

SPECTROGRAPHE À CAPTEUR CCD

U51. ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

1.1. Éléments à votre disposition

1.1.1. Matériel

Voir cadre 1.

1.1.2. Documentation

Voir cadre 2.

1.1.3. Logiciels

Voir cadre 3.

1.1.4. Problématique du TP

La société PIERRON spécialisée dans le matériel pour l'enseignement cherche à développer un spectromètre. Elle cherche à en évaluer les performances tant au niveau du domaine des longueurs d'ondes observables que de la résolution du système.

1.2. Introduction

1.2.1. Spectroscopie à fentes

Le paramètre le plus important qui caractérise un spectroscopie est son pouvoir de résolution c'est à dire sa capacité à séparer deux longueurs d'onde très voisines. On distingue les spectroscopes interférentiels (Michelson, Fabry-Pérot) et les spectroscopes à fentes (à prisme ou réseau).

Nous étudierons un spectroscopie à fente (voir cadre 5) où l'élément dispersif sera un prisme en flint d'indice 1,620 (à 589,3 nm). La fente, de largeur e , constitue la source fortement éclairée par une lampe à vapeur de cadmium et un condenseur. On fera l'image de la fente sur un capteur CCD formé de 2048 pixels (distants de $\varepsilon = 14 \mu\text{m}$ centre à centre) grâce à deux lentilles de part et d'autre du prisme, permettant une incidence en faisceau parallèle.

Le pouvoir de résolution de l'ensemble dépendra de la largeur e de la fente source, des dimensions ε des pixels, de la diffraction due aux limitations du faisceau incident sur le prisme, des aberrations des lentilles.

1.2.2. Barette CCD

Chaque pixel ("picture element") est une photodiode qui charge un condensateur. La charge est proportionnelle à l'éclairement reçu.

Les charges sont ensuite transférées en parallèle vers les registres de lecture grâce à l'horloge de passage (signal ROG: Read Out Gate pulse).

Une horloge de transfert (signal CLK) permet la conversion séquentielle des charges en tension.

Le temps d'intégration correspond au temps pendant lequel la barette CCD est soumise à l'éclairement.

Un comparateur permet de numériser le signal de sortie de la CCD.

1.2.3. Électronique associée au capteur ILX503

Le schéma de la maquette vous est donnée page 3 du dossier technique.

On utilisera le logiciel *Ccd* dont le raccourci est déposé sur le bureau. Ce logiciel permettra de faire l'acquisition de l'état logique (éclairé ou non) des pixels du capteur CCD ainsi que l'étalonnage en longueur d'onde pour l'analyse des différents spectres.

Connexion :

Connecter le boîtier électronique au port imprimante du micro-ordinateur.

Liste du matériel

Lampes à vapeur de Hg-Cd, Na
Alimentation HT
Condenseur
Fente réglable
Lentilles convergentes (150mm, 500mm) grande ouverture
Prisme et support réglable
Diaphragme à iris
Ecran dépoli
Capteur CCD SONY ILX503
Alimentation stabilisée
Oscilloscope
Micro-ordinateur
Imprimante

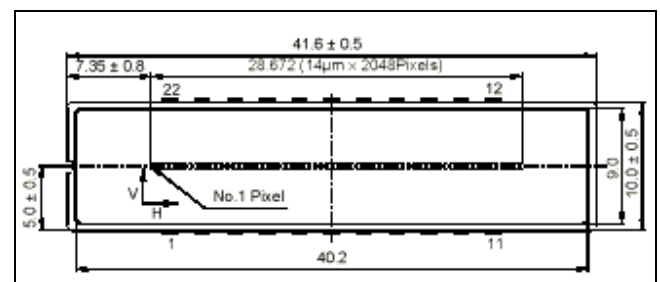
cadre 1.

Liste de la documentation	U51	U52	U53
Dossier technique	X	X	X

cadre 2.

Liste des logiciels	U51	U52	U53
Solord	X		
Ccd		X	
Labview		X	
Excel		X	X

cadre 3.



cadre 4 : Capteur CCD.

