

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

⑪ N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 486 237

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 15079

⑮ Spectromètre à auto-corrélation pupillaire composée.

⑯ Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 J 3/00.

⑰ Date de dépôt..... 7 juillet 1980.

⑱ ⑳ ㉑ Priorité revendiquée :

㉒ Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 1. du 8-1-1982.

㉓ Déposant : AGENCE NATIONALE DE VALORISATION DE LA RECHERCHE (ANVAR), résidant
en France.

㉔ Invention de : Roland Marcel Damaschini.

㉕ Titulaire : *Idem* ㉓

㉖ Mandataire : Cabinet Regimbeau, Corre, Martin et Schrimpf,
26, av. Kléber, 75116 Paris.

L'invention concerne la spectrométrie, de rayonnements électromagnétiques en particulier.

Les appareils de spectrométrie ne sont pas limités au domaine de la lumière visible. Ici, le mot
5 "lumière" vise donc une large gamme de rayonnements électromagnétiques, dont les infrarouges et les ultraviolets. De même, les termes habituels de l'optique sont à entendre au sens large, étendu à l'infrarouge et à l'ultraviolet.

10 Les spectromètres les plus simples comprennent une fente d'entrée, un collimateur, un organe chromatiquement dispersif, un objectif, puis une fente de sortie, et enfin un organe photodétecteur, monté derrière la fente de sortie pour fournir un signal représentant la quantité
15 de lumière qui la traverse. Dans certains cas, la fente de sortie et le photodétecteur sont remplacés par un film photosensible ; l'appareil est alors nommé "spectrographe".

Le système optique de transmission constitué par le collimateur, l'organe dispersif (prisme ou réseau
20 de diffraction) et l'objectif, est agencé pour créer une image de la fente d'entrée qui coïncide sensiblement avec la fente de sortie et ce pour une longueur d'onde donnée, dite longueur d'onde de réglage. A cet effet, le collimateur transforme le faisceau lumineux issu de la fente
25 d'entrée en un faisceau de rayons parallèles ; par

l'organe dispersif, les rayons parallèles sont déviés sélectivement dans une direction prédéterminée selon les longueurs d'ondes qu'ils contiennent ; et l'objectif reprend les rayons parallèles, pour les focaliser sur la fente de sortie. La focalisation est exacte pour la longueur d'onde de réglage. Pour les autres longueurs d'ondes, la lumière ne traverse pas la fente de sortie.

Le plus souvent, la longueur d'onde de réglage est ajustable, par exemple à l'aide d'un déplacement convenable de l'organe dispersif, tel qu'une rotation autour d'un axe perpendiculaire à la direction de dispersion. On peut ainsi analyser la lumière d'entrée par petites portions situées autour de longueurs d'ondes de réglage successives.

La qualité d'un spectromètre est définie par sa "fonction d'appareil" (réponse impulsionnelle dans l'espace des fréquences ou des longueurs d'onde). Elle se trouve liée à deux grandeurs importantes : l'étendue de faisceau, qui représente la quantité de lumière admise à l'entrée de l'appareil ; la résolution qui représente l'écart minimum qui doit exister entre deux longueurs d'ondes pour que l'appareil puisse les séparer.

Dans le domaine infra-rouge, on sait augmenter l'étendue de faisceau d'un spectromètre. Au lieu d'une seule fente mince, on utilise un masque, ou motif de zones alternativement transparentes et non transparentes, de surface transparente bien plus grande que celle de la fente unique. Un tel motif est souvent appelé "grille".

Comme précédemment, pour la longueur d'onde de réglage, le système optique produit une image de la grille d'entrée qui coïncide pratiquement avec la grille de sortie. Le facteur de transmission est alors maximal. Mais, du fait de l'utilisation de zones transparentes étendues, il existe aussi d'autres longueurs d'ondes, non désirées, qui sont transmises en moins grandes proportions:

une partie transparente de l'image de la grille d'entrée vient alors coïncider avec une partie transparente non homologue de la grille de sortie.

L'organe photodétecteur placé derrière la grille de sortie capte alors en même temps le signal utile dû à la longueur d'onde de réglage et un signal perturbateur dû aux autres longueurs d'ondes non désirées et transmises partiellement. Heureusement, dans l'infrarouge, le bruit en sortie du photodétecteur est lié essentiellement au composant photodétecteur lui-même, et ne dépend que très peu de la quantité totale de lumière qu'il reçoit. Des dispositions spéciales, par exemple avec modulation de la longueur d'onde de réglage et démodulation synchrone du signal détecté, permettent alors d'isoler ce qui correspond à la longueur d'onde de réglage.

Cela n'est pas avantageux dans les domaines de la lumière visible et de l'ultra-violet, pour lesquels les récepteurs usuels (photomultiplicateurs) sont sujets à un bruit "de photons", qui augmente très vite avec la quantité totale de lumière qu'ils reçoivent.

La présente invention vient améliorer la situation, en proposant un appareil de spectrométrie possédant de meilleures propriétés que les appareils à fentes, sur le plan de l'étendue de faisceau ou de la résolution, tout en ne laissant pas passer de longueurs d'ondes non désirées, ce qui en permet l'utilisation en lumière visible ou ultra-violette.

L'appareil proposé est du type comprenant, sur le trajet d'un faisceau à analyser :

- un masque d'entrée, ou premier masque,
- un premier dispositif de dispersion du faisceau, ce dispositif présentant une surface de sortie sur laquelle le faisceau dispersé définit des images du masque d'entrée qui se décalent les unes par rapport aux autres

proportionnellement à une grandeur-critère pour l'analyse du faisceau (telle que la longueur d'onde le nombre d'onde ou la fréquence d'un faisceau de rayonnement),

- la première dispersion ainsi réalisée étant définie

5 par la direction de décalage des images, et par un coefficient de dispersion représentant le taux du décalage d'image en fonction de la grandeur-critère, et

- un second masque, homologue du premier, et placé sur la surface de sortie du premier système disperseur,

10 si bien que ce second masque ne laisse passer intégralement le faisceau traversant le premier masque qu'au voisinage d'une valeur déterminée, dite valeur de réglage, de la grandeur-critère.

Selon l'invention, les premier et second masques

15 possèdent un motif de transparence au faisceau qui est fin et étendu, mais non assimilable à une fente unique, si bien qu'il existe des valeurs de la grandeur-critère, non voisines de la valeur de réglage, pour lesquelles le faisceau traverse les deux masques en passant par des

20 portions non homologues de ceux-ci (la réponse en sortie du second masque n'est pas constituée d'un seul pic) ; il est prévu, sur le trajet du faisceau sortant du second masque, un second système disperseur, produisant sur sa surface de sortie une seconde dispersion, définie elle

25 aussi par sa direction et par un coefficient ; enfin, le motif des masques et les deux dispersions sont arrangés de sorte que, sur la surface de sortie du second disperseur, l'image du premier masque pour la portion de faisceau présentant la valeur de réglage de la grandeur-

30 critère ne soit frappée par aucune des autres portions qui traversent le second masque avec des valeurs de la grandeur-critère non voisines de la valeur de réglage.

L'application préférentielle de l'invention concerne les faisceaux de rayonnements électromagnétiques.

35 La grandeur-critère est alors la longueur d'onde ; les

systèmes disperseurs sont des systèmes optiques ; et le second masque est le conjugué optique du premier à travers le premier système optique disperser.

La plupart du temps (spectrographie exceptée),
5 l'appareil comporte un troisième masque, conjugué des deux premiers, et placé sur la surface de sortie du second système optique disperser pour coïncider avec l'image monochromatique du premier masque à la longueur d'onde de réglage.

10 Selon un aspect préférentiel de l'invention, le motif prédéterminé comprend plusieurs tracés transparents fins, parallèles, équidistants et de même largeur, et la direction générale commune à ces tracés transparents n'est parallèle à aucune des deux directions de dispersion.

