

Fiche pédagogique

Monochromateur Chromex

Niveau :

1^{ière} année de BTS systèmes photoniques.

Objectifs :

En possession des documents et des informations techniques complémentaires nécessaires, l'élève doit être capable de mettre en œuvre un monochromateur afin de déterminer le spectre d'émission d'une source lumineuse, le spectre de transmission et la densité optique d'un milieu.

C1.1 : Analyser un cahier des charges

- C1.2 : Définir l'architecture fonctionnelle d'un système
- C1.3 : Proposer des solutions techniques
- C1.5 : Simuler et valider les solutions techniques
- C2.1 : Assembler les composants
- C2.3 : Régler le système
- C3.1 : Mettre en œuvre un système optique
- C3.2 : Valider un système
- C5.3 : Synthétiser des données techniques.

Forme :

TP de 6 heures, par binôme ou trinôme.

Pré-requis :

- Lecture de dossiers ressources.
- Connaissance en mathématiques, optique, mécanique et informatique.

Méthode :

On donne :	On demande :	On évalue :
- Un sujet de T.P., - Un dossier technique. - Les logiciels associés au TP - Tout le matériel nécessaire à la mise en œuvre du système.	- De faire l'analyse fonctionnelle du système. - De mettre en œuvre le système. - D'analyser les performances du système.	- La compréhension du principe d'un monochromateur. La mise en œuvre du système. - L'analyse des résultats obtenus lors de la mise œuvre du système. - L'attitude, l'autonomie. - Le résultat obtenu - Le respect des règles de sécurité - La présentation du compte rendu.

Monochromateur Chromex

1. ANALYSE FONCTIONNELLE DU SYSTÈME

1.1. Éléments à votre disposition

1.1.1. Matériel

Voir liste du matériel.

1.1.2. Documentation

Voir cadre 1.

1.1.3. Logiciels

Voir cadre 2.

1.1.4. Problématique du TP

Dans le cadre de la sécurité laser, on vérifie les caractéristiques (bande passante et densité optique) des lunettes de protection pour les lasers rouges He-Ne.

Les lunettes de protection pour les lasers He-Ne se dégradent dans le temps. Elles sont caractérisées par la densité optique (OD) marquée sur la lunette lors du contrôle avant commercialisation. Celles que nous avons au laboratoire sont-elles encore assez efficaces pour nous protéger ? (Réponse à donner en 3.2.2.)

Liste du matériel

Monochromateur + console
Capteur visible photopile Si
Ampli à gain variable UDT101C
Multimètre
Laser He-Ne
Lampe à vapeur de mercure + alimentation
Lampe blanche stabilisée Oriel + alimentation + condenseur
Filtre interférentiel
Lunettes à analyser
Micro-ordinateur
Carte A/N Candibus
Imprimante
Éléments méca. et élec. de liaison

Liste de la documentation

Dossier technique

cadre 1.

Liste des logiciels

Chromex_LV
Excel

cadre 2.

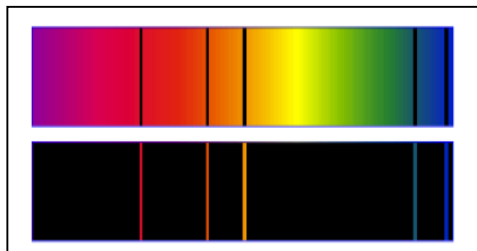
1.2. Travail demandé - Principe d'un monochromateur

1.2.1. Principes de base

1.2.1.1 Spectre d'absorption, spectre d'émission.

Un gaz monoatomique (par exemple du mercure) peut générer un spectre d'émission ou d'absorption caractéristique de ce gaz..

Lire : https://fr.wikipedia.org/wiki/Raie_spectrale



Parmi les 2 spectres du mercure ci-contre lequel est un spectre d'émission et lequel est un spectre d'absorption.

Quel type de spectre va-t-on observer en analysant le rayonnement émis par la lampe Hg ?

Quel est le prix d'une lampe spectrale Mercure 22-24W de chez OSRAM ?

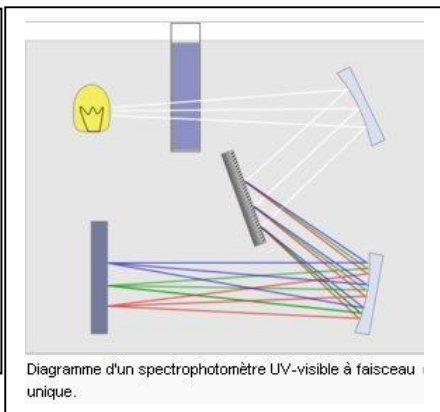
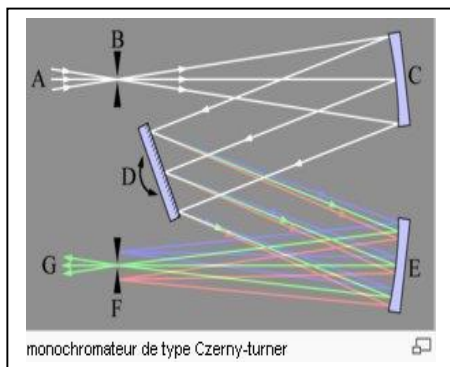
Dans quelles condition peut-on observer le spectre d'absorption du mercure ?

