Monochromateur de haute résolution pour le domaine spectral de 40-200 nanomètres

M. Morlais

► To cite this version:

M. Morlais. Monochromateur de haute résolution pour le domaine spectral de 40-200 nanomètres. *Revue de Physique Appliquée*, 1981, 16 (6), pp.359-363. 10.1051/rphysap:01981001606035900 . jpa-00244928

HAL Id: jpa-00244928

<https://hal.science/jpa-00244928>

Submitted on 1 Jan 1981

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
Physics Abstracts
07.65E

Monochromateur de haute résolution pour le domaine spectral de 40-200 nanomètres

M. Morlais

Laboratoire de Spectroscopie, Université de Rennes, avenue du Général-Leclerc, 35042 Rennes Cedex, France

(Reçu le 4 novembre 1980, révisé le 20 février 1981, accepté le 20 février 1981)

Résumé. — Nous décrivons un monochromateur pour l'ultraviolet lointain, réalisé après une étude théorique comparative de deux systèmes de focalisation appelés *Eagle off plane* et *Eagle in plane*. Nous avons opté pour le système *Eagle in plane* et les spectres obtenus, soit en émission, soit en absorption, précisent les performances de cet appareil : les largeurs à mi-hauteur de certaines raies sont inférieures à 2×10^{-3} nm dans le domaine spectral considéré.

Abstract. — A vacuum ultraviolet monochromator is described ; a comparative theoretical study of two focalization systems called *Eagle off plane* and *Eagle in plane* is made. We have used the *Eagle in plane* system for the realization and some spectra obtained either in emission or absorption give us good results for this apparatus ; the half width of some lines are better than 2×10^{-3} nm in all the considered spectrum.

1. **Introduction.** — Ce monochromateur à réseau de 3 m de rayon de courbure a été construit pour poursuivre des études sur les gaz rares purs et en mélanges soit en émission, soit en absorption dans le domaine spectral $\lambda = 40\text{-}200$ nm.

Des mesures qualitatives sur les gaz rares ont été effectuées avec des spectrographes de pouvoir séparateur de 2×10^{-3} nm [1, 2] et des mesures quantitatives avec des monochromateurs moins résolvants 3×10^{-2} à 1×10^{-2} nm [3, 4].

Notre but était de construire un monochromateur plus performant (2×10^{-3} nm) en utilisant soit un réseau de 1 200 traits/mm dans plusieurs ordres, soit un réseau de 3 600 traits/mm dans le premier ordre.

Une étude théorique comparative de focalisation pour le domaine spectral 40-200 nm a été effectuée pour deux types de montage en imposant aux centres des fentes d'être dans un plan horizontal. Dans le premier cas, le cercle de Rowland est alors vertical, les fentes horizontales : le montage est connu sous le nom de *Eagle off plane*. Dans le second cas, le cercle de Rowland se trouve dans le plan horizontal passant par le centre des fentes, celles-ci étant alors verticales. Si l'on impose aux fentes d'être relativement proches, le montage est voisin du type *Eagle* classique.

2. **Etude de deux montages.** — 2.1 MONTAGE EAGLE OFF PLANE. — Ce montage a été étudié par Namioka [5] dans le cas d'un réseau de 3 m de rayon de courbure R

et de 1 200 traits/mm. Le principe du montage est représenté figure 1. Soit xx' un axe passant par le centre du réseau A et par S milieu de $F_1F_2 = 2Z$. F_1 et F_2 sont les centres des fentes qui sont symétriques et perpendiculaires au plan du cercle de Rowland, de diamètre R associé au réseau et passant par A et S

Fig. 1. — Montage *Eagle off plane* : pour tout angle de rotation γ du réseau, le cercle de Rowland passe par S milieu de la distance interférentes F_1F_2 .

[*Eagle off plane* mounting : for any rotating angle γ of the grating, the Rowland circle pass through the point S which bisects the line joining the entrance and exit slits F_1F_2 .]

(AS = R pour un angle de rotation du réseau $\gamma = 0$ correspondant à la longueur d'onde $\lambda = 0$).

Dans ce montage, pour toute longueur d'onde λ correspondant à un angle de rotation γ du réseau, on impose au centre du réseau un mouvement de translation selon l'axe xx' de façon que le cercle de Rowland passe toujours par S : la translation du réseau x est donnée par $x = R(1 - \cos \gamma)$ et on en tient compte pour l'étude de la focalisation. La focalisation est d'autant meilleure que la distance interférentes est plus faible, mais il faut incliner les fentes d'un angle φ par rapport à la normale au cercle de Rowland pour obtenir la meilleure résolution dans un étroit domaine spectral.