15 Pour un premier type de masques, les deux directions de dispersion forment entre elles un angle important, et la direction des tracés transparents se situe à l'intérieur de l'angle formé par les deux directions de dispersion ; elle est de préférence faiblement inclinée sur
20 l'une des deux directions de dispersion (ou, en variante, sur la bissectrice des deux directions de dispersion).

Dans un masque particulier, chaque tracé transparent est constitué d'une suite de fentes dont chacune est décalée, en largeur, d'une largeur de fente et, en
25 longueur, d'une longueur de fente par rapport à la précédente.

Pour un autre type de masques, les deux directions de dispersion forment un angle faible, et la direction générale des tracés transparents forme un
30 angle important avec les deux directions de dispersion.

Dans un autre cas particulier de masque, les deux directions de dispersion sont parallèles, les deux coefficients de dispersion sont différents, et la direction générale des tracés transparents forme un angle
35 important avec les deux directions de dispersion parallèles.

L'invention prévoit également des masques composites, où le motif transparent est délimité par un contour présentant plusieurs parties disjointes ; la forme de ces parties de contour est choisie telle, compte-tenu des deux dispersions, que même si l'intérieur du contour était tout entier transparent, l'image monochromatique du contour, pour la longueur d'onde de réglage, sur la surface de sortie du second système disperser, ne soit frappée par aucune autre bande de longueurs d'ondes.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, faite en référence aux dessins annexés, donnés pour illustrer à titre non limitatif différents modes de réalisation de l'invention. Sur ces dessins :

- la figure 1 rappelle le schéma de principe d'un spectromètre classique à fente unique ;
- la figure 2 illustre le schéma de principe d'un spectromètre selon l'invention ;
- la figure 3 illustre un premier masque utilisable pour la mise en oeuvre de l'invention, tout en définissant des dispersions qui peuvent lui être associées ;
- les figures 3A à 3E sont une vue partielle du masque de la figure 3, et des diagrammes de fonction de transmission qui permettent d'en mieux comprendre le fonctionnement ;
- les figures 4 à 7 illustrent d'autres motifs de masques selon l'invention, avec les dispersions associées ; et
- les figures 8A et 8B ainsi que 9A et 9B illustrent schématiquement des masques composites utilisables pour la mise en oeuvre de l'invention.

La description détaillée ci-après se place essentiellement dans le cadre de la spectrométrie électromagnétique.

Selon le schéma de la figure 1, un spectromètre à fentes classique comporte un masque d'entrée M1, qui reçoit le faisceau incident F_e . La figure 1 se présente comme une coupe perpendiculaire à la grande dimension de la fente unique du masque M1. Après avoir traversé le

5 masque d'entrée, le faisceau F_o est appliqué à un système disperseur, qui, ici, comprend successivement :

- un collimateur C, transformant le faisceau F_o traversant la fente en un faisceau de rayons parallèles ;
- 10 - un disperseur proprement dit (tel qu'un prisme) P, qui dévie plus ou moins les rayons parallèles dans une direction donnée, et ce proportionnellement à leur longueur d'onde (sur un domaine spectral limité) ;
- un objectif O qui focalise les rayons parallèles sur
- 15 une surface de sortie S, définie par les caractéristiques optiques de l'ensemble du système disperseur.

Sur la surface de sortie S est placé un second masque M2, dont la fente unique est parallèle à celle de M1.

20 La partie du faisceau qui présente une longueur d'onde λ_o (longueur d'onde de réglage) va se trouver focalisée en F_o , donc passer à travers la fente du second masque M2. (Les rayons parallèles correspondants, Fp_o , sont représentés non déviés, pour simplifier, quoiqu'un prisme

25 dévie tous les rayons). Pour une longueur d'onde différente λ_1 , supérieure à λ_o par exemple, le faisceau Fp sera dévié en Fp_1 , puis focalisé en F_1 ; il ne pourra donc traverser la fente de M2. De même, pour une longueur d'onde

30 λ_2 , inférieure à λ_o , les rayons parallèles Fp seront déviés dans l'autre sens en Fp_2 , puis focalisés en F_2 , sans traverser non plus le second masque M2.

Dans un spectromètre, on place derrière le masque M2 un organe photosensible, puis, en agissant sur le disperseur, on fait varier la longueur d'onde de

35 réglage, d'où il résulte l'obtention d'un signal de

sortie relatif à une fraction substantielle du spectre. Pour certaines applications, on préfère remplacer le second masque par une émulsion photographique, qui se trouve alors impressionnée selon une bande longue représentative du spectre d'analyse. L'appareil se nomme alors spectrographe.

Par ailleurs, au lieu d'un prisme, le disperser proprement dit peut être un réseau de facettes semblables, travaillant en général par réflexion plutôt que par transmission.

De plus, en donnant à ce réseau une forme concave appropriée, on sait lui faire jouer aussi les rôles du collimateur et de l'objectif. Le système disperser peut donc se réduire à un seul composant : le réseau de dispersion concave.

La dispersion est définie par sa direction. Au niveau du disperser proprement dit -le prisme ou un réseau disperser plan- elle est liée au rapport entre une variation de longueur d'onde et l'écart angulaire qui en résulte au niveau des rayons parallèles. En pratique, comme les rayons sont focalisés sur la surface de sortie S du système disperser, on préfère généralement définir la dispersion au niveau de la surface de sortie. Le taux de dispersion est alors le taux de décalage de l'image de la fente d'entrée en fonction de la longueur d'onde : par exemple le rapport de la distance F_1F_0 à la différence des longueurs d'ondes associées $\lambda_1 - \lambda_0$. Ce taux de dispersion dépend ainsi non seulement des caractéristiques du disperser proprement dit, mais aussi de la distance focale f de l'objectif (côté aval du disperser). Si l'on note $Da = \frac{di}{d\lambda}$ la dispersion angulaire au niveau du prisme ou du réseau plan, le taux de dispersion au niveau de la surface de sortie (et du second masque) s'écrit $Ds = \frac{ds}{d\lambda} = f \cdot Da$.

Les spectromètres (ou spectrographes) à fentes

uniques donnent de bons résultats. Ils souffrent cependant du fait que l'étendue du faisceau traversant la fente d'entrée est relativement faible : si on augmente la largeur de cette fente, on diminue en contrepartie la résolution.

On a déjà proposé de remplacer la fente unique par un motif de masque plus complexe (brevet français N° 1 430 066). Celui-ci est cependant conçu pour rester assimilable à une fente, et donner un pic important pour la longueur d'onde de réglage, avec une réponse plus faible pour les autres longueurs d'ondes. Dans le domaine infra-rouge, des dispositions spéciales permettent d'écarter la réponse très faible apparaissant en dehors du pic utile. Pour les raisons données plus haut, cela n'est pas avantageux, du point de vue signal sur bruit, pour les rayonnements visibles et ultraviolets.

La présente invention propose une approche différente, réalisant une auto-corrélation pupillaire composée.

La structure générale du spectromètre de l'invention apparaît sur la figure 2. Pour simplifier l'illustration, seul l'axe du faisceau lumineux est représenté. Le faisceau incident F_e arrive sur un premier masque G1. La partie F_o du faisceau qui traverse G1 est appliquée à un premier disperser RC1 (réseau concave, ici). Pour la longueur d'onde de réglage, le faisceau dispersé va retraverser quasi entièrement le second masque G2, situé sur la surface de sortie (au sens défini plus haut) du premier disperser RC1. La direction de dispersion de RC1 est D1.

Ici, le second masque G2 sert aussi de masque d'entrée à un second étage disperser. (Mais on pourrait utiliser un masque séparé pour l'entrée du second disperser, avec un système optique intermédiaire, le cas échéant).

Donc, la lumière traversant le second masque G2

est appliquée à un second disperseur RC2 (de préférence, également un réseau concave), qui la renvoie vers sa surface de sortie, après dispersion dans la direction D2. Pour un spectromètre, on place sur cette surface de
5 sortie un troisième masque G3, qui peut être alors suivi d'un organe photodétecteur, directement ou à travers d'autres dispositifs. Dans certaines applications, où un spectrographe demeurerait préférable, on pourra placer une émulsion photosensible à la place du masque G3 ou
10 en aval.

