

**UN MONOCHROMATEUR BIOLOGIQUE  
A HAUT FLUX DANS LE VISIBLE**

par

Marcel ANDRE, Pierre GUERIN de MONTGAREUIL

**Rapport CEA - R 2756**

**1965**  
Ba

**CENTRE D'ETUDES  
NUCLEAIRES DE CADARACHE**

CEA-R 2756 - ANDRE Marcel, GUERIN de MONTGAREUIL Pierre

UN MONOCHROMATEUR BIOLOGIQUE A HAUT FLUX DANS LE VISIBLE

Sommaire. - L'objectif est de poursuivre en lumière monochromatique des études de photosynthèse avec des éclairagements énergétiques analogues à ceux qu'on utilise en lumière blanche. Les limitations se situent principalement au niveau de la source. Une comparaison effectuée entre différentes solutions possibles conduit à préconiser l'emploi du soleil associé à 4 grands réseaux.

En étape intermédiaire on décrit un monochromateur de moyenne ouverture, avec un arc au xénon de 3 kW et un seul réseau, qui permet d'atteindre les performances suivantes données à titre d'exemple : éclairage énergétique de  $1,3 \text{ mW/cm}^2$  sur une surface de  $50 \text{ cm}^2$  et pour une bande passante à mi-hauteur de  $50 \text{ \AA}$ .

1965

17 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

---

CEA-R 2756 - ANDRE Marcel, GUERIN de MONTGAREUIL Pierre

BIOLOGICAL MONO-CHROMATOR WITH A HIGH FLUX IN THE VISIBLE SPECTRUM

Summary. - The object is to carry out research into photosynthesis using energetic illuminations similar to those employed with white light studies. The limitations are due mainly to the source. A comparison of various possible solutions has led to the choice of the sun used in conjunction with 4 large gratings.

In an intermediate stage, a description is given of a medium-aperture monochromator with a 3 kW xenon arc and a single grating. With this set-up it is possible to obtain the following performance, given as an example ; energy illumination,  $1.3 \text{ mW/cm}^2$  over a surface of  $50 \text{ cm}^2$  and for a bandwidth at half-height of  $50 \text{ \AA}$ .

1965

17p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

Département de Biologie  
Section de Radioagronomie

**UN MONOCHROMATEUR BIOLOGIQUE A HAUT FLUX DANS LE VISIBLE**

par

**Marcel ANDRE, Pierre GUERIN de MONTGAREUIL**

# UN MONOCHROMATEUR BIOLOGIQUE A HAUT FLUX DANS LE VISIBLE

## 1. Enoncé du problème

Maintenant qu'est reconnue la nécessité de décrire l'activité photosynthétique en termes d'une intervention d'au moins deux photons, il est facile d'imaginer le profit que l'on peut tirer d'expériences de type très divers effectuées dans ce domaine en lumière monochromatique. Le flux requis semble devoir répondre aux caractéristiques suivantes :

### - Energie -

Une limite supérieure raisonnable est donnée par l'éclairement énergétique habituellement utilisé en lumière blanche, et assez improprement évalué en termes de lux avec des chiffres variant de 10.000 pour des expériences courantes de photosynthèse à 100.000 fournis par le soleil. Sachant que ce dernier envoie au sol 100 mW/cm<sup>2</sup> dont la moitié dans le visible, on retient en gros l'équivalence 50 mW/cm<sup>2</sup> = 100.000 lux, ce qui situe le besoin énergétique quelque part entre 5 et 50 mW/cm<sup>2</sup>.

### - Bande passante -

Les plus proches maxima d'absorption des divers pigments chlorophylliens, ou des états excités d'un même pigment, sont distants de 150 Å. Une bande passante à mi-hauteur de 50 Å paraît donc un minimum indispensable, suffisant si l'on prévoit la possibilité de réduire cet intervalle dans les zones spectrales de plus grande efficacité.

### - Surface éclairée -

La surface retenue est de 50 cm<sup>2</sup> pour disposer d'une quantité d'échantillon biologique permettant de bonnes déterminations chimiques, électrochimiques ou isotopiques.

Le problème revient donc à réaliser sur une largeur de 50 Å des flux situés dans la gamme 250-2500 mW.

## 2. Choix du mode de dispersion

Les deux solutions possibles, réseau ou filtre interférentiel, ont fait l'objet - respectivement aux Etats-Unis et en Allemagne - de réalisations pratiques qui permettent de dresser un rapide bilan.

### Monochromateur à filtre interférentiel de Tübingen

Cet appareil, construit par MOHR et SCHOSER [1], associé à des filtres interférentiels Schott une lampe à filament de tungstène de 750 W pour le domaine 5.000-8.000 Å et une lampe au xénon haute pression pour le domaine 3.000-5.000 Å.

Les filtres interférentiels transmettent 20% de l'énergie incidente au maximum d'une bande passante large à mi-hauteur de 100 Å environ. Dans ces conditions l'énergie disponible sur une surface de 50 cm<sup>2</sup> (cercle de diamètre 8 cm) est en moyenne de 0,75 mW/cm<sup>2</sup> dans le domaine 3.000-6.000 Å. Ces valeurs seraient à réduire de moitié pour une bande passante de 50 Å, le flux étant alors de 19 mW.

Malgré la nécessité d'un préfiltrage de mauvais rendement, un tel instrument se prête à une augmentation de performances à condition de choisir une source assez puissante et d'accroître la surface des filtres interférentiels.

En contre partie la bande passante est fixée une fois pour toutes, l'exploration continue d'un spectre d'action requiert un grand nombre de filtres et surtout il n'est pas possible de sortir du même appareil simultanément plusieurs longueurs d'onde.

### Spectrographe biologique de l'Argonne National Laboratory (ANL)

Il est caractérisé par l'association d'un arc au charbon superintensif de 14 kW et de deux réseaux accolés (Bausch et Lomb) gravés à 6.000 traits par cm et de 400 cm<sup>2</sup> de surface totale (2 x 20 x 10) [2].

Le montage optique est celui de MONCK [3]; son originalité réside dans l'exploitation du réseau en lumière convergente.

L'énergie reçue dans une fente de 58 cm<sup>2</sup>, avec une bande passante à mi-hauteur de 44 Å varie pour le domaine 3.000-8.000 Å entre 0,1 et 0,5 mW/cm<sup>2</sup> avec une valeur moyenne de 0,15 mW/cm<sup>2</sup>. Pour une cible de 50 cm<sup>2</sup> et un intervalle de 50 Å l'énergie correspondante serait d'environ 0,3 mW/cm<sup>2</sup> et le flux de 15 mW.