Nous avons repris cette étude dans notre cas (réseau $R = 3,017$ m, 3 600 traits/mm) et calculé divers paramètres (angle φ , largeur optimum du réseau W_{opt} , pouvoir de résolution) en fonction de $Z = 4, 6, 8$ cm ($2Z$ est la distance des centres des fentes). On ne peut pas prendre Z trop petit car un espace minimum est nécessaire pour pouvoir adapter les sources et les appareils d'étude aux fentes du monochromateur si l'on ne veut utiliser aucun accessoire de focalisation (miroir torique par exemple).

L'angle φ est lié à Z , R et γ (angle de rotation du réseau) par

$$\varphi = \frac{Z}{R} \frac{\sin \gamma}{\cos^2 \gamma}.$$

Les longueurs d'onde sont calculées avec la relation

$$2\sigma \left| 1 + \frac{Z^2}{R^2 \cos^2 \gamma} \right|^{-1/2} \sin \gamma = m\lambda$$

où σ est la distance entre deux traits du réseau et m l'ordre d'utilisation du réseau. La largeur utile du réseau ne doit pas excéder la valeur optimum W_{opt} définie par

$$W_{\text{opt}} = 2,12 \left| \frac{4Z^4}{\cos^4 \gamma} + \frac{R^3 \lambda \cotan \gamma}{\sin \gamma} \right|^{1/2} - \frac{2Z^2}{\cos^2 \gamma} \Big|^{1/2}.$$

La figure 2 donne φ et W_{opt} en fonction de γ . Plus la distance Z croît, plus l'angle φ , dont il faut tenir compte, devient important.

Nous avons choisi pour le calcul du pouvoir de résolution une grandeur $Z = 8$ cm et à partir des formules de Namioka [5], envisagé de construire un monochromateur avec des fentes d'inclinaison fixe. La figure 3 illustre les résultats obtenus; par exemple pour $\varphi = 25' 29''$ correspondant à un pouvoir de résolution maximum pour $\gamma = 15^\circ$ ($\sim 143,7$ nm), nous voyons que le pouvoir de résolution maximum couvre une plage étroite de longueur d'onde. Ceci est valable

Fig. 2. — Variation de φ et W_{opt} en fonction de γ et λ pour différentes valeurs de Z (montage Eagle off plane).

[Variation of φ and W_{opt} versus γ and λ for different values of Z (Eagle off plane mounting).]

Fig. 3. — Variation du pouvoir de résolution en fonction de γ et λ pour différentes valeurs fixes de φ (montage Eagle off plane).

[Variation of the resolving power versus γ and λ for different fixed values of φ (Eagle off plane mounting).]

pour d'autres domaines ($\gamma = 10^\circ$, $\gamma = 20^\circ$) et il faut donc nécessairement pour un très bon pouvoir de résolution sur un grand domaine spectral (40-200 nm) avoir une possibilité de réglage de l'angle φ . On voit nettement l'importance de φ et la nécessité de réglages très précis pour l'inclinaison des fentes. Ceci nécessite des montages mécaniques de fentes très élaborés, donc onéreux. Un monochromateur de ce type à réseau de 6 m de rayon de courbure et 1 200 traits/mm a été réalisé [6]; il permet de séparer $\Delta\lambda = 5 \times 10^{-3}$ nm entre 100 et 200 nm.

2.2 MONTAGE EAGLE IN PLANE. — Les montages classiques utilisent l'équation de focalisation $T + T' = 0$ de la focale tangentielle [7, 8]

$$T + T' = \frac{\cos^2 \alpha}{r} - \frac{\cos \alpha}{R} + \frac{\cos^2 \beta}{r'} - \frac{\cos \beta}{R}. \quad (1)$$

Dans ce montage, le réseau de sommet S est astreint à se déplacer d'un mouvement de translation selon la direction xx' , médiatrice du segment joignant les centres des fentes F_1 et F_2 .

Il pivote autour d'un axe passant par son sommet et perpendiculaire au plan $x'xF_1F_2$ (Fig. 4). La translation et la rotation du réseau sont assurées par un ensemble de deux bras articulés ρ_1 et ρ_2 ; ρ_2 s'articule aussi autour d'un point fixe A appelé point d'ancrage, choisi sur xx' pour des raisons de simplicité mécanique.

Fig. 4. — Schéma de principe du monochromateur utilisant le montage de focalisation *Eagle in plane* par translation-rotation du réseau.

[Principle of a monochromator using an *Eagle in plane* mounting associated with a translation and rotation movement of the grating.]