1.2.1.2 Monochromateur et spectromètre.

Deux types d'appareil peuvent faire une analyse spectrale d'un source lumineuse : le monochromateur et le spectromètre. Ceux-ci sont illustrés par les 2 images ci-dessous extraites de :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Spectroscopie_ultraviolet-visible et de <http://fr.wikipedia.org/wiki/Monochromateur>

Consulter les documents puis répondre aux questions suivantes :



groove density (l/mm)	spectral range (nm)	blaze (nm)
2400	190-700	250
2400	240-750	330
2400	300-800	400
1800	190-700	250
1800	250-900	400
1800	450-900	500
1200	190-1200	250
1200	240-1200	330
1200	360-1250	500
1200	400-1300	630
1200	500-1500	750
1200	600-1600	900

Réseau (doc. Jobin-Yvon)

L'un des points communs est le réseau. Quel est son rôle et sur quel principe physique fonctionne un réseau ?
 Le réseau utilisé est un réseau 1200 lignes/mm, blazé à 500 nm. D'après le document ci-contre dire entre quelles longueurs d'onde il présente un rendement de diffraction satisfaisant ?

Dans un des appareils le réseau tourne, on place alors une photodiode derrière la fente de sortie et on relie la puissance lumineuse détectée en fonction de l'angle de rotation du réseau qui caractérise la longueur d'onde émergente. La largeur des fentes est alors réglable et permet ainsi de faire une analyse spectrale plus ou moins fine.

Dans l'autre le réseau est fixe, la fente d'entrée a une largeur imposée et l'image de tout le spectre est récupérée sur un CCD linéaire.

Dans quel appareil le réseau tourne-t-il ?

Quel appareil permet d'enregistrer le spectre émis par un flash ?

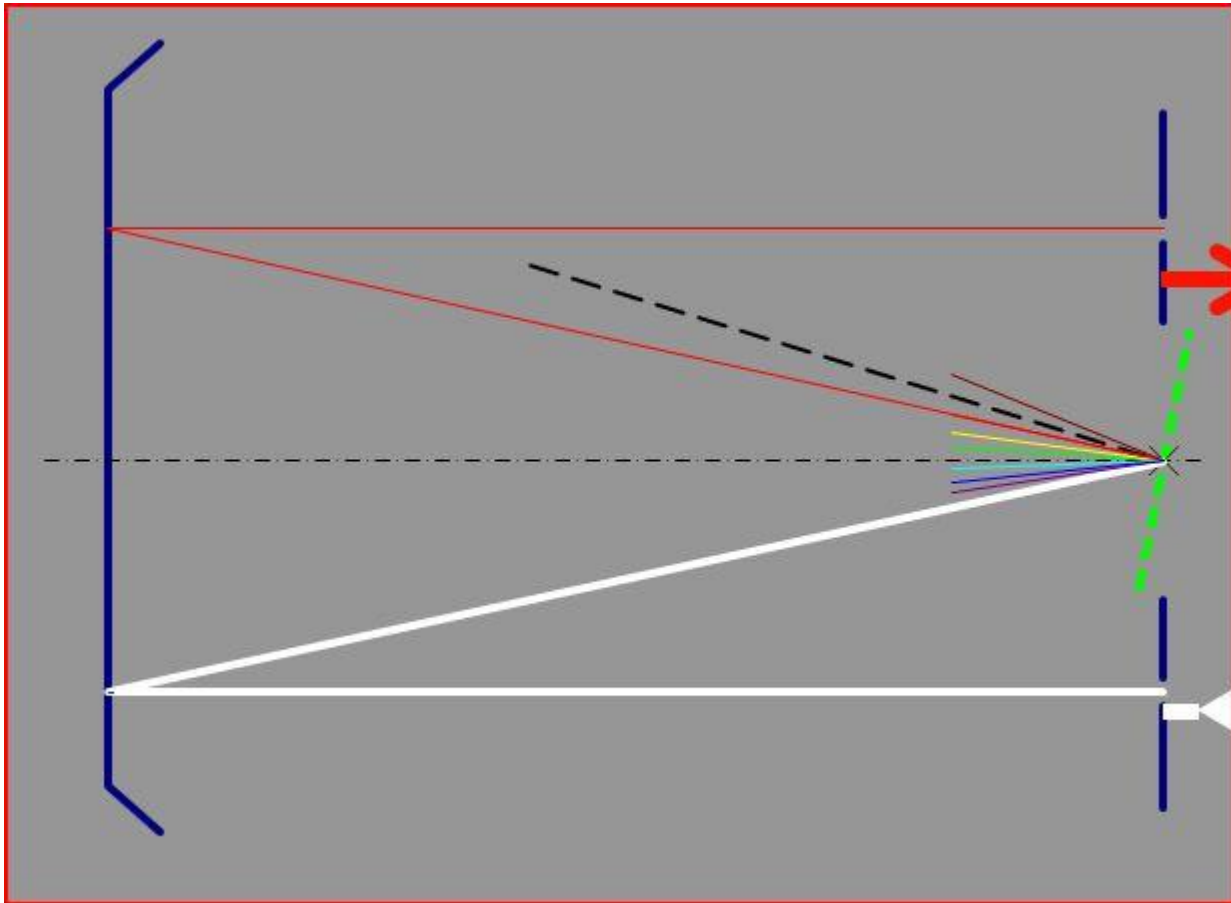
Quel appareil permet d'obtenir une analyse spectrale tantôt grossière, tantôt fine ?

L'appareil mis à votre disposition est un monochromateur : il permet de sélectionner une bande très étroite de longueur d'onde mais il peut aussi servir à étudier un spectre (il joue alors le rôle de spectromètre).