Malgré l'avantage d'une source beaucoup plus puissante les performances du spectrographe ANL sont donc voisines de celles du précédent monochromateur. Il est vrai qu'il possède sur ce dernier l'avantage de produire un nombre quelconque de faisceaux monochromatiques et permet de modifier d'une façon continue la longueur d'onde, la surface éclairée et la largeur de bande <sup>1)</sup>.

### Conclusion

Le dispositif retenu sera le réseau, utilisé avec le montage de MONCK (figure 1) qui présente les avantages suivants :

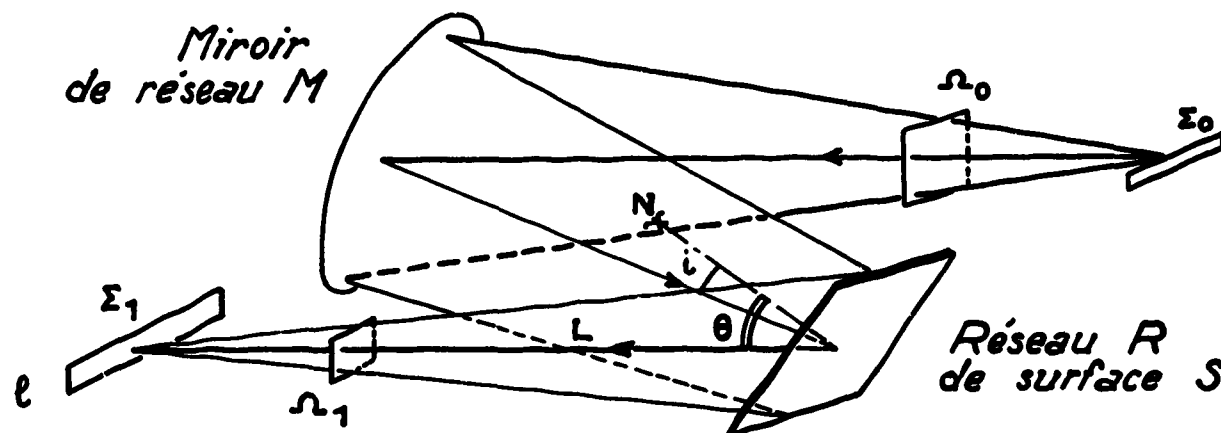
---

<sup>1)</sup> Il convient de signaler une réalisation française récente [4] qui fait appel à quatre réseaux dans un montage de type Littrow et donne en moyenne un flux de 40 mW pour une bande passante de 70 Å, entre 4.000 et 7.500 Å.

- excellent rendement dû à l'existence d'une seule réflexion métallique auxiliaire,
- montage simplifié et coût réduit.
- l'appareil fonctionne indifféremment en monochromateur et en spectrographe sans que, dans ce dernier cas, le spectre soit limité par un deuxième système convergent ou déformé par un passage oblique.

Il reste à étudier les moyens d'accroître l'énergie monochromatique pour passer de la valeur ANL 0,3 mW/cm<sup>2</sup> au domaine 5-50 mW/cm<sup>2</sup>.

Figure 1 -



### 3. Choix des caractéristiques du monochromateur. Etendue.

On rappelle que le flux lumineux transmis s'exprime par le produit de l'étendue du faisceau et de la brillance de l'objet émissif, soit en moyenne pour une longueur d'onde et un intervalle  $\Delta\lambda$

$$\phi_{\lambda} = E \cdot B_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad (1)$$

L'étendue  $E$  [5] qui caractérise la géométrie du faisceau se mesure en tout point par le produit, constant, de la surface de passage et de l'angle solide d'ouverture.

$$E = \sum_0 \Omega_0 = \sum_1 \Omega_1 \quad (2)$$

$\sum_0$  et  $\Omega_0$ ,  $\sum_1$  et  $\Omega_1$  étant la surface et l'ouverture, respectivement pour l'objet et l'image (cf. figure 1).

Comme pour l'étendue, si l'on néglige les pertes de lumière par réflexion ou transmission, le flux et par suite la brillance se conservent tout le long du trajet.

Il convient à présent d'explicitier ces données en fonction des caractéristiques souhaitées pour le monochromateur, l'étendue au niveau de l'image et la brillance au niveau de la source.

La surface  $\sum_1$  étant donnée (50 cm<sup>2</sup>), l'étendue est fonction de l'ouverture  $\Omega_1$ .

Soit, en se reportant aux indications de la figure 1,

$H_1$  et  $l_1$  hauteur et largeur de la fente de sortie ( $\sum_1 = H_1 \cdot l_1$ )

S surface du réseau

n nombre de traits par unité de longueur

- L. distance réseau fente de sortie  
 i angle d'incidence  
 $\theta$  angle de diffraction

Dans la relation

$$\Omega_1 = \frac{S \cos \theta}{L^2} \quad (3)$$

la grandeur L intervient directement sur la largeur de bande passante.

La formule classique du réseau

$$\lambda = \frac{1}{n} (\sin i + \sin \theta) \quad (4)$$

donne en effet par dérivation

$$d\lambda = \frac{1}{n} (\cos i \, di + \cos \theta \, d\theta) \quad (5)$$

Dans le cas particulier où l'image de la fente d'entrée coïncide avec la fente de sortie, la dispersion incidente est égale à la dispersion linéaire soit

$$\Delta\lambda = \frac{1}{n} \cos \theta \frac{l_1}{L} \quad (6)$$

La courbe de répartition énergétique spectrale est lors un pic triangulaire, et  $\Delta\lambda$  représente la bande passante à mi-hauteur. Dans ces conditions

$$L = \frac{1}{n} \cos \theta \frac{l_1}{\Delta\lambda} \quad (7)$$

par suite

$$\Omega_1 = \frac{S n^2}{\cos \theta} \left( \frac{\Delta\lambda}{l_1} \right)^2 \quad (8)$$

et

$$E = \sum_1 \Omega_1 = \frac{S n^2}{\cos \theta} \frac{H_1}{l_1} (\Delta\lambda)^2 \quad (9)$$

En pratique on peut être amené à choisir une forme de pic trapézoïdale et la formule (9) ne rend pas compte de cette situation. Mais elle montre comment interviennent le réseau, par sa surface et surtout le nombre de traits, et la fente, par sa finesse (voir [6]).

On dispose actuellement de grands réseaux de surface utile un peu supérieure à 300 cm<sup>2</sup>, gravés à 12.000 traits par cm. Un seul de ces réseaux offre des possibilités trois fois supérieures à la solution ANL : l'association de 4 exemplaires nous situerait, toutes choses égales par ailleurs, au voisinage du minimum souhaité (12 x 0,3 = 3,6 mW/cm<sup>2</sup>). Même dans ces conditions l'ouverture  $\Omega_1$  demeure assez petite ; la formule (8) donne par exemple, avec 4 réseaux et pour une fente de sortie de largeur 2 cm, la valeur  $1,1 \cdot 10^{-2}$  steradian.

