

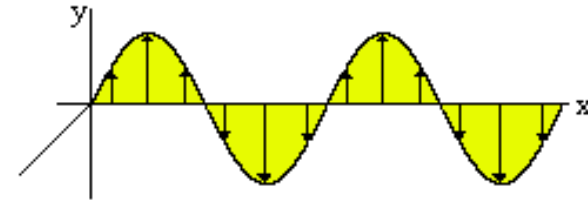
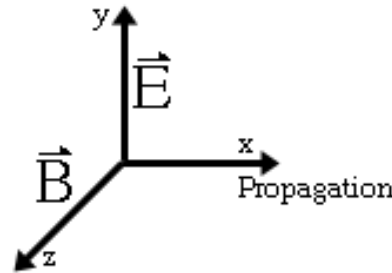


La polarisation

Une onde électromagnétique peut être représentée comme la superposition d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{B} .

\vec{E} et \vec{B} sont :

- perpendiculaires à la direction de propagation;
 \vec{E} , \vec{B} sont donc perpendiculaire à \mathbf{k} (\mathbf{k} est le vecteur d'onde, il symbolise la direction de propagation de l'onde)
- perpendiculaires entre eux;
- en phase (nœuds et ventres de vibration se trouve au même endroit)
- se déplacent à la vitesse de 300 000 km/s dans le vide

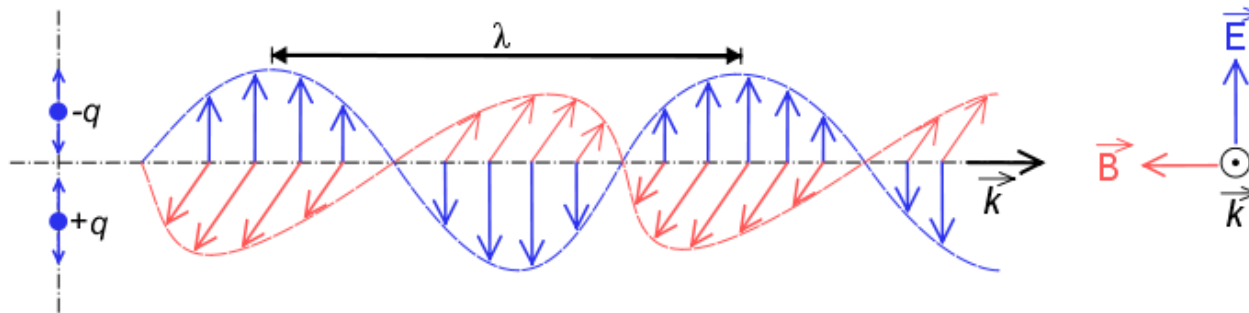


Vecteur de Poynting

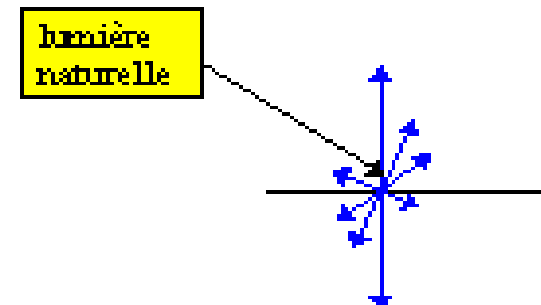
Le **vecteur de Poynting**, noté \vec{S} , $\vec{\Pi}$, ou encore \vec{R} est un **vecteur** dont la direction indique, dans un milieu isotrope, la direction de propagation d'une **onde électromagnétique** et dont l'intensité vaut la densité de **puissance** véhiculée par cette onde. Le **module** de ce vecteur est donc une puissance par unité de **surface**.

$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} \text{ avec } \vec{E} \text{ le } \text{champ électrique} \text{ et } \vec{B} \text{ le } \text{champ magnétique}, \text{ dans le vide.}$$

- On raisonnera ci dessous sur le vecteur du seul champ électrique \vec{E} .

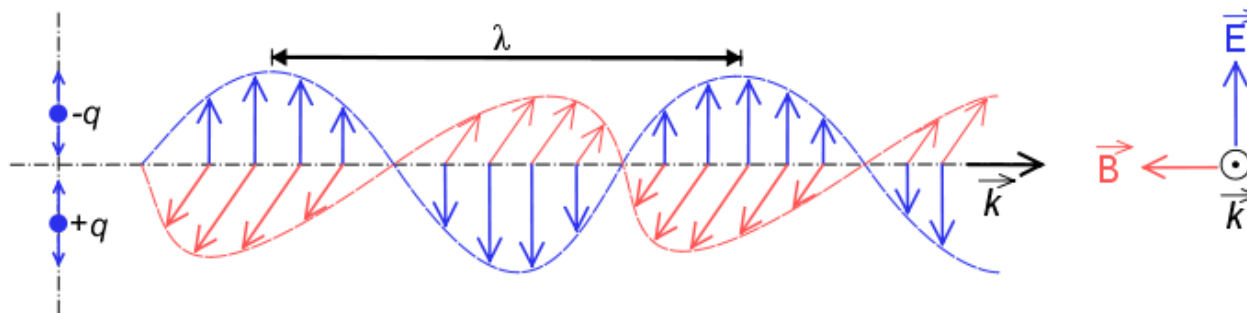
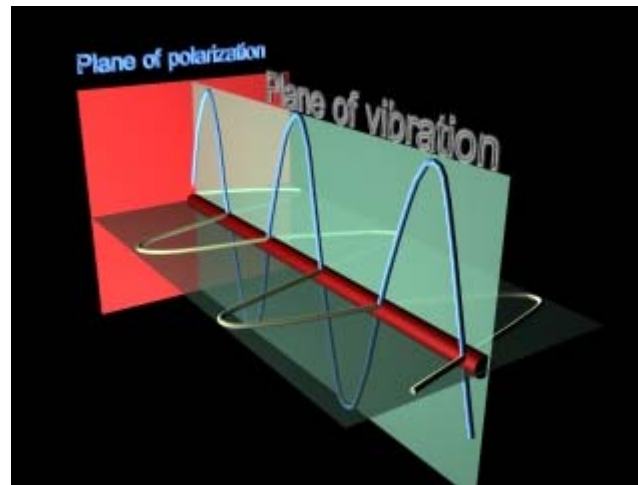