1.2.2. Sélection d'une radiation

Lancer le logiciel *Excel* et ouvrir le fichier système [Monochromex.xls](#). (activer les macros) Le schéma décrit le cheminement des rayons dans le monochromateur.

Sur le schéma suivant :



Indiquer par une flèche les éléments suivant : le faisceau lumineux incident, le faisceau lumineux émergent, les fentes d'entrée et de sortie, le réseau et le miroir concave. Tracer les angles β , θ , i et i' .

Activer la simulation. Nous allons faire tourner le réseau.

Déterminer quelles sont les valeurs de β , i et i' qui permettent de faire émerger les longueurs d'onde repères. Faire un tableau sous Excel et sauvegarder le fichier sous [nom_angle_reseau.xls](#). Tracer la courbe i' en fonction de λ . De quel type de courbe s'agit-il ? Quel est d'après vous son intérêt ?

1.2.3. Rôle des fentes et son influence sur le pouvoir de résolution. Rappels de cours et calculs théoriques

Une propriété essentielle d'un monochromateur est son **pouvoir de résolution** $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$: il mesure sa capacité à séparer deux longueurs d'onde voisines (λ et $\lambda + d\lambda$). Il dépend :

- de l'élément dispersif utilisé (caractéristiques du réseau)
- de la largeur e de la fente d'entrée,
- de la largeur e' de la fente de sortie,
- parfois aussi d'autres éléments du système (pas du moteur qui assure la rotation du réseau par ex.).

Quelle est la valeur minimale de R pour séparer les 2 raies du doublet jaune du sodium ($\lambda_{\text{moy}} = 0,5893 \mu\text{m}$; $\Delta\lambda = 0,60 \text{ nm}$) ?

Dans ce monochromateur à réseau (n traits/mm), le faisceau polychromatique incident parvient au réseau par une fente de largeur e située dans le plan focal objet d'un miroir concave (focale f : ici $f = 500 \text{ mm}$). Si l est la largeur en mm du faisceau arrivant sur le réseau, $N = n \cdot l$ traits du réseau sont utilisés.

Après diffraction à l'ordre p (ici $p = 1$) par le réseau, un faisceau parallèle de longueur d'onde λ est focalisé par un miroir de focale $f' = f$ vers une fente de sortie de largeur e' .

R est alors donné par la relation :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{pN} + \frac{e}{\lambda p n f} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{pN} + \frac{e'}{\lambda p n f'}$$

Nous nous placerons dans le cas où le pas du moteur est très petit et le nombre N de traits utilisés du réseau est très grand.

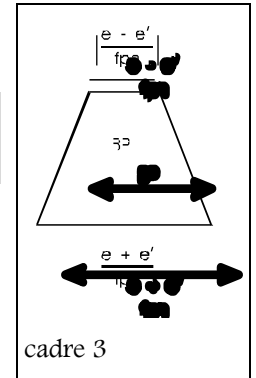
Quelles sont alors les expressions approchées de $\frac{1}{R}$?

L'une ou l'autre des fentes va limiter le pouvoir de résolution. En effet si l'on injecte un rayonnement rigoureusement monochromatique (spectre infiniment étroit représenté par un trait vertical) à l'entrée du monochromateur, on obtient en sortie de celui-ci non pas un spectre infiniment étroit mais un trapèze spectral (voir cadre 3) qui dépend de e et e' .

Que devraient être les valeurs théoriques de e et e' pour obtenir un spectre de sortie rigoureusement monochromatique ? Quelle serait alors la valeur de R ?

On note, la grande base du trapèze $2 \cdot \delta\lambda$, la petite base $2 \cdot \delta'\lambda$ et la largeur à mi-hauteur ou bande passante (BP ou FWHM) $\Delta\lambda$. Celle-ci peut être calculé par $\Delta\lambda = \frac{e}{f p n}$ si $e = e'$

et $\Delta\lambda \approx \frac{e}{f p n}$ si $e > e'$.



Note : on exprimera les valeurs des largeurs spectrales en nm.

Quelles sont les valeurs théoriques de ces trois largeurs spectrales lorsque l'une des fentes est large de $500 \mu\text{m}$ et l'autre de $200 \mu\text{m}$?

Que devient la forme du trapèze lorsque $e = e'$?

Quelle valeur de BP peut-on espérer atteindre lorsque :

- les deux fentes ont une largeur $e = e' = 500 \mu\text{m}$?
- les deux fentes ont une largeur $e = e' = 10 \mu\text{m}$?

2. MISE EN OEUVRE DU SYSTÈME

2.1. Éléments à votre disposition

2.1.1. Matériel

Voir *liste du matériel*. Erreur ! Source du renvoi introuvable.

2.1.2. Documentation

Voir cadre 4.

2.1.3. Logiciels

Voir cadre 5.

2.2. Travail demandé

2.2.1. Mise en œuvre du monochromateur .Choix du réseau

- Vérifier que la mise en œuvre du système correspond à celle donnée *cadre 7*
- Mettre le monochromateur sous tension. Attendre la fin de la procédure d'initialisation avant de lancer le logiciel. *ChromexLV*
- Le monochromateur dispose de 2 réseaux /
Réseau 1 : 1200 traits/mm blazé à 500 nm
Réseau 2 : 600 traits/mm blazé à 1000 nm
Faire *Réglage/choix du réseau*, le réseau n°1 est sélectionné
- Faire *Réglage/ Carte d'acquisition* Spécifier le n° de la voie en connexion avec l'appareil. Cliquer sur *Test lecture*, Ajuster le moyennage à 128 minimum, puis *Valider les paramètres*

2.2.2. Étalonnage du monochromateur

Avant toutes mesures précises, on doit étalonner le monochromateur .Pour cela on mesure une longueur d'onde connue avec précision (par exemple la raie verte à $\lambda = 546,074\text{nm}$ d'une lampe à vapeur de mercure) et l'on ajuste la valeur mesurée à la valeur attendue.

