

Techniques physiques pour la spectrométrie optique

Niveau : L2

Prérequis

- Approximation scalaire des ondes lumineuses
- Diffraction
- Critère de Rayleigh
- Interféromètre de Michelson, étude de la configuration lame d'air

Spectroscopie : étude des spectres des rayonnements électromagnétiques émis ou absorbés par une substance

Spectrométrie : Application de la spectroscopie aux méthodes physiques d'analyse des radiations



Gustav Kirchhoff

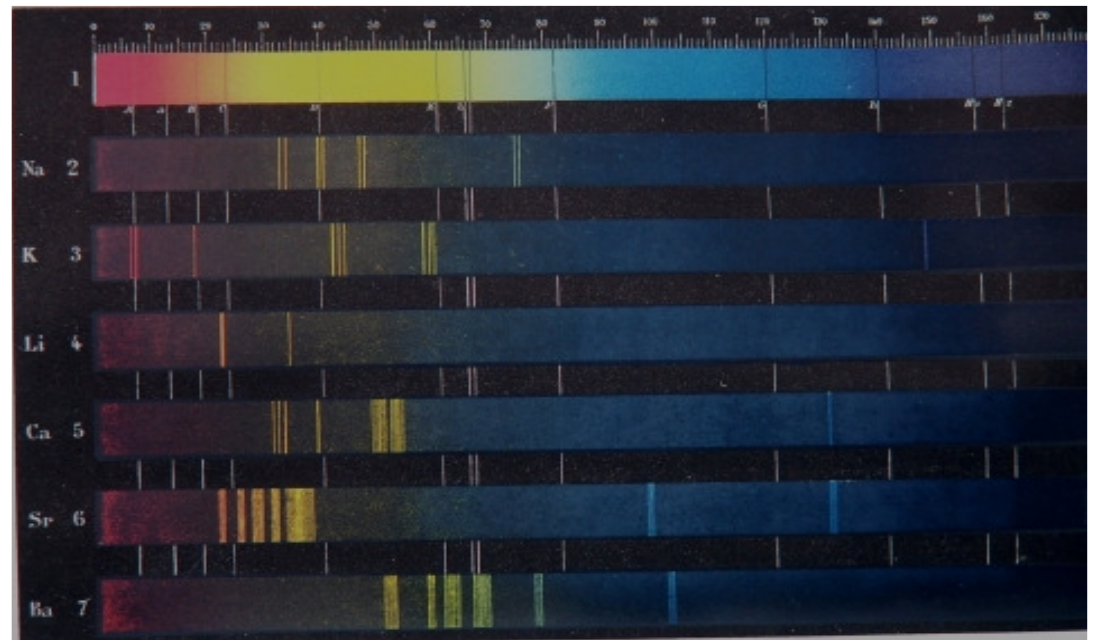


Robert Bunsen

« On peut conclure de ce fait que le spectre solaire avec ses raies obscures n'est autre que le spectre renversé de l'atmosphère du soleil. Par conséquent, pour analyser l'atmosphère solaire il suffit de rechercher quels sont les corps qui, introduits dans une flamme, donnent des raies brillantes coïncidant avec les raies obscures du spectre solaire. »

Composition de l'atmosphère solaire
(en masse) :

