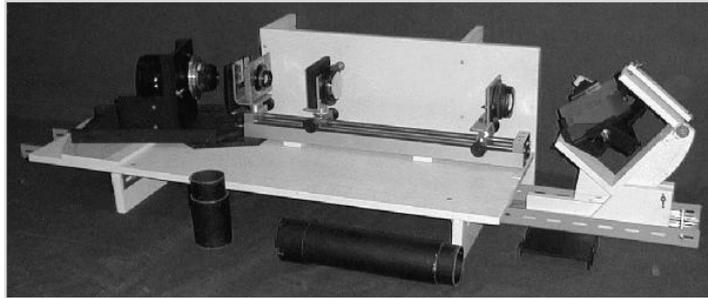
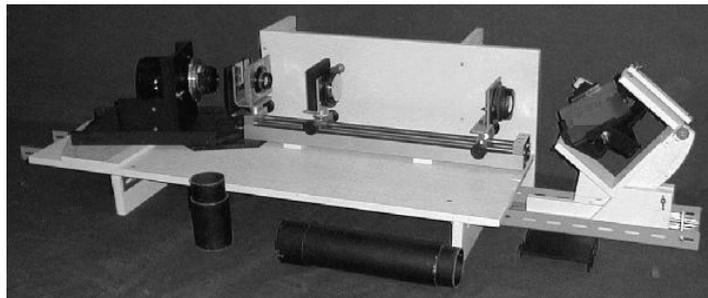


Observatoire de Lyon
Formation continue

SPECTRE DU SOLEIL par imagerie numérique



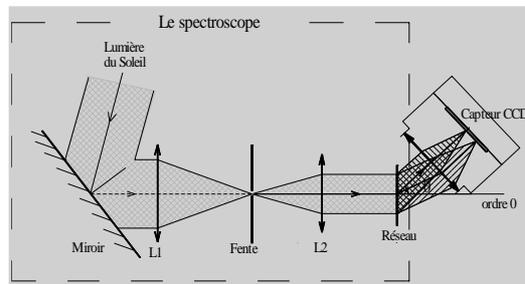
SPECTRE DU SOLEIL par imagerie numérique



- une étude du montage optique
- un aperçu sur le capteur C.C.D.
- le champ de prise de vue

Description de l'appareillage A - LE SPECTROSCOPE

Montage.



Dispersion de la lumière du Soleil : *réseau de diffraction par transmission*

En fonction normale, reçoit des rayons lumineux parallèles entre eux.

Réalisation d'un montage optique, en avant du réseau de diffraction.

2004/04/27

Observatoire de Lyon

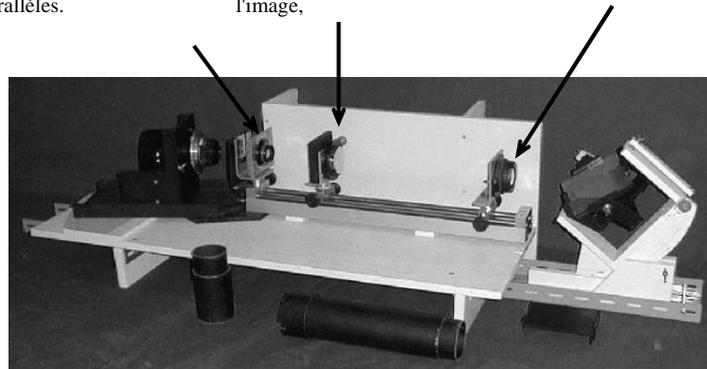
3

Réalisation d'un montage optique, en avant du réseau de diffraction.

– d'une lentille collimatrice L_2 dont le foyer est sur la fente F pour donner, à la sortie, un faisceau de rayons parallèles.

– d'une fente F, située dans le plan focal de la lentille L_1 , qui isole une fine bande verticale de l'image,

– d'une lentille collectrice L_1 formant une image du Soleil dans son plan focal



L'ensemble réseau-montage optique constitue un *spectroscope*.

L'ensemble réseau-montage optique + Caméra CCD constitue un *spectrographe*.