- Éclairer la fente d'entrée à l'aide de la lampe à vapeur de mercure et d'un condenseur.
- Sous *Réglages/Ouverture et fermeture des fentes*, fermer la fente d'entrée à 100 μm puis cliquer sur ajuster, ensuite régler la fente de sortie à 100 μm puis cliquer sur ajuster puis valider les paramètres.
- Faire des enregistrements entre 530 et 560 nm avec un pas de 0.2 nm. Utiliser la commande *Réglages/Paramètres d'acquisition* puis valider les paramètres. Faire une mesure en choisissant *Mesures/Démarrer* puis cliquez sur acquérir. A la fin de l'acquisition, sortir et choisir *Courbes/U=f(Lambda)*. Ajuster le gain de l'amplificateur.

Liste du matériel

Monochromateur + console
Capteur visible photopile Si
Ampli à gain variable UDT101C
Multimètre
Laser He-Ne
Lampe à vapeur de mercure + alimentation
Lampe blanche stabilisée Oriel + alimentation + condenseur
Filtre interférentiel
Lunettes à analyser
Micro-ordinateur
Carte A/N Candibus
Imprimante
Éléments méca. et élec. de liaison

cadre 6

Liste de la documentation

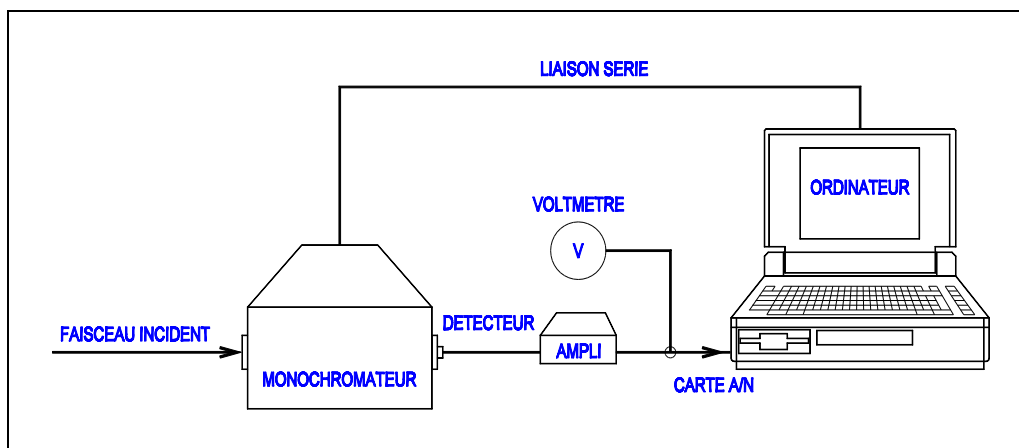
Dossier technique

cadre 4.

Liste des logiciels

ChromexLV
Excel

cadre 5.



cadre 7 : Synoptique du système.

Attention : la tension en sortie d'amplificateur ne doit pas dépasser 10 V ! (limite max. pour carte A/N USB6009).

- Vous devez voir apparaître sur le spectre la raie verte très intense du mercure.
- Réduire progressivement la plage de scanning autour de la raie verte et diminuer la largeur des fentes (jusqu'à 10 ou 15 μm). Ajuster le gain de l'amplificateur. Augmenter la résolution en choisissant un pas d'acquisition de 0.01 nm.
- Calibrer le monochromateur sur ce pic Mode opératoire :
 - Sur la courbe $U=f(\lambda)$, placer le curseur sur le pic.
 - Cliquez sur [Étalonnage du monochromateur](#), puis suivez les instructions

Faire appel à un professeur pour réaliser l'étalonnage

- Vérifier l'étalonnage en refaisant un spectre et en pointant le maximum du pic « vert ».
- Sauvegarder le fichier sous [nom_étalon.chro](#)
- Fournir une sortie imprimante du graphe de calibrage. Préciser sur la feuille les paramètres de l'acquisition : Largeur des fentes, limites du scanning λ_1 , λ_2 , pas d'acquisition $\Delta\lambda$, gain de l'amplificateur.
- Noter sur le graphique l'intervalle dans lequel se trouve le maximum, par exemple: $\dots \leq \lambda_{\text{VERT}} \leq \dots$ en repérant correctement les points les plus élevés du pic. En déduire un intervalle d'incertitude.

2.2.3. Spectre du mercure

2.2.3.1. Spectre autour du visible

- Ajuster la largeur des 2 fentes à 100 μm .
- Faire des enregistrements permettant de visualiser l'ensemble des raies entre 300 nm et 800 nm (Nom du fichier : [nom_mercureX.chro](#)).
- Peut-on voir toutes les raies de manière identique ? Conclusion par rapport aux valeurs trouvées dans la littérature ci-dessous. Faire une sortie imprimante du graphe.

