



HAL
open science

SPECTROMÈTRE A DEUX FABRY-PEROT ASSERVIS

J. Laude

► **To cite this version:**

J. Laude. SPECTROMÈTRE A DEUX FABRY-PEROT ASSERVIS. Journal de Physique Colloques, 1967, 28 (C2), pp.C2-322-C2-325. 10.1051/jphyscol:1967261 . jpa-00213245

HAL Id: jpa-00213245

<https://hal.science/jpa-00213245>

Submitted on 4 Feb 2008

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.

SPECTROMÈTRE A DEUX FABRY-PÉROT ASSERVIS

J. P. LAUDE

Laboratoire Aimé Cotton, C. N. R. S., 92-Bellevue, France (1)

Résumé. — Deux dispositifs d'asservissement sont décrits, permettant le premier de maintenir parallèles les lames d'un Fabry-Pérot à balayage mécanique, le second de maintenir en coïncidence les bandes passantes des deux éléments d'un spectromètre à deux Fabry-Pérot. Les deux dispositifs consistent à maintenir en position fixe un système de franges de superposition (achromatiques dans le 2^e cas).

Abstract. — Two servocontrols are described, allowing the first to maintain parallels the two plates of a mechanically scanned Fabry-Pérot interferometer, the second to synchronize the scanings of the spectrum by two elements of a two Fabry-Pérot spectrometer. Both consist in keeping at a constant position, a pattern of superposition fringes (achromatic in the second case).

Introduction. — Pour réaliser un spectromètre pouvant analyser à haute ou basse résolution un grand nombre d'éléments spectraux grâce à une association de Fabry-Pérot, nous sommes placés devant deux difficultés techniques essentielles :

1) L'exploration du spectre pour chaque Fabry-Pérot peut se faire par variation d'indice du gaz placé entre les lames. Mais, l'intervalle spectral explorable $\Delta\lambda$, égal au produit de la variation relative d'indice par la longueur d'onde, étant forcément limité, il s'en suit que le nombre d'éléments spectraux explorables par cette méthode à résolution donnée est limité.

Si ce nombre est quand même, en général, très nettement suffisant pour les études à haute résolution, il n'en est plus de même à basse résolution. On est alors amené à utiliser des Fabry-Pérot dont on peut faire varier l'épaisseur géométrique. La grandeur de l'intervalle spectral explorable par de tels procédés est limitée par le dérèglement du Fabry-Pérot dû à ce que la lame déplacée ne reste pas parfaitement parallèle à elle-même. Cette difficulté a été surmontée de manière remarquable par J. V. Ramsay par une méthode d'asservissement, depuis quelques années [1]. Réétudiant le problème en fonction des montures de Fabry-Pérot dites montures « ventouse » que nous possédions au laboratoire, nous sommes arrivés à une solution un peu différente, qui nous donne toute satisfaction.

2) Si l'on veut utiliser comme spectromètre une chaîne de deux étalons de Fabry-Pérot, on doit syn-

chroniser les bandes passantes des deux étalons.

Pour les études à haute résolution dans lesquelles l'exploration du spectre par chaque Fabry-Pérot se fait par variation de l'indice du gaz placé entre les lames, le problème a été très bien résolu [2], [3]. Avec des Fabry-Pérot dans lesquels l'exploration se fait par variation de la distance géométrique entre les lames, nous avons envisagé un nouveau procédé de synchronisation.

I. Fabry-Pérot asservi à rester parallèle. — L'éta-
lon de Fabry-Pérot (Fig. 1) est traversé à l'une de ses

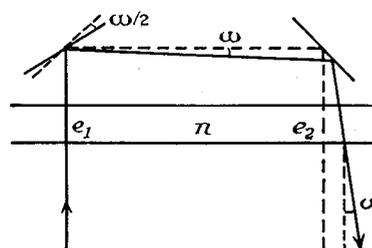


FIG. 1.

extrémités par un pinceau de lumière blanche ; à l'aide de deux petits miroirs ce pinceau est renvoyé vers l'éta-
lon qu'il traverse en une région diamétralement oppo-
sée. La direction et l'écartement de ces franges sont
fixés par l'orientation des deux miroirs de renvoi ;
si ceux-ci font avec la normale au Fabry-Pérot des
angles de 45° l'élément d'éta-
lon B et l'image de A sont
parallèles et l'on observe une teinte plate ; si l'un des
miroirs tourne d'un angle $\omega/2$ l'élément B et l'image de

(1) Actuellement : Jobin-Yvon, rue du Canal, 91-Longjumeau, France.

