

TP 10B – Ondes lumineuses : polarisation et interférences

Fentes d'Young et loi de Malus

Problématiques :

Comment créer et analyser une onde lumineuse polarisée rectilignement ?

Comment mesurer la longueur d'onde d'une onde lumineuse monochromatique via le phénomène d'interférences par division du front d'onde ?

Compétences expérimentales au programme :

Détecteurs. Intensité lumineuse.	Mettre en œuvre des expériences utilisant un capteur photographique numérique.
Analyser une figure d'interférence.	Mettre en œuvre un photodétecteur en sortie d'un interféromètre.
Analyser une lumière.	Identifier, à l'aide d'un polariseur, une onde polarisée rectilignement et repérer sa direction de polarisation. Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.

Objectifs :

- Confronter résultats théoriques (Malus ChEM5 et Young ChO2) et expérimentaux.
- Déterminer la longueur d'onde d'un LASER.

A faire pour la séance de TP :

Lire entièrement le sujet et répondre aux questions ✍.



**DANGER
RAYONNEMENT
LASER**

Attention au trajet direct et aux réflexions du faisceau LASER !

1^e partie. Polarisation d'une onde EM visible – Loi de Malus

La lumière solaire est non polarisée mais des phénomènes rencontrés dans la nature sont capables de polariser (partiellement) rectilignement la lumière, cf DOC 1.1.

Au laboratoire, on utilise un polariseur (cf DOC 1.2) pour polariser rectilignement une onde lumineuse.

👉 Sur le banc d'optique, disposer un LASER muni d'un objectif de microscope pour élargir le faisceau, deux polariseurs, une lentille convergente et un luxmètre.

Le 1^{er} polariseur que rencontre la lumière est nommé « polariseur » ; le 2nd est nommé « analyseur ».

La lentille convergente vise à concentrer la lumière sur la surface du luxmètre.

👉 1. Énoncer la loi de Malus. Proposer un protocole permettant de la vérifier expérimentalement.

👉 Après validation, mettre en œuvre ce protocole.

👉 2. Analyser les résultats.

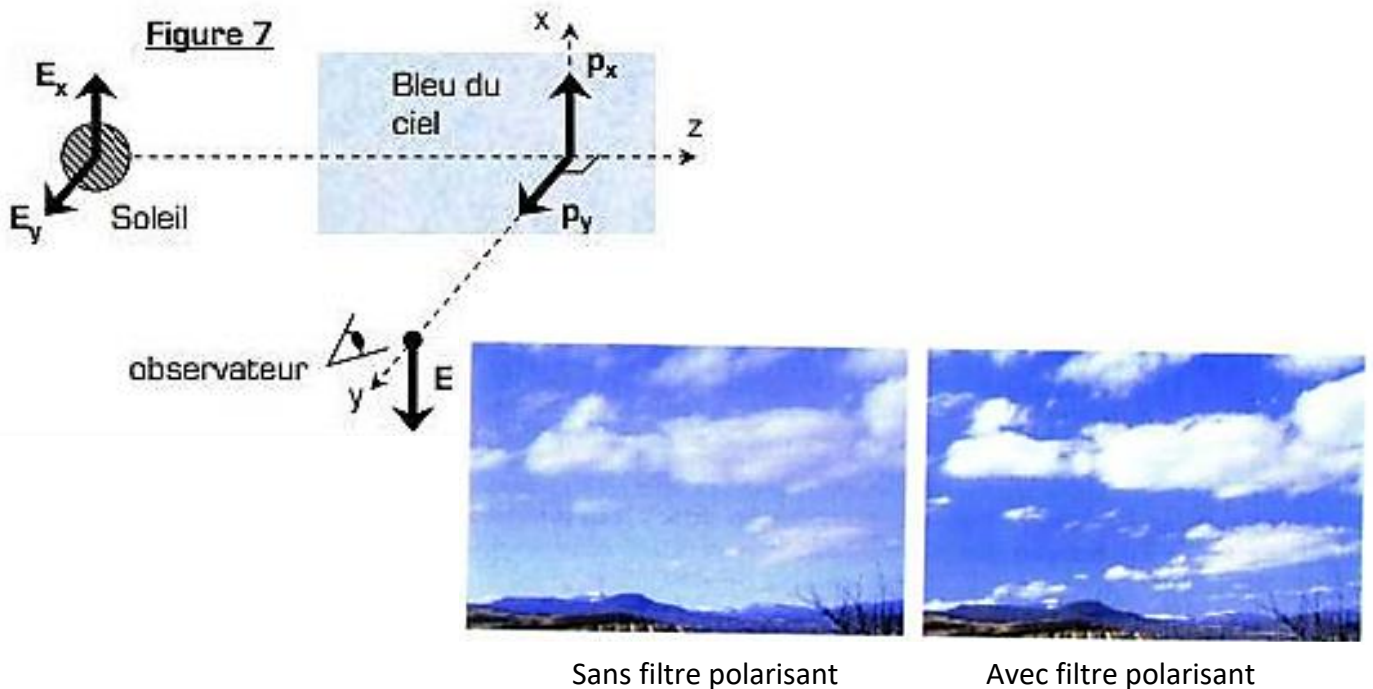
👉 Retirer le polariseur et tourner à nouveau l'axe de l'analyseur. Faire de même avec la lampe à filament à la place du LASER.