L'ouverture serait quatre fois plus grande avec une fente deux fois plus fine, mais il existe sur ce point une restriction liée au rendement de l'optique de source.

#### 4. Etude de la brillance. Rendement de l'optique de source.

Si l'on veut éviter des aberrations excessives dans le miroir de réseau M, l'ouverture  $\Omega_0$  doit rester petite, comme  $\Omega_1$ . Par suite  $\sum_0$ , surface de la fente d'entrée, est de l'ordre de

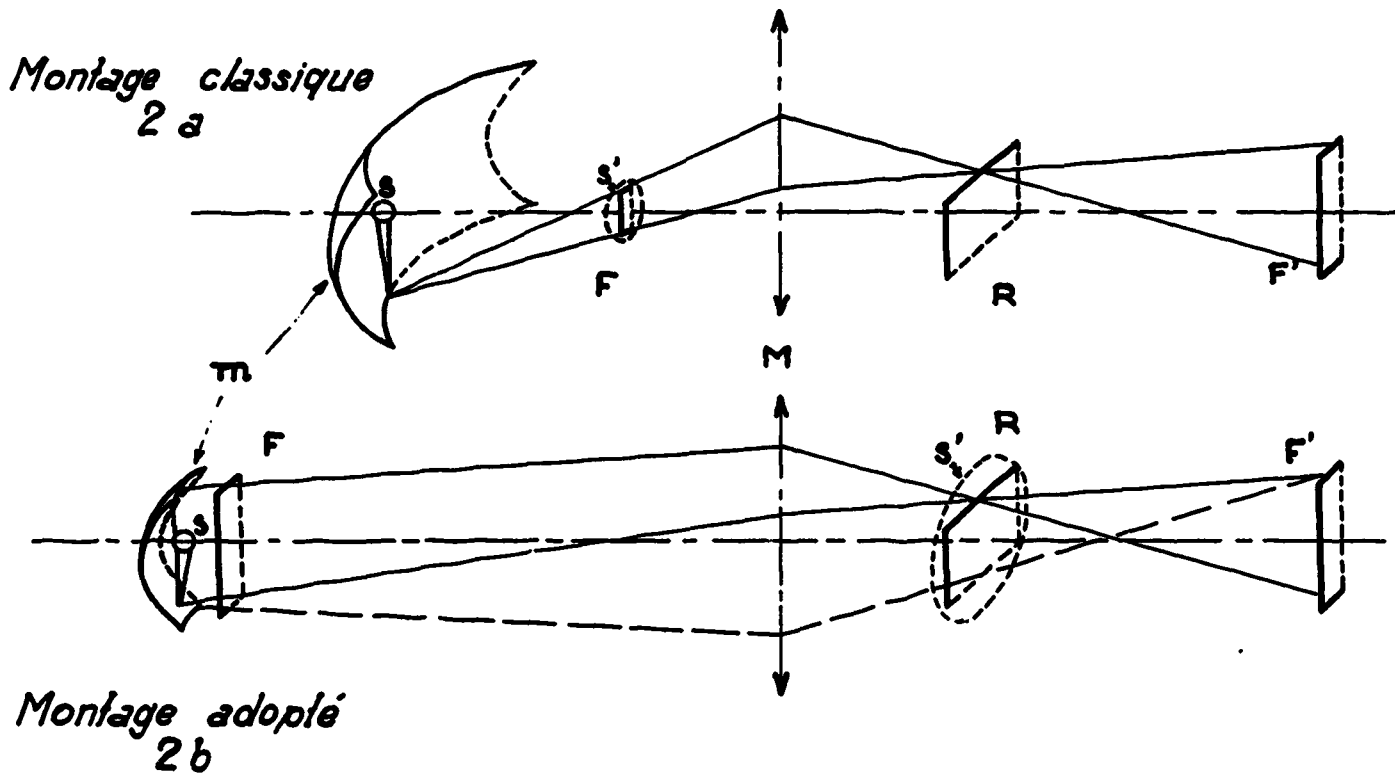


grandeur de  $\Sigma_1$  (50 cm<sup>2</sup>).

Or les sources très brillantes sont du type ponctuel. Pour avoir l'étendue requise il faut utiliser leur rayonnement sous une grande ouverture et interposer, pour éclairer la fente d'entrée, une optique complémentaire qui joue le rôle de transformateur d'ouverture. On choisit un miroir elliptique de préférence à une lentille.

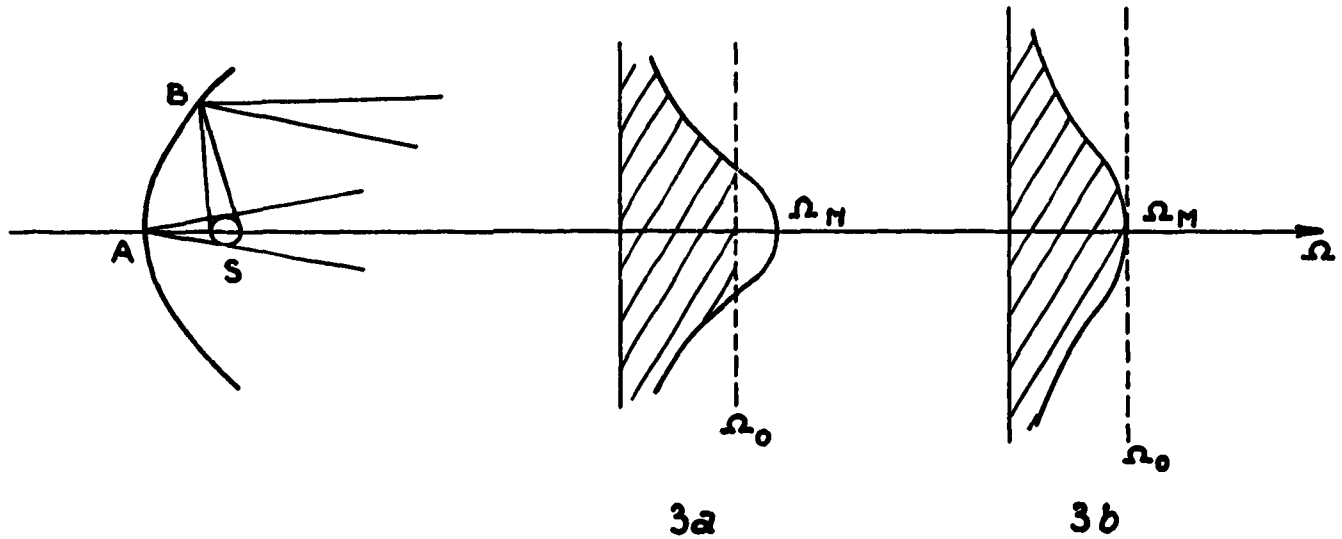
Il existe deux possibilités de montage (figure 2). Dans la solution classique l'image de la source est formée sur la fente d'entrée qui en découpe une tranche utile (figure 2a). Le miroir de source  $m$  a les proportions du réseau. Dans la solution adoptée, du type ANL, où la fente d'entrée est placée contre le miroir, l'image de la source est formée à travers  $m$  et  $M$  sur le réseau. La surface utile du miroir  $m$  a les dimensions de la fente d'entrée (figure 2b). Sur le plan énergétique les deux solutions sont comparables ; la seconde se révèle à notre usage plus pratique.