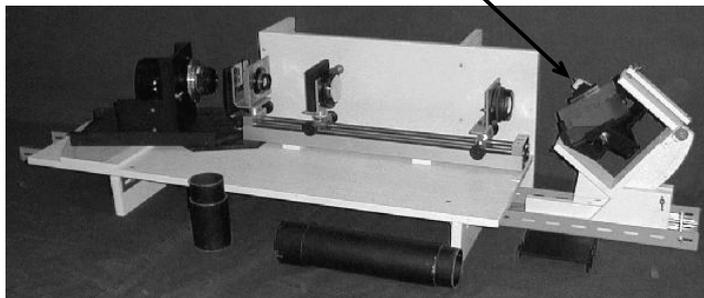
2004/04/27

Observatoire de Lyon

4

La direction du Soleil varie constamment (rotation diurne de la Terre).

Pour pallier cet inconvénient, un *miroir pivotant*, placé face au Soleil et en avant de la lentille L_1 , redirige les rayons lumineux suivant l'axe optique de l'appareil.



Le spectroscopie peut alors être fixé sur une table horizontale, pour une bonne stabilité de l'ensemble.

Le système de miroir monté sur son support pivotant est appelé la monture *sidérostat*.

2004/04/27

Observatoire de Lyon

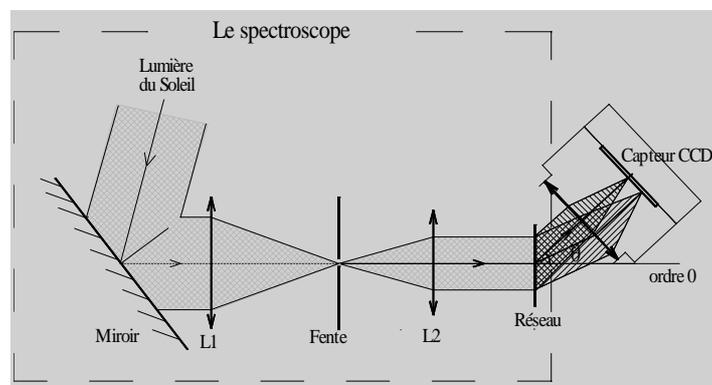
5

2) Caractéristiques des éléments.

Lentille collectrice L_1 : distance focale $f_1 = 35$ cm, diamètre $d_1 = 5,5$ cm.

Lentille collimatrice L_2 : distance focale $f_2 = 18$ cm, diamètre $d_2 = 2,6$ cm.

Réseau de diffraction : taille = 26 mm \times 26 mm,
nombre de traits par unité de longueur $n = 754$ traits/mm.



2004/04/27

Observatoire de Lyon

6

3) Questions sur le montage.

a) A quelle distance du centre optique de la lentille L_1 doit se trouver la fente puis le centre optique de la lentille L_2 ?

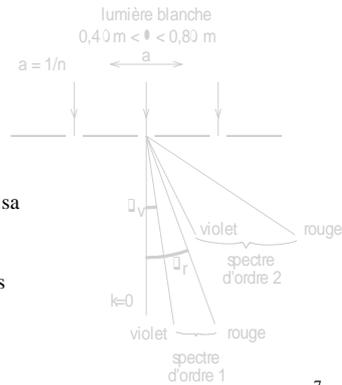
b) Le rapport d_1/f_1 caractérise l'ouverture de faisceau lumineux arrivant sur la fente. Calculer les rapports d_1/f_1 et d_2/f_2 . La surface de la lentille L_2 est-elle totalement éclairée par la lumière arrivant sur la lentille L_1 ? Quelle est, sur le réseau, la surface éclairée par le faisceau lumineux ?

c) La résolution propre d'un réseau est donnée par la formule :

$R = k.N$ avec $N = \text{nombre total de traits éclairés}$
 et $k = \text{numéro d'ordre du spectre}.$

La résolution est maximale lorsque le réseau est éclairé sur toute sa surface.

Dans le montage présent, le réseau fonctionne-t-il dans de bonnes conditions ?