- Rappelons que dans la lumière dite **naturelle** contient des trains d'onde incohérente où toutes les orientations, dans le plan perpendiculaire à la vitesse, sont équivalentes.

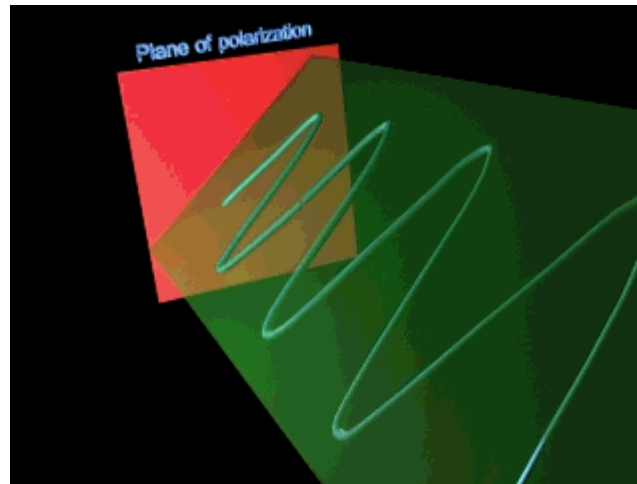


Polarisation

La polarisation est définie par la direction et à l'amplitude du champ électrique \mathbf{E} .



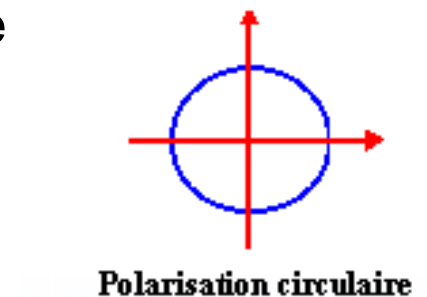
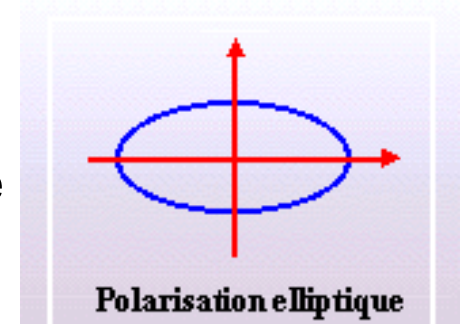
- Pour une onde non polarisée, ou naturelle, **E** tourne autour de son axe de façon aléatoire et imprévisible au cours du temps.
 - Polariser une onde correspond à donner une trajectoire définie au champ électrique.
 - Il y a plusieurs sortes de polarisation:
1. **La polarisation linéaire quand E reste toujours dans le même plan.**



Polarisation circulaire et elliptique

Mais aussi:

- La polarisation elliptique, **E** tourne autour de son axe et change d'amplitude pour former une ellipse.
- La polarisation circulaire, **E** tourne autour de son axe en formant un cercle.
- Ces régimes s'obtiennent quand 2 (ou plus) champs E_1 et E_2 se somment avec des différences de phase et d'amplitude



Exploration: polarisation rectiligne, circulaire, elliptique

http://www.iai.heig-vd.ch/~lzo/applets/physlets_em_optics/contents/optics/polarization/illustration39_7.html

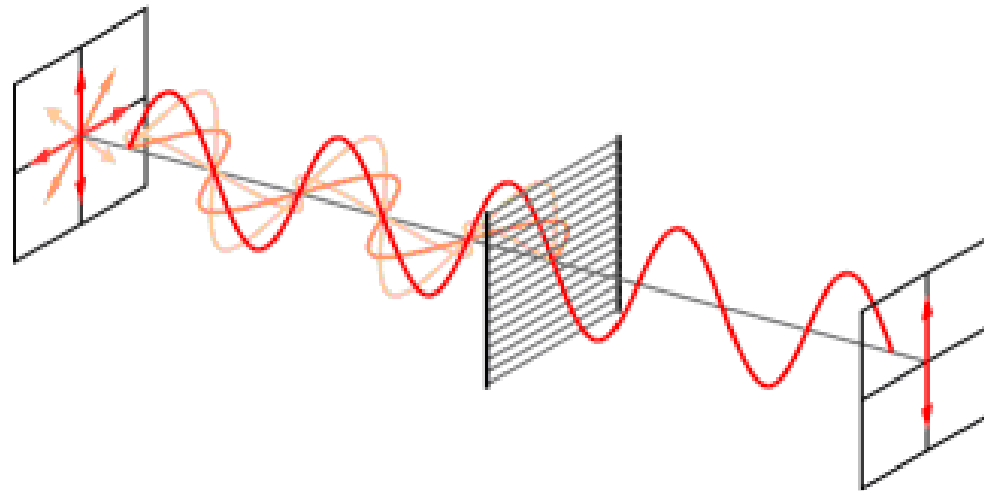


En résumé :

- la **lumière naturelle** correspond à des orientations aléatoires de **\mathbf{E}** , normales par rapport à la direction de propagation, et toutes équivalentes.
- la **lumière polarisée** correspond à **une** orientation privilégiée de **\mathbf{E}** .

