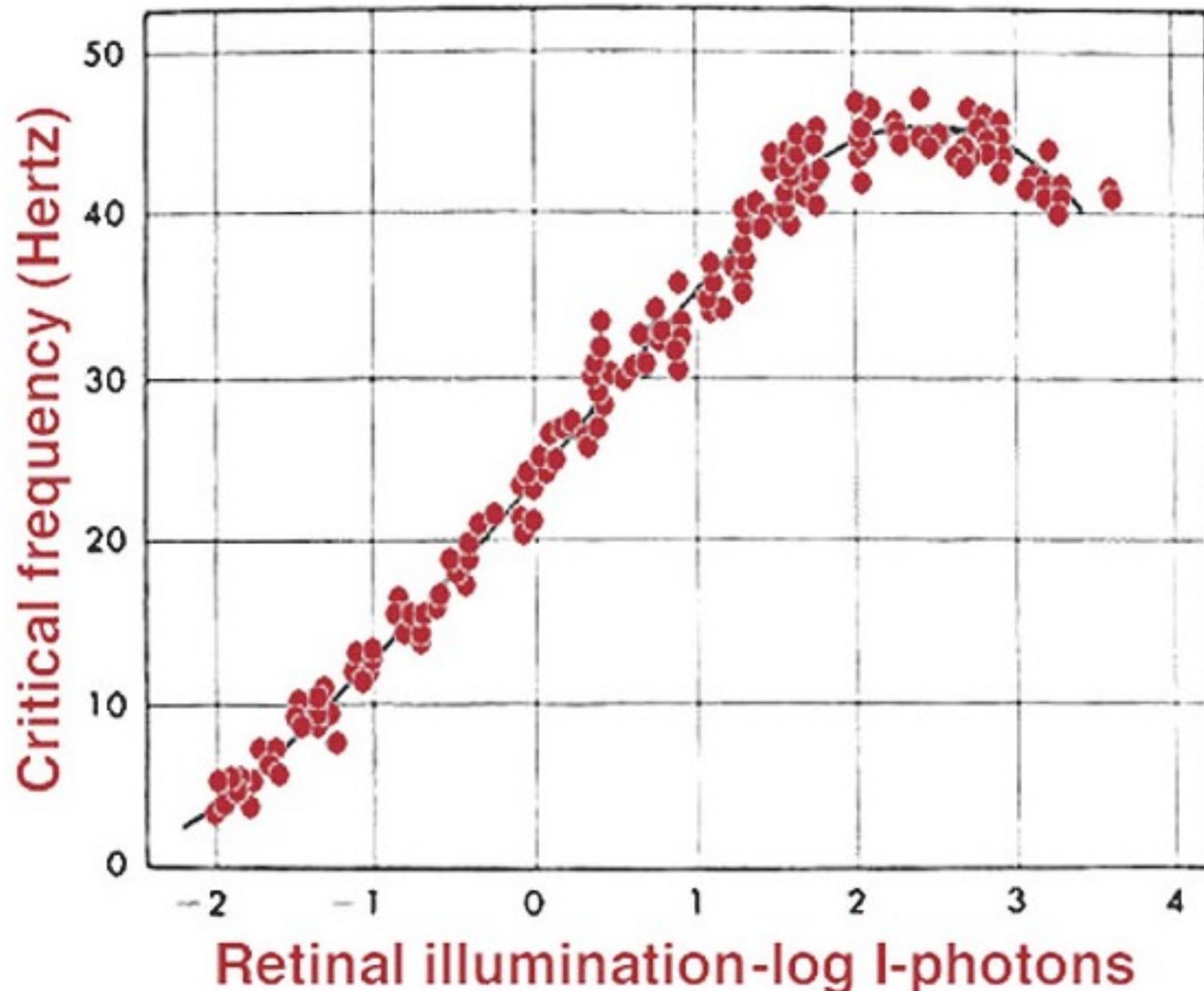
source ponctuelle brillante

=> anneau du 1^{er} max. secondaire stimule plus de cônes

=> source plus étendue

astronomie : étoiles brillantes

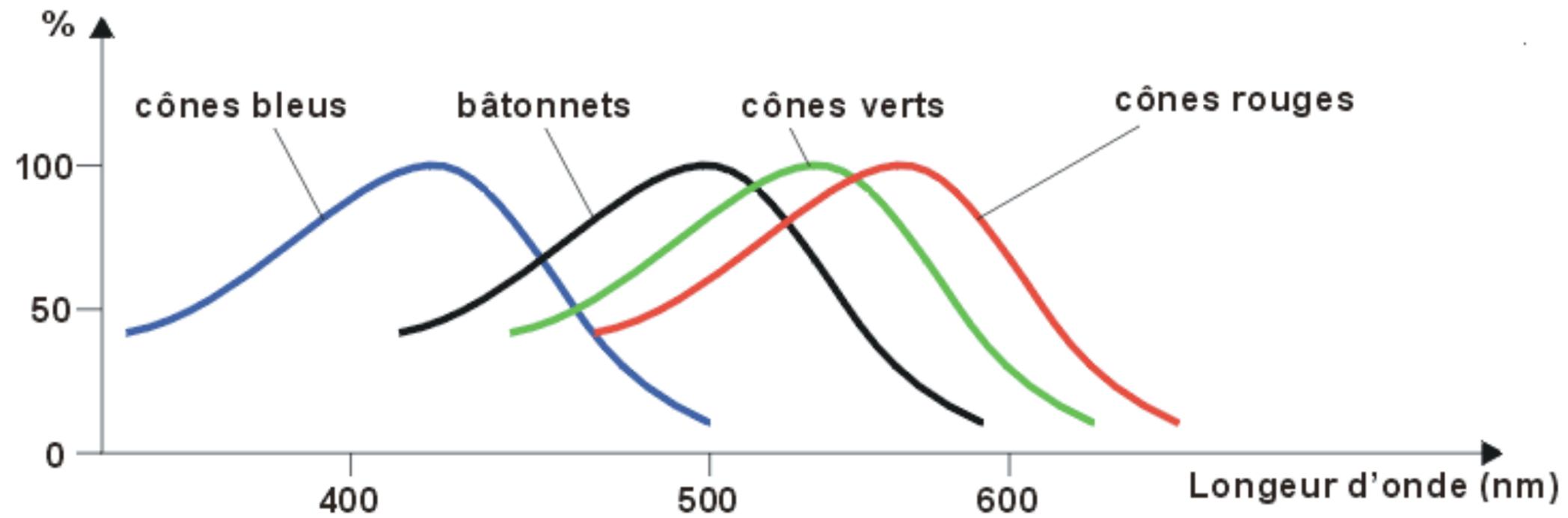
\approx plus “grandes” => **magnitude** (*lat.* magnus)