Sur le dessin, les deux directions de dispersion D1 et D2 sont représentées perpendiculaires. On verra plus loin qu'il peut en être autrement.

L'invention fait usage de motifs de masques qui
15 sont fins et transparents, étendus (de manière à admettre le passage d'un faisceau étendu lui aussi) , mais non assimilables à une fente unique : d'une manière générale, les motifs de masque des figures 3 et suivantes possèdent plusieurs fentes. Ainsi qu'on l'a déjà vu, il va alors
20 exister des longueurs d'ondes, non voisines de la longueur d'onde de réglage, pour lesquelles le faisceau traversera les masques G1 et G2 (figure 2), en passant par des parties optiquement non conjuguées de ceux-ci. En pareil cas, pour une longueur d'onde $\lambda_1 \neq \lambda_0$, le faisceau traversant G1
25 traversera G2, mais en partie seulement ; alors que pour la longueur d'onde λ_0 , le faisceau traversant G1 traversait entièrement G2.

Le demandeur a observé qu'avec deux étages de dispersion (figure 2) le motif des masques et les deux
30 dispersions peuvent être arrangés de sorte que, sur la surface de sortie du second disperseur, l'image monochromatique du premier masque pour la longueur d'onde λ_0 ne soit frappée par aucune portion de faisceau sortant du second masque avec une longueur d'onde non voisine de λ_0 .

35 L'auto-corrélation pupillaire composée ainsi effectuée donne en sortie qu'une impulsion autour de λ_0 .

En plaçant la grille G3 en coïncidence avec cette image monochromatique à λ_0 , on isole donc une bande étroite entourant la longueur d'onde de réglage, en ne laissant passer aucune autre longueur d'onde, et ceci, en bénéficiant de l'étendue de faisceau permise par un masque de surface transparente importante. On peut, en variante, utiliser d'autres étages de dispersion, ou bien de relais optique avant un traitement. L'utilisation normale consiste à terminer l'appareil par un organe photosensible. Ne recevant qu'une petite bande autour de la longueur d'onde de réglage, celui-ci pourra être du type "à bruit de photons". Il en résulte que l'appareil convient particulièrement bien pour la lumière visible et ultraviolette, où seuls les spectromètres à fente unique fonctionnaient bien jusqu'à présent. Par rapport à ceux-ci, l'appareil selon l'invention procure un gain de signal important.

On décrira maintenant plusieurs exemples de combinaisons motif -dispersions qui conviennent pour la mise en oeuvre de l'invention.

La plupart de ces motifs (figures 3 à 7) comprennent plusieurs tracés transparents fins, parallèles, équidistants et de même largeur ; la direction générale commune à ces tracés transparents n'est parallèle à aucune des deux directions de dispersion. Chaque tracé peut être formé de segments ou petites fentes, mises bout à bout (figure 3), ou bien d'une seule grande fente (figures 4 à 7). A cet égard, on observera que le motif de la figure 4 se déduit de celui de la figure 3 en faisant pivoter légèrement les petites fentes sur elles-mêmes pour les aligner.

De leur côté, les directions de dispersion peuvent former un angle important (non nécessairement 90°); elles peuvent aussi former un angle faible, voire même être parallèles. Les deux taux de dispersion D_{sx} et D_{sy} peuvent être égaux ou différents. Ils sont nécessairement

différents lorsque les deux directions de dispersion sont parallèles. De plus, on observera que l'ensemble optique de la figure 2 est réversible : on peut donc toujours intervertir l'ordre des première et seconde
5 dispersions.

Pour des raisons pratiques, on souhaite que les différents masques soient identiques plutôt qu'homothétiques. Cela est toujours possible, même si les taux de dispersion désirés sont différents : ceux-ci dépendant du disperseur et de la distance focale, on peut
10 toujours s'arranger pour que l'objectif (côté aval, voir figure 1) ait même distance focale que le collimateur, en amont. On suppose dans la suite que les trois masques sont identiques. De façon habituelle, ce sont
15 leurs zones transparentes qui sont illustrées en noir sur le dessin.

Sur la figure 3, le motif de masque comporte $n = 9$ tracés transparents parallèles ; chaque tracé, tel T_1 , est constitué d'une suite de fentes dont chacune est décalée en largeur, d'une largeur de fente, et en longueur, d'une longueur de fente par rapport à la précédente. La largeur de fente est notée e et la longueur de fente l . D'un autre point de vue, ces tracés définissent $m = 10$ rangées de fentes équidistantes, rangées
25 progressivement décalées les unes par rapport aux autres. La longueur de l'espace non transparent entre fentes, perpendiculairement à celles-ci, est notée d . Enfin, on note D_{sx} et D_{sy} les taux des dispersions. La relation suivante est à respecter :

$$30 \quad l \cdot D_{sx} \leq d \cdot D_{sy}$$

On note $\Delta\lambda$ un écart par rapport à la longueur d'onde de réglage.

Cette relation exprime que la longueur d'onde déviée de D_{sx} . $\Delta\lambda = d$ à la première dispersion sera déviée de D_{sy} . $\Delta\lambda \geq l$ à la seconde dispersion : après
35

la première dispersion, cette radiation vient juste affleurer la fente suivante de la même rangée ; après la deuxième dispersion, la même radiation est décalée en hauteur d'une longueur de fente. En d'autres termes
5 si l'on prend un $\Delta\lambda$ légèrement plus grand, pour lequel la radiation passe la fente adjacente à la première dispersion, on est sûr qu'elle sera suffisamment déviée à la seconde dispersion pour qu'elle ne puisse traverser le second masque.

10 Par ailleurs, l'homme de l'art comprendra que le motif ne peut être étendu sans limite, et en même temps, dans les directions L_x et L_y . Les problèmes pratiques de distorsion d'image empêchent d'ailleurs de prévoir de grands masques, et ce, en fonction de l'étendue
15 de l'intervalle de longueurs d'ondes sur lesquelles l'appareil doit opérer. Si, par exemple, on s'intéresse à un monochromateur, les questions de distorsion d'image ne limitent plus la taille des masques : on peut d'ailleurs réaliser le masque G_2 sous la forme d'une photo-
20 graphie monochromatique du masque G_1 à travers le premier disperseur, et de même pour le masque G_3 , à travers les deux disperseurs.

La figure 3A est une vue en coupe dans le plan focal du spectromètre de la figure 2, avec les masques
25 de la figure 3, et une première dispersion D_1 dans la direction perpendiculaire aux fentes. Pour simplifier, une seule rangée de fentes est illustrée, et cette rangée comporte 7 fentes au lieu de 9. Sur la figure 3B, on a représenté l'amplitude T_1 en fonction de la longueur
30 d'onde λ du signal de sortie de la grille G_2 (dans le cas de la figure 3A), pour un faisceau d'entrée qui couvrirait à niveau égal toute la bande à analyser.

A la longueur d'onde de réglage λ_0 , l'amplitude est maximale : toute la lumière qui entre par une fente
35 de G_1 sort par la fente homologe de G_2 (G_2 coïncide alors

avec l'image de G1). Pour une longueur d'onde décalée de $\Delta\lambda = \frac{d+e}{Dsx}$, la lumière qui entre par la fente G_{11} sort par la fente G_{21} ; seules 6 fentes sur les 7 de G2 vont donc laisser passer la lumière ; et il en est de même pour $\lambda_0 - \Delta\lambda$. La réponse est donc un "peigne" de pics de transmission formant un triangle équilatéral de part et d'autre de λ_0 (figure 3B).

Or, selon la figure 3, la seconde dispersion va décaler toute la lumière qui traverse indûment G2 de façon qu'elle ne puisse traverser G3. En sortie du masque G3, il ne reste donc plus que le seul pic à la longueur d'onde de réglage λ_0 (figure 3C). (La fonction de transmission du second étage est le petit triangle isocèle).