L'équation (1) est vérifiée si $r = r' = U/\cos \theta$ en appelant :

a) 2θ l'angle sous lequel du sommet S, on voit la distance interférentes, F_1F_2 .

b) U la distance SB de S au milieu du segment $F_1F_2 = 2f = 16$ cm. A partir de (1), on obtient alors une équation donnant une valeur U théorique en fonction de γ , donc de la longueur d'onde :

$$U^3_{\text{théorique}} - R \cos \gamma U^2_{\text{théorique}} + f^2 U_{\text{théorique}} - R f^2 \cos \gamma \tan^2 \gamma = 0. \quad (2)$$

Pour réaliser le montage mécanique coïncidant avec les valeurs U théoriques déterminées, il faut connaître ρ_1 , ρ_2 et a pour que

$$U_{\text{mécanique}} = \rho_1 \cos \gamma + \rho_2 \cos \gamma' \pm a = U_{\text{théorique}}$$

(le point A peut être soit intérieur, soit extérieur au segment SB).

La figure 5 représente après de nombreuses études

pour ρ_1 et ρ_2 différents et ici plus précisément pour divers couples $\rho_1 + \rho_2 = \text{cte}$, la différence

$$U_{\text{théorique}} - U_{\text{mécanique}}.$$

On observe sur les courbes que cette valeur est très faible pour un grand domaine spectral. En particulier pour le couple de valeurs de ρ_1 et ρ_2 que nous avons utilisé (courbe 4), on remarque que pour le domaine spectral d'étude des raies de résonance des gaz rares, c'est-à-dire 50-150 nm, la différence $U_{\text{théo}} - U_{\text{méca}}$ est inférieure à 0,01 mm, ce qui est négligeable.

Fig. 5. — Représentation de la différence des valeurs théoriques et mécaniques de focalisation pour divers couples ρ_1 et ρ_2 en fonction de γ et λ .

[Representation of the difference between the theoretical and the mechanical focalization values of ρ_1 and ρ_2 versus γ and λ .]

Dans le montage précédent $T + T' = 0$, on ne tient pas compte des aberrations ; nous avons utilisé la méthode de Pouey [9] pour évaluer leurs influences sur les paramètres de focalisation ; les résultats obtenus montrent qu'elles sont très faibles et qu'on peut les négliger dans ce cas précis où le rayon de courbure est grand (≈ 3 m) et la distance interférentes petite (16 cm).

Avec ce montage, les fentes sont fixes, de direction perpendiculaire au cercle de Rowland ; la résolution reste quasiment constante sur tout le domaine spectral qui nous intéresse. Nous avons opté pour le second montage pour des raisons surtout mécaniques et économiques, afin de nous affranchir de l'inclinaison des fentes (montage 1). En effet, le stigmatisme obtenu est bon dans le cas des deux montages du fait que la distance interférentes est faible vis-à-vis du rayon de courbure du réseau.

3. **Réalisation mécanique.** — Le monochromateur se compose de deux parties (Fig. 6).

a) Une enceinte fixe (1) reliée à un bâti rigide fixé sur une dalle de béton solidaire de trois piliers anti-vibratoires profondément ancrés dans le sol. Sur cette pièce sont fixés les fentes et le berceau supportant le réseau et les dispositifs de focalisation. Une pièce (A) située entre les fentes mobiles sur l'axe $x'x$ permet de déplacer légèrement le point d'ancrage pour pouvoir utiliser des réseaux de rayons de courbure légèrement différents. Elle peut servir également à affiner un réglage au voisinage d'une longueur d'onde, le dispositif de commande permettant son déplacement sous vide.

Fig. 6. — Schéma de réalisation du monochromateur.

[Scheme of the monochromator realization.]

Le berceau supporte :

α) les chariots du porte-réseau (3) et celui d'entraînement (4), ainsi que les bras articulés B_1 , B_2 , B_3 . Pour réduire l'encombrement du diamètre de l'enceinte du monochromateur, nous avons utilisé trois bras : les longueurs des bras $B_1 + B_3$ et B_2 jouent le rôle des grandeurs ρ_1 et ρ_2 calculées précédemment. La longueur du bras B_3 qui assure la rotation du réseau est ajustée à $1 \mu\text{m}$ près, à l'aide d'une platine de translation micrométrique au cours du réglage du monochromateur ;

β) le dispositif d'entraînement des bras qui est un chariot (5) déplacé à l'aide d'une vis rectifiée. Ce chariot entraîne une plate-forme qui pousse un roulement à billes solidaire du bras B_1 , roulement dont l'axe matérialise le point de poussée. Ce point est réglable et l'ensemble associé à un compteur de tours permet la lecture directe des longueurs d'onde ;

γ) un capteur annexe (6) qui permet de s'affranchir des irrégularités d'entraînement quand on défile lentement en longueur d'onde. Ce capteur associé au bras B_3 délivre, lors de la rotation-translation du réseau, une tension continue indépendante du temps, mais liée au déplacement du réseau. Cette tension alimente la commande en X d'une table traçante X - Y et permet des enregistrements de profils de raies très reproductibles.

b) Une enceinte mobile (2) supportant une pompe à diffusion d'huile permettant d'atteindre un vide de 5×10^{-6} torr.