Polariseurs par absorption: polaroïds

- Un polariseur rectiligne P est un dispositif qui ne transmet que la composante de E parallèle à un axe privilégié appelé axe du polariseur.
- Les plus courants sont les *polaroïds*. Ils contiennent de longues chaînes polymères (hydrocarbures) parallèles sur lesquelles on fixe des atomes présentant un imposant nuage électronique, en l'occurrence de l'iode. Cela assure une certaine conduction électrique parallèlement aux chaînes.



- Or nous avons vu que les ondes lumineuses ne se propagent pas dans les milieux conducteurs. Le *polaroïd* est en quelque sorte un milieu conducteur anisotrope, conducteur dans une direction et isolant dans la direction perpendiculaire.
- Le champ électrique ne pourra donc pas se propager dans la direction conductrice des chaînes hydrocarbonées, mais par contre se propagera dans la direction isolante qui est perpendiculaire.
- A la sortie de ce milieu, l'onde lumineuse sera polarisée rectilignement.

Applet: effet de 1, 2 et 3 polariseurs

<http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/Polarization.htm>

Loi de Malus

- La loi de Malus porte sur la quantité d'intensité lumineuse transmise par un polariseur parfait.
- Supposons qu'une onde plane (déjà) polarisée rectilignement passe par un polariseur.
- On note θ l'angle que fait cette polarisation avec l'axe du polariseur.
- L'onde sortante est alors polarisée selon l'axe du polariseur, mais elle est atténuée par un certain facteur.
- Si l'on note I_0 et I les intensités incidente et sortante, alors la loi de Malus s'écrit :

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

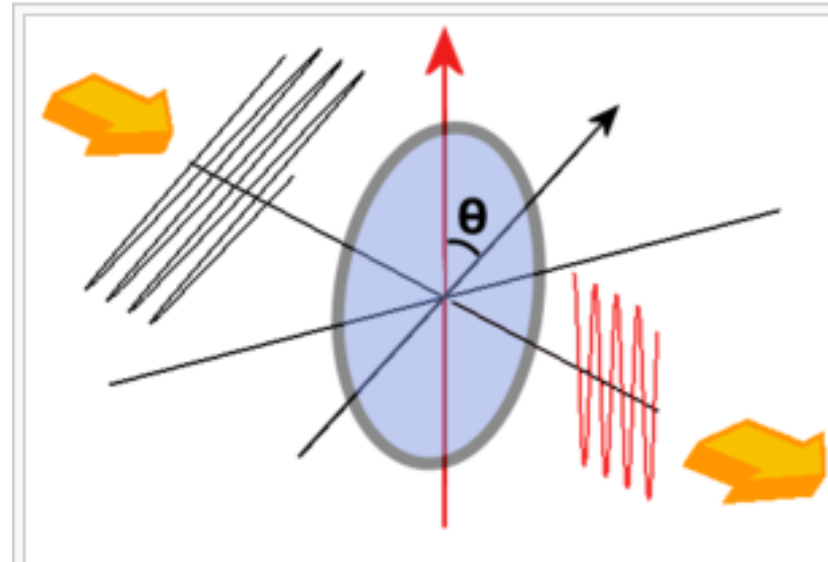


Illustration de la loi de Malus. L'axe rouge du polariseur fait un angle θ avec l'axe noir de polarisation de l'onde incidente, un angle θ . L'onde ressort polarisée dans le même sens que l'axe du polariseur, et atténuée.

Cette loi a quelques conséquences importantes.

- Si la polarisation de l'onde incidente est dans la même direction que l'axe du polariseur, alors toute l'intensité lumineuse est transmise ($\theta = 0$).
- Si la polarisation de l'onde incidente est orthogonale à l'axe du polariseur, alors il n'y a pas d'onde sortante ($\theta = 90^\circ$). Dans ce cas, on dit que le polariseur est croisé.
- Si l'onde incidente **n'est pas polarisée**, c'est-à-dire qu'elle est constituée de toutes les polarisations possibles, alors en effectuant la moyenne de I , on obtient

$$I = \frac{I_0}{2}$$

la moitié de l'intensité passe.

- **En pratique** on n'obtient pas 50% de transmission car les polariseurs ne sont pas parfaits et filtrent une partie de la lumière: **les polaroïds transmettent 30-38%** du rayonnement incident. Seulement certains prismes biréfringents en transmettent 49.9%.