L'explication ci-dessus, qui concerne une seule rangée, est valable pour l'ensemble des rangées. En prévoyant plusieurs rangées, on augmente l'étendue du faisceau admis à entrer dans l'appareil. Dans certains cas, on aura avantage à limiter le nombre m de rangées, selon la relation :

$$m \leq \frac{d}{e} + 1$$

Le nombre de fentes de chaque rangée peut alors en principe être illimité (sauf à tenir compte des distorsions d'image). Inversement, si m dépasse le seuil donné par la relation ci-dessus, le nombre de fentes de chaque rangée sera limité, en tenant compte de la bande de longueurs d'onde à analyser (sauf dans le cas d'un monochromateur, on décale la longueur d'onde de réglage pour analyser pas à pas une bande donnée).

Comme précédemment indiqué, on peut intervertir les deux dispersions (ou, ce qui revient ici au même, faire pivoter les masques de 90°).

Si la première dispersion D_1 est parallèle à la longueur des fentes, la fonction de transmission en sortie du masque G2 prend l'allure de la figure 3D (le même petit

triangle isocèle que pour la figure 3C). Ensuite la fonction de transmission du second étage (figure 3E) est un peigne semblable à celui de la figure 3B. A nouveau, il ne reste en sortie de la grille G3 que le seul pic à la longueur d'onde de réglage λ_0 . (Pour ce masque, la fonction de transmission des deux étages du spectromètre est égale au produit des deux fonctions de transmission de chacun des étages).

Dans le cas où la première dispersion est parallèle à la longueur des fentes (figure 3D), la lumière ne va pénétrer dans le second étage qu'au voisinage de λ_0 . Cette disposition est actuellement jugée préférable en spectrométrie Raman, application pour laquelle il sera souhaitable d'ajouter un troisième étage spectrométrique, qui pourra être un spectromètre à fente unique de type classique.

La figure 4 illustre un autre motif de masque selon l'invention, proche de celui de la figure 3 : les fentes de chaque tracé tel que T_1 sont alignées, par léger pivotement sur place. Les conditions à respecter s'obtiennent comme précédemment. Si l'on note θ l'angle d'un tracé T_1 sur la verticale, on aura :

$$e : D_{sx} \leq d \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot D_{sy}$$

où D_{sx} et D_{sy} sont toujours les taux des première et seconde dispersions, tandis que e est l'épaisseur du tracé, et d la distance (entre axes) de deux tracés voisins.

Là encore, on peut allonger les tracés, ou augmenter leur nombre, mais on ne peut pas sans limite faire les deux extensions à la fois.

La figure 5 illustre encore un autre motif de masque qui s'applique lorsque les deux directions de dispersion forment un angle important. Comme précédemment la direction des tracés transparents se place à l'intérieur de l'angle formé par les deux directions de dispersion.

Mais, alors que pour les figures 3 et 4, la direction des tracés était faiblement inclinée sur l'une des deux directions de dispersion, sur la figure 5, la direction des tracés est faiblement inclinée sur la bissectrice intérieure (en trait pointillé) de l'angle formé par les deux directions de dispersion. Dans ce cas, la fonction de transmission T de l'ensemble des deux étages spectrométriques n'est plus égale au produit des fonctions de transmission T_1 et T_2 de chacun des étages ($T \neq T_1 \cdot T_2$). Mais l'homme de l'art comprendra que la fonction T peut se ramener à un produit de fonctions assez simples (anticoïncidence des "peignes" de transmission).

Dans ce qui précède, les deux directions de dispersion ne sont pas nécessairement perpendiculaires, sous réserve d'en tenir compte dans le motif de masque : par exemple, dans le cas du masque de la figure 3, au lieu d'être des rectangles, les petites fentes deviendraient des parallélogrammes inclinés selon l'une des directions de dispersion.

D'autres motifs de masque existent avec $T \neq T_1 \cdot T_2$, où cette fonction de transmission d'ensemble T s'exprime néanmoins comme un produit de fonctions :

- sur la figure 6, les deux directions de dispersion sont faiblement inclinées l'une sur l'autre ; la direction des tracés transparents forme un angle important avec elles ; elle s'étend d'ailleurs à l'extérieur de l'angle défini par les deux directions de dispersion.
- sur la figure 7, les deux directions de dispersion sont parallèles, et les tracés transparents forment un angle important avec elles ; dans ce cas, les deux taux de dispersion sont nécessairement différents, et la largeur de bande analysable est limitée d'après le nombre de tracés et les valeurs relatives des deux taux de dispersion.

On notera, sur les figures 6 et 7, que les tracés peuvent être perpendiculaires à l'une (au moins) des directions de dispersion. De plus, pour les motifs des figures 6 et 7, la longueur des tracés peut être grande, mais leur nombre admet une limite. (Dans les cas précédents, on pouvait augmenter au choix ou bien la longueur des tracés, ou bien leur nombre).

En ce qui concerne le motif de masque de la figure 7, les taux de dispersion différents seront de préférence obtenus en agissant sur la distance focale. Dans ce cas, les différents masques reproduiront ce motif à des échelles différentes. On notera que dans certains cas, la disposition de la figure 7 peut se faire avec un passage aller-retour de la lumière dans un même étage.

Jusqu'à présent, on a donné plusieurs motifs de masques, pour lesquels la fonction de transmission d'ensemble peut être reliée aux fonctions de transmission des deux étages d'une manière assez simple. L'homme de l'art pourra bien entendu concevoir d'autres motifs de masque conformes à l'invention, mais pour lesquels cette simplification n'est pas possible.

Par ailleurs, le contour du motif de masque a une influence. Si le faisceau à analyser est homogène, le contour est avantageusement simple, carré ou rectangulaire par exemple. Souvent, le contour est limité par des parallèles à l'une des directions de dispersion, ou bien aux deux. Un contour différent pourra être choisi dans certains cas. Les figures 8 et 9 en donnent deux exemples particuliers, purement illustratifs.

La figure 8A illustre 4 zones transparentes disjointes entourant par l'extérieur un carré de côté a. On notera qu'abstraction faite de leur grande largeur, ces zones forment un motif selon l'invention : par exemple, avec deux dispersions perpendiculaires et de même taux,

la zone 82 ne recouvrira pas la zone 81, puisqu'elle vient en 84 (trait tireté).

La figure 8B illustre comment on peut obtenir un masque "composite" selon l'invention en "remplissant" les zones de la figure 8A par des tracés (ici ceux de la figure 4). Il suffit simplement que les caractéristiques des dispersions requises soient les mêmes pour les grandes zones qui délimitent le contour (zones 80 à 83) et pour les tracés que l'on place dans ces zones.

Les figures 9A et 9B donnent un autre exemple de masque composite, avec deux dispersions à angle très aigu : les 4 zones disjointes 90 à 93 sont remplies par des tracés selon la figure 6, perpendiculaires à l'une des directions de dispersion.

Dans ces cas de masques composites, les tracés peuvent être plus rapprochés qu'avec un masque délimité par un seul contour fermé, à caractéristiques égales.

De plus, les contours sont ici représentés sous forme de lignes brisées, mais des lignes courbes peuvent être envisagées. Pour certaines applications, un contour présentant une symétrie de révolution est souhaitable.

Les motifs de masque étant quasi-impossibles à définir complètement par le texte, les figures 3, 4, 5, 6, 7, 8A, 8B, 9A et 9B annexées sont à considérer comme incorporées à la description, pour servir à la définition de l'invention.

Sur un autre plan, on a déjà évoqué les problèmes de distorsions. Ceux-ci pourront être diminués en appliquant l'invention selon des montages dits "à champ compensé". Il en résultera, en prenant l'exemple de la figure 3, une incurvation légère des petites fentes.

Les motifs de masque utilisés en pratique pourront donc s'écarter légèrement des formes dessinées.

D'un autre côté, au plan technologique, on

préfère actuellement utiliser comme disperseurs des réseaux holographiques.

5 Tout ceci permet d'agrandir le masque, et d'augmenter par là l'étendue de faisceau (à résolution donnée), ou bien au contraire, à taille de masque constante, de prévoir un motif plus fin (augmentant la résolution, à étendue de faisceau donnée).