- Hydrogène : 73,46%
- Hélium : 24,85%
- Oxygène : 0,77%



Spectroscopes à fente

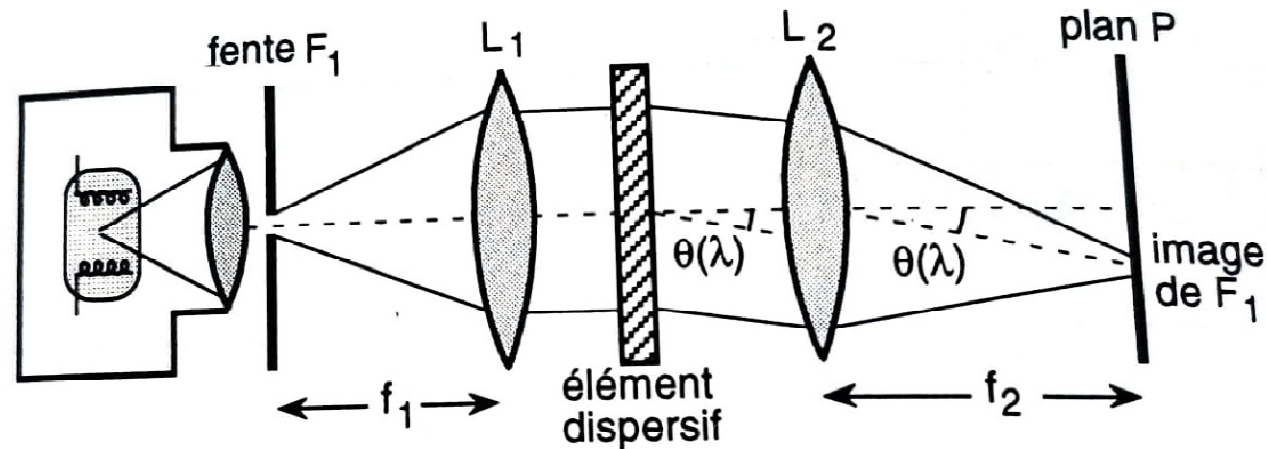
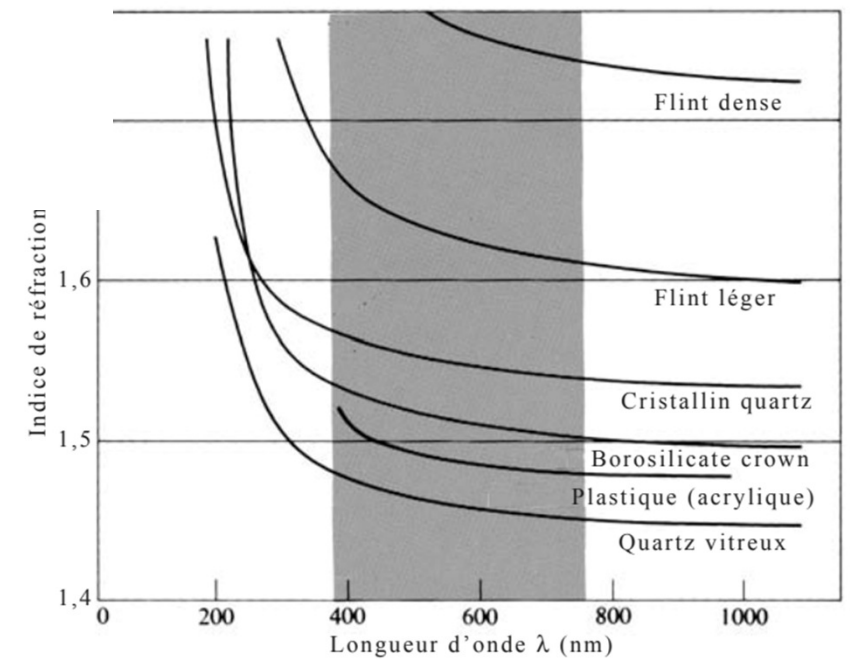
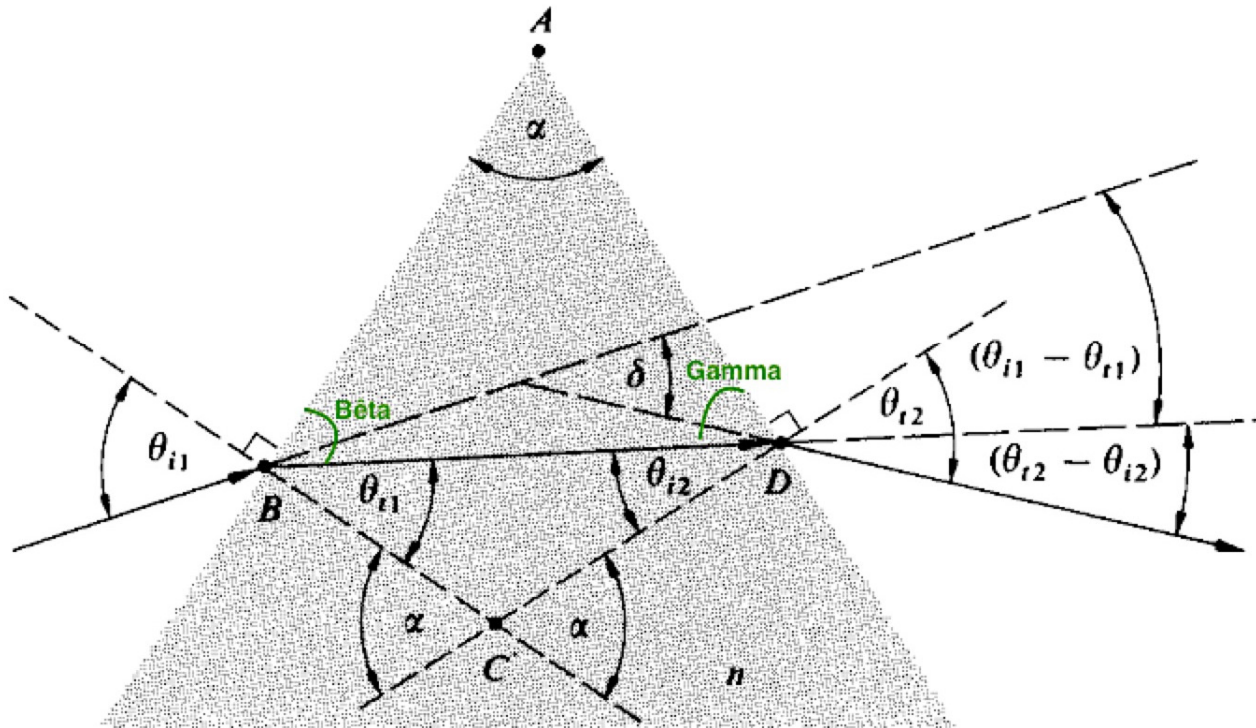