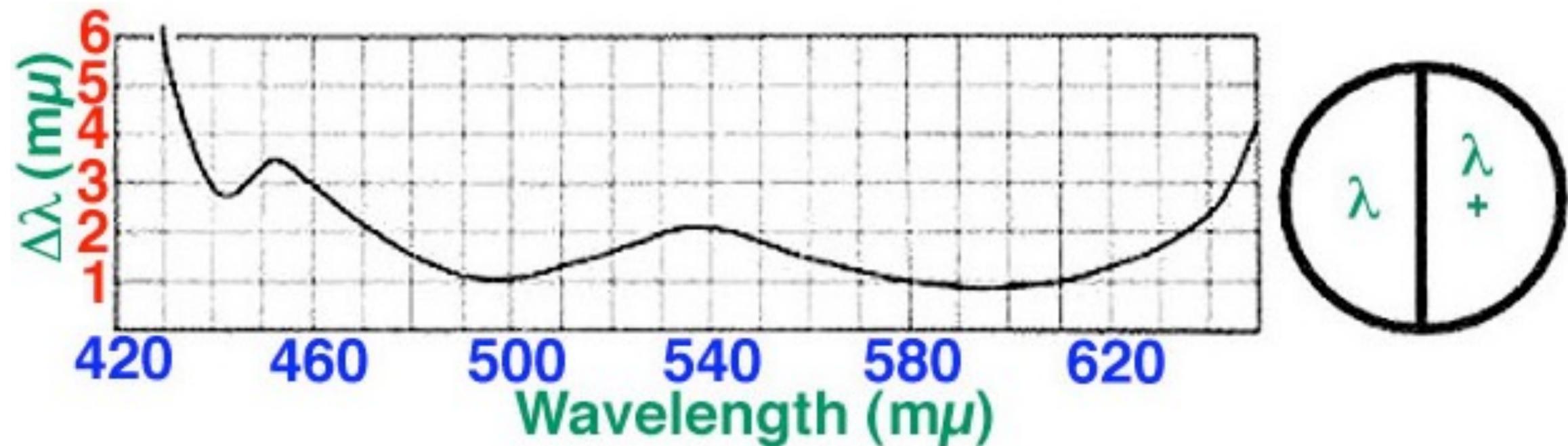
“Critical flicker frequency” : transition point of an intermittent light source where the flickering light ceases and appears as a continuous light.

a multitude of factors determine perception of flicker (intensity, size ...)

3.1 couverture spectrale



3.2 pas de résolution spectrale => photométrie (λ)



discrimination de couleur : changement en longueur d'onde ($\lambda + \Delta \lambda$) requis pour percevoir un changement de teinte