Figure 2 -



Dans les deux cas le faisceau disponible à la sortie du miroir  $m$  est caractérisé par une répartition très inégale d'ouverture, que l'on a représentée sur la figure 3 pour une source sphérique. L'ouverture décroît ici dans le rapport  $(\frac{BS}{AS})^2$  à partir de la valeur  $\Omega_M$  qu'elle possède au centre.

Figure 3 -



De son côté le système dispersif est caractérisé à l'entrée par l'ouverture fixe  $\Omega_0$  définie à partir de la formule (2). Si  $\Omega_0 < \Omega_M$  (figure 3a), l'excès d'ouverture au centre est perdu et ne compense pas le déficit observé sur les bords. Le flux utile est déterminé par la zone hachurée située à gauche de la droite d'abscisse  $\Omega_0$ . Théoriquement il faudrait déterminer pour chaque type de source l'ouverture numérique du miroir m conduisant à une valeur maximum de l'aire ainsi délimitée. On se contente en pratique d'une bonne adaptation des faisceaux centraux en réalisant  $\Omega_M = \Omega_0$  (figure 3b), solution qui pour de grandes étendues impose déjà de construire des miroirs très profonds.

Ces considérations vont permettre, en se reportant aux indications de la figure 4, de calculer pour un miroir elliptique le rendement de l'optique de source, avec les hypothèses suivantes :

- la fente d'entrée  $H_0 \times l_0$  est fine ( $l_0$  petit devant  $H_0$ ) et placée contre le miroir de source ;
  - la source lumineuse est une sphère de section droite  $s$  qui émet un rayonnement isotrope ;
  - le faisceau central est adapté au système dispersif, c'est-à-dire  $\Omega_0 = \Omega_M = S/r_0^2$ .
- Si, au niveau de la fente d'entrée, l'ouverture des faisceaux élémentaires était constante et égale à celle du faisceau central l'étendue aurait pour valeur

$$E_0 = \Omega_0 H_0 l_0 = \frac{S}{r_0^2} H_0 l_0 \quad (10)$$

En fait l'ouverture varie avec la hauteur  $h$  et l'étendue utile  $E$  sera la somme des étendues élémentaires telles que

$$\begin{aligned} dE &= \Omega l_0 dh \\ \text{avec} \quad \Omega &= S/r^2, \\ h &= r \sin \alpha, \end{aligned}$$



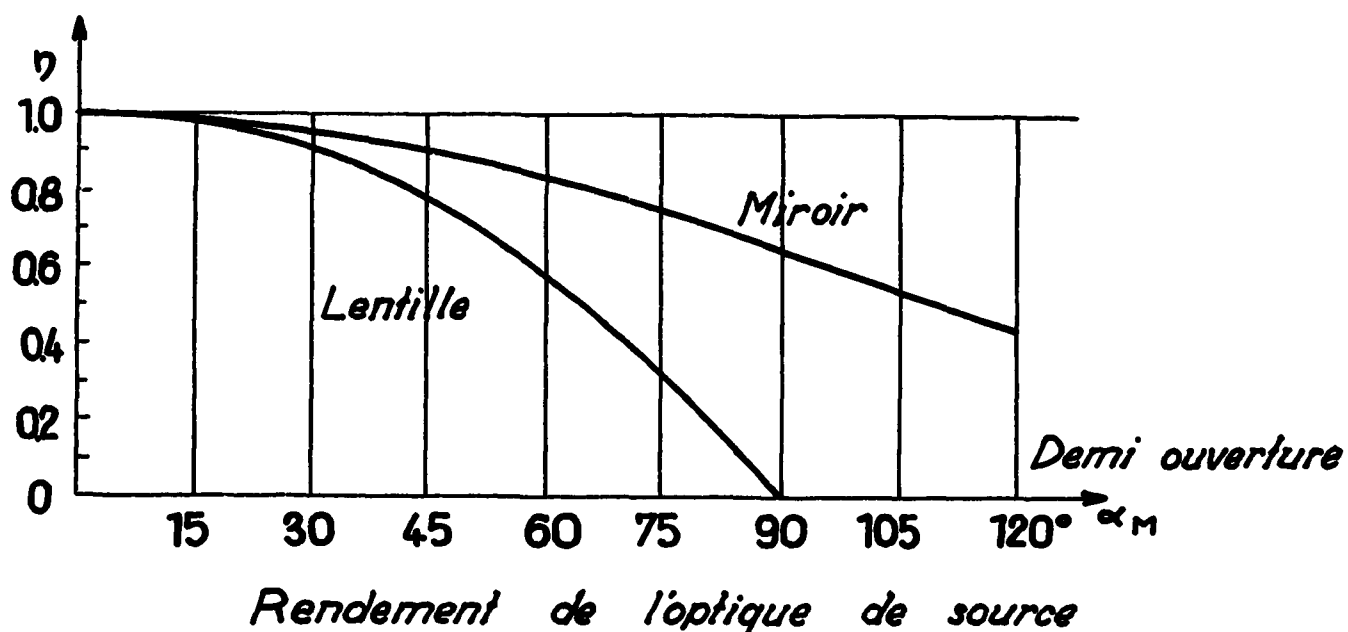
$$\eta = \frac{\alpha_M}{\text{tg } \alpha_M}$$

La supériorité du miroir (solution retenue) sur la lentille (solution ANL) est manifeste.

Tous comptes faits, l'intervention du miroir m se traduit par une réduction de la brillance moyenne de la source dont  $\eta$  représente un bon ordre de grandeur. La formule (1) qui donne le flux monochromatique devient

$$\phi = \eta B_\lambda E \Delta \lambda$$

Figure 5 -



soit, compte tenu de la formule (9)

$$\phi_\lambda = \eta B_\lambda \frac{\text{Sn}^2}{\cos \theta} \frac{H_1}{l_1} (\Delta \lambda)^3 \quad (12)$$

Cette formule, qui néglige les différentes pertes par diffusion ou absorption le long du faisceau, permet néanmoins pour un type d'appareil donné d'effectuer une comparaison entre les différentes sources.