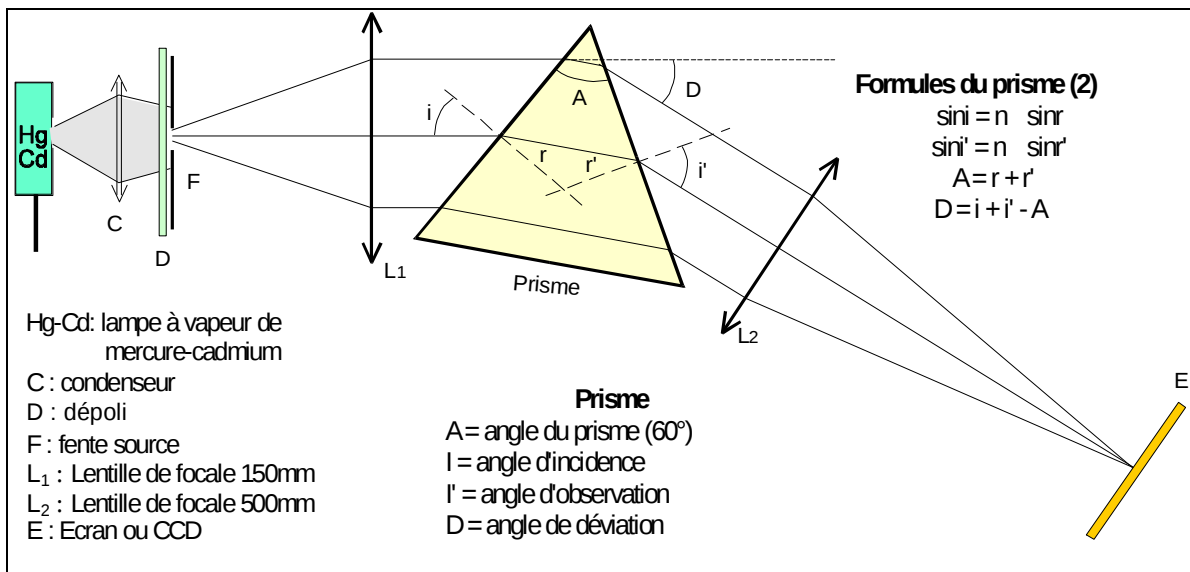
Les différentes fonctions du logiciel seront décrites lors des acquisitions.

1.3. Travail demandé

1.3.1. Principales caractéristiques

Rechercher dans le dossier technique les principales caractéristiques du capteur et de son électronique associée. (voir aussi *cadre 4*) :

- Nombre de pixels (utiles + aveugles)?
- À quoi sert le temps d'intégration dans un capteur CCD ?
- Quelle valeur théorique minimum peut prendre le temps d'intégration (on suppose que l'on connaît la fréquence f_0 de lecture des pixels et le nombre de pixels N) en fonction de f_0 et N ?
- Dans notre cas, la fréquence maximale de travail est de 5MHz. En déduire le temps d'intégration minimum.
- Longueur (notée d) de la partie active du capteur CCD ?
- Distance centre à centre en μm entre les pixels ?



cadre 5 : Principe du spectrographe à fente.

1.3.2. Principes fondamentaux : Spectrographe

Le prisme d'angle A est utilisé au voisinage de la déviation minimum ($i \approx i'$).

La déviation est alors donnée par :

$$D_{\text{mini}} = 2 \sin^{-1} \left(n \sin \frac{A}{2} \right) - A \quad (1)$$

D_{mini} est donné dans la documentation courbe *Excel cadre 6* : Doc 1cadre 6 (*cadre 6*) en fonction de la longueur d'onde λ .

Dans la relation (1), λ n'apparaît pas explicitement, expliquer pourquoi la déviation D dépend pourtant de λ en vous aidant de *cadre 7* : Doc 2 (*cadre 7*) et de *cadre 9* : Doc 4 (*cadre 9*) ?

D'après les documents en annexe (*cadre 6* : Doc 1 ; *cadre 8* : Doc 3), la déviation est-elle une fonction affine de λ ? Est-elle une fonction affine de $1/\lambda^2$?