Cones \approx détecteur de spectroscopie non-dispersive

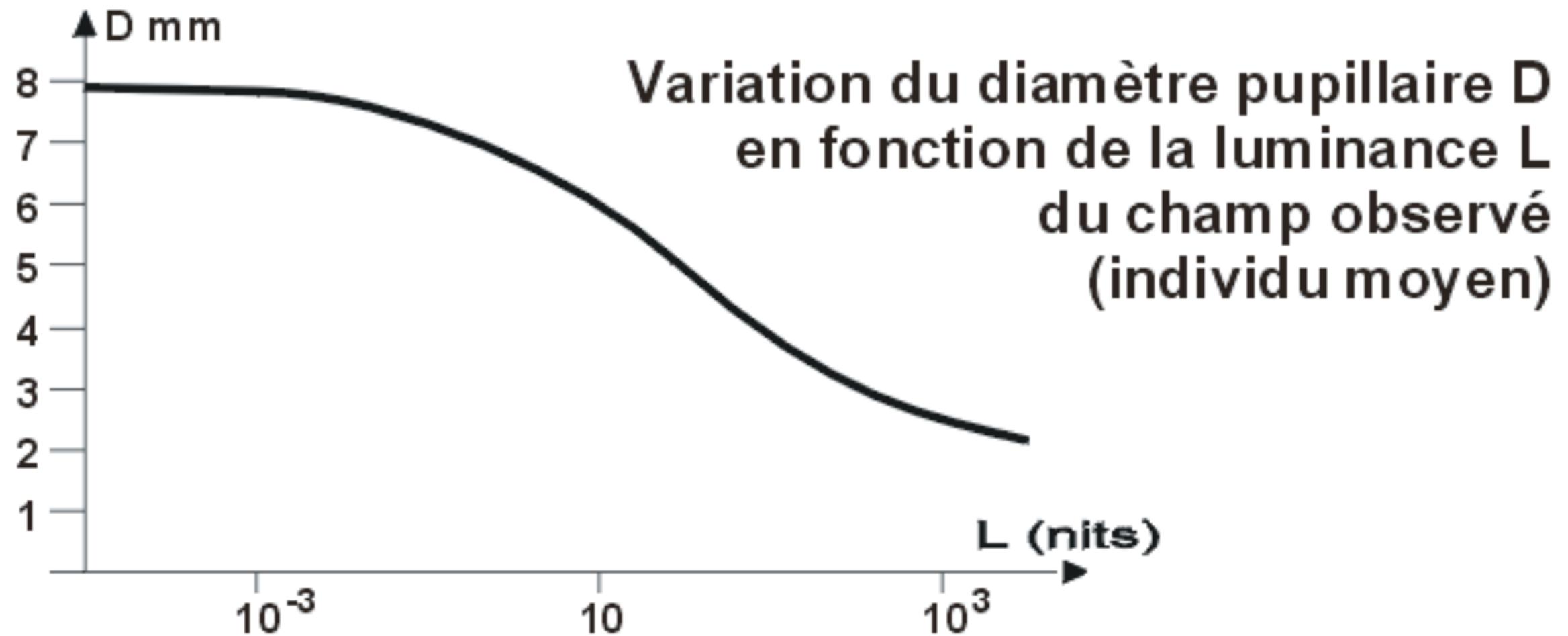
Pour pouvoir parler de résolution spectrale il faudrait disposer d'un spectromètre dans le plan focal – dans le domaine visible habituellement la => spectroscopie dispersive – $R = \lambda/\Delta\lambda$ (voir chapitre spectroscopie)

5 sensibilité / dynamique

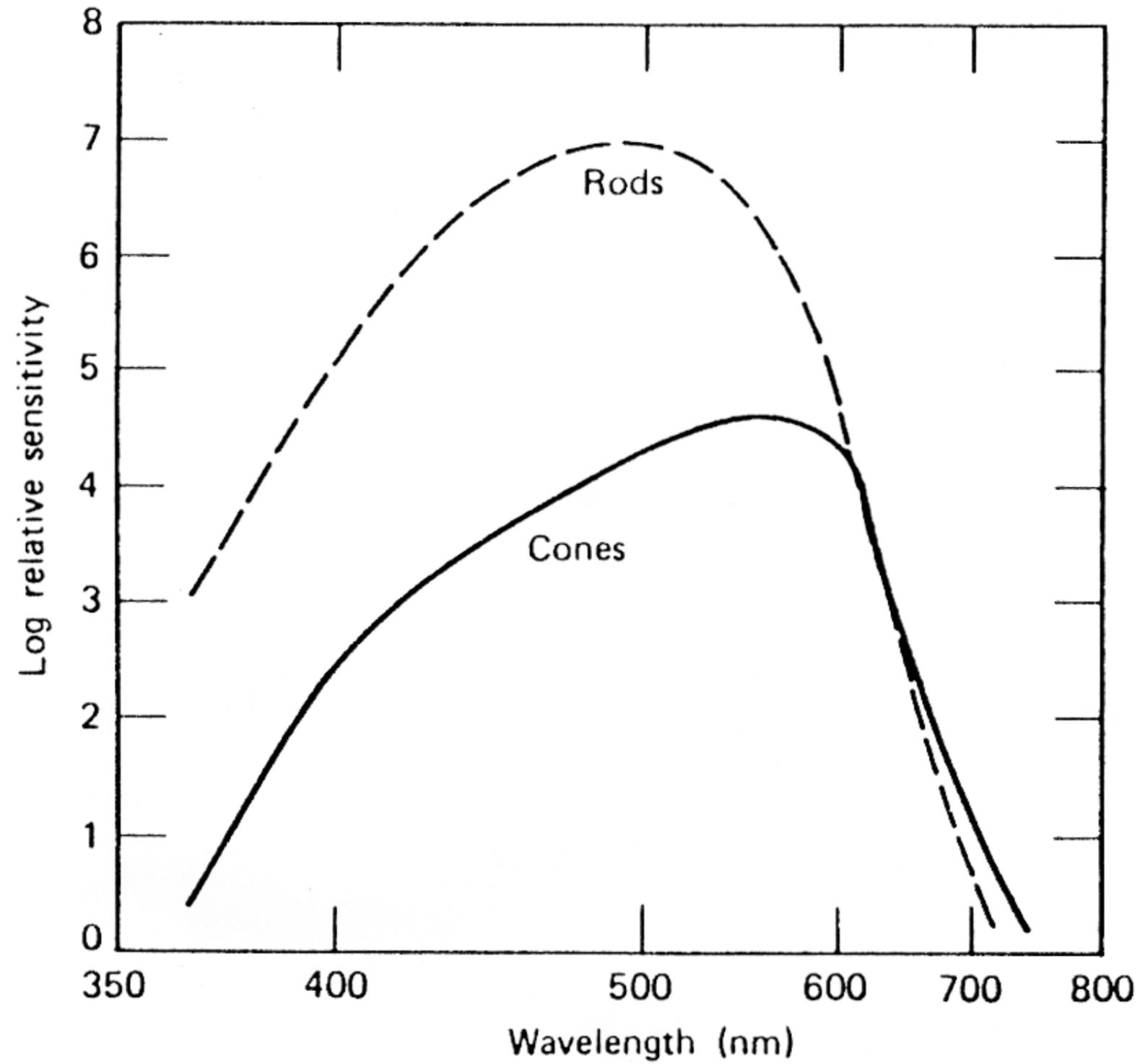
Surface du soleil à midi	10^9	} domaine photopique (« vision diurne »)
Filament de tungstène	10^6	
Neige au soleil	10^5	
Papier blanc au soleil	10^4	
Ciel couvert	10^3	
Niveau de lecture aisée	10	
Papier blanc à la lumière de la lune	10^{-2}	} domaine scotopique (« vision crépusculaire »)
Papier blanc à la lumière des étoiles	10^{-4}	
Ciel couvert de nuit sans lune	10^{-5}	
Ordre de grandeur du seuil absolu	10^{-6}	

$$1 \text{ mL} \hat{=} 4 \cdot 10^{-3} \text{ W sr}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