2004/04/27

Observatoire de Lyon

7

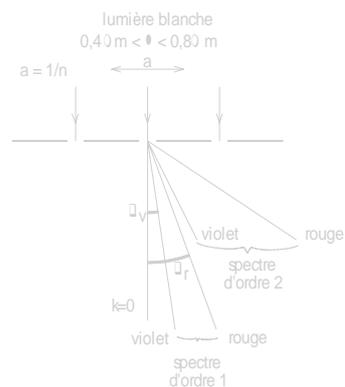
d) Les rayons lumineux sortant du réseau ont des directions qui dépendent des longueurs d'onde des rayonnements présents dans la source de lumière. Ceux-ci arrivant perpendiculairement à la surface du réseau, l'angle θ de déviation est donné par la formule:

n le nombre de traits par unité de longueur du réseau,

$$\sin \theta = n.k.\lambda$$

avec : k le numéro d'ordre du spectre,
 λ la longueur d'onde de la lumière.

Calculer les valeurs de θ pour
 la lumière violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$),
 la lumière verte ($\lambda = 600 \text{ nm}$)
 la lumière rouge ($\lambda = 800 \text{ nm}$)
 du spectre d'ordre 1 obtenu avec le réseau du montage.



Les longueurs d'onde de la lumière visible étant comprises entre 400 nm et 800 nm,

en déduire la valeur de l'angle à l'intérieur duquel tout le spectre d'ordre 1 est compris.

2004/04/27

Observatoire de Lyon

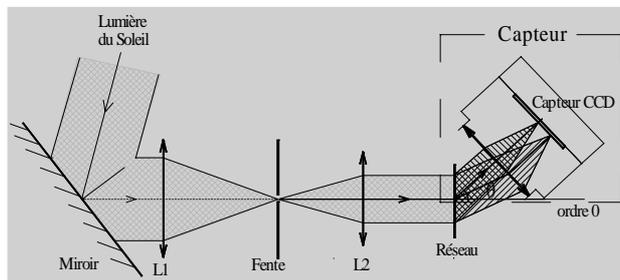
8

L'angle de déviation θ_1 = . . . ? . . . pour la lumière violette ($\lambda_1 = 400$ nm)
 L'angle de déviation θ_2 = . . . ? . . . pour la lumière rouge ($\lambda_2 = 800$ nm)
 L'angle de déviation θ_{moyen} = . . . ? . . . pour la lumière jaune ($\lambda_m = 600$ nm)

La largeur angulaire du spectre visible est d'environ . . . ? . . .

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD

- 1) Rôle du *capteur électronique CCD*
 placé derrière le spectroscopie,
 muni d'un *objectif photographique*,
 enregistre l'image du spectre et la transfère à un ordinateur pour la visualiser.



L'ensemble objectif/CCD sur support permet l'orientation en fonction de l'angle de déviation des rayons lumineux
 tournant autour d'un axe vertical
 passant par le point d'intersection du réseau et de l'axe optique du spectroscopie

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD

2) *La matrice : mosaïque de photosites.*

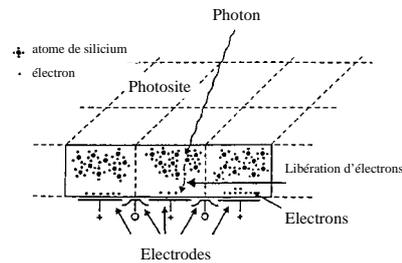
Le détecteur photosensible : substrat silicium semi-conducteur enrichi par des impuretés d'arsenic ou de phosphore.

Sous le substrat une couche isolante sur laquelle sont implantées environ 400 000 électrodes métalliques formant une mosaïque de photosites délimités par une séparation électronique neutre.

Lorsqu'un **photon** d'énergie suffisante pénètre dans le silicium dopé, il y a formation d'une paire (électron - trou).

Dans chaque photosite les **électrons** se regroupent près de l'électrode lorsque celle-ci est soumise à une tension positive.

Le nombre d'électrons piégés dans un photosite est proportionnel au nombre de photons reçus.



2004/04/27

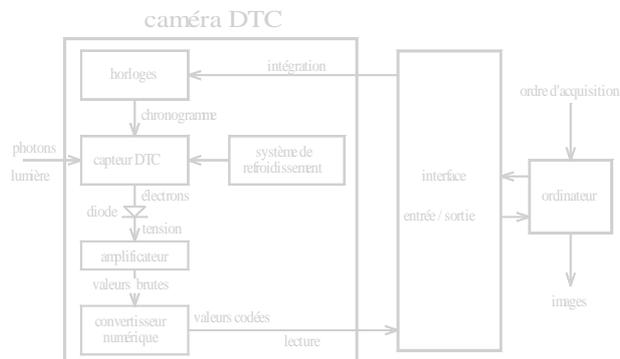
Observatoire de Lyon

11

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD

Le dispositif électronique de transfert de charge.