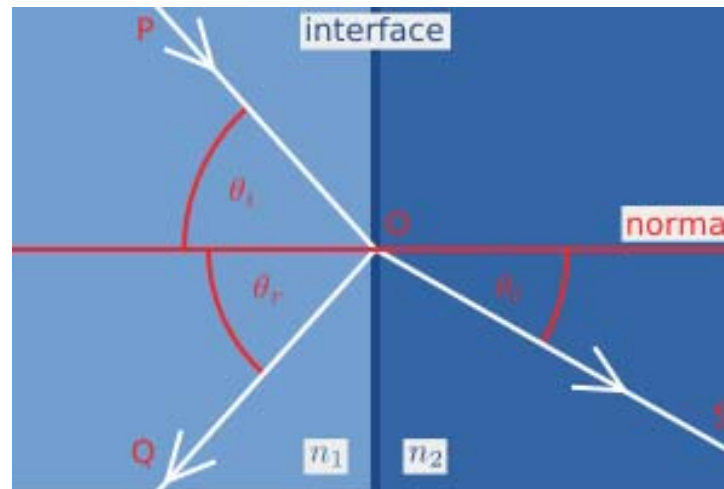
Exercices – travail personnel

1. Quelle doit être l'orientation relative de deux polariseurs pour qu'une lumière naturelle soit transmise avec une intensité réduite de la moitié ?
2. On a deux polariseurs linéaires croisés dont les axes sont vertical et horizontal. On insère un troisième polariseur dont l'axe fait 45° avec la verticale. Déterminer l'intensité émergente, avant et après l'introduction du troisième polariseur.

Polarisation lors de réflexion et réfraction

Quand la lumière passe d'un milieu d'indice n_1 à un autre d'indice n_2 , en général il en résultera à la fois des phénomènes de réfraction et réflexion.

Les équations de Fresnel expriment les liens entre les amplitudes des ondes réfléchies et transmises par rapport à l'amplitude de l'onde incidente. Pour cela on introduit le coefficient de réflexion en puissance R et le coefficient de transmission en puissance T .

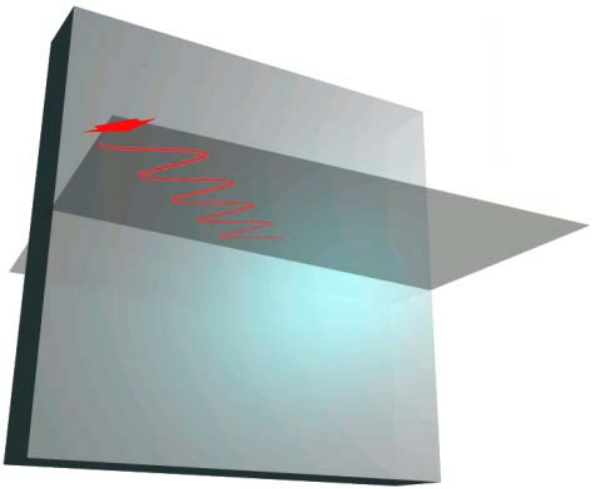
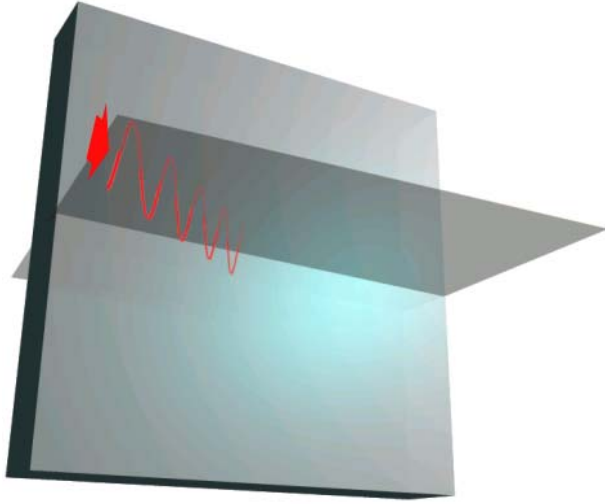


En général, ces coefficients dépendent:

- des indices des milieux d'entrée et de sortie, respectivement n_1 et n_2
- des angles d'incidence $\theta_i = \theta_1$ et de réfraction-transmission $\theta_t = \theta_2$,
- de la polarisation des ondes. Ce qui amène à une polarisation éventuelle d'une onde initialement non polarisée.

Les coefficients de réflexion et transmission dépendent de la polarisation de l'onde incidente en rapport avec le plan de la surface d'incidence.

On considère les deux cas suivants de polarisation rectiligne :

	
Polarisation s : E normal au plan d'incidence	Polarisation p : E parallèle au plan d'incidence

1. E normal au plan d'incidence : l'onde (c.a.d. le champ électrique) incidente est polarisée perpendiculairement au plan d'incidence (en conséquence le champ magnétique est contenu dans le plan d'incidence). Cet état est aussi appelé polarisation s (*senkrecht* en allemand)
2. E parallèle au plan d'incidence : l'onde incidente est polarisée perpendiculairement au plan d'incidence. Cet état est aussi appelé polarisation p (parallèle).


Les coefficients de réflexion en puissance, aussi appelée réflectances, sont différents pour les deux cas de polarisation et sont donnés par :

$$R_s = \left[\frac{\sin(\theta_t - \theta_i)}{\sin(\theta_t + \theta_i)} \right]^2 = \left[\frac{n_1 \cos(\theta_i) - n_2 \cos(\theta_t)}{n_1 \cos(\theta_i) + n_2 \cos(\theta_t)} \right]^2$$

$$R_p = \left[\frac{\tan(\theta_t - \theta_i)}{\tan(\theta_t + \theta_i)} \right]^2 = \left[\frac{n_1 \cos(\theta_t) - n_2 \cos(\theta_i)}{n_1 \cos(\theta_t) + n_2 \cos(\theta_i)} \right]^2$$

Les transmittances dans chaque cas sont données par

$$T_s = 1 - R_s \text{ et}$$
$$T_p = 1 - R_p$$



La lumière "ordinaire" ou naturelle est en général non-polarisée, c'est-à-dire que le champ électrique est orienté en moyenne de façon arbitraire et reste selon une orientation particulière pour des intervalles de temps trop petits pour être mesurés.