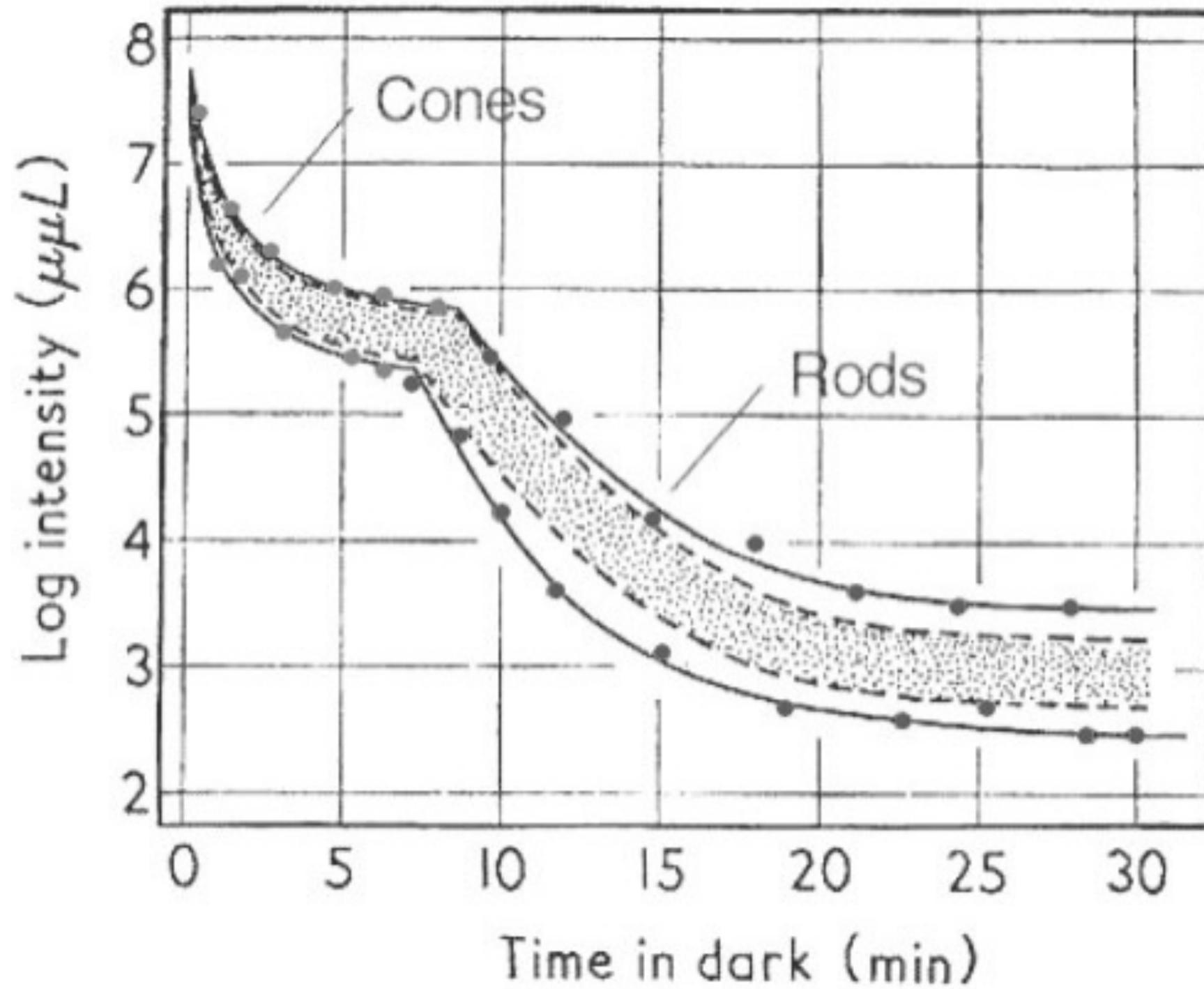
5 sensibilité / diamètre pupillaire



5 sensibilité / cônes et bâtonnets



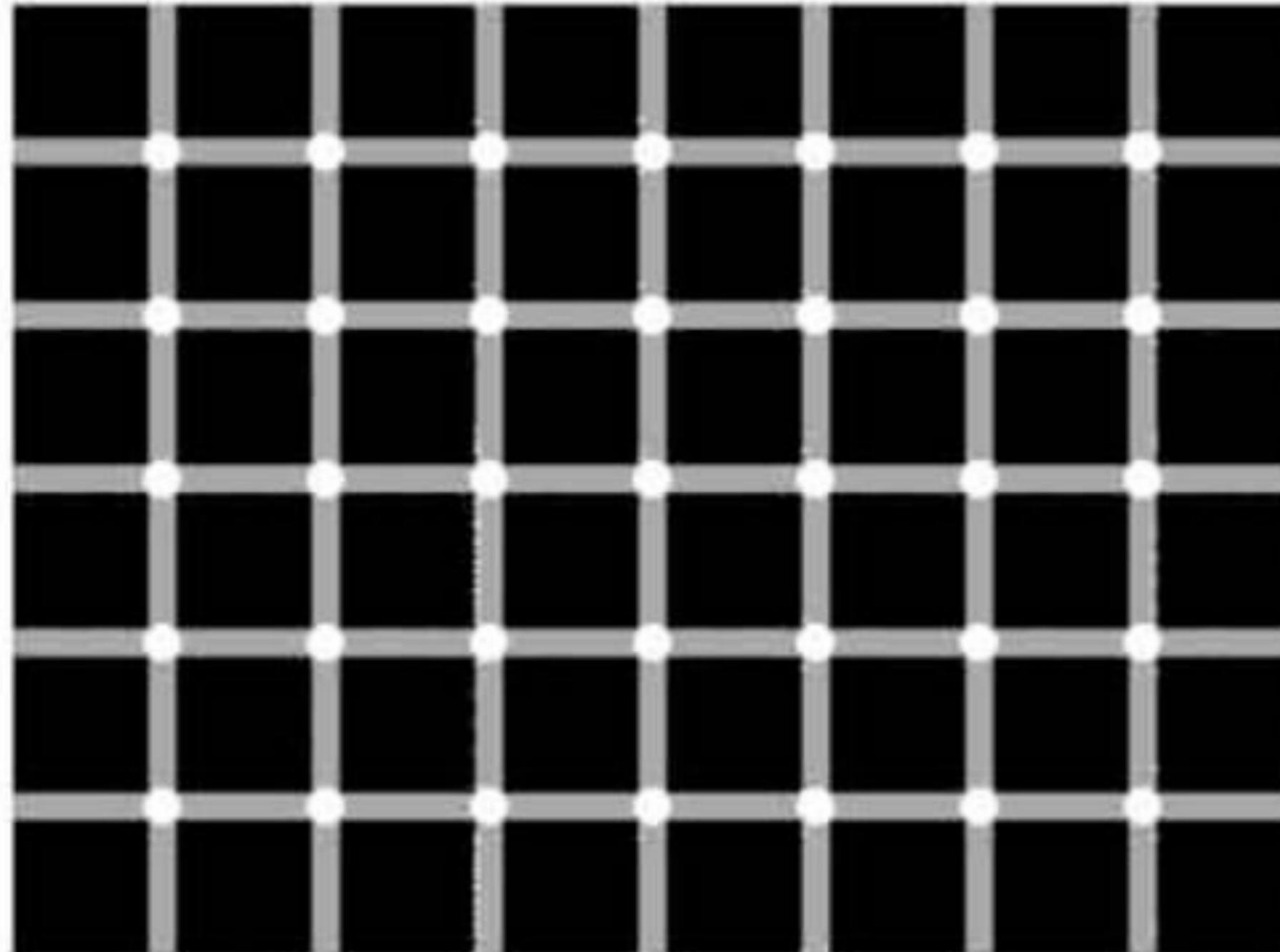
5 sensibilité / adaption à l'obscurité



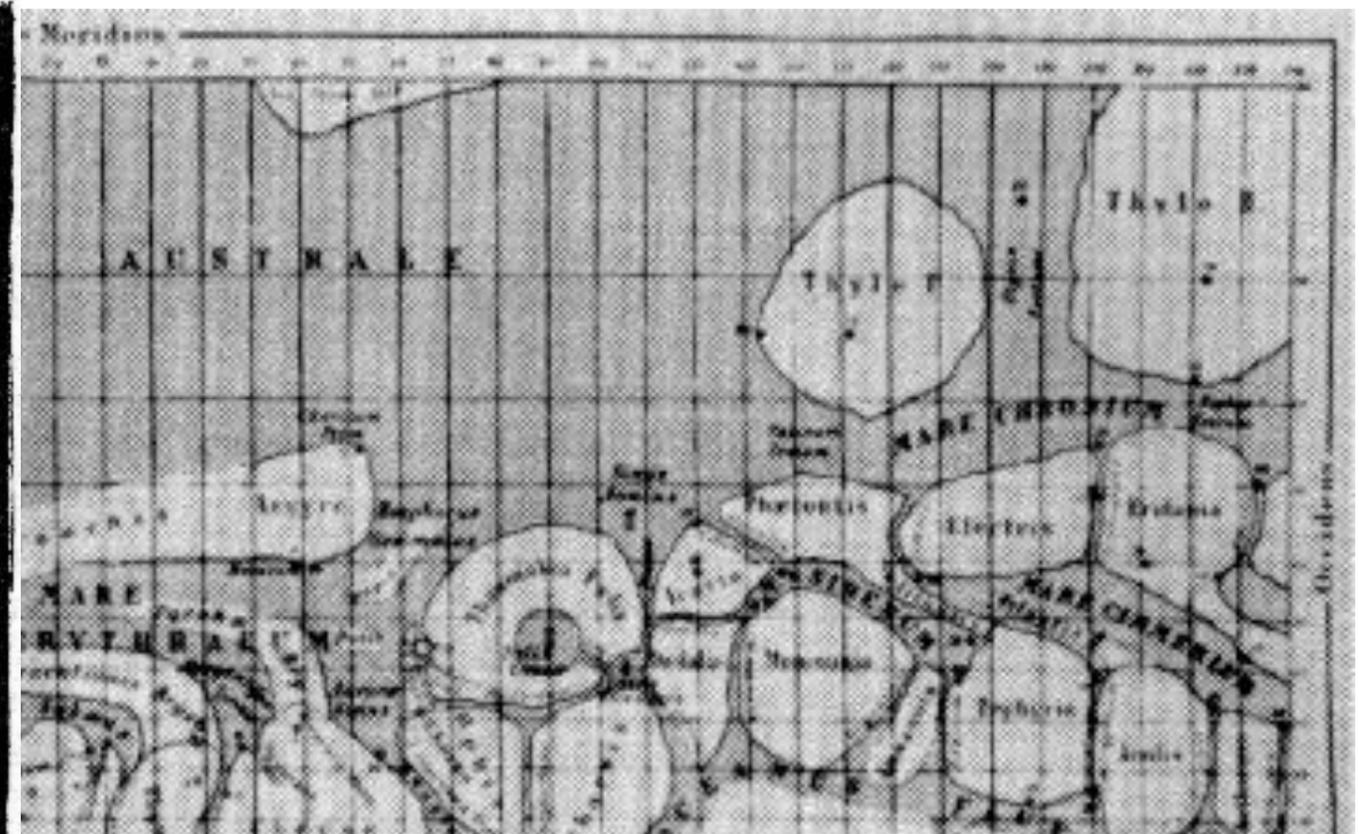
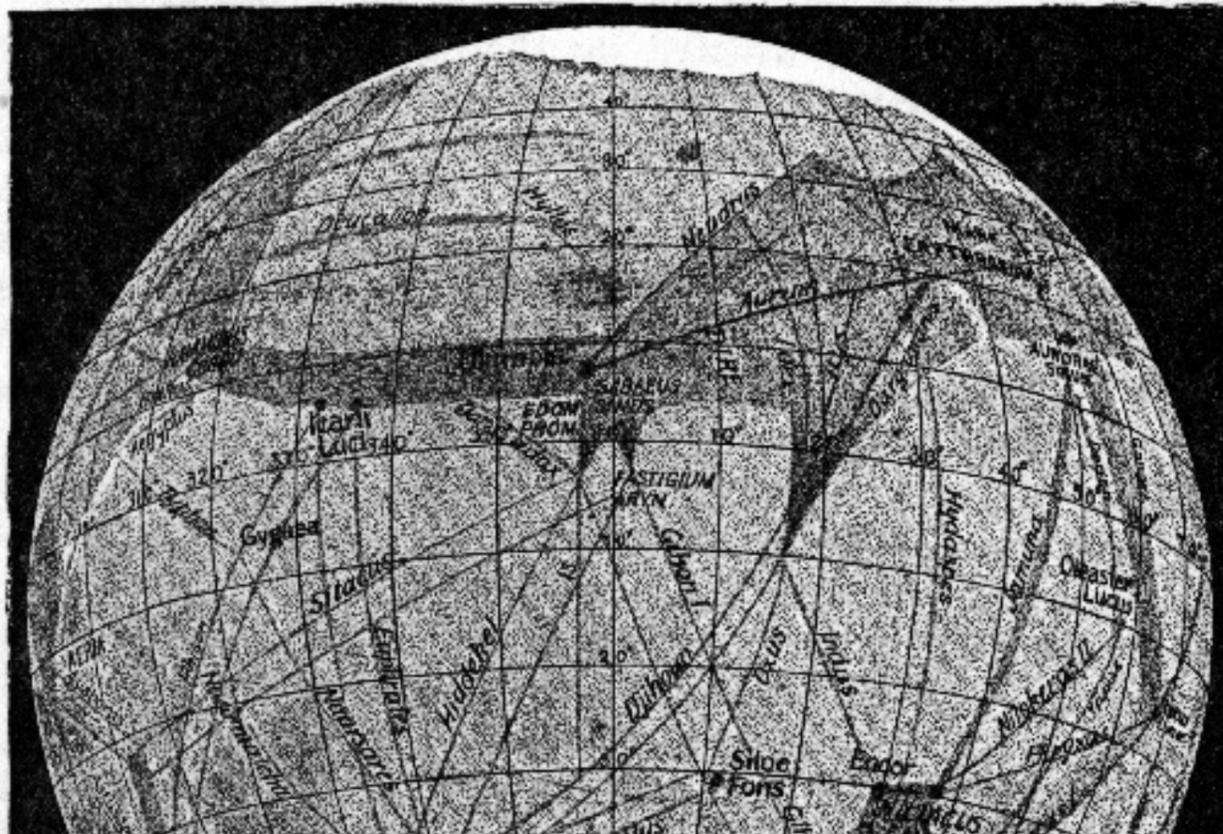
l'oeil comme instrument astronomique