A font un angle ω . Les franges observées sont parallèles à l'arête du dièdre ainsi formé.

La distance angulaire des franges vaut :

$$v = \frac{\lambda}{2 \omega n e_1}$$

quant à la frange d'ordre 0, elle a pour position angulaire :

$$\theta_0 = \frac{(e_2 - e_1)}{e_1}$$

en appelant e_1 et e_2 les épaisseurs des deux éléments d'étalon.

La condition de parallélisme des lames du Fabry-Perot est évidemment $e_1 = e_2$, soit $\theta_0 = 0$. Tout dérèglement du parallélisme correspondra à un déplacement des franges de superposition perpendiculairement à elles-mêmes, le sens de ce déplacement étant lié au sens du réglage. On peut donc, par exemple en plaçant deux récepteurs de part et d'autre de la frange d'ordre 0, obtenir un signal d'erreur qui, après amplification, sera disponible pour corriger ce dérèglement. On doit évidemment employer le même dispositif dans deux directions perpendiculaires dans le plan des lames.

Ce procédé a été appliqué à une monture de Fabry-Perot déjà décrite et ainsi constituée : deux couronnes métalliques placées à la distance adéquate portent chacune les lames du Fabry-Perot ; chacune de ces couronnes amincies sur une partie de leur diamètre constitue une membrane flexible. En déformant la couronne supérieure on amène les deux lames à être parallèles ; en faisant agir une force de pression variable sur la membrane inférieure, on déplace l'autre lame du Fabry-Perot.

Le signal d'erreur est obtenu à partir de deux cellules photo-résistantes placées de part et d'autre de la frange de superposition d'ordre zéro. Il est amplifié par un amplificateur continu différentiel et envoyé sur un électro-aimant placé en face de la membrane de réglage. La correction complète est obtenue par deux tels électro-aimants placés à 90° .

Pour éviter que le signal étudié soit (en supposant une étude dans l'ultra-violet ou le visible) mélangé à de la lumière diffusée provenant du signal d'erreur, celui-ci est obtenu à partir d'un faisceau de lumière infrarouge. Dans ce but, le revêtement réflecteur disposé sur le pourtour du Fabry-Perot est distinct du revêtement réflecteur placé dans la partie centrale du Fabry-Perot utilisé pour l'expérience spectrométrique.

Le système marche actuellement de façon très satisfaisante. On peut balayer 250 ordres sans dérèglement supérieur à $\lambda/200$. Le nombre d'ordres balayés

n'est actuellement limité que par la déformation de la membrane obtenue lorsque la pression de l'enceinte varie de 0 à 1 atmosphère.

II. Asservissement des bandes passantes de deux Fabry-Perot en série. — 1) PRINCIPE. On sait que lorsque deux Fabry-Perot sont placés en série dans des rapports d'intervalle entre ordre :

$$\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_1 \frac{k}{q} \quad (\text{avec } 1 < q < k)$$

k et q étant des nombres entiers, on multiplie à résolution donnée par k l'intervalle spectral libre. Dans ce cas, si les Fabry-Perot sont légèrement inclinés l'un par rapport à l'autre (voir Fig. 2), on peut observer dans