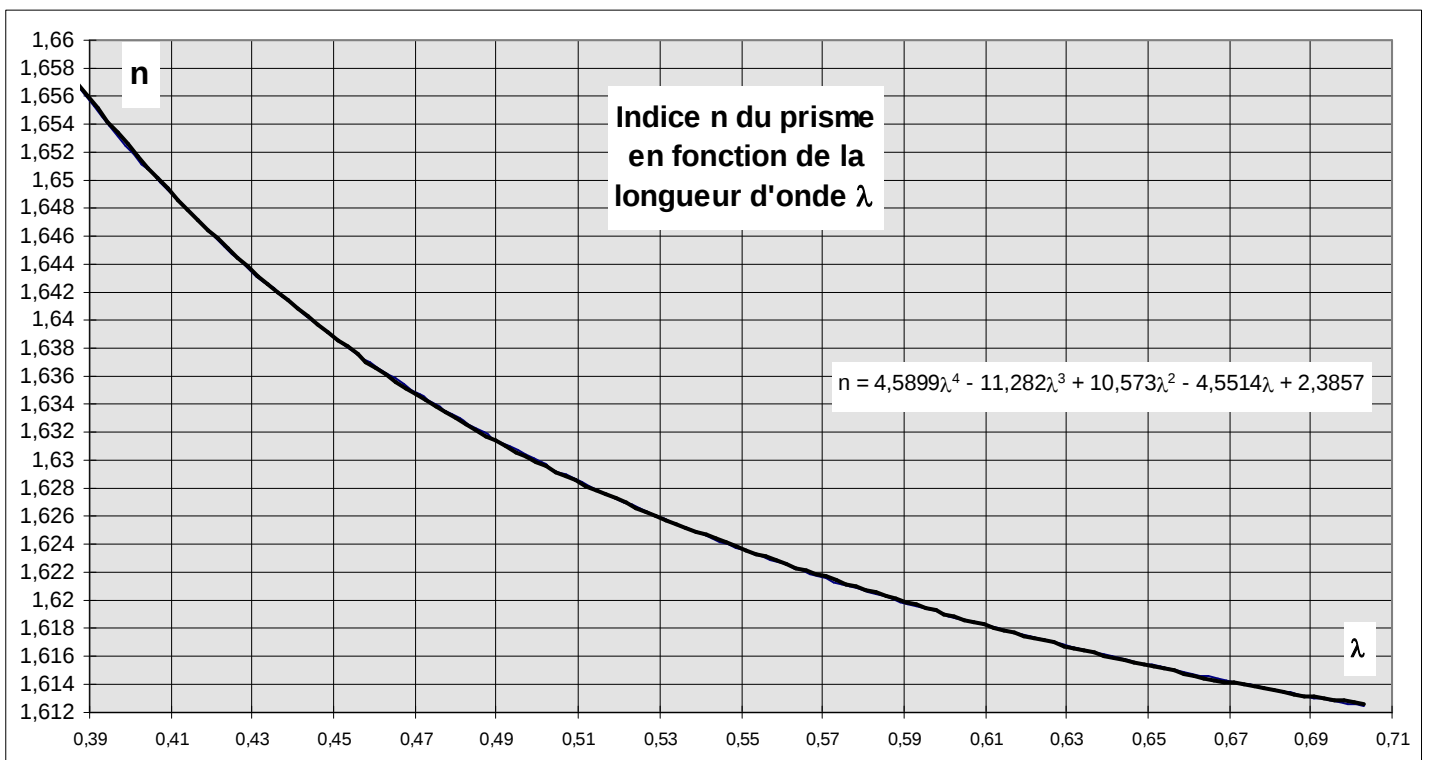
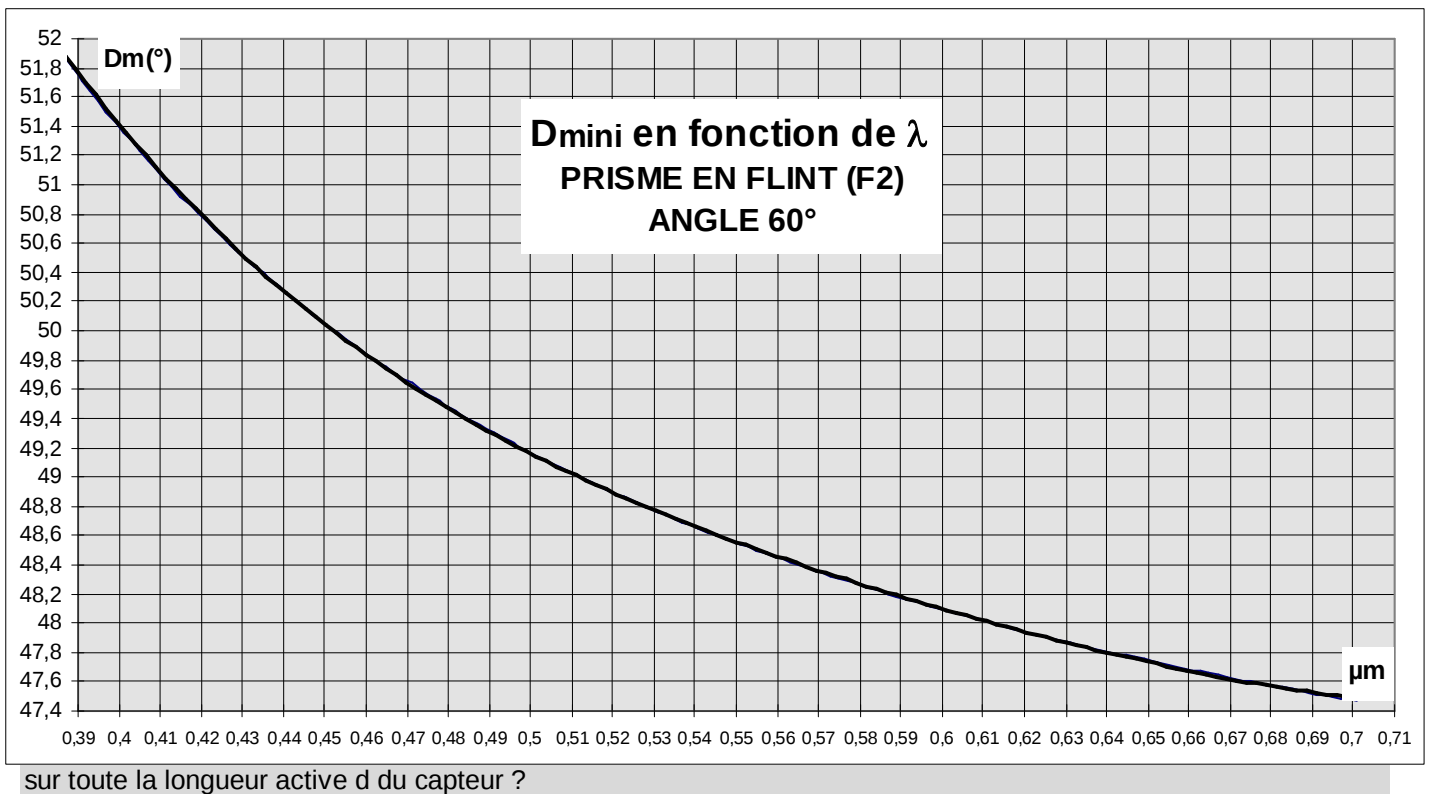
Pour simplifier, la loi de Cauchy qui donne l'indice n d'un verre en fonction de λ est généralement admise (voir *cadre 9* : Doc 4) : $n = a + \frac{b}{\lambda^2}$.