- adaptation à l'obscurité (capsule d'observation, "eyepatch"_)
- vision périphérique
 - en vision périphérique, l'oeil est 40 fois plus sensible (4 magnitudes) que sur la fovéa.
 - meilleure zone : 8 - 16° off-axe vers le nez
 - blind spot 13-18° vers l'oreille !
- phénomène de troxler (fixer longtemps => ignorer)
- le rôle du grossissement
- mouvement délibéré
- temps d'intégration et probabilité de détection
 - 5 à 10 minutes pour des objets faibles à un niveau de probabilité de 5%
- deux yeux sont mieux qu'un
 - ~ amélioration en résolution ~ 40%
 - ~ 25-40% gain en sensibilité

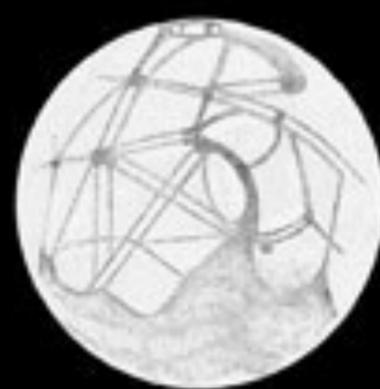
*La grille de Hermann : mise en évidence de phénomènes
d'inhibition latérale dans la vision humaine*