👉 3. Notez vos observations et interprétez.

DOC 1.1 : Polarisation par phénomènes naturels

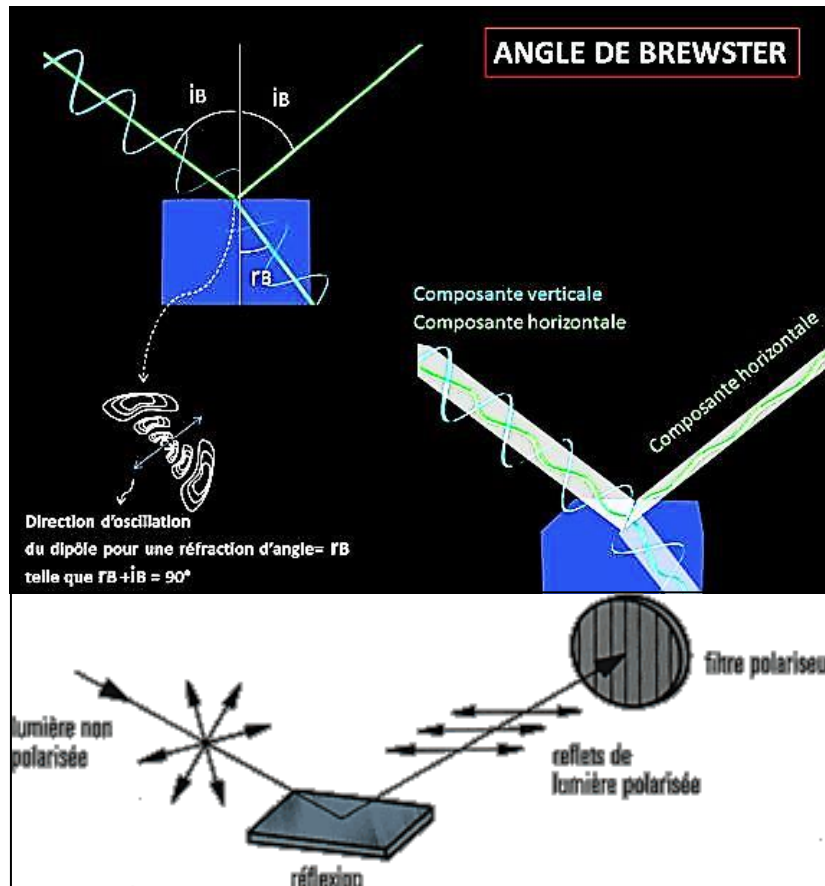
♦ Polarisation par diffusion Rayleigh

La lumière du ciel est partiellement polarisée (*MP cf ChEM8*). Au travers d'un polariseur d'axe de transmission horizontal, la lumière du ciel, observée à 90° de la direction des rayons solaires incidents, est atténuée : en effet, la lumière recueillie est alors polarisée préférentiellement dans une direction verticale. L'utilisation de filtres polarisants en photographie repose sur le filtrage de certaines composantes de la lumière atmosphérique diffusée : ceci permet d'accentuer le contraste entre le ciel (assombri par « coupure » d'une composante polarisée) et les nuages.