### 5. Performances comparées de différentes sources.

La formule (10) qui relie l'étendue aux paramètres de source peut s'écrire

$$E_o = S \frac{1}{H_o/l_o} \left( \frac{H_o}{r_o} \right)^2$$

$H_o/l_o$ , est la finesse de la fente d'entrée, égale à celle de la fente de sortie  $H_1/l_1$ ,

$H_0 / r_0$ , rapport du diamètre à la focale du miroir de source, détermine l'angle de demi-ouverture maximum  $\alpha_M$  suivant la formule

$$\frac{H_0}{r_0} = \frac{2 \sin \alpha_M}{1 + e \cos \alpha_M}$$

En définitive, pour une étendue donnée  $E_0$  et une finesse choisie  $H_1 / l_1$ , à chaque surface de source correspond un angle  $\alpha_M$  et par suite un rendement  $\eta$ .

La finesse, qui par la formule (9) contribuait à une augmentation d'étendue, intervient ici par une baisse de rendement : il faut donc rechercher un optimum. De même pour chaque source un compromis est à trouver entre la grandeur de la surface utile et la brillance moyenne. Les courbes de brillance sont établies le plus souvent en stilbs, mais à défaut de données énergétiques ces valeurs permettent d'établir, dans le visible, une échelle de comparaison.

Le calcul a été fait pour un certain nombre de cas typiques : les résultats se trouvent classés sur le tableau I par ordre d'énergie croissante à partir des performances du spectrographe ANL (ligne 1). Dans les autres exemples le flux est calculé pour une cible de 50 cm<sup>2</sup>, une bande passante à mi-hauteur de 50 Å, avec un jeu de grands réseaux allant de 1 à 4 et une distance réseau fente de 480 cm. Dans ces conditions l'étendue  $E_0$  varie de 0,075 à 0,3 cm<sup>2</sup>. stéradian. La finesse de fente a été choisie égale à 25/2 sauf lorsque cela conduisait à une ouverture excessive du miroir de source (lignes 3 et 4).

Les lignes 2-3-4 se rapportent aux performances d'une lampe à arc court dans le xénon de 3 kW, associée respectivement à 1, 2 et 4 réseaux. On voit que pour conserver au rendement  $\eta$  une valeur acceptable (0,55) il faut diminuer la finesse de fente et par suite l'étendue. Il n'y a pas intérêt dans le cas d'une source de petites dimensions à trop accroître le nombre de réseaux.

La ligne 5 représente le cas d'une source allongée (lampe à décharge de 50 kW) pour laquelle les 4 réseaux ont été disposés en ligne (la surface utile de source a les proportions du réseau).

Les lignes 6, 7 et 8 donnent les résultats relatifs à l'association de 4 réseaux en carré avec trois types de source : arc au charbon de 14 mm, arc au xénon de 8 mm, arc superintensif Genarco. Les valeurs obtenues confirment l'importance de la notion de rendement dès qu'il s'agit de créer un flux élevé sous une faible ouverture angulaire.

Le soleil, dont les performances sont reportées sur la ligne 9 se trouve être une source à la fois très grosse et très brillante, directement utilisable sous une ouverture angulaire faible. Il suffit d'adapter la fente d'entrée de façon à satisfaire à la relation  $\Omega_0 = E_0 / \Sigma_0 \leq 0,67 \cdot 10^{-4}$  stéradian, ouverture sous laquelle on voit de la terre le soleil. L'image du soleil est formée sur le réseau par l'intermédiaire du miroir M et d'un orienteur légèrement concave qui jouera le rôle de fente d'entrée.

# TABLEAU COMPARATIF DES DIFFERENTES SOLUTIONS

**TABLEAU I -**

Etendue		Brillance de source				Miroir de source			Energie	
nombre de réseaux	E cm <sup>2</sup> . stérad	Source	P kW	Surface utile mm      mm <sup>2</sup>	Brillance moyenne Stilb	H/ <sub>r<sub>o</sub></sub>	α <sub>m</sub>	η	Brillance moy. utile Stilb	Flux E x Bu
2 réseaux ANL Conditions ANL	0,014	Arc charbon super intensif	14	9,5 x 3,5 / 12,2	90.000	1,24	32°	0,87	72.000	1.000
1 réseau fente 2 x 25 cm	0,075	Arc Xénon 4 mm (Osram)	3	1,5 x 2 / 3	72.000	5	102°	0,55	40.000	3.000
2 réseaux fente 2,38 x 21	0,0106	"	3	1,5 x 2 / 3	72.000	5	102°	0,55	40.000	4.250
4 réseaux fente 2,82 x 17,7	0,15	"	3	1,5 x 2 / 3	72.000	5	102°	0,55	40.000	6.000
4 réseaux en ligne fente 2 x 25	0,3	Lampe Decharge (Verrerie Scien- tifique)	50	15 x 45 / 675	28.000	0,74	21°	0,93	26.000	7.800
4 réseaux en carré fente 2 x 25	0,3	Arc charbon 14 mm (Bréguet)	14	5,87 x 8,1 / 47,5	75.000	2,81	69°	0,77	58.000	17.400
"	0,3	Arc Xénon 8 mm (Durotest)	10	3,3 x 4,56 / 15	155.000	5	102°	0,55	84.000	26.500
"	0,3	Arc Super inten- (Genarco-Vantac)	16	7,25 x 10 / 72,5	110.000	2,4	58°	0,84	92.500	27.800
"	0,3	Soleil	3	250 x 3200	160.000	0,017	# 1°	1	160.000	48.000

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9

La solution solaire, qui présente le plus d'intérêt en raison d'une brillance élevée et d'un coefficient d'utilisation maximum, est en cours de montage et sera décrite prochainement. On va maintenant donner les éléments d'une solution d'attente, mentionnée sur la ligne 2 du tableau I. Fournissant déjà un flux monochromatique appréciable, elle permet de démarrer l'expérimentation biologique.