Rem. : Les indices de réfraction sont donnés pour une longueur d'onde moyenne (raie D du sodium) et deux radiations extrêmes (raies C et F de l'hydrogène):
 $\lambda_D = 589,3 \text{ nm}$ $\lambda_F = 486,1 \text{ nm}$ $\lambda_C = 656,3 \text{ nm}$
 La longueur d'onde de la transition $3s \rightarrow 2p$ du Néon est $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ (laser He - Ne).
 Le maximum de sensibilité de l'œil correspond à 555 nm.

LONGUEURS D'ONDE DE REFERENCE (nm) DANS LE SPECTRE VISIBLE DE Hg Na Cd				
COULEUR	λ (nm)	MERCURE Hg	SODIUM Na	CADMIUM Cd
Violet extrême	412	404,7 407,8		
Violet	428			
Indigo	444	435,8	449,4 449,8	
Bleu indigo	459		454,2 454,5	
Bleu	475			467,815
Vert bleu	490	491,6 496,0		480,0
Vert "chou"	506			508,582
Vert "jardin"	521			
Vert moyen	536			
Vert clair	552	546,074		
Jaune vert	567		568,8 568,9	
Jaune	582	577,0 579,1	589,0 589,6	
Jaune orangé	597			
Orangé	612		615,4 616,1	
Rouge clair	628	623,4		
Rouge	643			643,84677
Rouge foncé	658			
Rouge sombre	673			
Rouge extrême	687	690,7		
Infrarouge	> 700			

2.2.3.2. Étude du doublet jaune du mercure

- Faire un enregistrement du doublet jaune de la lampe **avec la meilleure résolution** (fentes de largeur faible, pas minimum, éclaircissement correct de la fente d'entrée). Repérer le maximum de chaque pic.
- Mesurer l'écart en longueur d'onde entre ces deux raies. (Nom des fichiers : [nom_merjau.chro](#)). Comparer à la valeur théorique.

2.2.3.3. Rôle des fentes et influence sur le pouvoir de résolution.

- Refaire un enregistrement du doublet jaune (entre 573 et 583 nm au pas de 0,01 nm) avec une ouverture des fentes de 1000 μm en ajustant l'amplification pour ne pas saturer la carte A/N (tension inférieure à 10V).
- Recommencer sans rien changer au montage et en gardant la même amplification avec des fentes à 600 μm puis 300 μm enfin 100 μm .

• Montrer l'acquisition à un professeur.

- Sauvegarder les fichiers sous [nom_largeur.chro](#).
- Relever la largeur des pics $\Delta\lambda$ à mi-hauteur (ou bande passante BP).
- Pour quelles largeurs des fentes le doublet est-il résolu ?

2.2.4. Étude du spectre de transmission d'un filtre interférentiel (vert)

On appelle facteur de transmission le rapport :

$$T = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$$

Φ_t : flux transmis

Φ_i : flux incident

Nous utiliserons la source de lumière blanche stabilisée Oriel. (Attention à la tension limite !)

- Eclairer la fente d'entrée, régler les paramètres d'acquisition : $\lambda_1 = 535$ et $\lambda_2 = 555$ nm avec un pas $\Delta\lambda = 0,05$ nm.
- Régler les fentes d'entrée et sortie à 100 μm , taper $\lambda = 555$ nm et appuyer sur « Aller à λ nm ». Cliquez sur « LIRE U » et vérifiez que la tension ne dépasse pas 10V (Limite maximum de la carte d'acquisition USB 6009), régler l'amplificateur en conséquence. Valider les paramètres.
- Nous allons faire l'enregistrement de la Référence (source seule) puis de l'échantillon. Pour cela, choisir dans le menu [Mesures : Démarrer](#) et choisir acquisition de deux spectres.
- Donner le nom du premier spectre, lorsque le logiciel demande le nom de la deuxième courbe, placer entre la lampe et la fente d'entrée le filtre interférentiel vert puis donner le nom de la deuxième courbe.

Attention :

Ne pas tenir ou laisser le filtre à proximité de la lampe ou de son image donnée par le condenseur. La chaleur dégagée par celle-ci abîme le filtre.

- Tracer les courbes $Réf = f(\lambda)$, $Ech = f(\lambda)$ et $T = f(\lambda)$ en cliquant sur [Courbes/Facteur de transmission : Usignal/Uref](#). Sauvegarder vos enregistrements sous [transm.Chro](#)
- Faire une sortie imprimante des graphes.

Montrer l'acquisition à un professeur.

2.2.5. Étude de la densité optique de lunettes de sécurité laser

On appelle densité optique le rapport :

$$D = \log_{10} \frac{\Phi_i}{\Phi_t}$$

Φ_t : flux transmis

Φ_i : flux incident

Nous utilisons toujours la source de lumière blanche stabilisée Oriel.

- Procéder comme précédemment avec les mêmes précautions (Moyenne sur 256 échantillons).
- Intercaler les lunettes entre la lampe et le monochromateur.

Attention :

Ne pas tenir ou laisser les lunettes à proximité de la lampe !

- On choisira $\lambda_1 = 400$ nm, $\lambda_2 = 780$ nm, $\Delta\lambda = 0,5$ nm.