10 A titre d'exemple, avec le masque de la figure 3, l'invention permet d'obtenir un gain de l'ordre de 50 par rapport au spectromètre à fente unique, pour un balayage -en longueurs d'ondes- de quelques centaines d'Angströms dans le domaine de la lumière visible.

15 Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et s'étend à toute variante conforme à son esprit. On peut notamment appliquer aussi l'invention en spectrométrie de masse.

REVENDICATIONS

1. Appareil de spectrométrie, du type comprenant, sur le trajet d'un faisceau à analyser :
- 5 - un masque d'entrée, ou premier masque,
- un premier dispositif de dispersion du faisceau, ce dispositif présentant une surface de sortie sur laquelle le faisceau dispersé définit des images du masque d'entrée qui se décalent les unes par rapport aux autres proportionnellement à une grandeur-critère pour l'analyse du faisceau,
- 10 - la première dispersion ainsi réalisée étant définie par la direction de décalage des images, et par un coefficient de dispersion représentant le taux du décalage d'image en fonction de la grandeur-critère, et
- 15 - un second masque, homologue du premier, et placé sur la surface de sortie du premier système disperseur, si bien que ce second masque ne laisse passer intégralement le faisceau traversant le premier masque qu'au voisinage d'une valeur déterminée, dite valeur de réglage, de la grandeur-critère,
- 20 caractérisé par le fait que les premier et second masques (G1, G2) possèdent un motif de transparence au faisceau qui est fin et étendu, mais non assimilable à une fente unique, si bien qu'il existe des valeurs de la grandeur critère, non voisines de la valeur de réglage, pour lesquelles le faisceau traverse les deux masques en passant par des portions non homologues de ceux-ci,
- 25 par le fait qu'il est prévu, sur le trajet du faisceau sortant du second masque, un second système disperseur (RC2) produisant sur sa surface de sortie une seconde dispersion, définie elle aussi par sa direction et par un coefficient, et
- 30 par le fait que le motif des masques (G1, G2) et les deux dispersions (RC1, RC2) sont arrangés de sorte que, sur
- 35

la surface de sortie du second disperseur (RC2), l'image du premier masque pour la portion de faisceau présentant la valeur de réglage de la grandeur-critère ne soit frappée par aucune des autres portions qui traversent le second masque (G2) avec des valeurs de la grandeur-critère non voisines de la valeur de réglage.

2. Appareil de spectrométrie selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le faisceau est un faisceau de rayonnement électromagnétique, que la grandeur-critère est la longueur d'onde, que les systèmes disperseurs (RC1, RC2) sont des systèmes optiques, et que le second masque (G2) est le conjugué optique du premier (G1) à travers le premier système optique disperseur (RC1).

3. Appareil selon la revendication 2, caractérisé par le fait qu'il comporte un troisième masque (G3), conjugué optique des deux premiers (G1, G2), et placé sur la surface de sortie du second système optique disperseur (RC2) pour coïncider avec l'image monochromatique du premier masque (G1) à la longueur d'onde de réglage.

4. Appareil selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé par le fait que le motif prédéterminé comprend plusieurs tracés transparents fins, parallèles, équidistants et de même largeur, et que la direction générale commune à ces tracés transparents n'est parallèle à aucune des deux directions de dispersion.

5. Appareil selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les deux directions de dispersion forment entre elles un angle important, et que la direction des tracés transparents se situe à l'intérieur de l'angle formé par les deux directions de dispersion (figures 3 à 5).

6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé par le fait que la direction des tracés transparents est faiblement inclinée sur l'une des deux directions de dispersion (figures 3 et 4).

7. Appareil selon la revendication 6, caracté-
risé par le fait que chaque tracé transparent est cons-
titué d'une suite de fentes dont chacune est décalée, en
largeur, d'une largeur de fente et, en longueur, d'une
longueur de fente par rapport à la précédente (figure 3).

8. Appareil selon la revendication 5, caracté-
risé par le fait que la direction des tracés transparents
est faiblement inclinée sur la bissectrice intérieure de
l'angle formé par les deux directions de dispersion
(figure 5).

9. Appareil selon la revendication 4, carac-
térisé par le fait que les deux directions de dispersion
forment un angle faible, et que la direction générale des
tracés transparents forme un angle important avec les
deux directions de dispersion (figure 6).

10. Appareil selon l'une des revendications 2 à
8, caractérisé par le fait que les deux directions de
dispersion sont perpendiculaires l'une à l'autre (figures
3 à 5).

11. Appareil selon l'une des revendications 2 à
10, caractérisé par le fait que les deux coefficients de
dispersion sont égaux (figures 3 à 6).

12. Appareil selon la revendication 4, caracté-
risé par le fait que les deux directions de dispersion
sont parallèles, que les deux coefficients de dispersion
sont différents, et que la direction générale des tracés
transparents forme un angle important avec les deux direc-
tions de dispersion parallèles (figure 7).

13. Appareil selon l'une des revendications 9 et
12, caractérisé par le fait que la direction générale des
tracés transparents est perpendiculaire à l'une des deux
directions de dispersion (figures 6 et 7).

14. Appareil selon l'une des revendications 2 à
6 et 8 à 13, caractérisé par le fait que chaque tracé
transparent est une grande fente rectiligne (figures 4 à 7).

15. Appareil selon l'une des revendications 2 à 14, caractérisé par le fait que le motif transparent est délimité par des parallèles à l'une des deux directions de dispersion (figures 6 et 7).

5 16. Appareil selon la revendication 15, prise en dépendance de l'une des revendications 2 à 11, caractérisé par le fait que le motif transparent est délimité par des parallèles aux deux directions de dispersion (figures 3 à 5).

10 17. Appareil selon la revendication 16, caractérisé par le fait que le motif transparent est délimité par un contour présentant plusieurs parties disjointes, et par le fait que la forme de ces parties de contour est choisie telle, compte-tenu des deux dispersions, que
15 même si l'intérieur du contour était tout entier transparent, l'image monochromatique du contour, pour la longueur d'onde de réglage, sur la surface de sortie du second système disperseur, ne soit frappée par aucune autre bande de longueurs d'ondes (figures 8A, 8B, 9A, 9B).