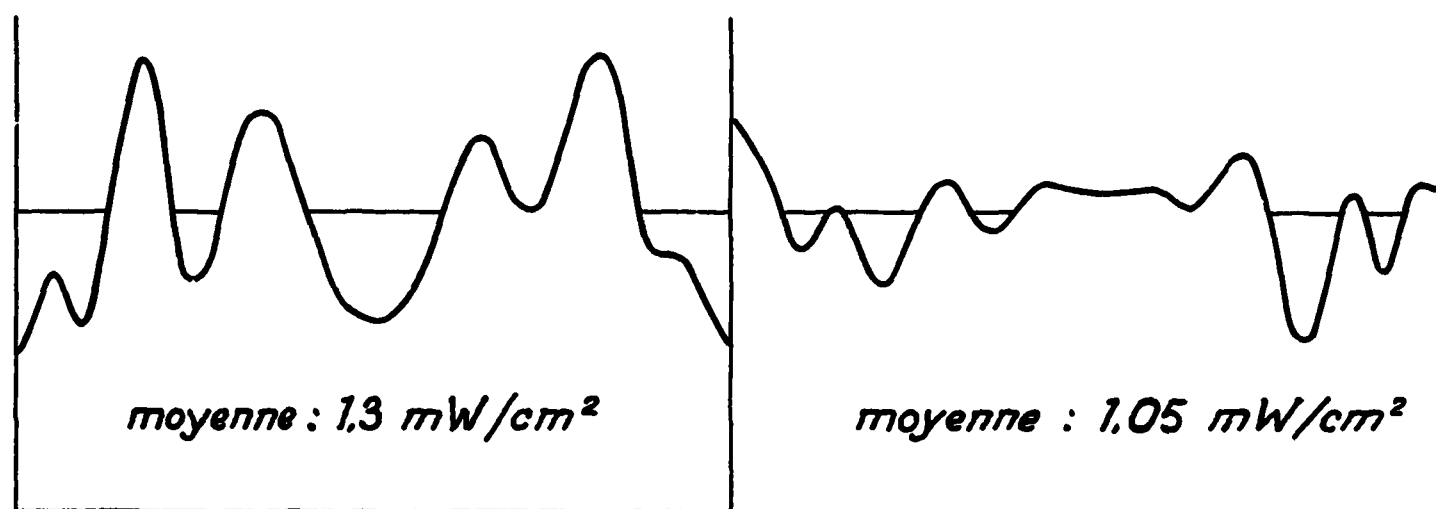
#### 6. Monochromateur à un réseau avec source artificielle

##### - Source -

La lampe à arc court dans le xénon de 3 kW Osram a été retenue pour sa commodité d'emploi et son coût relativement bas eu égard à sa grande brillance. Son association avec un seul réseau conduit déjà pour le miroir de source à une demi-ouverture de  $102^\circ$ .

La réalisation précise d'un tel miroir est malaisée et les imperfections de fabrication entraînent des irrégularités dans la répartition d'énergie le long de la fente. Elles pourraient être réduites par réglage de la focalisation de l'arc au prix d'une perte d'énergie moyenne (figure 6).

Figure 6 -



*Répartition d'énergie le long de la fente*

##### - Optique dispersive -

Elle utilise un réseau Bausch et Lomb de  $15,4 \times 20,6$  cm gravé à  $12.000 \text{ tr/cm}$ . Il est taillé pour avoir dans le premier ordre un rendement maximum autour de  $L 5.000 \text{ \AA}$ . Avec une longueur  $L$  de 480 cm, la dispersion linéaire est de  $16,6 \text{ \AA/cm}$ . Le grandissement étant de 1 une fente de sortie de  $2 \times 25$  cm donne, avec une fente d'entrée de  $3 \times 25$  cm, une bande passante d'allure trapézoïdale de  $50 \text{ \AA}$  à mi-hauteur.

Le montage de Monck est utilisé dans la condition  $\theta = i$  (figure 7). Les fentes sont situées dans le plan horizontal qui contient entièrement le faisceau replié. L'une se situe par rapport à l'autre en position de focale radiale, et l'astigmatisme du miroir  $M$  utilisé hors de son axe se

trouve compensé sans courbure des fentes. Par ailleurs le spectre n'est pas dans un plan normal au réseau. Il en résulte un astigmatisme qui peut être partiellement compensé en inclinant légèrement la fente d'entrée par rapport à l'horizontale. Enfin on peut facilement envisager avec les mêmes éléments optiques, de modifier la focale L pour réduire par exemple les exigences de bande passante au profit de l'énergie, à surface de réception constante.

L'utilisation du monochromateur est aisée, l'ensemble porte-réseau permettant de faire varier électriquement et d'afficher sur un compteur  $\lambda = 1/n \cdot (\sin \theta + \sin i) = 2/n \cdot \sin \theta$  directement en angströms. Un dispositif analogue définit à l'aide d'une lunette l'axe de diffraction de toute autre longueur d'onde  $\lambda'$  du spectre  $\lambda' = 1/n \cdot (\sin i + \sin \theta')$ . Il est alors possible à l'appareil de fonctionner en spectrographe ou en bichromateur. Dans ce cas un miroir plan A replie le spectre sur lui-même pour faire converger deux longueurs d'onde  $\lambda$  et  $\lambda'$  en un seul point d'expérimentation ou pour irradier verticalement des échantillons sur une table.

- Performances -

Entre 3.000 et 8.000 Å, sur une surface de 50 cm<sup>2</sup> et pour 50 Å de bande passante à mi-hauteur, l'éclairement énergétique moyen est de 1,3 mW/cm<sup>2</sup> (voir courbe figure 8).

Les mesures énergétiques sont effectuées à la thermopile étalon Moll et Burger (Kipp). A partir de 6.000 Å le deuxième ordre est éliminé par un filtre Wratten 2 A sur la (ou les) fentes de sortie. Lors de l'emploi en spectrographe ce filtre peut remplacer la pellicule de cellophane qui protège le réseau.

La bande passante et la pureté spectrale ont été vérifiées au spectrophotomètre enregistreur Bausch et Lomb. Des enregistrements typiques sont donnés sur les figures 9 et 10. Pour 50 Å, compte tenu de la bande passante propre de l'appareil de mesure (5 Å) l'astigmatisme et les aberrations se traduisent par un élargissement d'environ 18 Å du pied de la pureté spectrale par rapport au créneau théorique. L'effet sur la bande passante moyenne est assez faible puisque 80% de l'énergie se trouve dans la bande 50 Å (figure 10a) contre 83,5% prévu par le choix des fentes. Il pourrait d'ailleurs être corrigé à 1% près en inclinant de 8% la fente d'entrée (figure 10b).