Comme on peut considérer qu'elle contient un mix de polarisation s et p sa réflexion est décrite par la moyenne des réflectances R_s et R_p

$$R = \frac{1}{2} (R_s + R_p)$$

L'angle de Brewster

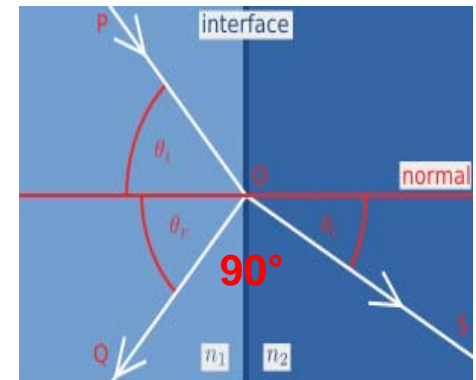
Pour un angle d'incidence particulier à chaque combinaison de n_1 et n_2 , la valeur de R_p tombe à zéro et donc un rayon incident entièrement polarisé p est entièrement réfracté. Cet angle est connu comme l'**angle de Brewster** et est donné par

$$\theta_B = \arctan\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

L'angle de Brewster est d'environ 56° pour le verre dans l'air ou le vide.

Si une lumière naturelle non polarisée est incidente à cet angle, il en résultera que le rayon réfléchi sera **entièrement polarisé en s** et le rayon réfracté aura un certain degré de polarisation p .

Pour un faisceau incident à l'angle de Brewster, les rayons réfléchis et réfractés sont exactement à 90° l'un par rapport à l'autre.



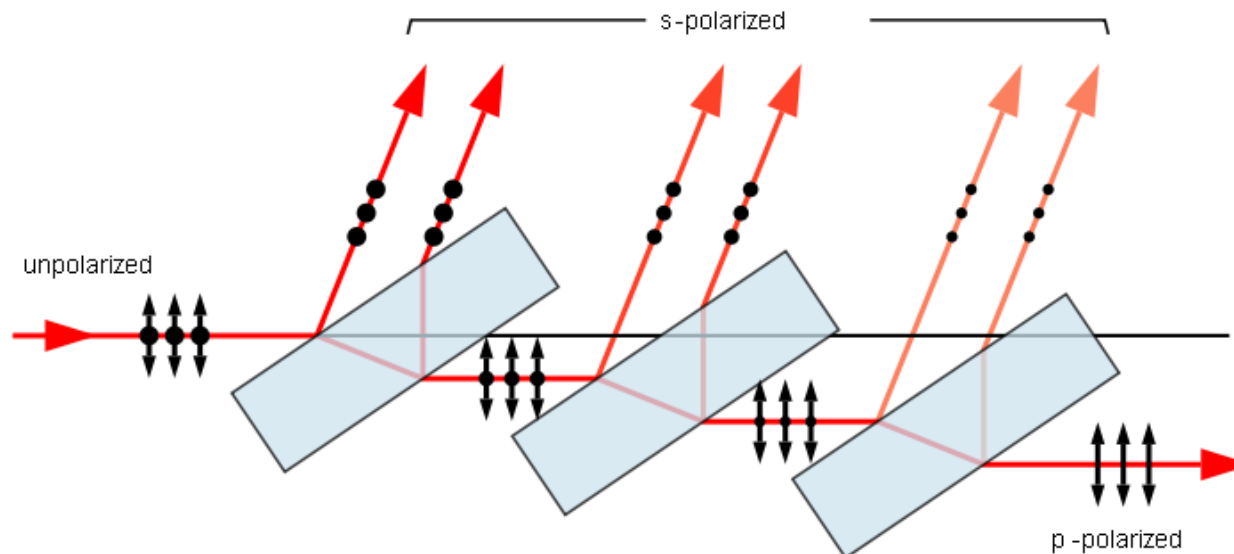
Polarisation partielle

- On entend (et lit parfois) que la lumière réfléchie est polarisée. Mais en général celle-ci ne sera pas en réalité polarisée à 100%.
- Si la lumière réfléchie est dite "polarisée" dès que le champ électrique a une orientation préférentielle, en fait elle ne sera en général que **partiellement polarisée**. La polarisation par réflexion n'est effectivement totale que pour un angle très précis et, de façon générale, elle varie avec l'angle.
- Si on dit que la lumière réfléchie est polarisée, c'est par rapport à la lumière "naturelle" (celle d'une lampe à incandescence par exemple) qui est entièrement dépolarisée : le champ électrique n'a aucune direction privilégiée et vibre dans tous les sens.
- Remarque: la lumière du soleil est aussi **partiellement polarisée** à cause de son interaction avec les atomes de l'atmosphère.

Polarisation par réflexion et séparation de faisceau

- Les polariseurs par séparation de faisceau séparent le faisceau incident en deux faisceaux de polarisations différentes.
- Ils absorbent très peu la lumière, ce qui en fait un avantage par rapport aux polariseurs par absorption.
- Ils sont aussi utiles dans le cas où les deux faisceaux séparés sont nécessaires.