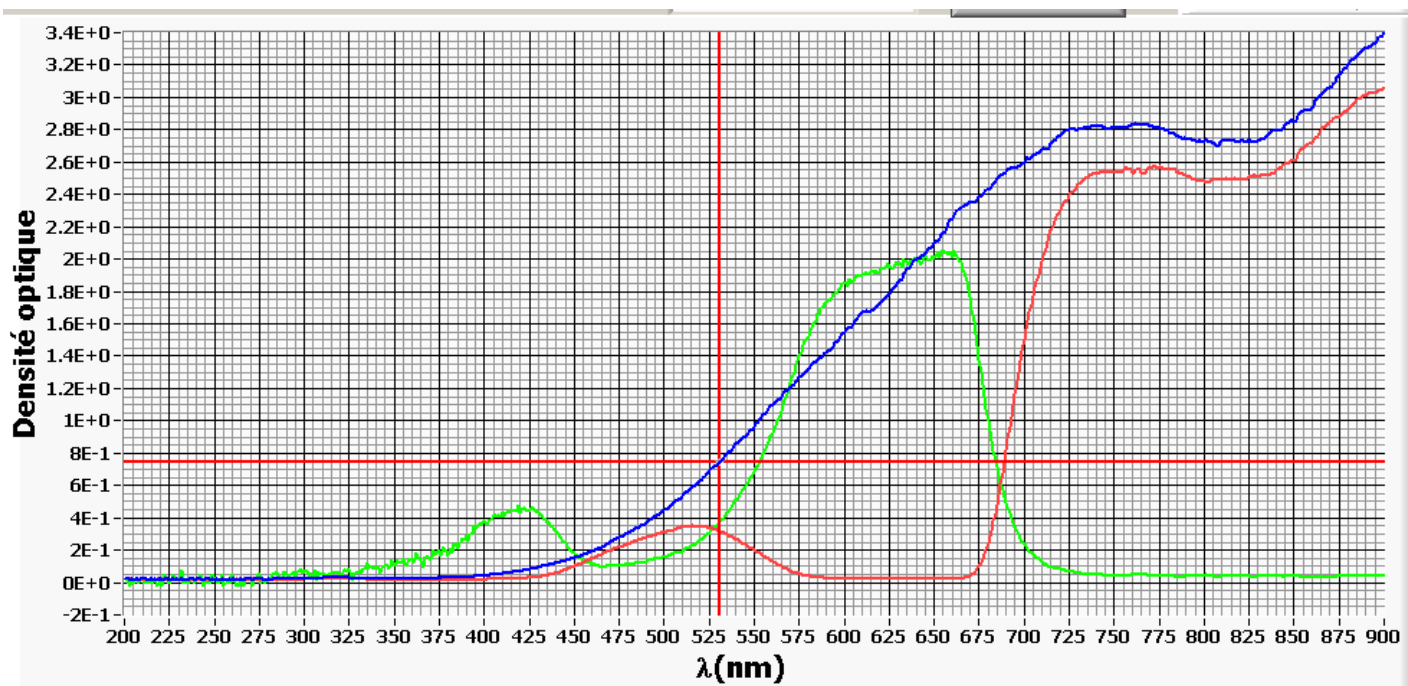
Remarque :

Vérifier que les caractéristiques acquises soient toujours positives. Sinon appeler un professeur pour agir sur l'offset du boîtier amplificateur.

- Tracer sur le même graphe (voir cadre 8) les courbes en cliquant sur [Courbes/Densité optique : log\(Uréf/Uref\)](#) :
 - [Référence](#) = $f(\lambda)$. Relever sur le graphe la tension U_{Ref} (correspondant au flux lumineux reçu par le capteur) pour $\lambda = 633$ nm.
 - [Echantillon](#) = $f(\lambda)$ Relever la tension U_{Ech} pour $\lambda = 633$ nm.
 - [Calcul /Densité](#) = $f(\lambda)$. Relever D à 633 nm ; relever la long. d'onde pour D_{Max} .

- Sauvegarder vos enregistrements sous *den-*
- Faire une sortie imprimante des graphes.

Montrer l'acquisition à un professeur.



cadre 8 : Exemple d'acquisition.

2.2.6. Étude d'une LED blanche de type LUXEON

- Alimenter le LED LUXEON sous une tension de 5V
- Eclairer la fente d'entrée à l'aide de la LED et d'un condenseur, régler les paramètres d'acquisition : $\lambda_1 = 390$ et $\lambda_2 = 700$ nm avec un pas $\Delta\lambda = 1$ nm.
- Régler les fentes d'entrée et sortie à 200 μm . Valider les paramètres.
- Nous allons faire l'enregistrement de la source. Pour cela, choisir dans le menu **Mesures : Démarrer** et choisir acquisition d'un seul spectre.

Enregistrer la courbe sous LED_*nom* du groupe.chro

3. ANALYSE DES PERFORMANCES DU SYSTÈME

3.1. Éléments à votre disposition

3.1.1. Matériel

Voir cadre 9.

3.1.2. Documentation

Voir cadre 4.

3.1.3. Logiciels

Voir cadre 3.

3.2. Travail demandé

3.2.1. Étude du spectre d'émission d'une lampe à vapeur de mercure

- Dans chaque cas étudié en 2.2.3.3, observer la hauteur des pics du doublet jaune du mercure puis mesurer la largeur des pics à mi-hauteur pour les différentes valeurs d'ouvertures de fentes (on se place toujours dans le cas où les deux fentes entrée et sortie ont la même valeur).
- Représenter graphiquement **sous Excel** la largeur des pics à mi-hauteur en fonction de la largeur des fentes.
- Conclusion.
- Pour quelles largeurs de fentes distinguerait-on deux raies distantes de 0.6nm (comme c'est le cas du doublet jaune du sodium) ?

Remarque : Le pouvoir de résolution de l'appareil dépend du pas du moteur qui actionne le réseau, de l'ordre de travail, de la largeur utilisée du réseau et surtout de la largeur des fentes.