♦ Polarisation par réflexion vitreuse

Les reflets de la lumière du soleil sur l'eau, la neige, sont (pour un angle d'incidence proche de l'angle de Brewster, soit 53° pour l'eau) polarisés parallèlement à la surface réfléchissante horizontale. Un polariseur dont la transmission est verticale (ex : lunettes de soleil avec des verres dits polarisants) présente l'intérêt de supprimer une grande partie de la lumière réfléchie.



DOC 1.2 : Polariseur (rappels ChEM5)

Un **POLARISEUR** est une lame d'épaisseur négligeable, possédant deux directions \vec{v} et \vec{w} privilégiées (cf « matériau constitutif ») de son plan, orthogonales entre elles, et telles que la lame est :

- parfaitement transparente pour un champ \vec{E} parallèle à \vec{v} : **axe de transmission** ;
- totalement absorbante pour un champ \vec{E} parallèle à \vec{w} .

La lumière sortant d'un polariseur est polarisée rectilignement dans la direction \vec{v} quelle que soit la nature de la lumière incidente : $\vec{E}' = (\vec{E} \cdot \vec{v})\vec{v}$, cf figure 1.

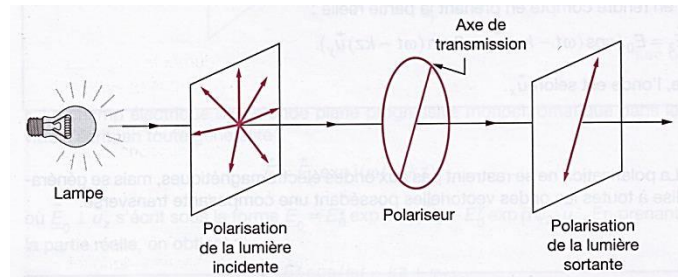
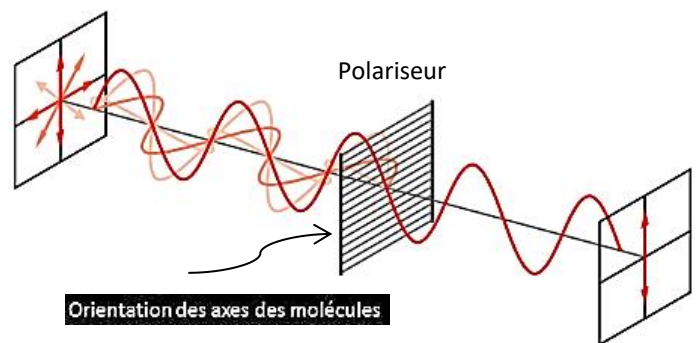


Figure 1

♦ Matériau constitutif d'un polariseur

Un polariseur « dichroïque » (= polaroid) est un milieu anisotrope qui se comporte comme un isolant électrique (« diélectrique ») pour une onde polarisée selon \vec{v} (axe de transmission) et comme un conducteur parfait pour une onde polarisée selon \vec{w} (« axe d'extinction »).

Les matériaux présentant une **structure polymérique orientée selon une direction particulière** peuvent constituer un polariseur : chaque chaîne du polymère se comporte comme un « fil électrique » qui dissipe la vibration du champ électrique de l'onde dans cette direction (**axe « d'extinction »**).



Ex : Le PVA (alcool polyvinylique) étant une longue molécule, l'étirement de la feuille permet de l'aligner dans une direction particulière.

Cette matière est le type de polariseur le plus largement répandu (photographie, lunettes de soleil).