- La façon la plus simple d'en réaliser consiste en une série de lames de verres orientées à **l'angle de Brewster** par rapport au faisceau. A cet angle, valant environ 56° pour le verre, la lumière polarisée **p** (c'est-à-dire parallèlement au plan d'incidence) n'est pas réfléchie par le verre et 16% de la lumière polarisée **s** (perpendiculairement au plan d'incidence) est réfléchie.
- Chaque lame de verre réfléchit deux fois la lumière (à l'entrée et à la sortie), ce qui fait que seul 0.002% de la lumière polarisée **s** est transmise à travers trois lames de verre.



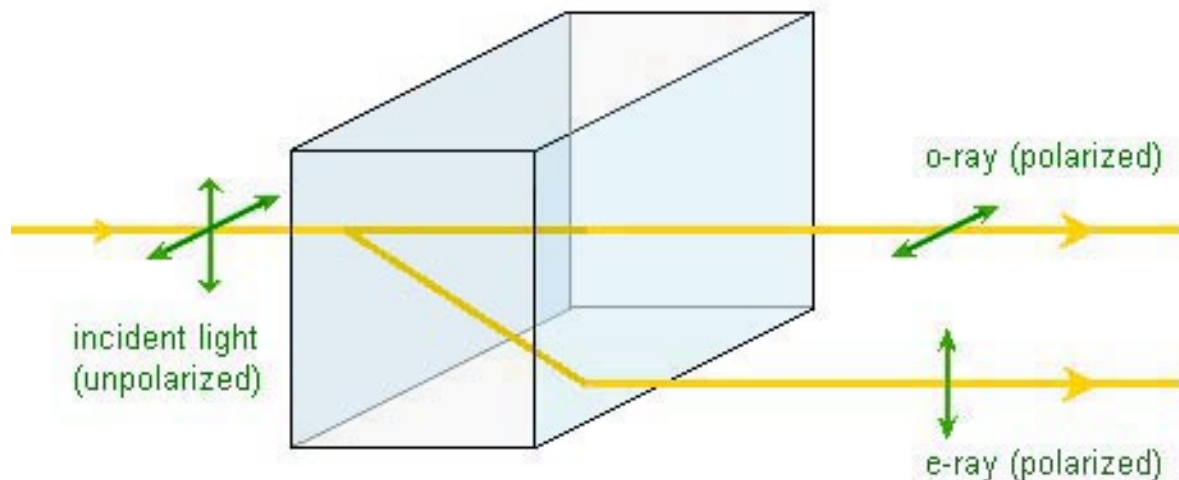
Biréfringence

- La biréfringence est la propriété physique d'un matériau dans lequel la lumière se propage de façon anisotrope.
- Dans un milieu biréfringent, l'indice de réfraction n'est pas unique, il dépend des directions de propagation et de polarisation du rayon lumineux.
- Un effet spectaculaire de la biréfringence est la double réfraction par laquelle un rayon lumineux pénétrant dans le cristal est divisé en deux.
- C'est pourquoi, sur la photographie ci-bas, l'inscription apparaît en double après avoir traversé le cristal de calcite.



Polarisation par biréfringence

- Certains polariseurs exploitent la biréfringence de certains matériaux comme le quartz, la calcite et le spath d'Islande.
- Ces cristaux ont la particularité de diviser un faisceau non polarisé en deux faisceaux polarisés différemment: il existe **deux angles de réfraction**, d'où le terme de biréfringence.
- On parle alors d'un **rayon ordinaire** noté **o** et d'un **rayon extraordinaire** noté **e** (en général, ces deux rayons ne sont pas polarisés rectilignement).



Description des milieux biréfringents

- On considère la propagation d'un rayon lumineux polarisé rectilignement dans un milieu biréfringent. De manière générale, la vitesse de cette onde, ou en d'autres termes l'indice de réfraction, dépend de la direction de polarisation du rayon. C'est le propre d'un milieu biréfringent.
- Il existe cependant au moins une direction privilégiée pour laquelle l'indice est indépendant de la direction de polarisation. Une telle direction est appelée **axe optique** du milieu.
- Il existe alors deux possibilités correspondant à deux types de milieux:
 1. les milieux uniaxes qui possèdent un unique axe optique
 2. les milieux biaxes qui en possèdent deux.

Milieux uniaxes

- Les milieux uniaxes ont deux indices de réfraction principaux : on les appelle indices ordinaire et extraordinaire. Ils sont en général notés respectivement n_o et n_e .
- La différence $\Delta n = n_e - n_o$ est alors appelée **biréfringence** (ou biréfringence absolue) du milieu. Pour la plupart des milieux, elle vaut en valeur absolue **quelques pourcents**.
- On distingue deux cas selon le signe de la biréfringence :
 - $\Delta n > 0$: le milieu est dit uniaxe positif. L'ellipsoïde des indices a une forme allongée (en forme de cigare).
 - $\Delta n < 0$: le milieu est dit uniaxe négatif. L'ellipsoïde des indices a une forme aplatie (en forme de disque).
- De très nombreux cristaux naturels sont uniaxes, comme le quartz, la glace d'eau ou la calcite.
- Les cristaux uniaxes appartiennent aux systèmes cristallins trigonal, tétragonal ou hexagonal.