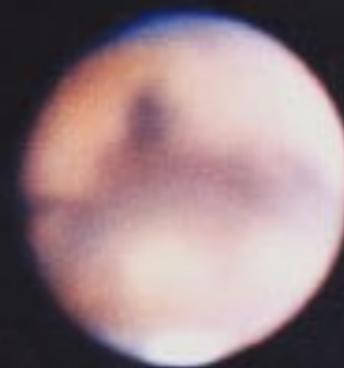
Les canaux de Mars



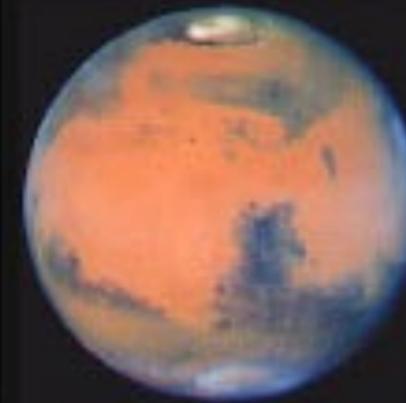
Christiaan Huygens,
1659



Giovanni Schiaparelli,
1888



Telescopic view,
early 1960s



Hubble Space
Telescope,
1997



Mars Global
Surveyor,
2002

Courtesy of WORKMAN PUBLISHING, INC.; NASA/JPL/MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS (*Mars Global Surveyor*)

caractéristiques / performances d'un télescope/CCD amateur



Aperture D
Focal length f

203mm (8-inch)
1400mm

=> f/6.9

BRESSER Oculaire Plössl

$f_{oc}=15\text{ mm}$

champ apparent $\beta=50^\circ$



Kodak KAI-04022

Number of Active Pixels

2048 x 2048

Active Image Size

15.15 x 15.15mm

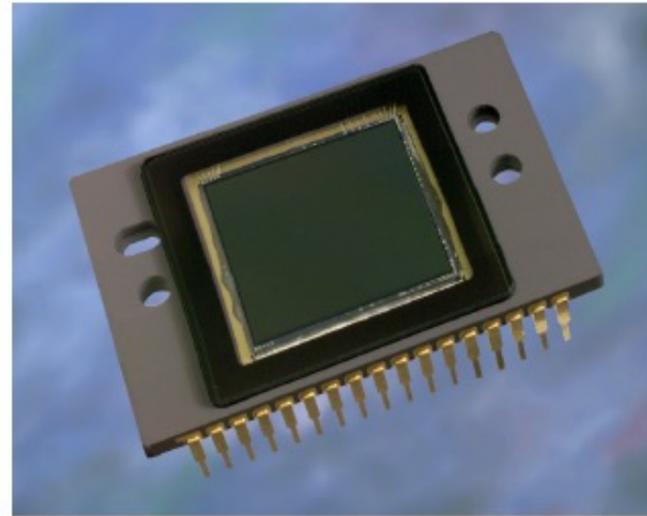
Pixel Size

7.4 x 7.4 μm

caractéristiques/ performances d'un télescope amateur

- 1 prélèvement **spatial**
 - 1.1 champ de vue
 - 1.2 résolution angulaire
- 2 prélèvement **temporel**
 - 2.1 temps d'intégration
 - 2.2 résolution temporelle
- 3 prélèvement **spectral**
 - 3.1 couverture spectrale
 - 3.2 résolution spectrale
- 4 polarisation
- 5 Dynamique et sensibilité (CDV, T_{int} , λ ...)

caractéristiques/ performances d'un télescope/CCD amateur



Parameter	Value
Architecture	Interline CCD; Progressive Scan
Total Number of Pixels	2112 (H) x 2072 (V)
Number of Effective Pixels	2056 (H) x 2062 (V)
Number of Active Pixels	2048 (H) x 2048 (V)
Pixel Size	7.4 μ m (H) x 7.4 μ m (V)
Active Image Size	15.15mm (H) x 15.15mm (V) 21.43mm (diagonal)
Aspect Ratio	1:1
Number of Outputs	1 or 2
Charge Capacity	40,000 e
Output Sensitivity	33 μ V/e
Peak Quantum Efficiency (KAI-04022-ABA)	55%
Peak Quantum Efficiency (KAI-04022-CBA) BGR	45%, 42%, 35%
Read Noise (f=10MHz)	9 electrons, rms
Dark Current	< 0.5 nA/cm ²
Dark Current Doubling Temperature	7°C
Dynamic Range	72 dB
Charge Transfer Efficiency	> 0.99999
Blooming Suppression	300X
Smear	-80 dB
Image Lag	<10 e
Maximum Frame Rates	8 fps (single output) 16 fps (dual output)
Package	34 pin cerDIP
Cover Glass	AR Coated, 2 side

All parameters above are specified at T = 40°C

Kodak KAI-04022

Maximum Frame Rates: 8 fps (single output) 16 fps (dual output)

Image Lag: <10 e - Smear: -80 dB

Blooming Suppression: 300X

Dark Current: < 0.5 nA/cm²

Dark Current Doubling Temperature: 7°C

Charge Transfer Efficiency: > 0.99999

Charge Capacity: 40,000 electrons - Number of Outputs: 1 or 2

Active Image Size: 15.15mm (H) x 15.15mm (V) 21.43mm (diagonal)