2^e partie. Interférences d'ondes lumineuses avec les fentes d'Young

On cherche à observer des interférences lumineuses en éclairant des **fentes d'Young** par un **LASER vert** $\lambda_0 = 532 \text{ nm}$. On caractérise les fentes par deux longueurs : **a la distance entre les fentes** et **b la largeur des fentes**. On utilisera successivement les **jeux de fentes n°1, 2, 3 et 4** du jeton NOVA (cf DOC 2.2).

1) Résultats théoriques (Cf Ch.O2)

✎➡ 4. Pour des trous d'Young éclairés par une source ponctuelle et monochromatique, rappeler l'expression de l'interfrange i en fonction de la longueur d'onde λ_0 de la source, de la distance a entre les trous et de la distance D des trous d'Young à l'écran. Rappeler à quelle condition sur la distance D , cette expression de l'interfrange est valide. *On admettra que l'expression de l'interfrange ne change pas en considérant des fentes d'Young au lieu des trous.*

✎➡ 5. On réalise l'expérience en éclairant les fentes d'Young avec un LASER. Pourquoi a-t-on choisi une telle source ?

2) Etude expérimentale

♦ On éclaire d'abord les fentes d'Young n°1 du jeton NOVA par le LASER.
Dans un 1^{er} temps, on les observe sur un écran puis avec la caméra CALIENS, cf DOC 2.1.

✎ Observer les interférences sur l'écran.

Vous orienterez judicieusement les fentes pour l'étude avec la caméra CALIENS.

Vous apporterez un soin particulier aux alignements : direction de la lumière du LASER parallèle à l'axe du banc ; hauteurs, orientation des plans des fentes et de l'écran (orthogonaux à l'axe du banc → lumière du LASER en incidence normale sur le jeton NOVA).

Vérifier la non-localisation des franges puis choisir judicieusement la distance fentes-écran.

➡ 6. Noter les directions des fentes, de la figure de diffraction et des franges d'interférences.

✎➡ 7. Parmi les longueurs caractéristiques des fentes, laquelle est associée au phénomène de diffraction ? Laquelle est associée au phénomène d'interférences ?

✎ Le faisceau laser étant très intense, il est probable que le capteur CCD sature. Placer devant le capteur deux polariseurs et régler l'orientation du 2^e pour diminuer l'intensité (on exploite la loi de Malus !). Remplacer l'écran par la caméra CALIENS et visualiser le profil d'intensité avec le logiciel.

Vous apporterez un soin particulier aux alignements : le pied de la caméra permet de régler sa hauteur et sa position (gauche/droite) par rapport au banc, il faut aussi régler l'orientation de la caméra (plan du capteur orthogonal à l'axe du banc). Vous pourrez affiner les réglages avec le profil d'intensité affiché.

✎➡ 8. Montrer que la largeur L du champ d'interférences s'écrit : $L \approx 2D \frac{\lambda_0}{b}$.

➡ 9. Compter le nombre de franges de même nature visibles dans la tache centrale de diffraction. Interpréter ce résultat.

➡ 10. A l'aide du profil d'intensité obtenu : déterminer le plus précisément possible la longueur d'onde du LASER. Analyser le résultat.

♦ Tourner soigneusement le jeton NOVA pour étudier le profil d'intensité avec les 3 autres jeux de fentes. Pour chaque jeu de fentes, reprendre les questions 9 et 10.

DOC 2.1 : Caméra CALIENS

La caméra CALIENS dispose d'une **barrette CCD**.

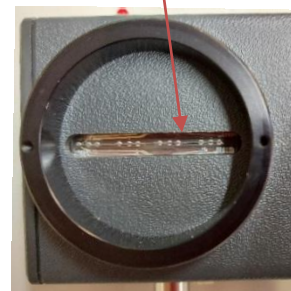
Capteur CCD (*Charge-Coupled Device* = « dispositif à transfert de charge ») : Inventé par G. E. Smith et W. Boyle (lauréats du prix Nobel en 2009) dans les laboratoires Bell en 1969, il a rapidement été adopté pour des applications de pointe (imagerie astronomique) puis popularisé sur les caméras et appareils photo.