Milieux biaxes

- Les milieux biaxes ont trois indices de réfraction principaux notés en général n_1 , n_2 et n_3 .
- Les cristaux biaxes appartiennent aux systèmes cristallins triclinique, monoclinique ou orthorhombique.

Uniaxial materials, at 590 nm

Material ▲	n_o ☒	n_e ☒	Δn ☒
beryl $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$	1.602	1.557	-0.045
calcite CaCO_3	1.658	1.486	-0.172
calomel Hg_2Cl_2	1.973	2.656	+0.683
ice H_2O	1.309	1.313	+0.014
lithium niobate LiNbO_3	2.272	2.187	-0.085
magnesium fluoride MgF_2	1.380	1.385	+0.006
peridot $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	1.690	1.654	-0.036
quartz SiO_2	1.544	1.553	+0.009
ruby Al_2O_3	1.770	1.762	-0.008
rutile TiO_2	2.616	2.903	+0.287
sapphire Al_2O_3	1.768	1.760	-0.008
sodium nitrate NaNO_3	1.587	1.336	-0.251
tourmaline (complex silicate)	1.669	1.638	-0.031
zircon, high ZrSiO_4	1.960	2.015	+0.055
zircon, low ZrSiO_4	1.920	1.967	+0.047

Biaxial materials, at 590 nm

Material ☒	n_α ☒	n_β ☒	n_γ ☒
borax	1.447	1.469	1.472
epsom salt $\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$	1.433	1.455	1.461
mica, biotite	1.595	1.640	1.640
mica, muscovite	1.563	1.596	1.601
olivine $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	1.640	1.660	1.680
perovskite CaTiO_3	2.300	2.340	2.380
topaz	1.618	1.620	1.627
ulexite	1.490	1.510	1.520

Lames à retard

- Une lame à retard est un outil optique capable de **modifier la polarisation de la lumière la traversant.**
- C'est un **cristal uniaxial biréfringent** taillé en forme de lame à faces parallèles, **l'axe optique** étant parallèle à la face d'entrée.
- Or la polarisation de la lumière peut être décomposée en deux composantes: chaque composante ne se propage pas à la même vitesse selon qu'elle est parallèle ou perpendiculaire à **l'axe optique** (voir schéma ci-contre).
- Ceci permet de définir deux axes particuliers de la lame: **l'axe lent** et **l'axe rapide** (celui-ci est aussi la direction de l'axe optique du matériaux).

Lame à retard

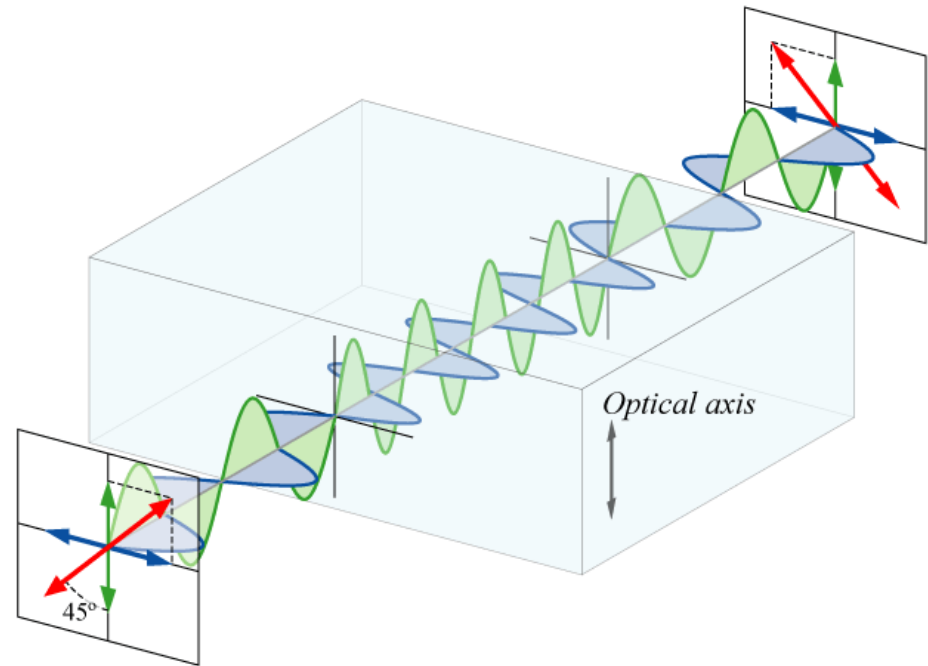
- Une lame à retard permet donc de retarder une de ces deux composantes par rapport à l'autre, c'est-à-dire de provoquer un **déphasage**.
- Ce retard dépend
 - des **deux indices** de réfractions qui caractérisent le matériau utilisé
 - de l'épaisseur de la lame,
 - de la longueur d'onde de l'onde lumineuse considérée.
- La différence de phase induite dans une lame d'épaisseur d est égale à:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| d$$

Types de lames à retard

- La plupart des lames à retard sont taillées dans un cristal de façon à ce que l'axe optique soit parallèle à la face de la lame. Ainsi les axes lent et rapide sont également parallèles à la face de la lame.
- Il existe plusieurs types de ces lames, caractérisées par le déphasage qu'elles produisent entre les deux composantes de la polarisation :
 - Une **lame demi-onde**, également notée lame $\lambda/2$, crée un déphasage valant 180° , c'est-à-dire un retard d'une moitié de longueur d'onde. L'onde sortant d'une telle lame présente une polarisation symétrique de l'onde entrante par rapport à l'axe optique.
 - Une **lame quart d'onde**, également notée lame $\lambda/4$, crée un déphasage de 90° , c'est-à-dire un retard d'un quart de longueur d'onde. Elle permet de passer d'une polarisation rectiligne à une polarisation elliptique ou circulaire, et vice-versa.