4. **Résultat des mesures.** — Avec ce monochromateur nous avons enregistré des spectres d'émission de l'hydrogène, du xénon, du krypton, avec une largeur de raie à mi-hauteur meilleure que 2×10^{-3} nm. Il faut toutefois remarquer que dans notre cas, avec une dispersion de 9×10^{-2} nm par mm et des fentes dont la largeur peut difficilement être inférieure à 10^{-2} mm, on ne peut espérer mieux que 1×10^{-3} nm pour une largeur de raie à mi-hauteur. La figure 7 représente la raie d'absorption du xénon 129,558 nm

Fig. 7. — Enregistrement des raies induites rouges apparaissant en absorption près de la deuxième raie de résonance 129,558 nm du xénon perturbé par du krypton.

[Reprint of the red induced lines near the second resonance line 129,558 nm of xenon perturbed by krypton.]

perturbé par le krypton (longueur de la cellule 2 cm, pression du xénon 0,6 torr, pression du krypton 1 bar). Le rayonnement continu est émis par une source pulsée (2 000 Hz, 1 000 pF, 20 kV) contenant de l'argon très pur à haute pression (1 bar). Cet enregistrement confirme l'observation des raies induites, appelées satellites rouges, situées du côté des grandes longueurs d'onde de la raie non perturbée, mises en évidence précédemment au Laboratoire avec un spectrographe [10]. La figure 8 représente une portion du spectre d'émission du krypton obtenu avec une lampe classique; la largeur à mi-hauteur pour certaines raies est inférieure à 2×10^{-3} nm. La figure 9 représente une partie du spectre d'absorption de l'oxygène dans la région de Schumann, obtenue avec le spectre d'émission continu du deutérium.

Ainsi nous avons réalisé un monochromateur performant dans le domaine spectral considéré. Il faut toutefois remarquer qu'un meilleur pouvoir séparateur serait obtenu avec une source quasi ponctuelle du genre rayonnement synchrotron, alors qu'ici, avec des sources de lumière classique, la hauteur des fentes éclairées est de l'ordre de 10 mm.

Remerciements. — Nous remercions tous les techniciens du Laboratoire pour leur participation à la réalisation de cet appareil et en particulier M. Guichard.

Fig. 8. — Portion du spectre d'émission du krypton soulignant la résolution du monochromateur ($\Delta\lambda < 0,002$ nm).

[A part of the emission spectrum of krypton : the half width $\Delta\lambda$ of some lines is better than 0.002 nm.]

Fig. 9. — Représentation de l'absorption de la bande de Schumann (14-0) du spectre de l'oxygène moléculaire à température ambiante (293 K).

[Photoabsorption observed in the (14-0) Schumann range band of molecular oxygen at room temperature (293 K).]

Bibliographie

- [1] FREEMAN, D. E., YOSHINO, K., TANAKA, Y., *J. Chem. Phys.* **61** (1974) 4466.
- [2] CASTEX, M. C., Thèse d'Etat Paris (1975).
- [3] MORLAIS, M., CASTEX, M. C., *4th General Conference of European Physical Society*, York, England (1978).
- [4] CASTEX, M. C., MORLAIS, M., *4th International Conference on spectral lines shapes*, Windsor, Canada (1978).
- [5] NAMIKA, T., *J. Opt. Soc. Am.* **49** (1959) 961.
- [6] CARVER, J. H., HADDAD, G. N., HOBBS, T. I., LEWIS, B. R., MCCOY, D. G., *Appl. Opt.* **17** (1978) 420.
- [7] ROBIN, S., *J. Physique Radium* **14** (1953) 551.
- [8] SAMSON, J. A. R., *Techniques of Vacuum Ultra-Violet Spectroscopy* (Wiley, New York) 1967.
- [9] POUEY, M., Thèse d'Etat Paris (1973).
- [10] MORLAIS, M., RUPIN, J. M., ROBIN, S., *C.R. Hebd. Séan. Acad. Sci.* **284** (1977) 385.