# Vue schématique de l'appareil

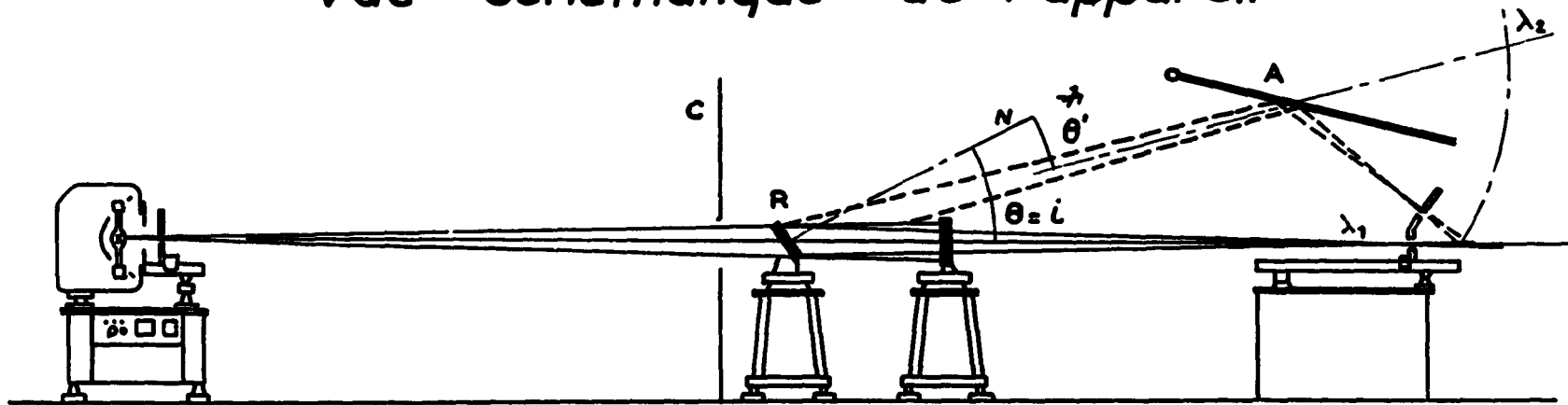
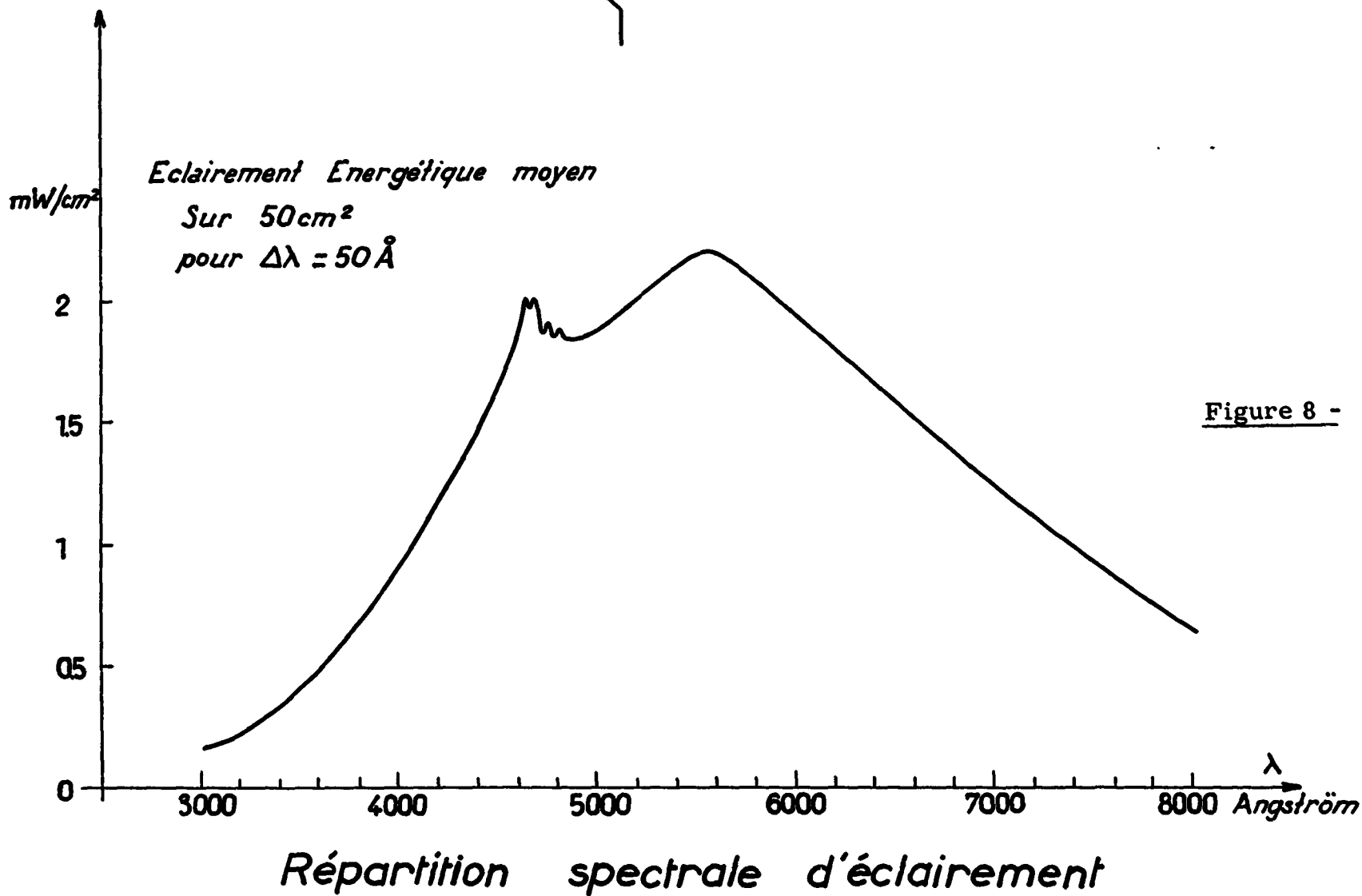
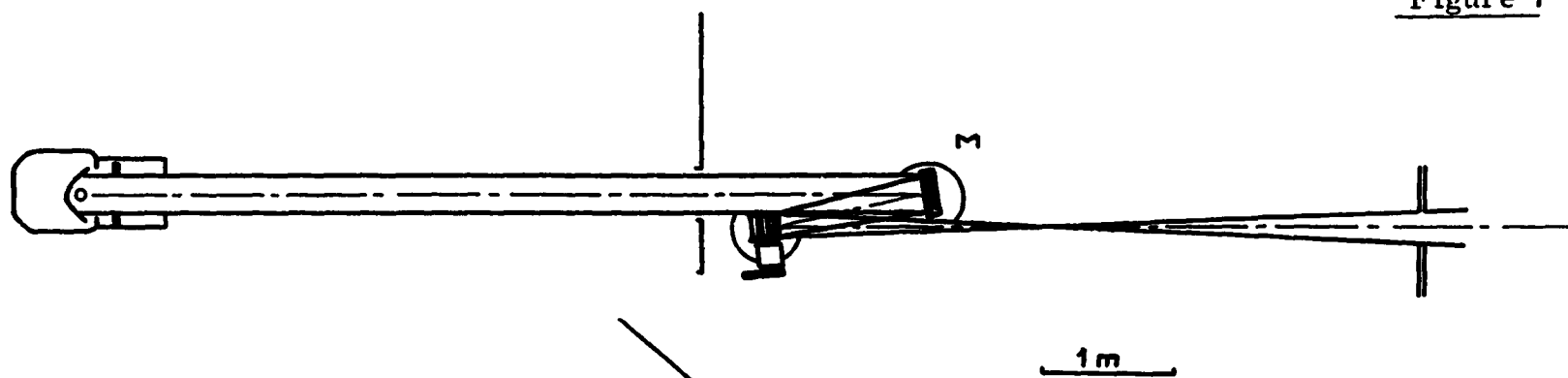
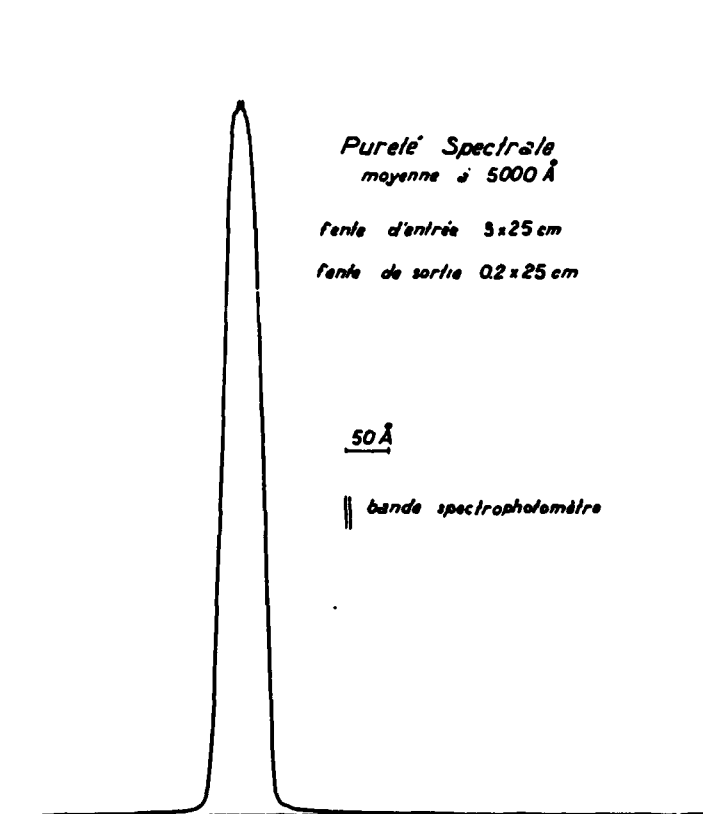
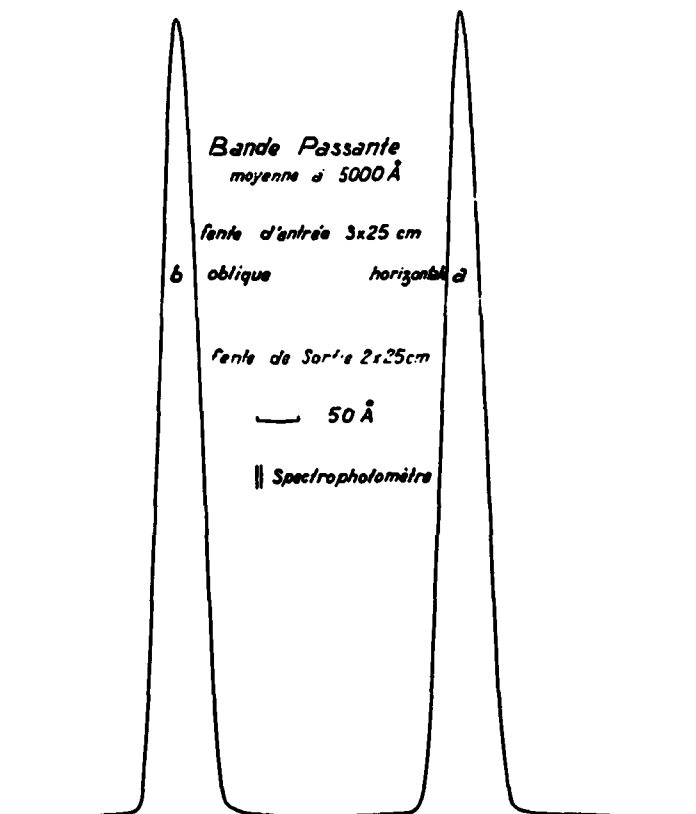