- D'après ce que vous savez du pouvoir de résolution, avec combien de chiffres significatifs cet appareil permet-il de mesurer une longueur d'onde ? Que pensez-vous de la précision de cet appareil ?

Liste du matériel

Monochromateur + console
Capteur visible photopile Si
Ampli à gain variable UDT101C
Multimètre
Laser He-Ne
Lampe à vapeur de mercure + alimentation
Lampe blanche stabilisée Oriel + alimentation + condenseur
Filtre interférentiel
Lunettes à analyser
Micro-ordinateur
Carte A/N Candibus
Imprimante
Éléments méca. et élec. de liaison

cadre 9.

Liste de la documentation

Dossier technique

cadre 10.

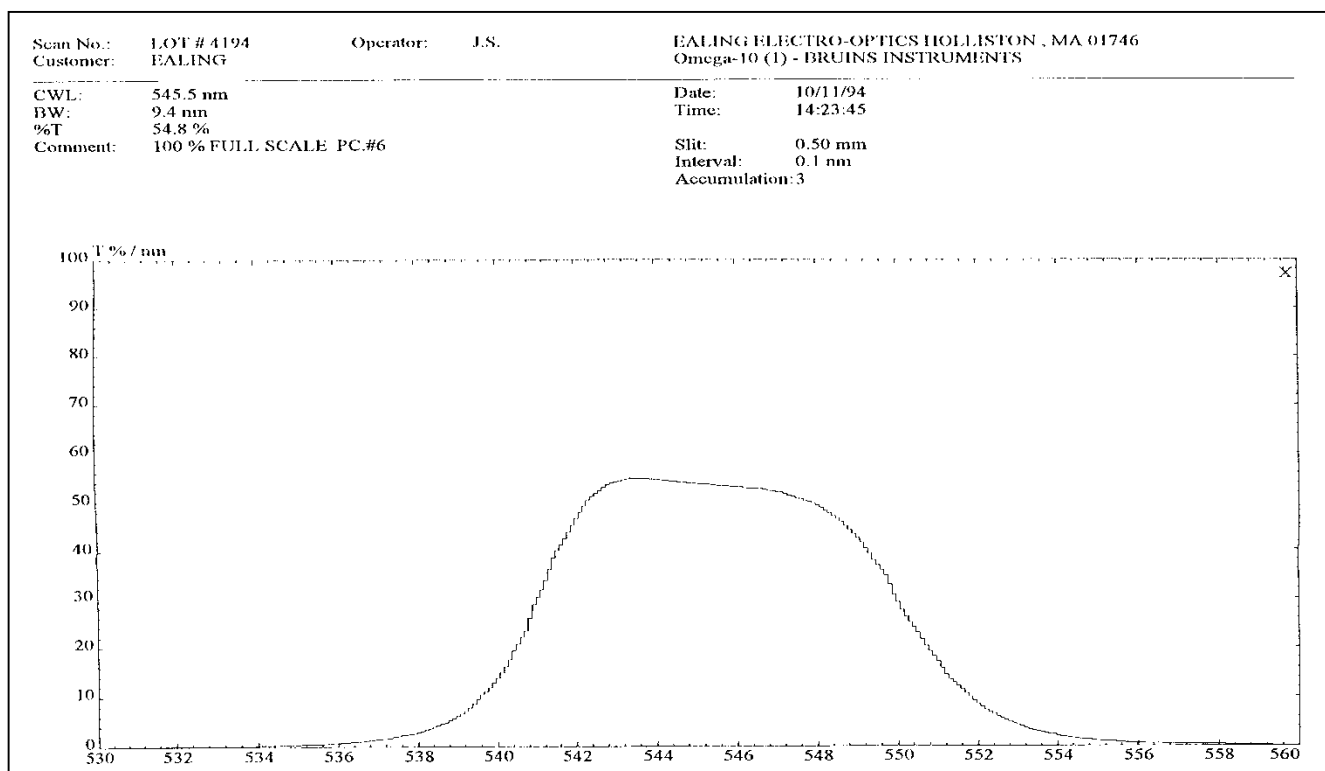
Liste des logiciels

ChromexLV
Excel

cadre 11.

3.2.2. Étude du spectre de transmission d'un filtre interférentiel

- Déterminer la bande passante du filtre (largeur du pic à mi-hauteur).
- Déterminer le facteur de transmission à 545,5 nm.
- Conclusions. Comparer votre enregistrement à celui fourni par le constructeur ci-dessous.



3.2.3 Étude de la densité optique de lunettes de sécurité laser

- Relever sur la courbe mesurée précédemment la densité optique des lunettes à 633 nm . Comparer à $D_{(633)}$ à la valeur indiquée sur les lunettes (OD) ; conclusion.
- Les lunettes de protection pour les lasers He-Ne que nous avons au laboratoire sont-elles encore assez efficaces pour nous protéger ? (argumenter votre réponse en sachant que le laser le plus puissant émet un flux Φ de puissance 30mW et qu'un laser continu de puissance inférieure à 1mW ne nécessite pas le port de lunettes).

3.2.4 Étude d'une LED blanche de type LUXEON.

- Le spectre de cette LED est il similaire à de la lumière naturelle ? Pourquoi ?
- Fin 2010, un rapport d'expertise français relevait les risques inhérents à l'emploi de certaines lampes LED blanches, en particulier chez les enfants. Expliquer les raisons de ce risque.