Figure V.1 : Schéma de principe d'un spectroscope à prisme ou à réseau.
L'élément dispersif est représenté par la partie hachurée.

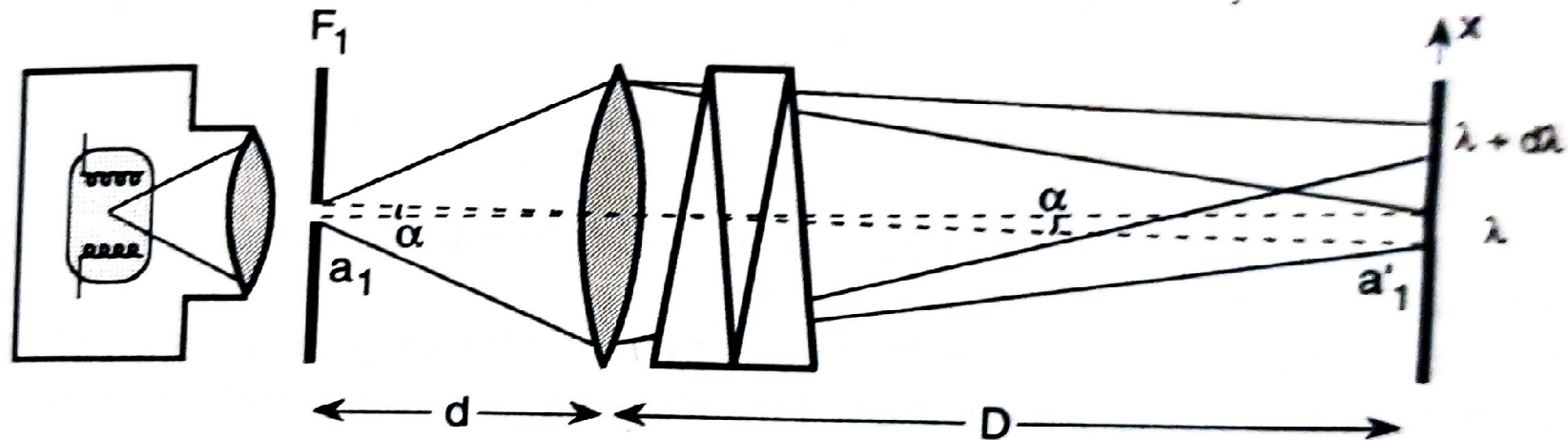
- F_1 = fente d'entrée située dans le plan focal de la lentille L_1
- La lentille L_2 refocalise ces différents faisceaux dans son plan focal image P

=> **idée** : A chaque longueur d'onde correspond une image de la fente F_1

Le prisme dispersif



Le prisme à vision directe



Influence de la largeur de la fente :

Il n'est pas possible de séparer des longueurs d'onde pour lesquelles $d\theta$ est inférieur à α : le plus petit intervalle spectral résolu vaut donc (si le prisme et la lentille sont accolés) : $\Delta\lambda = \alpha(d\lambda/d\theta)$

Application numérique :

Typiquement :

- $d\theta/d\lambda \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ rad/nm}$
- a_1 (largeur de la fente) = 2 mm
- Lentille L_1 de focale +100mm