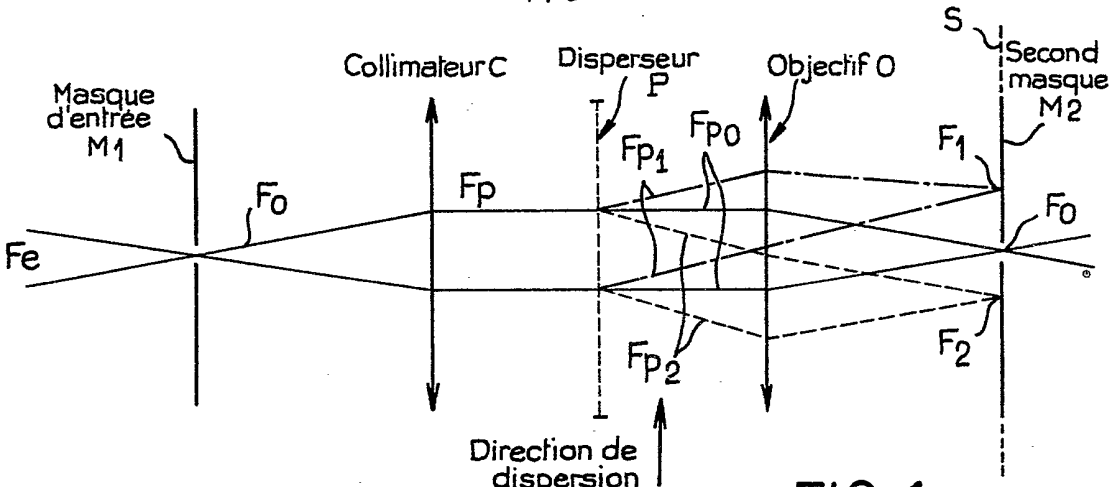


FIG. 1

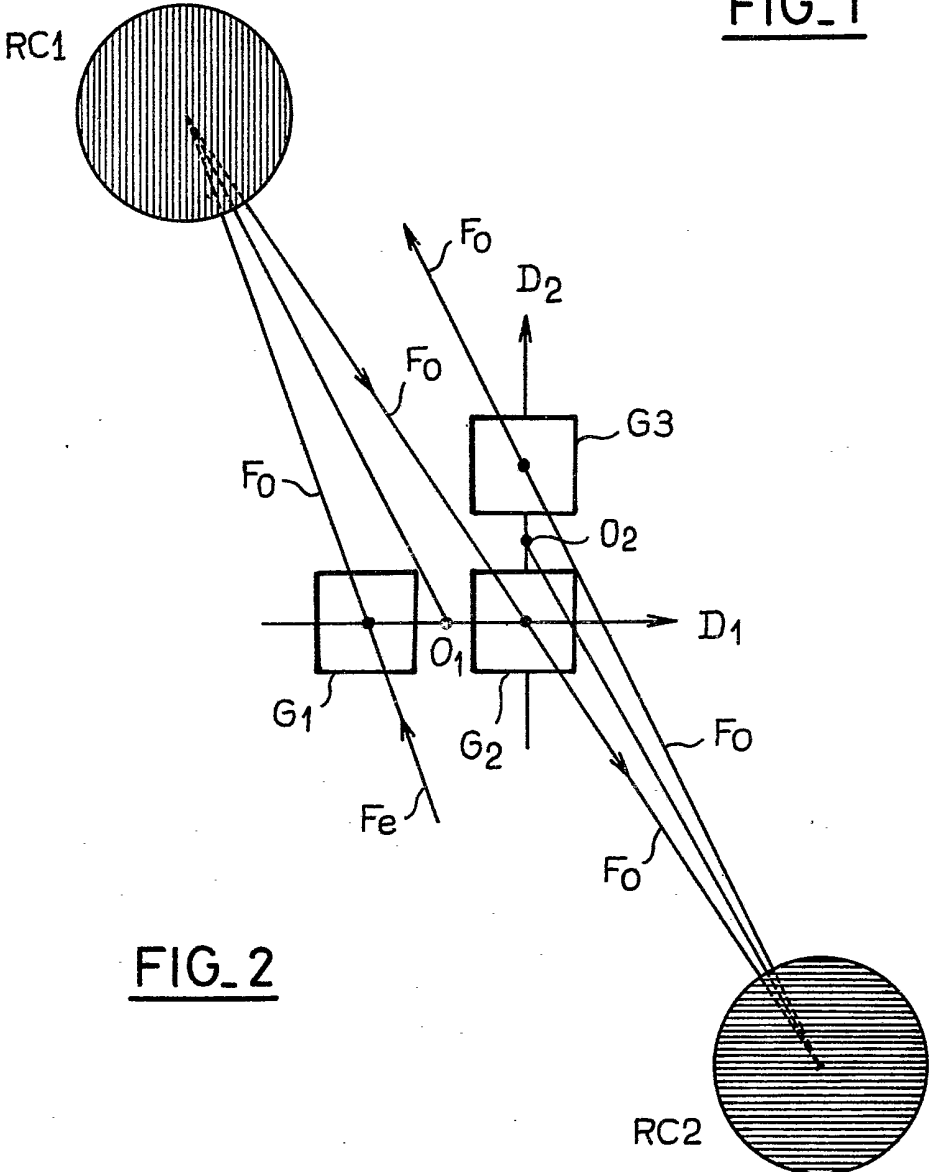
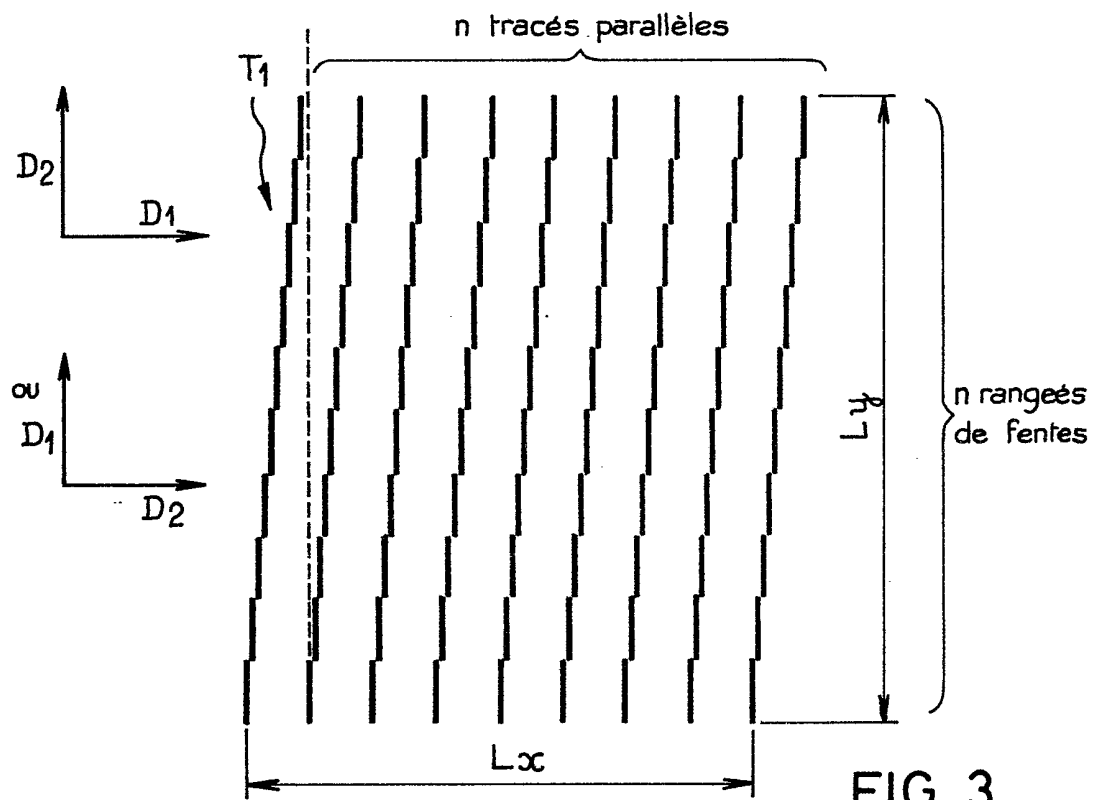
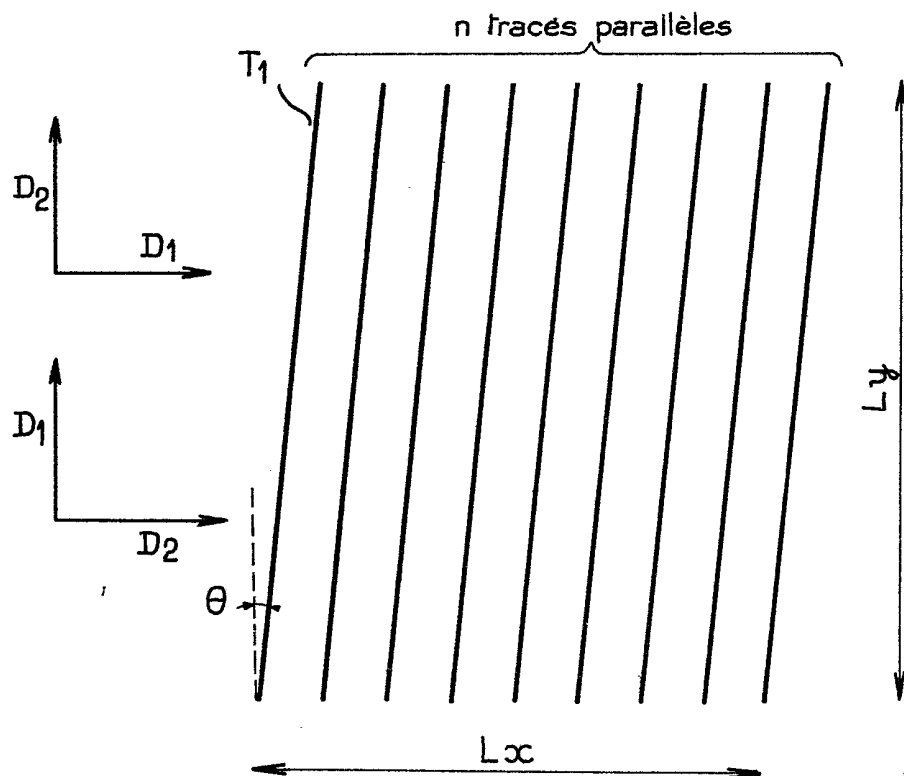
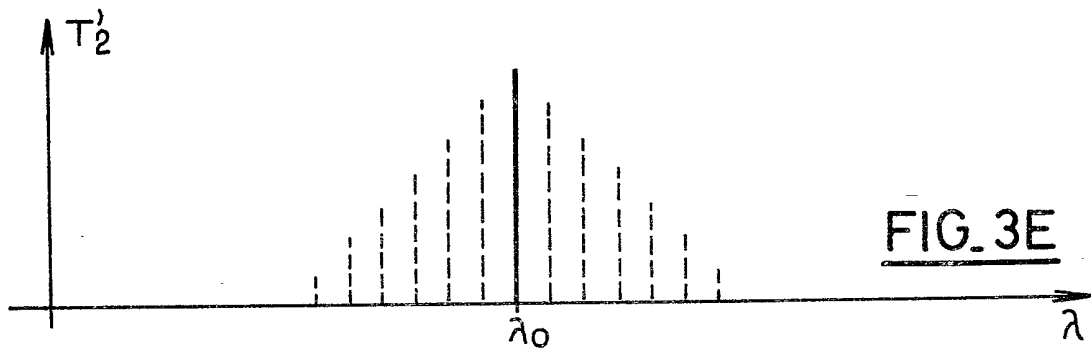