Les photorécepteurs sont essentiellement basés sur l'**effet photoélectrique** (cf ChMQ) :

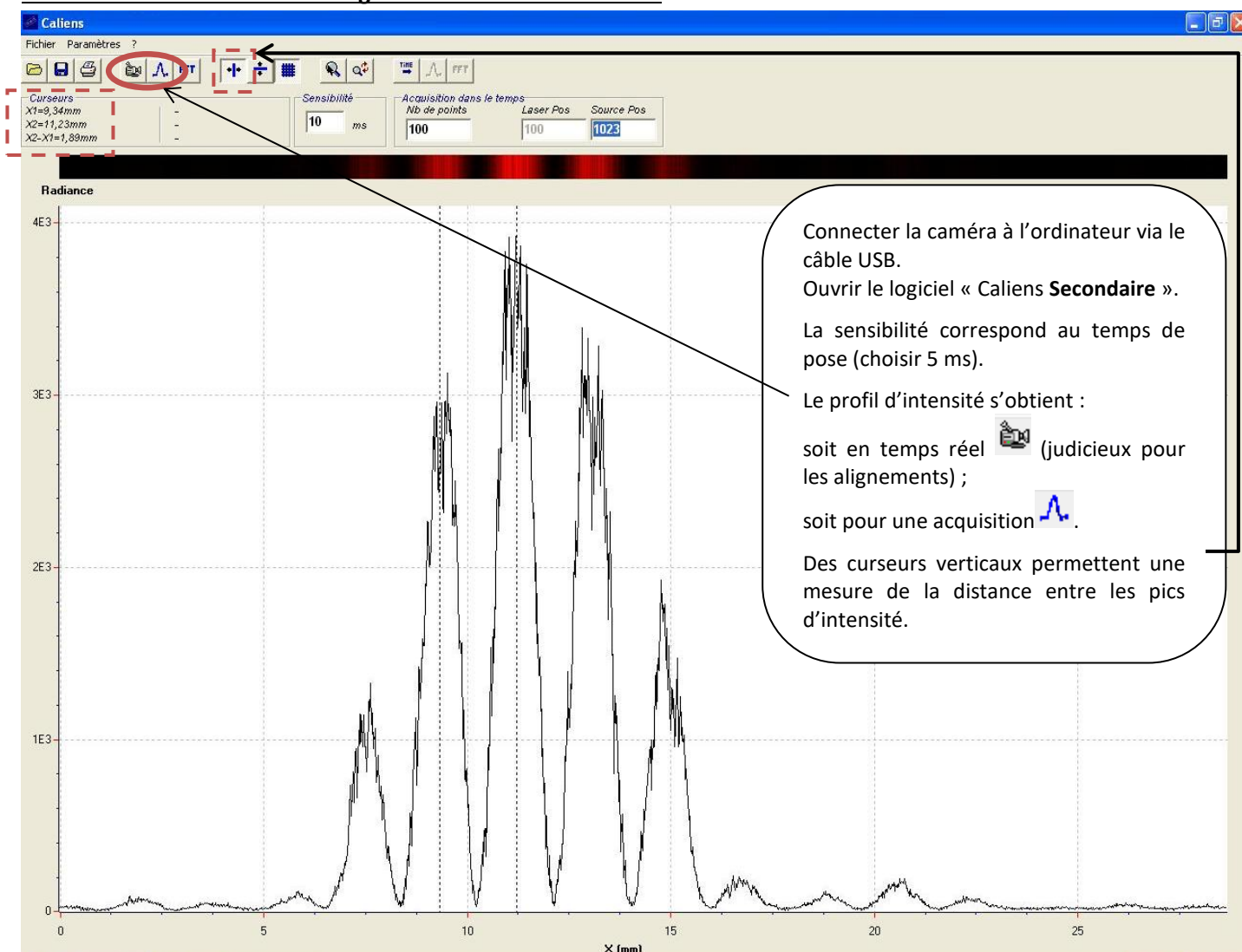
- externe (photomultiplicateur) : l'interaction d'un photon provoque l'émission d'un électron hors du matériau ;
- interne (photodiode et barrette CCD, photorésistance) : l'interaction d'un photon provoque la création d'une paire électron-trou ce qui conduit à une augmentation de la conductivité et/ou l'apparition d'une f.e.m.