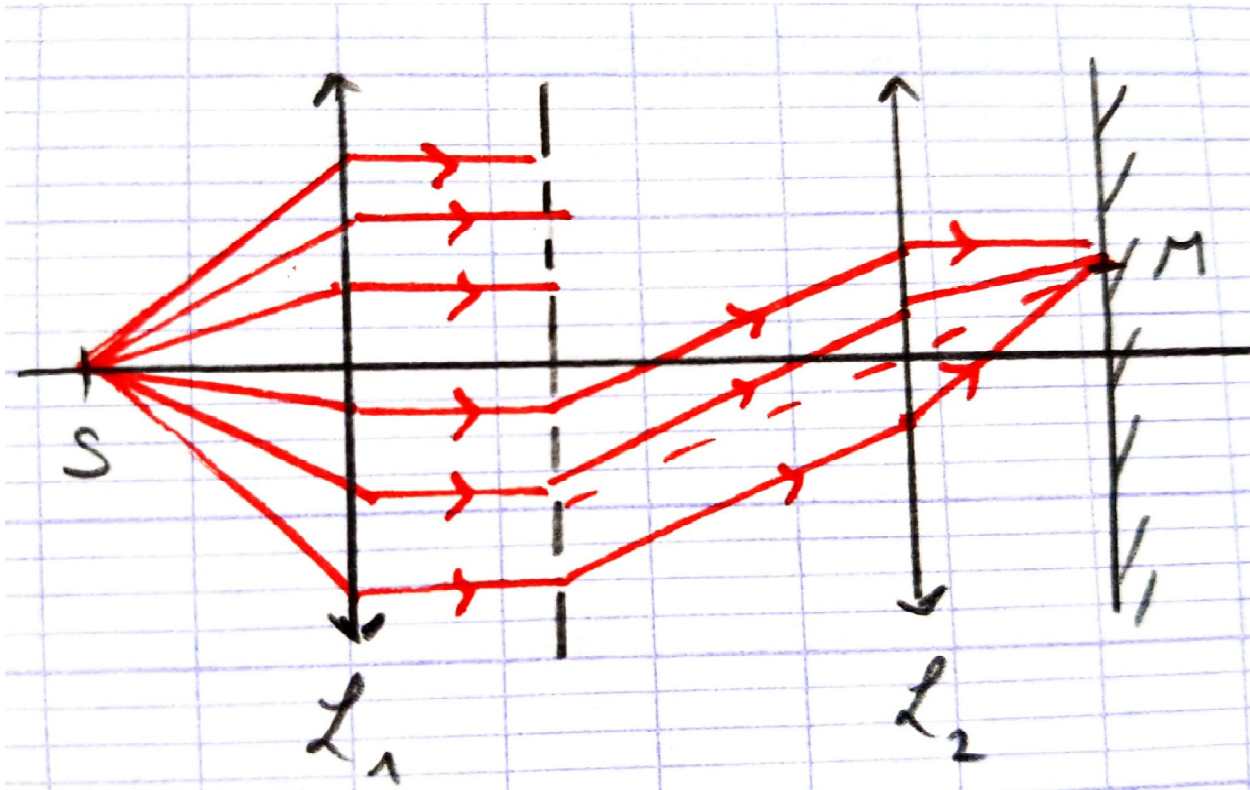
On trouve :

$$\Delta\lambda \approx 40 \text{ nm}$$

Or doublet du sodium :