3.2.5 Étude de construction

L'étude porte sur le support du laser défini sur le dessin d'ensemble donné (ce n'est pas forcément celui utilisé en pratique dans ce TP)

Ce support permet d'obtenir dans votre montage optique le réglage de la direction d'émission du rayon laser :

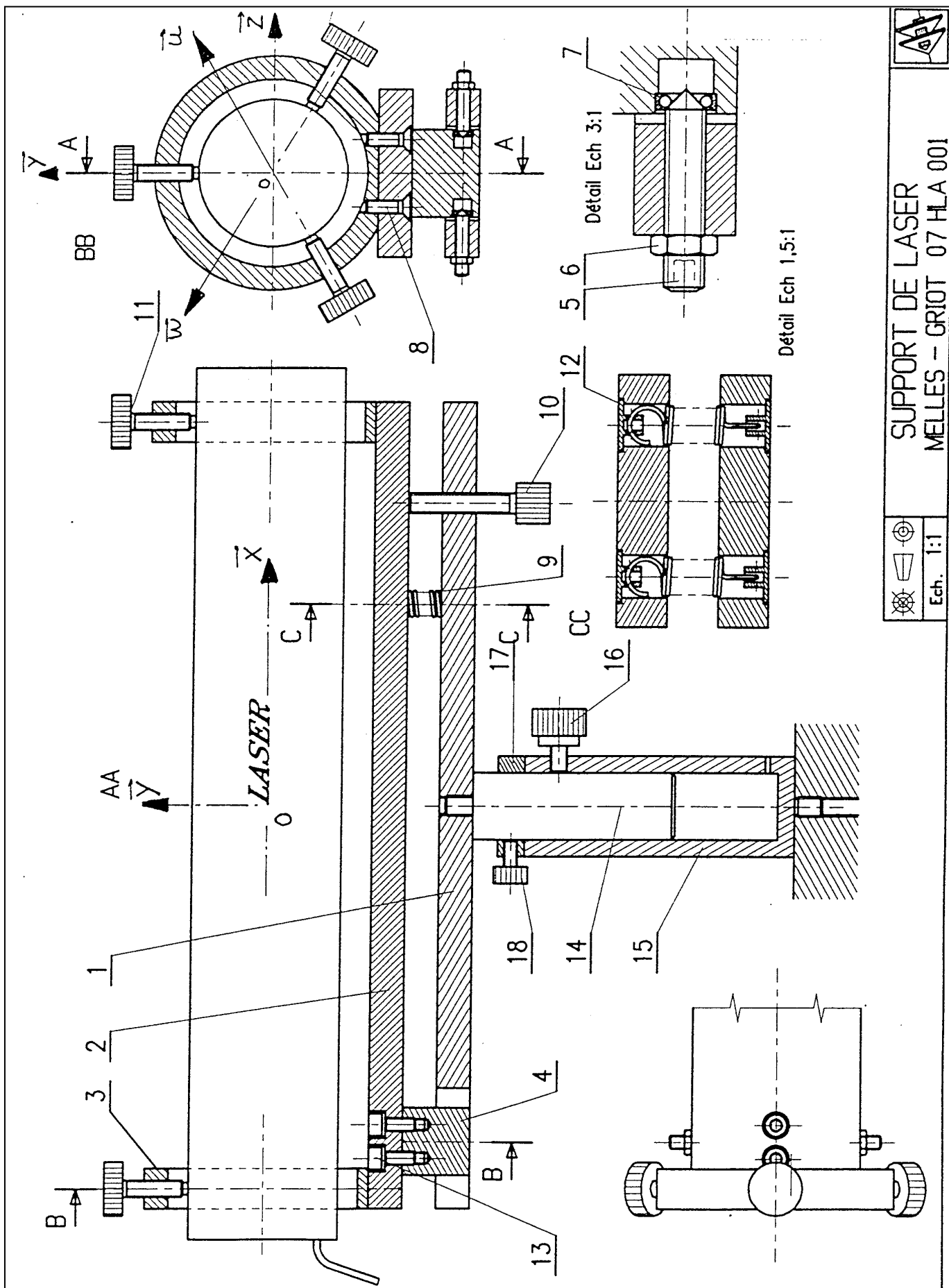
- Verticalement (translation suivant y) en agissant sur la vis 18.
- Angulairement (rotation autour de z) en agissant sur la vis de réglage 10. Deux ressorts de rappel 9 permettent de maintenir le contact entre 1 et 2 au travers de la vis de réglage 10.
- Angulairement (rotation autour de y) en agissant sur la vis 16.
- Angulairement (rotation quelconque) en agissant sur les vis de fixation du laser dans les deux supports 3 et 3'.

Les classes d'équivalence du mécanisme vous sont données ci-dessous :

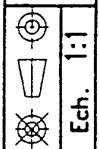
$A = \{ \text{Laser} \}$	$E = \{ 11 \}$
$B = \{ 1, 5, 6, 12, 14, 17, 18 \}$	$F = \{ 15 \}$
$C = \{ 2, 3, 4, 7, 8, 12, 13 \}$	$G = \{ 16 \}$
$D = \{ 10 \}$	

Travail demandé :

- Colorier les sous-ensembles cinématique sur le dessin d'ensemble.
- Déterminer le graphe cinématique du mécanisme. Définissez complètement les liaisons.
- Tracer, en couleur, le schéma cinématique dans les plans (x,y) et (y,z).



SUPPORT DE LASER
MELLES - GRIOT 07 HLA 001



Ech. 1:1