La caméra CALIENS est composée de 2048 pixels de 14 μm de large (soit une zone sensible d'environ 30 mm).

Une des caractéristiques importantes d'un photorécepteur est son temps de réponse qui donne le temps d'évolution du signal électrique pour une variation brusque du flux incident (obscurité – lumière et lumière – obscurité) : CALIENS a un temps de pose minimal égal à 5 ms.



Utilisation de la caméra et du logiciel CALIENS SECONDAIRE :



DOC 2.2 : Caractéristiques techniques des jeux de fentes NOVA

NOVA OCD 120

JETON FENTES DOUBLES ET MULTIPLES RADIAL

Disque au diamètre 40mm avec masque de chrome permettant d'étudier les interférences par 2 fentes (expérience d'Young) mais aussi par des fentes multiples pour introduire la notion de réseau de diffraction. Il se place dans n'importe quel support de lentille standard, mais est conseillé avec les supports magnétiques rotatifs pour une utilisation plus confortable.

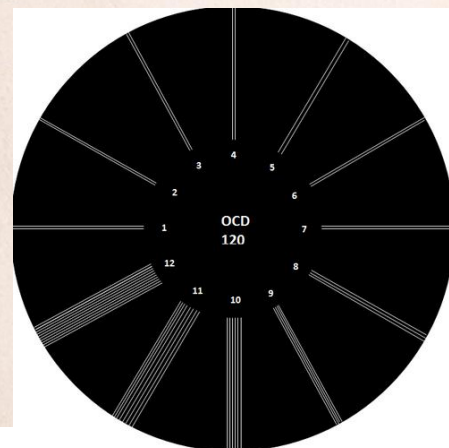
Diamètre du disque : 40mm, Épaisseur : 2mm, Matériau : chrome sur verre

Disposition : Radiale, 1 élément tous les 30°

Contenu :

- (N°1 à 4) : 4 paires de fentes de largeur 70µm et écartement 500, 400, 300 et 200µm
- (N°4 à 6) : 3 paires de fentes d'écartement 200µm et de largeur 70, 100, 40µm
- (N°7) : 1 fente double de largeur 70µm et d'espacement 100µm
- (N°8) : 1 fente triple de largeur 70µm et d'espacement 100µm
- (N°9) : 1 fente quadruple de largeur 70µm et d'espacement 100µm
- (N°10) : 1 groupe de 6 fentes de largeur 70µm et d'espacement 100µm
- (N°11) : 1 groupe de 8 fentes de largeur 70µm et d'espacement 100µm
- (N°12) : 1 groupe de 10 fentes de largeur 70µm et d'espacement 100µm

Précision : 1µm pour dimensions <100µm, 1% pour dimensions >100µm



Rotation TP10 1^e série :

	29-janv	05-févr	26-févr		29-janv	05-févr	26-févr
Térence - Charles	A	B	C	Gaspard - Timothée	A	B	C
Bastien - Lubin -Jules	A	B	C	Natoye - Antoine	A	B	C
Zinedine - Laila	A	B	C	David - Eliott	A	B	C
Salahaddin - Baptiste	B	C	A	Elodie - Margot	B	C	A
Pauline - Nolann	B	C	A	Adelin - Nathan C.	B	C	A
Noah - Robin	B	C	A	Amine - Camille	B	C	A
Alexis - Ethan	C	A	B	Charlélie - Nathan L.	C	A	B
Mathilde - Laura	C	A	B	Maël - Robin	C	A	B
Mathis - Adrien	C	A	B	Armand - Tristan	C	A	B