$$\lambda_1 = 589,5924 \text{ nm et } \lambda_2 = 588,9950 \text{ nm}$$

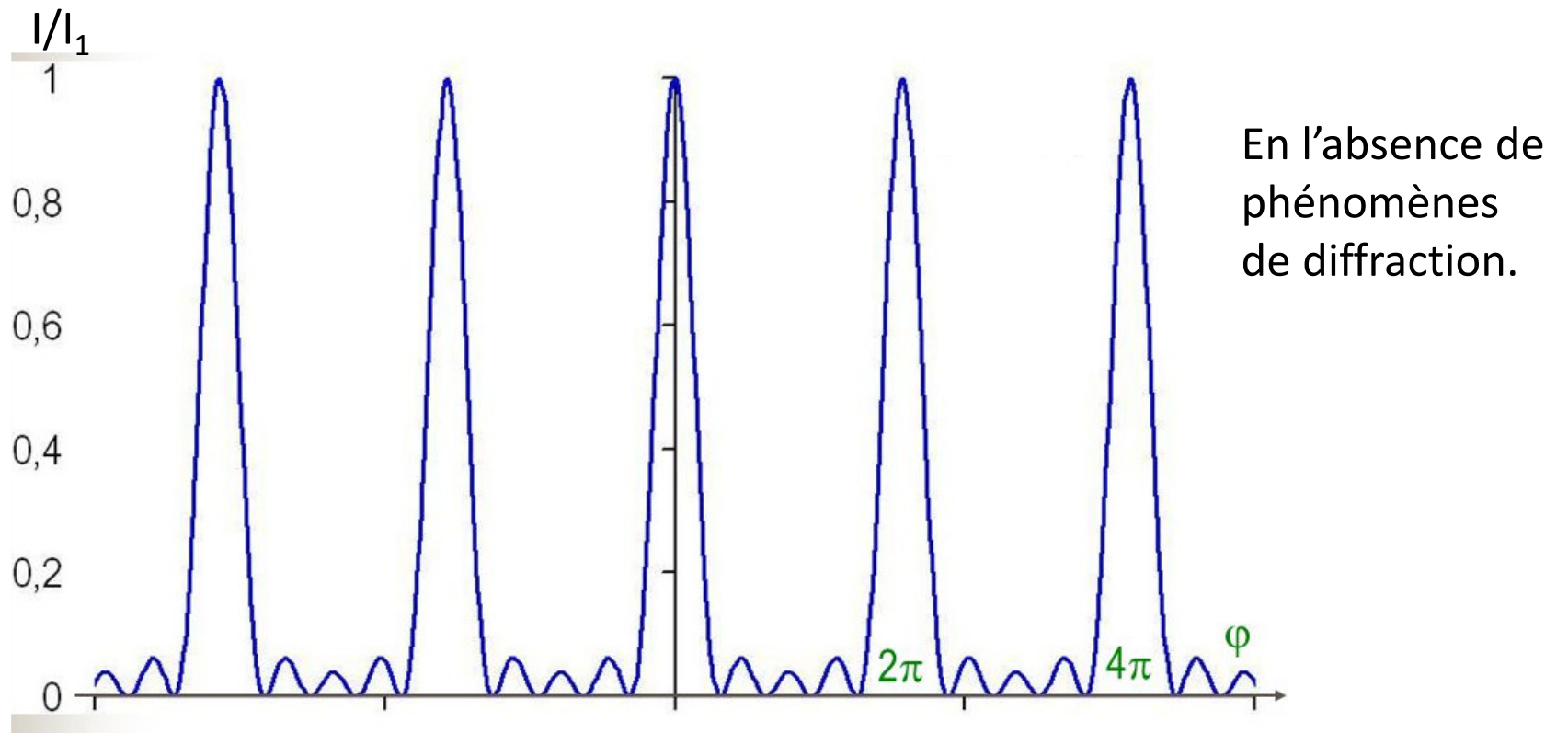
Spectroscope à réseau



Hypothèses :

- On considère une plaque opaque percée de N trous alignés séparés d'une distance a , éclairée par un faisceau parallèle
- La source S est ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde λ
- On néglige la diffraction par les trous
- L'indice de réfraction du milieu vaut 1

Spectroscopie à réseau



L'intensité est maximale lorsque dénominateur s'annule, soit pour : $\phi/2 = q\pi$, q entier relatif.

q est l'**ordre d'interférence**

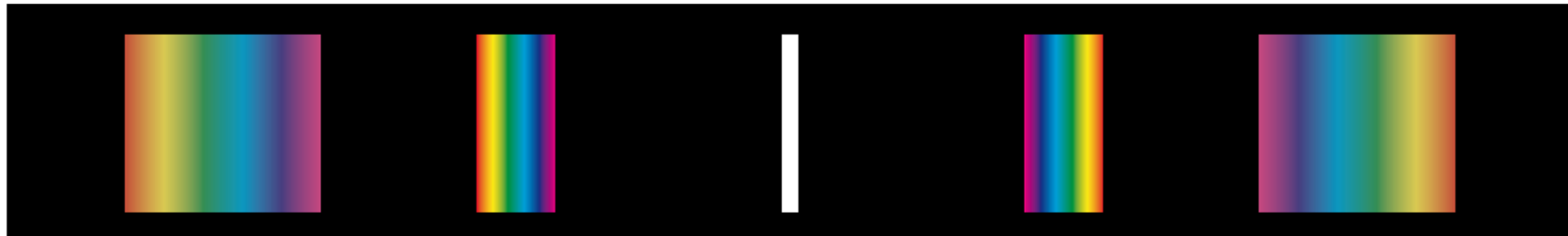
Ainsi :

$$\sin(i') - \sin(i) = q\lambda/a$$

Spectroscopie à réseau

Observations à l'aide d'un **goniomètre à réseau**, la **lumière incidente n'est plus monochromatique** :

- À l'ordre zéro $i = i'$ quel que soit λ : les ordres 0 de toutes les longueurs d'onde se superposent
- Pour $q \neq 0$: la valeur de i' pour i fixé dépend de λ et on observe un étalement du spectre de la source, les longueurs d'onde les plus élevées étant les plus déviées