Si on admet une loi semblable pour la déviation minimum : $D_{\text{mini}} = c + \frac{d}{\lambda^2}$,

donner la valeur et l'unité des constantes c et d (voir *cadre 8* : Doc 3).

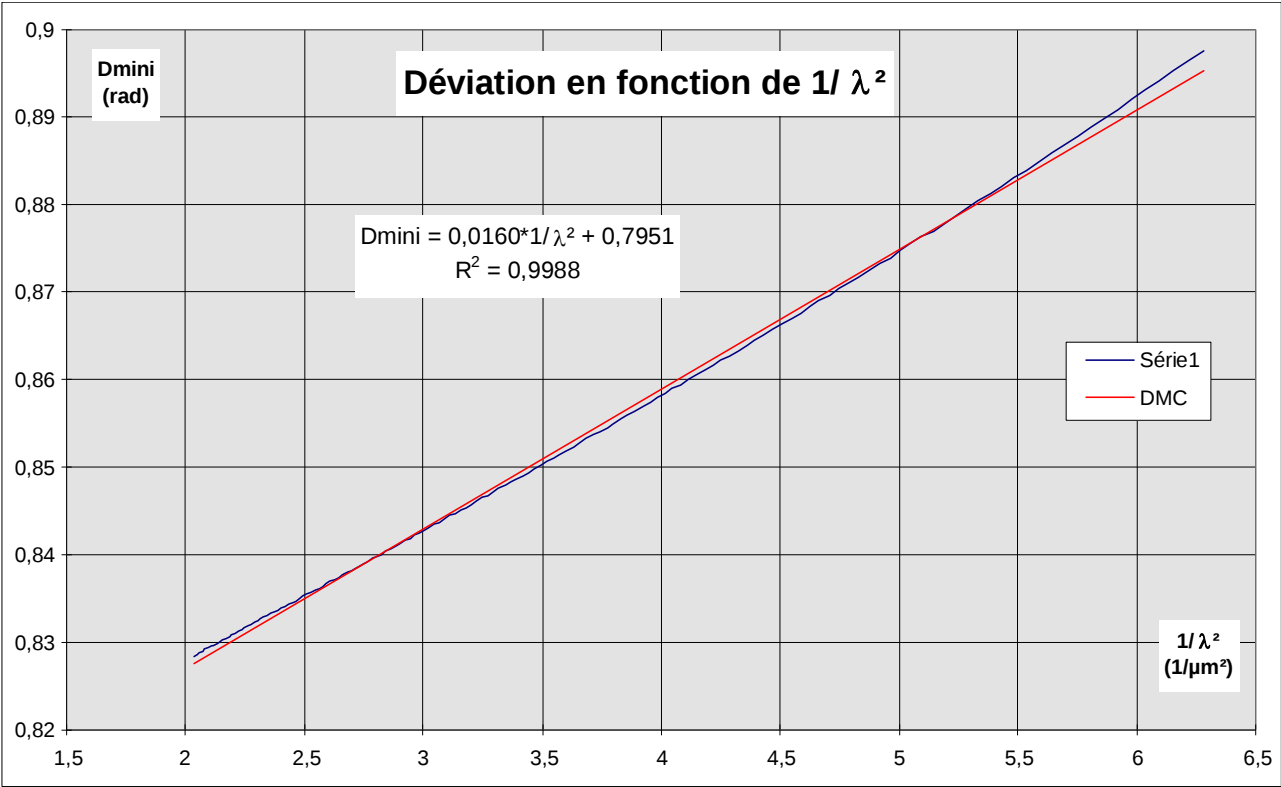
On s'intéresse aux radiations du domaine visible, du violet 405 nm au rouge 644 nm. Quelle sera en sortie de prisme l'écart angulaire α entre ces deux radiations extrêmes (*cadre 6* : Doc 1) ?

On choisit la focale de la seconde lentille $f_2 = 500$ mm. Peut-on observer le spectre visible du violet au rouge



cadre 6 : Doc 1 - La déviation de la lumière par un prisme dépend de la longueur d'onde.

cadre 7 : Doc 2 - L'indice du prisme dépend de la longueur d'onde (d'après document Melles Griot).



cadre 8 : Doc 3 - D_{mini} en fonction de $1/\lambda^2$.

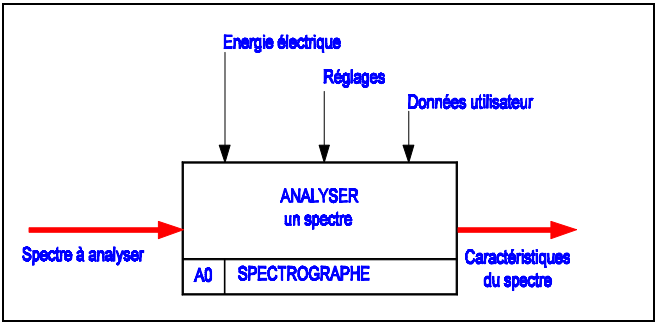
The refractive index of a glass in the wavelength range of 365 to 2300 nm can be calculated from the following formula $n = \left(\frac{B_1 \lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2 \lambda^2}{\lambda^2 - C_2} + \frac{B_3 \lambda^2}{\lambda^2 - C_3} + 1 \right)^{1/2}$ Here λ , the wavelength, must be in μm , and the constants B_1 through C_3 are given by the manufacturer for each different glass. We have tabulated these constants for the glasses used in our catalog components in the table given on page 4-8. Values for other glasses can be obtained from the manufacturer's literature. This equation yields a value for index that is accurate to better than 1×10^{-5} over the entire transmission range, and even less in the visible spectrum.		
	Melt-to-Melt Mean Index Tolerance	F 2 ± 0.001
	Homogeneity within Melt	$\pm 1 \times 10^{-4}$
	Striae Grade (MIL-G-174-A)	A
	Stress Birefringence, nm/cm, yellow light	10
	Abbé Factor (v_d)	36.37
	Constants of Dispersion Formula:	
	B_1	1.34533359
	B_2	$2.09073176 \times 10^{-1}$
	B_3	$9.37357162 \times 10^{-1}$
	C_1	$9.97743871 \times 10^{-3}$
	C_2	$4.70450767 \times 10^{-2}$
	C_3	1.11886764×10^2
	Density (g/cm^3)	3.61