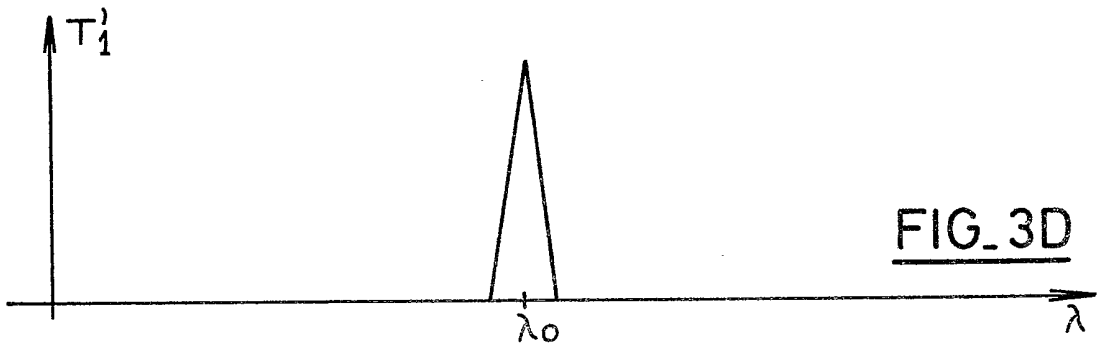
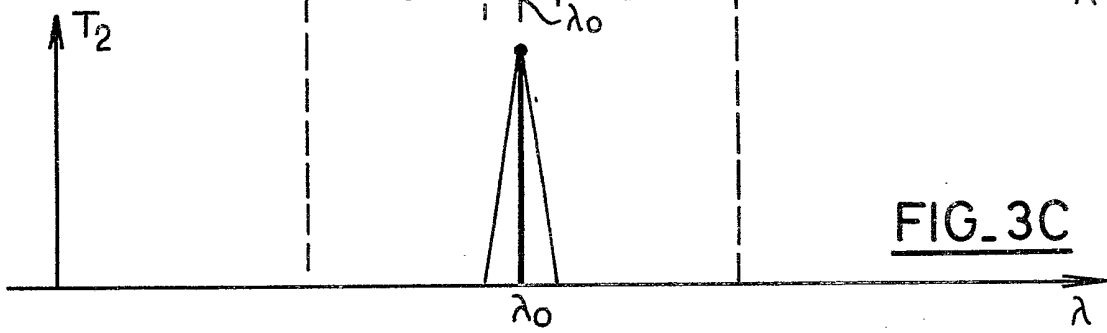
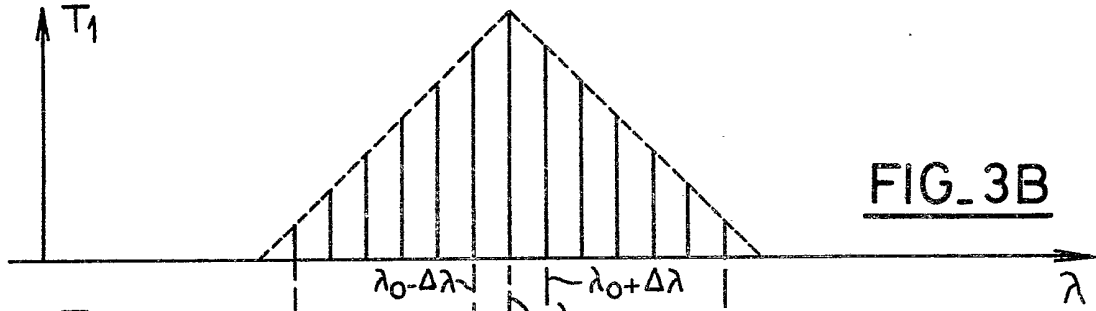
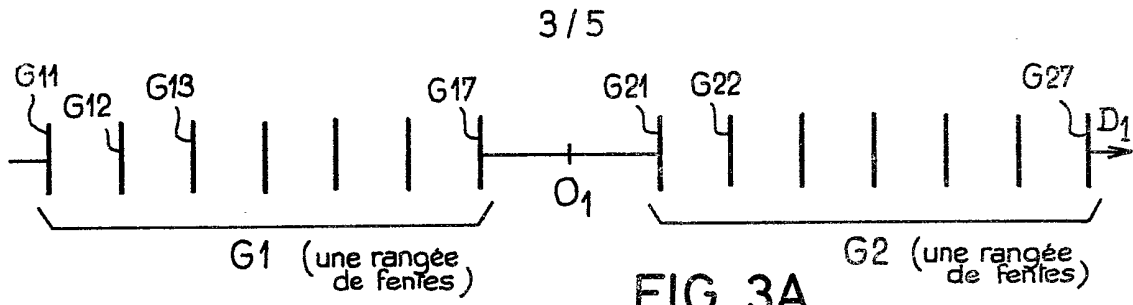
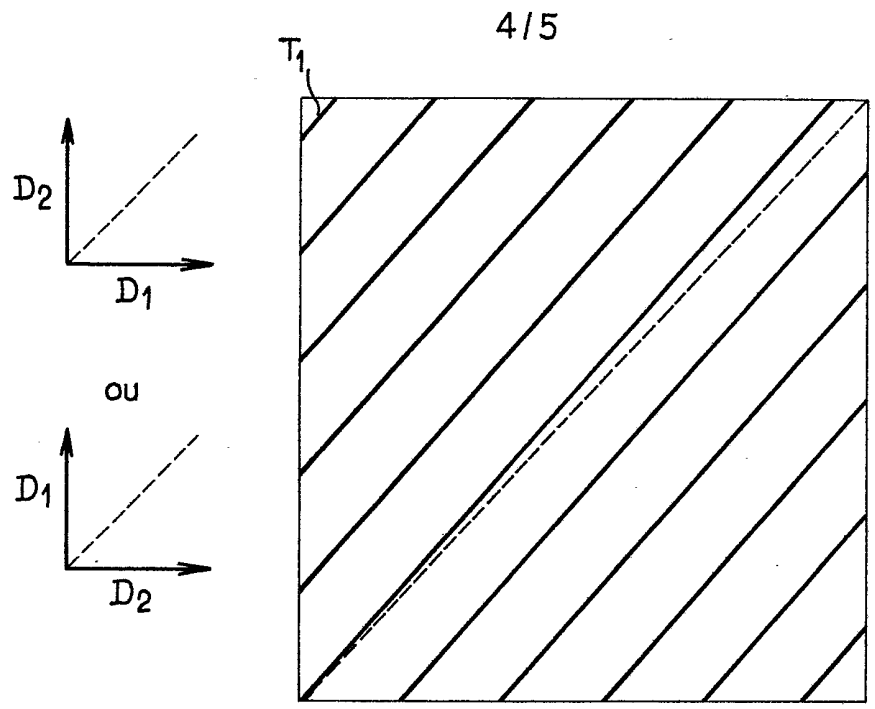