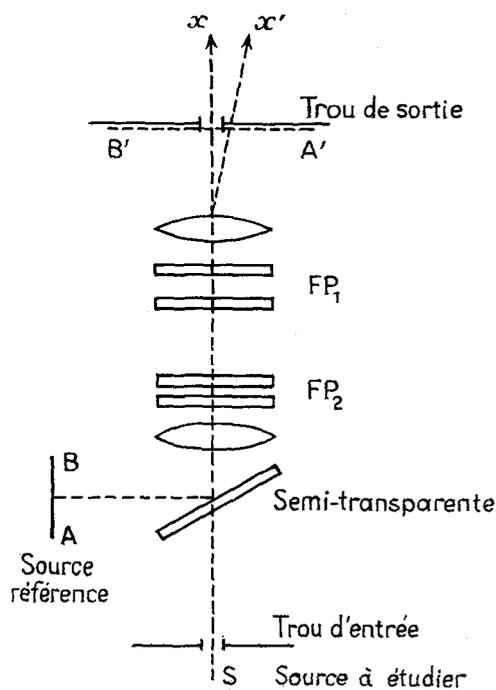


FIG. 2.

l'image d'une source de grande étendue spectrale $A' B'$, au foyer d'un objectif en série avec les Fabry-Perot, des franges de superposition parallèles à l'arête du dièdre qu'ils forment.

La frange brillante d'amplitude maximum correspond à la direction des rayons incidents sur les Fabry-Perot pour laquelle le rapport des intervalles entre ordre est exactement : k/q .

Les autres franges brillantes correspondent aux directions pour lesquelles la condition n'est qu'à peu près réalisée. On peut, en ajustant l'épaisseur d'un des

Fabry-Perot, centrer la frange de superposition d'amplitude maximum sur le trou de sortie du spectromètre. Il y a alors évidemment coïncidence d'un grand nombre de maximum de transmission des deux Fabry-Perot pour un grand nombre de longueurs d'onde (un maximum du premier Fabry-Perot pour un maximum sur k du second si $\Delta\sigma_2 = k \Delta\sigma_1$; un maximum sur k du premier Fabry-Perot pour un maximum sur $q - 1$ du second avec :

$$\Delta\sigma_2 = \frac{k\Delta\sigma_1}{q}.$$

A toute désynchronisation des bandes passantes dans la direction S correspond un déplacement des franges de superposition. Les bandes passantes se trouvent alors en synchronisme pour la direction Sx' différente de Sx .

On peut, par asservissement, maintenir le maximum des franges de superposition constamment dans la direction S . Les bandes passantes des Fabry-Perot resteront alors synchronisées dans cette direction.

2) EFFET DES DÉPHASAGES A LA RÉFLEXION SUR LES COUCHES MULTIDIÉLECTRIQUES DES FABRY-PÉROT. Malheureusement ces déphasages dépendent de la longueur d'onde et le problème n'est pas aussi simple. Parce que l'intervalle entre-ordre de chaque Fabry-Perot dépend de la longueur d'onde on ne peut jamais trouver un rapport d'épaisseur pour lequel il y ait coïncidence (m et q étant entiers) entre $1/m$ maximum de transmission du premier Fabry-Perot et $1/q$ maximum du second pour toute longueur d'onde. Cependant on peut toujours trouver un rapport d'épaisseur des deux étalons pour lequel la différence de marche des rayons interférents dans les franges de superposition est stationnaire autour d'une longueur d'onde λ_0 donnée ($d\Delta/d\lambda_0 = 0$). C'est dans ce cas seulement que l'on peut observer des franges de superposition avec une source de très grande largeur spectrale centrée sur cette longueur d'onde λ_0 : lorsque l'on a au centre du champ une telle frange de superposition achromatique, brillante, cela signifie que l'on a approximativement coïncidence des $1/q$ maximum de transmission du premier Fabry-Perot et des $1/m$ maximum du second, de part et d'autre de la longueur d'onde λ_0 sur un nombre maximum de pics de transmission. On doit évidemment faire en sorte que le faisceau de référence qui sert à former les franges de superposition n'ait pas une trop grande largeur spectrale et soit approximativement centré en longueur d'onde sur la région spectrale explorée. Inversement avec un faisceau de référence de distribution spectrale donnée l'exploration ne pourra être infiniment grande. S'il n'en est pas ainsi, la désynchronisation des bandes passantes des deux

étalons placés en série, donc la chute du facteur de transmission du spectromètre est inévitable.