cadre 9 : Doc 4 - Document Melles Griot; verre flint de type F2.

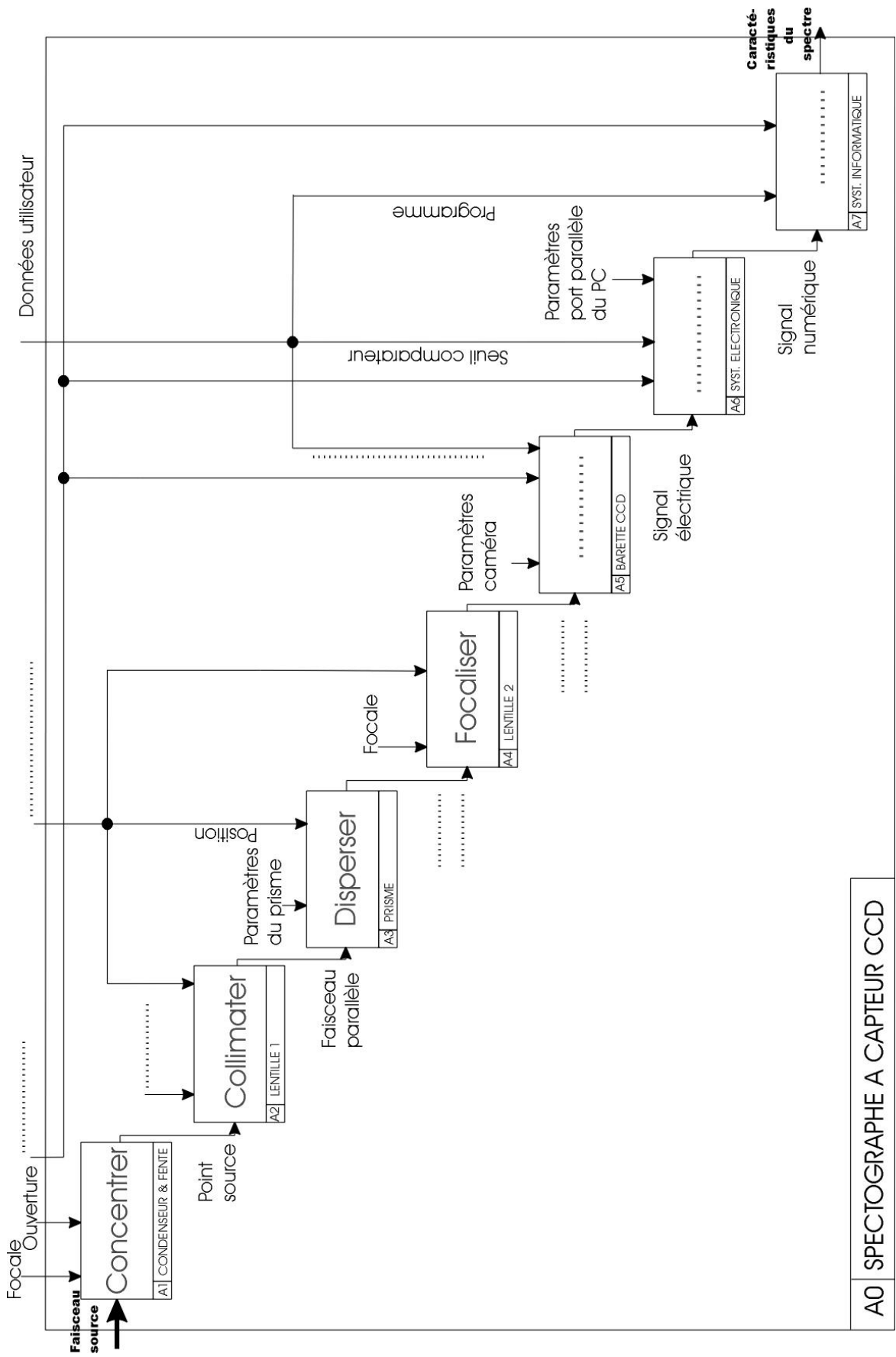
1.3.3. SADT

Par la méthode SADT, compléter en choisissant parmi la liste des mots ci-dessous le niveau A0 de l'analyse fonctionnelle donnée cadre 10. Compléter le cadre 11.

Mots à utiliser : Convertir , Signal lumineux , Energie électrique, Focale, ordinateur, Temps d'intégration, traiter, Générer un faisceau laser, Réglages, Capter, amplifier, Faisceau dispersé.

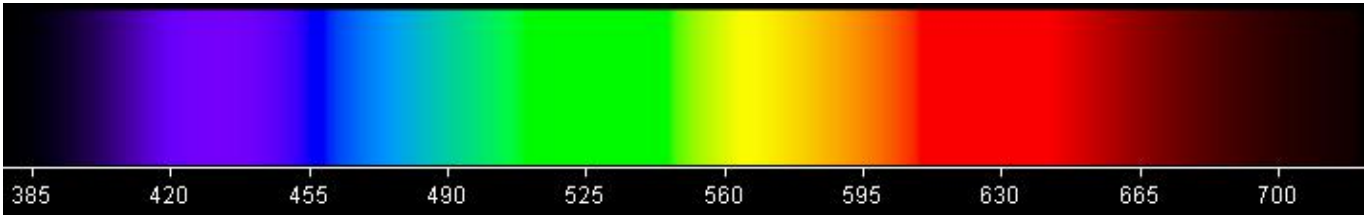


cadre 10 : Analyse descendante niveau A-0.