Le mécanisme du transfert de charge permet, grâce à des horloges internes, de faire défiler, à la sortie du capteur, une à une les charges électriques contenues dans chacun des photosites de la matrice.



Le signal analogique qui en résulte (sous forme de tension électrique) est alors amplifié puis numérisé pour être traité par l'ordinateur.

2004/04/27

Observatoire de Lyon

12

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD

L'écran de l'ordinateur : mosaïque de pixels.

L'ordinateur, par l'intermédiaire du logiciel WinMIPS, possède deux fonctions :

- faire fonctionner la caméra en lui donnant des commandes par l'intermédiaire du clavier,
- acquérir les données afin de visualiser les images obtenues puis les sauvegarder et les traiter.

• La caméra Hi-SIS utilisée fournit des données codées sur 12 bits. Elle permet ainsi de diviser la plage de tension à traiter en $2^{12} = 4096$ valeurs qui s'afficheront en autant de niveaux de gris dans chaque *pixel* de l'écran.



2004/04/27

Observatoire de Lyon

13

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD

Ses caractéristiques

Matrice photosensible :

longueur $L = 6,9$ mm, largeur $l = 4,6$ mm,
 $768 \times 512 = 393216$ photosites de 9×9 μm .

Electronique : numérisation sur 12 bits.

2004/04/27

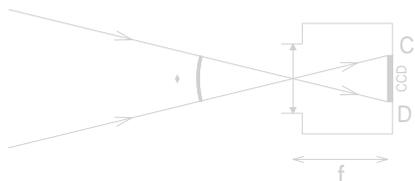
Observatoire de Lyon

14

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD

4) Champ de l'ensemble (capteur C.C.D. – objectif photographique)

Le dispositif de prise d'image, l'ensemble capteur C.C.D.-objectif photographique, ne peut capter que les rayons lumineux contenus dans un certain cône, appelé *champ angulaire* de l'appareil. Ce champ dépend des *dimensions de la matrice* et de la *distance focale de l'objectif* utilisé.



Sur la figure, on voit (en assimilant $\tan \omega$ avec ω en radians, les angles étant petits) que :

$$CD = f \cdot \omega$$

d'où : ω (radian) = CD / f

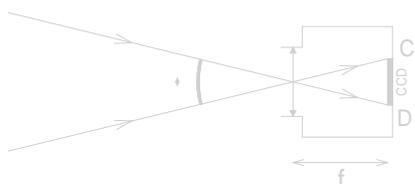
Calculer le *champ angulaire de l'ensemble capteur C.C.D.-objectif photographique* (en radians puis en degrés) correspondant à l'utilisation de divers objectifs (la longueur de la matrice est de 6,9 mm).

2004/04/27

Observatoire de Lyon

15

Description de l'appareillage B - LE CAPTEUR CCD



Sur la figure, on voit (en assimilant $\tan \omega$ avec ω en radians, les angles étant petits) que :

$$CD = f \cdot \omega$$

d'où : ω (radian) = CD / f

Calculer le *champ angulaire de l'ensemble capteur C.C.D.-objectif photographique* (en radians puis en degrés) correspondant à l'utilisation de divers objectifs (la longueur de la matrice est de 6,9 mm)

focale de l'objectif (en mm)	28	50	200
champ angulaire en radians			
champ angulaire en degrés			

Connaissant la largeur du spectre visible (calculée précédemment), en déduire combien d'images au minimum il faudra faire avec chacun des objectifs, pour couvrir tout le spectre visible ?

2004/04/27

Observatoire de Lyon

16

Résultat des calculs :

focale de l'objectif (en mm)	28	50	200
champ angulaire en radians	0,246	0,138	0,0345
champ angulaire en degrés	14,09°	7,9°	1,98°

Pour couvrir tout le spectre :

Objectif de focale 28 mm : 2 images

Objectif de focale 50 mm : 3 images

Objectif de focale 135 mm : 10 images

Suite : utilisation du spectrographe et acquisition de spectres