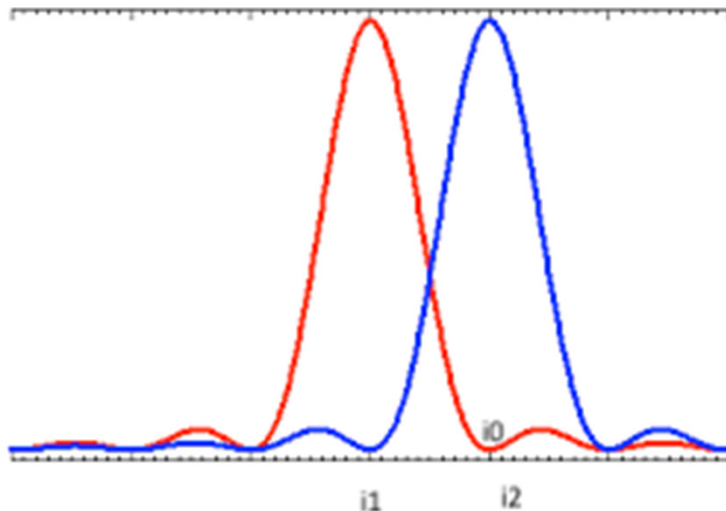


Calcul du pouvoir de résolution d'un réseau

Soit $\Delta\lambda$ le plus petit écart de longueur d'onde qu'on peut distinguer avec un réseau autour de λ_0 . Le pouvoir de résolution du réseau est défini par :

$$R = \lambda_0 / \Delta\lambda$$

Critère de Rayleigh : on considère que 2 pics sont discernables si l'écart entre les 2 maxima est supérieur à l'écart entre un maximum et la première annulation.



$$q\Delta\lambda \geq \lambda_0 / N$$

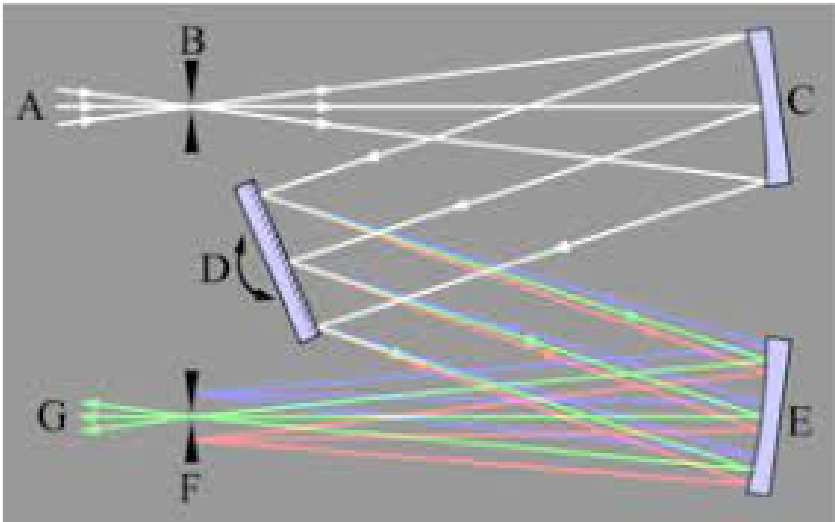
Application au doublet du sodium :

On considère un réseau comportant 600 traits par millimètre éclairé sur 1cm, à l'ordre 1 :

$$\Delta\lambda = 0,1 \text{ nm}$$

Le doublet du sodium est résolu.