Peak Quantum Efficiency: 55%

Readout Noise (f=10MHz): 9 electrons, rms

Caractéristiques d'un système d'observation amateur

1 prélèvement **spatial**

1.1 **champ de vue** (eg. telescope avec $f_{ob}=1400\text{mm}$)

oculaire ($f_{oc}=15\text{ mm}$, champ apparent $\beta=50^\circ$)

$$\alpha = \beta / g \quad (\text{champ réel} = \text{champ apparent} / \text{grossissement})$$

$$\text{Grossissement } g \approx f_{ob}/f_{oc} = 1400/15 = 93$$

$$\text{Ex } \alpha = 50^\circ / 93 = 0.54^\circ$$

capteur CCD

D : Diagonale du capteur CCD (eg D=15 mm)

$$\alpha' = 2 * \arctg (D / 2f_{ob})$$

$$\text{Ex : } \alpha' \approx 2 * \arctg(15/(2*1400)) = 0.61^\circ$$

Caractéristiques d'un système d'observation amateur

1.2 résolution angulaire

diffraction $\Delta\varphi > 1.22 \lambda/D$

Ex : $D \approx 200 \text{ mm}$, $\lambda = 555 \text{ nm}$, $\Rightarrow \Delta\varphi > 1.22 \lambda/D = 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ rad} \approx 0.7 \text{ arcsec}$

Atmosphère turbulence $\Rightarrow > 1 \text{ arcsec}$!

capteur

$$R(\text{"}) \approx 206 \cdot P / F$$

P : Taille des pixels (microns)

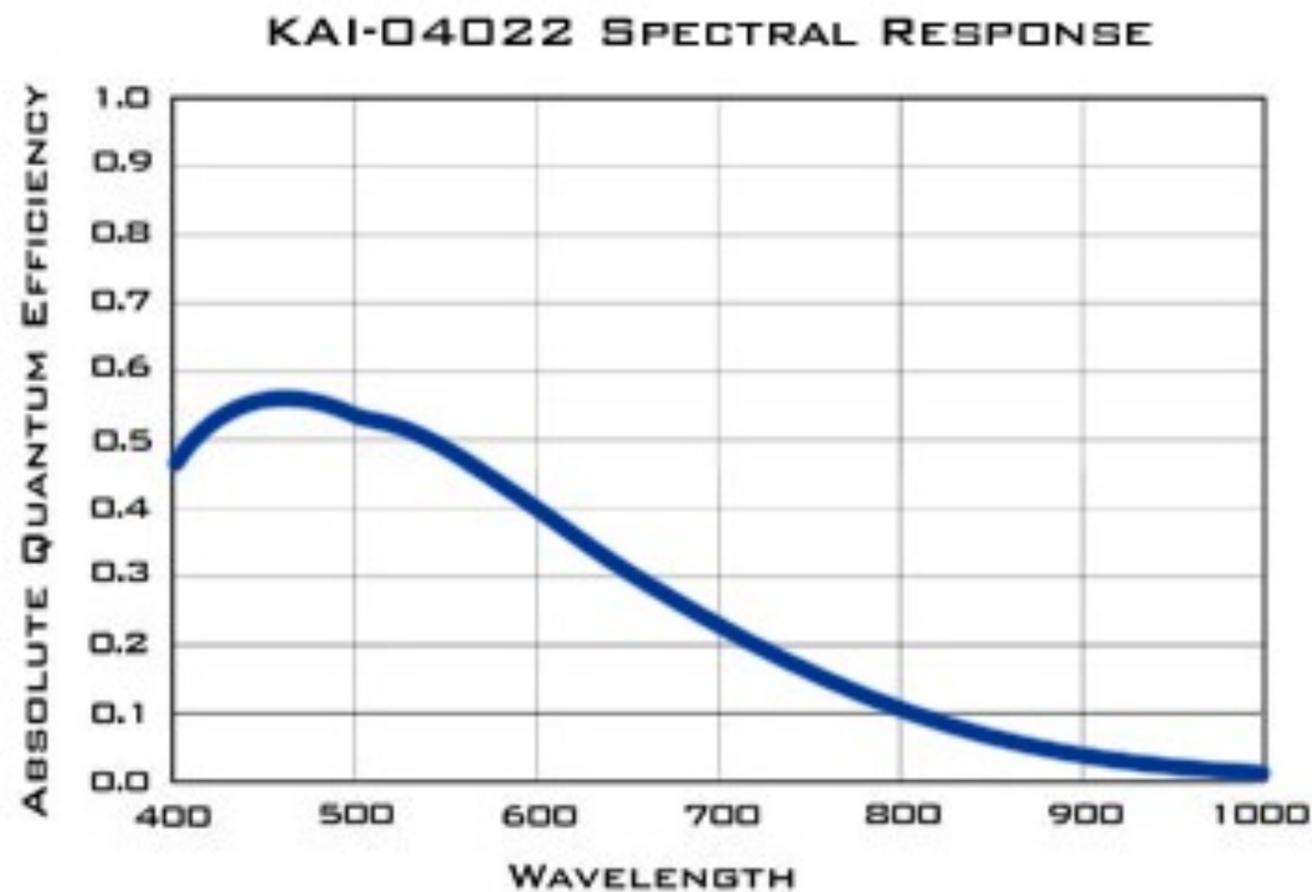
F : Longueur focale du système optique (mm)

Ex Pour $f=1400 \text{ mm}$, $P = 7.4 \text{ microns}$, $R(\text{"}) \sim 1.1''$ par pixel.

Caractéristiques d'un système d'observation amateur

3 prélèvement **spectral**

3.1 couverture spectrale



3.2 résolution spectrale