cadre 11 : SADT niveau A0 à compléter.

1.3.4. Les longueurs d'ondes de Hg; Cd.

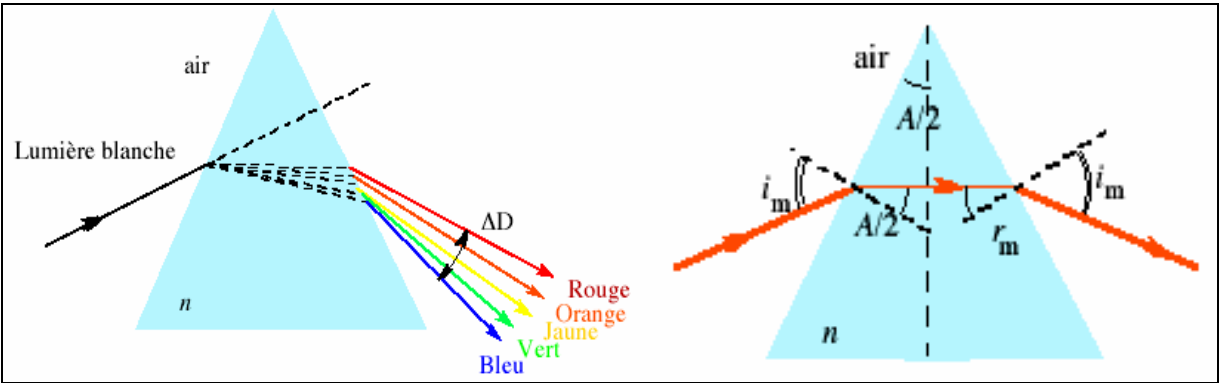


Cadre 12 : Spectre continu de 385 à 750 nm.

Marquer d'un trait chacune des principales raies du mercure et du cadmium sur le spectre continu du Cadre 12.

λ (nm)	436 Hg	468 Cd	480 Cd (F')	509 Cd	546 Hg	578 Hg	644 Cd(C')
Cou-leur	violet indigo	bleu	bleu clair	vert bleu	vert	jaune	rouge

Cadre 13 : Principales radiations du mercure et du cadmium



Cadre 14 : dispersion et déviation par le prisme