Monochromateur

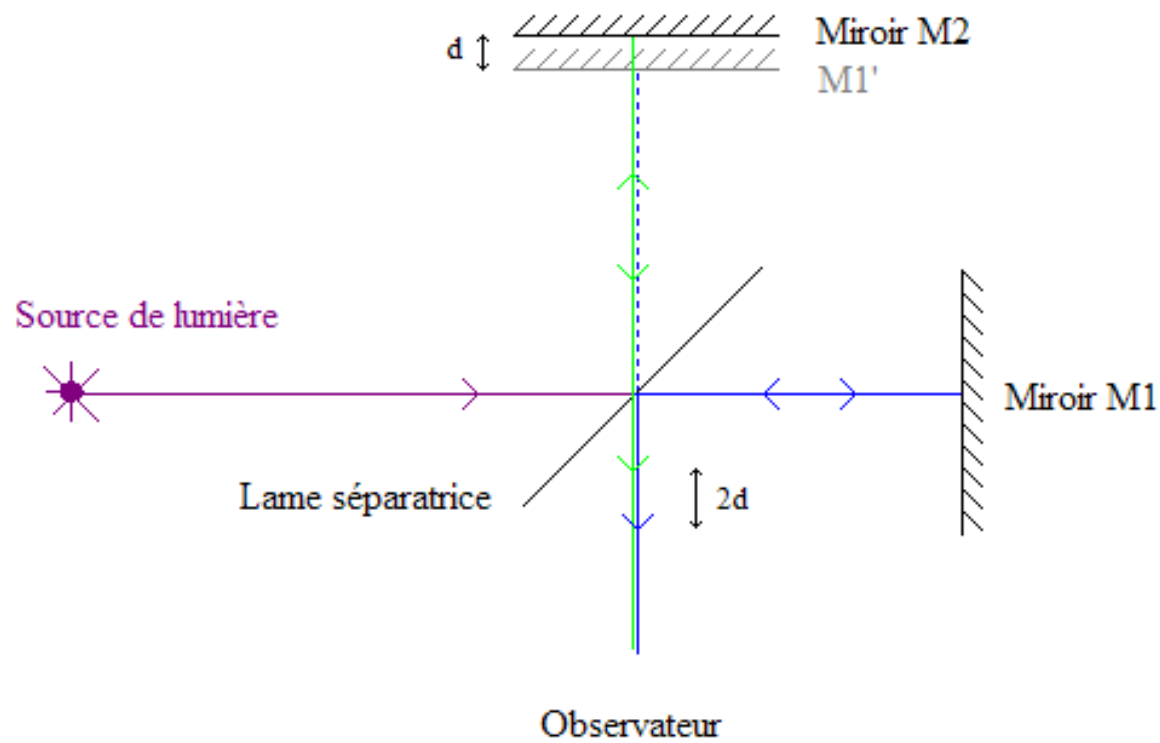


- C et E : miroirs sphériques
- D : réseau blazé

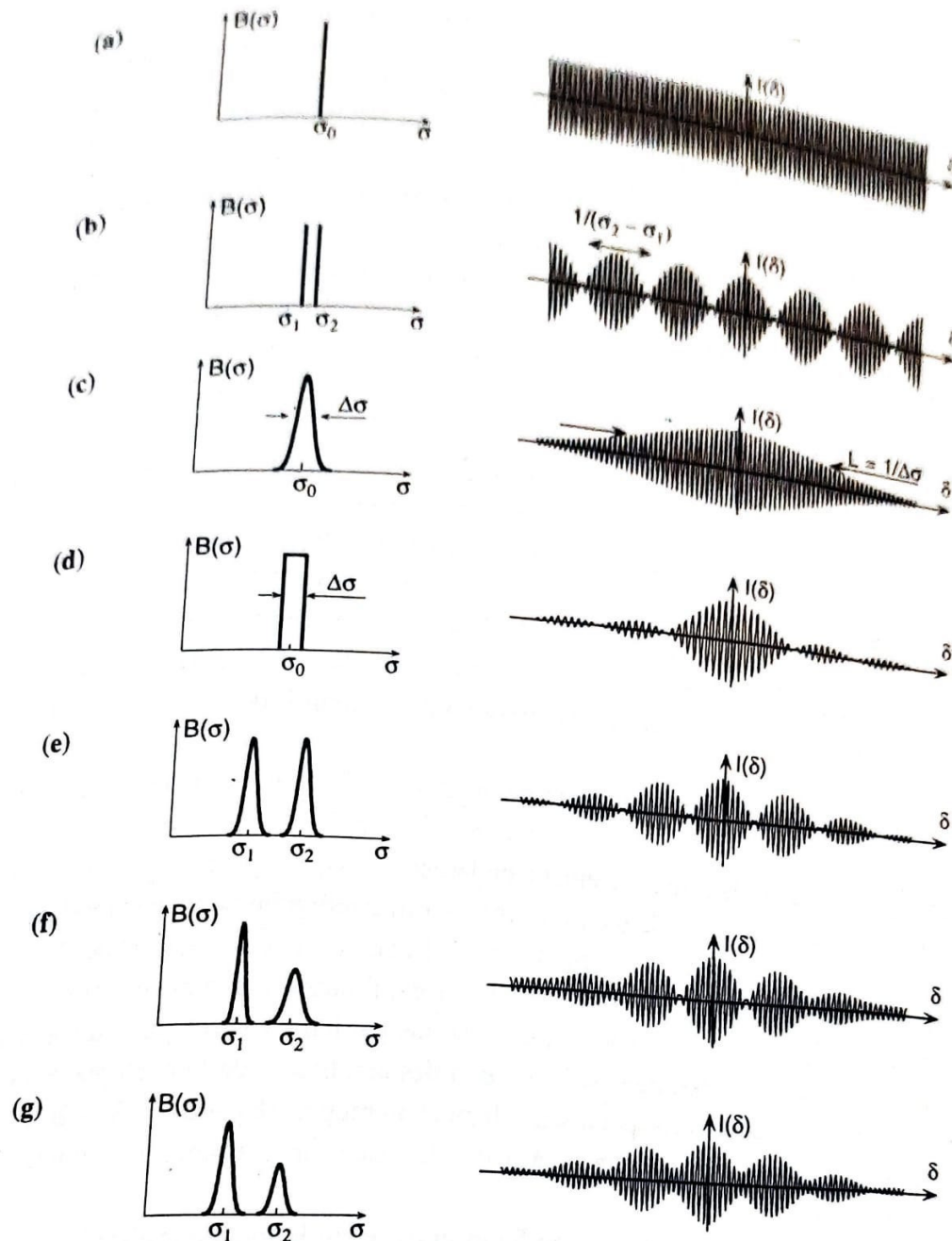
En effectuant une rotation du réseau, on fait défiler le spectre devant la fente de sortie derrière laquelle vient se placer le détecteur.