$(\lambda - \lambda_0)/\lambda_0$ étant l'écart relatif entre les centres de la distribution spectrale de la source à étudier et de la source de référence, on montre que l'écart relatif maximum tolérable, si l'on veut conserver le facteur de transmission à une valeur donnée, ne dépend pas de la résolution mais uniquement de la nature des revêtements diélectriques employés, de la finesse des Fabry-Perot et du type de chaîne employée.

Il est toujours intéressant de constater que l'écart maximum tolérable est beaucoup plus grand quand les étalons sont dans le rapport $\Delta\sigma_2/\Delta\sigma_1 = k/(k - 1)$ que dans le rapport $\Delta\sigma_2/\Delta\sigma_1 = k$ pour une valeur de k donnée.

Dans le cas de couches $9 \lambda/4$ classiques, sulfure de zinc-cryolithe pour $5\,600 \text{ \AA}$, la finesse des étalons étant 50, on montre que l'on a :

$$(\lambda - \lambda_0) \max = 150 \text{ \AA} \quad \text{avec} \quad \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} = \frac{1}{10}$$

$$(\lambda - \lambda_0) \max = 500 \text{ \AA} \quad \text{avec} \quad \frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} = \frac{9}{10}.$$

Expérimentation. — Nous avons réalisé le montage de la figure 3.

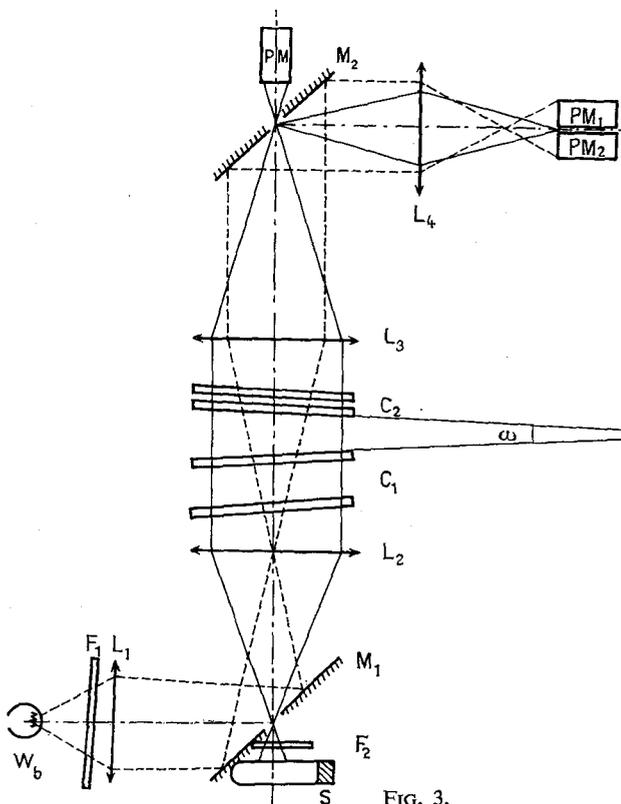


FIG. 3.

a) SYSTÈME OPTIQUE. Deux étalons dans un rapport d'épaisseur optique k ou $k/(k-1)$ sont légèrement inclinés l'un par rapport à l'autre. La direction commune aux plans des deux Fabry-Perot étant normale au plan de figure.

Le faisceau de référence issu d'une lampe à incandescence Wb suivie d'un filtre adéquat F_1 traverse les deux étalons. Ce filtre a une bande passante de l'ordre de grandeur de l'étendue spectrale maximum explorable par le procédé, centrée sur la région spectrale à étudier.

On peut observer dans la partie illuminée du miroir M_2 au plan focal de la lentille L_3 , les *franges de superposition achromatiques* des deux étalons, parallèles à l'intersection des plans des deux étalons.

La lentille L_4 forme l'image de ces franges sur les photomultiplicateurs PM_1 et PM_2 .

Si $e_1/e_2 = q/p$, l'interfrange angulaire après la lentille L_3 est :

$$i = \frac{\lambda}{2 \omega p e_1}.$$

On peut, en rendant ω petit, étaler les franges de superposition de manière à ce qu'il ne subsiste qu'une frange dans le champ (la frange achromatique). Chacun des photomultiplicateurs analysant un flanc de cette frange, toute désynchronisation sera traduite par la grandeur et le signe de la différence des courants qu'ils fournissent.