FIG. 2

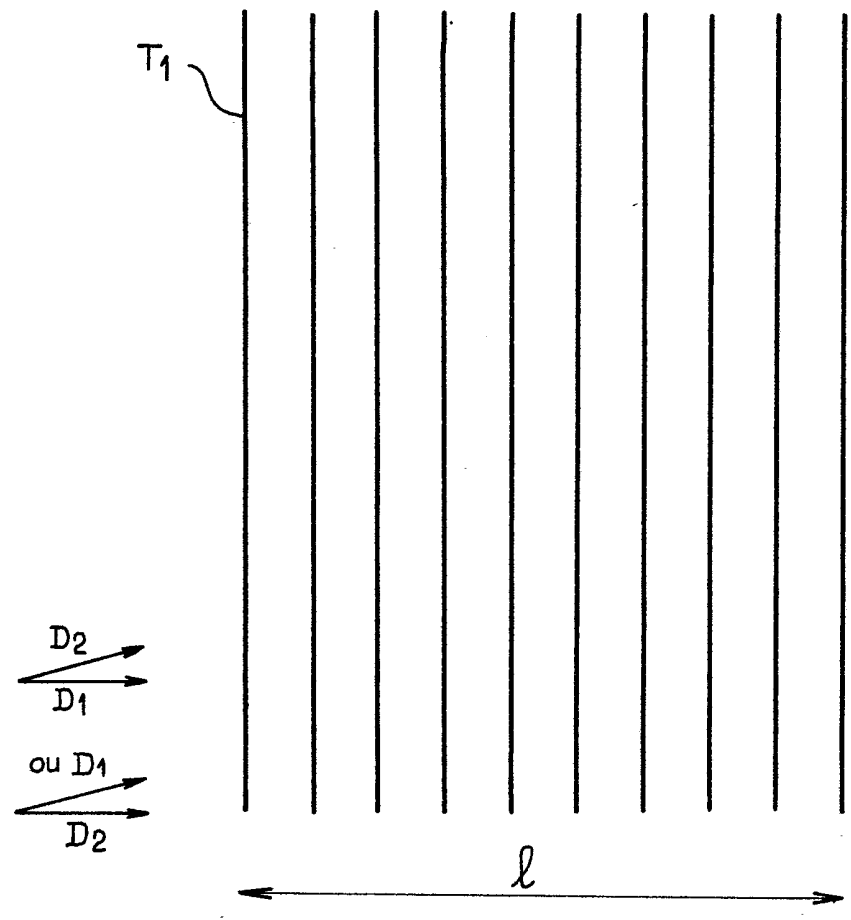
2/5

FIG. 3FIG. 4





FIG_5



FIG_6

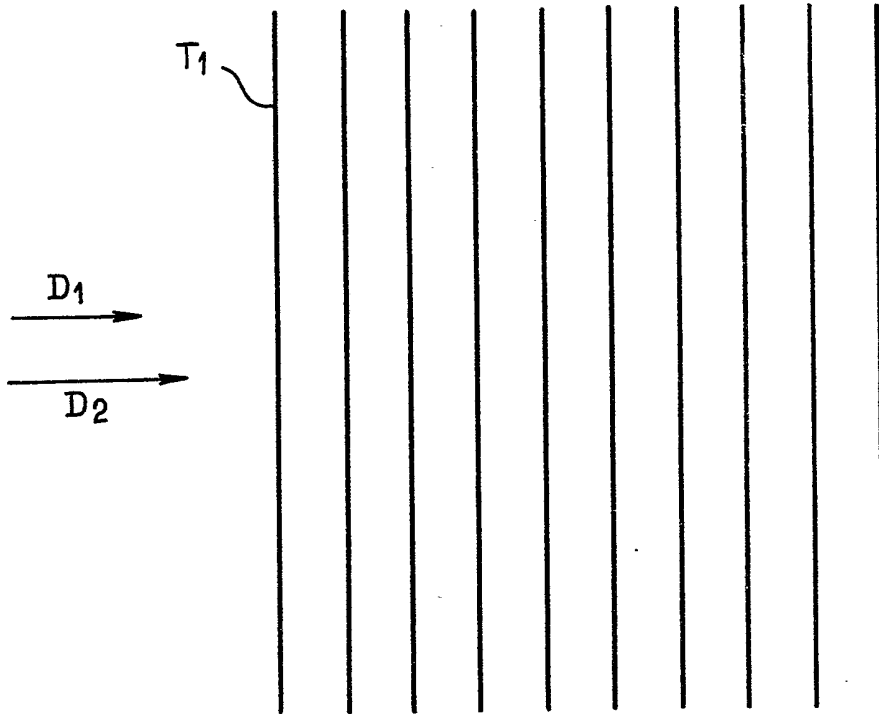


FIG. 7

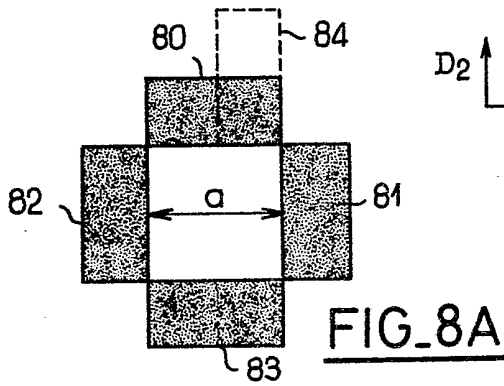


FIG. 8A

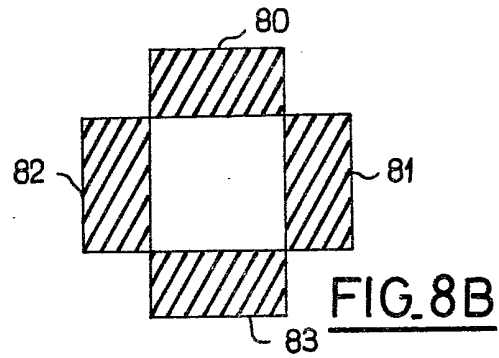


FIG. 8B

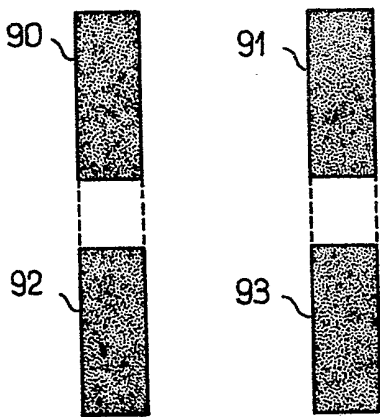


FIG. 9A

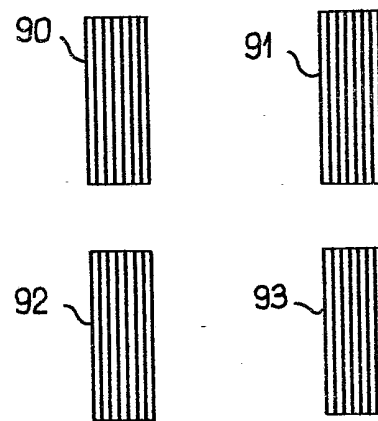
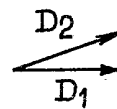


FIG. 9B