Figure 7 -





- Figure 9 -



- Figure 10 -

Sans autre précaution que l'écran C entre source et expérience, le fond est rapidement inférieur à  $10^{-3}$  du pic. Ceci étant très satisfaisant pour nos expériences il n'a pas été évalué plus exactement, mais par sa conception, l'appareil doit pouvoir satisfaire des exigences beaucoup plus sévères moyennant par exemple le noircissement des murs.

La surface éclairée peut évidemment varier avec les largeurs de fente choisies. L'éclairage et la bande passante suivent ces variations pour donner les possibilités suivantes :

Surface de la fente de sortie cm <sup>2</sup>	$\Delta$ mi-hauteur à 5.000 Å Å	Eclairage moyennes entre 3.000 et 8.000 Å mW/cm <sup>2</sup>	Flux 0 et 8.000 Å mW
50	50	1,3	65
100	100	2,5	250
200	200	4	800

Pour l'éclairage de surface plus petites, à bande passante constante, on peut concentrer le faisceau monochromatique en disposant après la fente de sortie une lentille de Fresnel ou une réplique du miroir de source.

- BIBLIOGRAPHIE -

- [1] MOHR H. et SCHOSER G.  
Eine mit Xenonbögen ausgerüstete Interferenzfilter Monochromatoranlage  
für kurzwellige sichtbare und langwellige ultraviolette Strahlung - *Planta* 55,  
143-152 (1960)
- [2] MONK G.S. et EHRET Ch.F.  
Design and Performance of a Biological Spectrograph.  
*Radiation Research* 5, 88-106 (1956).
- [3] MONK G.S.  
A mounting for the plane grating.  
*J. Opt. Soc. Amer.* 17, 358-364 (1928).
- [4] JACQUES R. , CHABBAL R. , CHOUARD P. et JACQUINOT P.  
Mise au point d'un illuminateur spectral à usage biologique ,  
*C.R. Acad. Sc. Paris* , t.259 (24 août 1964) Gr 13.
- [5] BRUHAT G.  
*Optique* , p. 17, Masson éd. (1954).
- [6] FASTIE W.G.  
Image forming properties of the Ebert monochromator -  
*J. Opt. Soc. Am.* 42, 647 (1952).

*Manuscrit reçu le 21 janvier 1965*

**FIN**