Résolution maximale de l'appareil : typiquement de l'ordre de 0,3 nm dans le visible. La résolution est limitée par les défauts du réseau et la largeur des fentes d'entrée et de sortie.

Interféromètre de Michelson en lame d'air



Spectres et interférogrammes pour l'interféromètre de Michelson



a : raie monochromatique

b : 2 raies

monochromatiques

c : raie de largeur finie de
profil gaussien

d : raie de profil
rectangulaire

e : 2 raies de de même
intensité intégrée et de
même largeur

f : deux raies de même
intensité intégrée et de
largeur différente

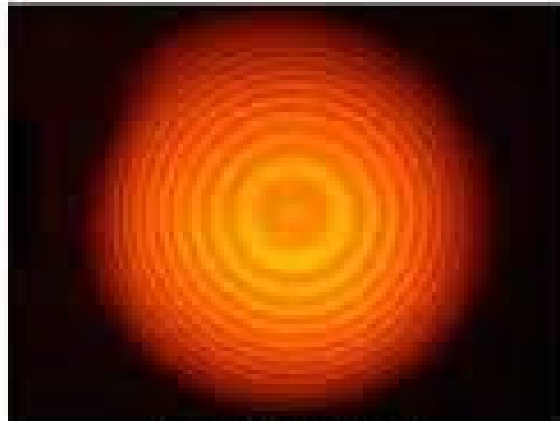
g : 2 raies de même largeur
et d'intensité intégrée
différente

Résolution du doublet du sodium à l'interféromètre de Michelson

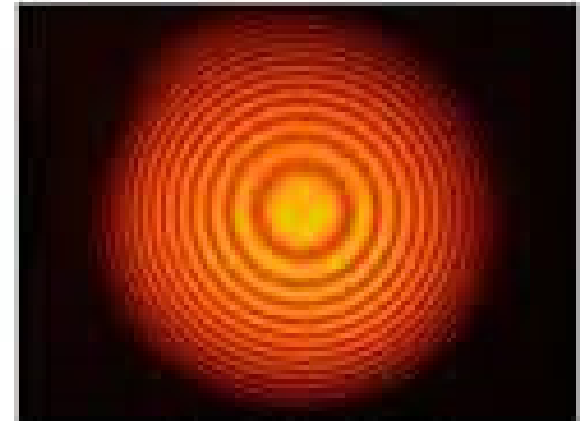
$$I(M) = 2I_0 \left(1 + \cos \left(2\pi \frac{\Delta\lambda}{2\lambda_0^2} \delta \right) \cos \left(2\pi \frac{\delta}{\lambda_0} \right) \right)$$



Contraste faible



Contraste moyen



Contraste élevé

$$x_p = \frac{\lambda_0^2}{2\Delta\lambda} p + Cte$$

x_p : position du miroir mobile à chaque antioïncidence p

L'accord de la valeur de $\Delta\lambda$ trouvée expérimentalement avec la valeur théorique est excellent.

Bibliographie

- Définitions d'introduction : Larousse
- Robert Bunsen : britannica.com
- Gustav Kirchhoff : fr-academic.com
- Spectre solaire et spectres d'émission : « Le monde physique », Amédée Guillemin
- Montage spectroscopes à fente : Sextant
- Prisme à vision directe : labomalin.fr
- Prisme simple : ressources.unsciel.fr
- Prisme simple et angles : « Optique », Hecht
- Interférences à N ondes : SlidePlayer
- Ordre interférences à N ondes : collections numériques STL SPCL
- Critère de Rayleigh : media4.obspm.fr
- Monochromateur : wikipédia
- Interféromètre de Michelson : wikipédia
- Spectres et interférogrammes pour l'interféromètre de Michelson : Sextant
- Doublet du sodium au Michelson : olivier.granier.free.fr