Faisceau de mesure. Les miroirs M_1 et M_2 sont percés et laissent passer le faisceau issu de la source S à analyser. Les trous percés dans les miroirs sont au plan focal des lentilles L_2 et L_3 et ont les dimensions requises. Bien que le spectromètre comprenne deux Fabry-Perot en série, sa fonction d'appareil est encore à bandes passantes multiples ($\sigma = k/2 e$), aussi, sera-t-il précédé d'un filtre interférentiel dont la bande passante est de l'ordre de grandeur de l'intervalle spectral libéré par l'association des deux étalons.

b) ÉLÉMENTS MÉCANIQUES. L'un des Fabry-Perot est placé dans une monture à cales piézo-électriques conçue par J. Hirschberg et P. Platz, déjà décrite [4].

Le second Fabry-Perot est un Fabry-Perot à asservissement de parallélisme analogue à celui que nous avons décrit dans la première partie de notre communication.

c) ÉLECTRONIQUE. Les deux photomultiplicateurs sont suivis d'un amplificateur différentiel opérationnel à gain réglable, d'un filtre de fréquence ajustable, et d'un amplificateur à modulation et démodulation

synchrone qui commande les cales piézo-électriques de la monture Hirschberg et Platz.

Résultats. — Ce système a déjà donné de bons résultats expérimentaux.

Avec des rapports $\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_2$ de 1 à 1/5 (Fabry-Perot monochromateur d'épaisseur 31 μ et deux Fabry-Pérot de finesse 25), nous avons pu explorer 140 éléments spectraux avec une baisse du facteur de transmission inférieure au 1/100^e. Nous avons été limités à un petit nombre d'éléments par des raisons uniquement technologiques, la plage de notre asservissement était assez étroite et ne permettait de fournir au Fabry-Perot piézo-électrique, que des tensions comprises entre ± 600 volts.

Conclusion. — Notre premier souci n'a pas été de faire un instrument (le nôtre a de bien modestes performances), mais de démontrer qu'il est possible d'asservir les bandes passantes de deux Fabry-Perot en série, au cours d'une exploration du spectre par une méthode valable aussi bien aux hautes qu'aux basses et très basses résolutions.

Notre étude expérimentale, parce qu'étayée par une technologie encore trop imparfaite, ne permet pas de conclure totalement quant aux performances qui peuvent être atteintes par cette méthode.

La limite théorique imposée par les variations du déphasage à la réflexion en fonction de la longueur d'onde peut être facilement éliminée si l'on synchronise le centre de la distribution spectrale de la source de référence et la région du spectre analysé, avec la très large tolérance indiquée dans cet article.

Ce double Fabry-Perot asservi pourra alors parfaitement s'intégrer dans un spectromètre constitué par l'association d'un prémonochromateur à réseau et de deux Fabry-Perot, ou à une chaîne composée uniquement de Fabry-Perot.

Nous remercions R. Chabbal et F. L. Roesler qui ont guidé ces recherches par de nombreuses suggestions et de fructueuses discussions.

Bibliographie

- [1] RAMSAY (J. V.), *Appl. Optics*, 1962, **1**, 411-413
- [2] CHANTREL (H.), *J. Phys. Rad.*, 1958, **19**, 366.
- [3] MACK (J. E.), MC NUTT (D. P.), ROESLER (F. L.) and CHABBAL (R.), *Appl. Optics*, 1963, **2**, 783.
- [4] PLATZ (P.) et HIRSCHBERG (J.), *C. R. Acad. Sc., Paris*, 1965, **261**, 1207-1210.
- [5] CHABBAL (R.) et JACQUINOT (P.), *Rev. Opt.*, 1961, **40**.
- [6] CHABBAL (R.), *Rev. Opt.*, 1961, **40**.
- [7] LAUDE (J. P.), Thèse de Docteur-Ingénieur, Orsay, 1966.