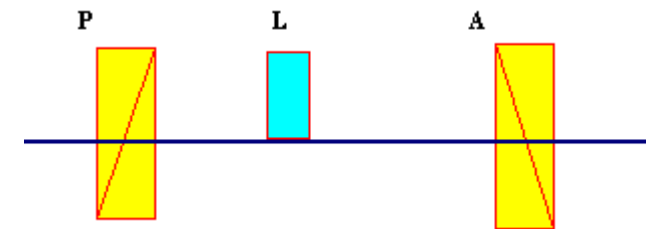
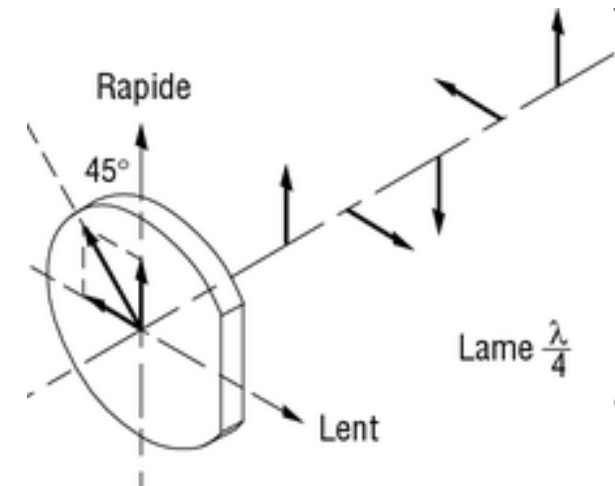
Lame demi-onde



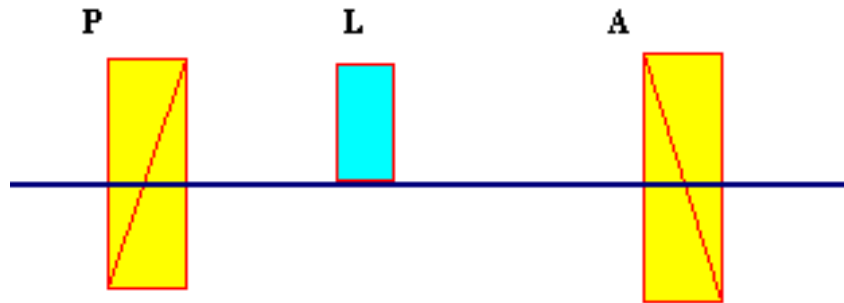
- La lumière entrant dans la lame (ici ayant une polarisation rectiligne selon la direction rouge) peut être décomposée en deux polarisations perpendiculaires (en bleu et vert). A l'intérieur de la lame, la polarisation verte prend un retard par rapport à la bleue.
- Une lame demi-onde transforme une polarisation rectiligne en une autre polarisation rectiligne, symétrique par rapport à son axe optique.
- En conséquence, si l'orientation de la lame demi-onde par rapport à celle d'une polarisation rectiligne est de α , la polarisation transmise par la lame est de 2α .
- Par exemple, si l'axe optique (rapide) de la lame fait 45° par rapport la direction de polarisation entrante, la direction sortante aura tourné de 90° .
- Une lame demi-onde est très pratique pour faire tourner d'un angle quelconque le plan de polarisation d'une lumière polarisé.

Lame quart d'onde

- Une lame quart d'onde, également notée lame $\lambda/4$, crée un déphasage de 90° , c'est-à-dire un retard d'un quart de longueur d'onde.
- Les lames quart d'onde transforment une polarisation rectiligne en une polarisation circulaire et vice versa. Pour obtenir une polarisation circulaire, la lame doit être orientée de sorte que les composantes rapide et lente de l'onde polarisée linéairement soient égales.
- Le plan de polarisation de l'onde incidente doit donc faire un angle de 45° avec l'axe rapide (et avec l'axe lent), comme sur la figure.
- On peut s'assurer de la bonne circularité de la polarisation en faisant tourner un 2^{ème} polariseur servant d'analyseur: l'intensité de la lumière transmise ne doit pas varier. Si elle varie légèrement, cela signifie que la lumière est **polarisée elliptiquement**, et que la lame n'est pas exactement une quart d'onde pour la longueur d'onde utilisée.
- Cela peut être corrigé (comme dans le cas de la demi-onde) en inclinant légèrement la lame autour de l'un de ses axes, lent ou rapide, tout en contrôlant l'invariabilité de l'intensité avec le polariseur.



Lames à retard – cas général



- En général l'effet d'une lame à retard sur un faisceau polarisé par P est mesuré en faisant tourner un 2^{ème} polariseur A servant d'analyseur.
- Si on définit:
 - α = angle entre la direction de polarisation de P et l'axe optique de la lame
 - β = angle entre la direction de polarisation de A et l'axe optique de la lame
 - $\Delta\varphi$ = différence de phase induite par la lame

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} |n_o - n_e| d$$

- l'intensité de la lumière transmise par l'analyseur A est:

$$I = I_0. [\cos^2(\alpha + \beta) + \sin(2\alpha). \sin(2\beta). \cos^2(\varphi/2)]$$

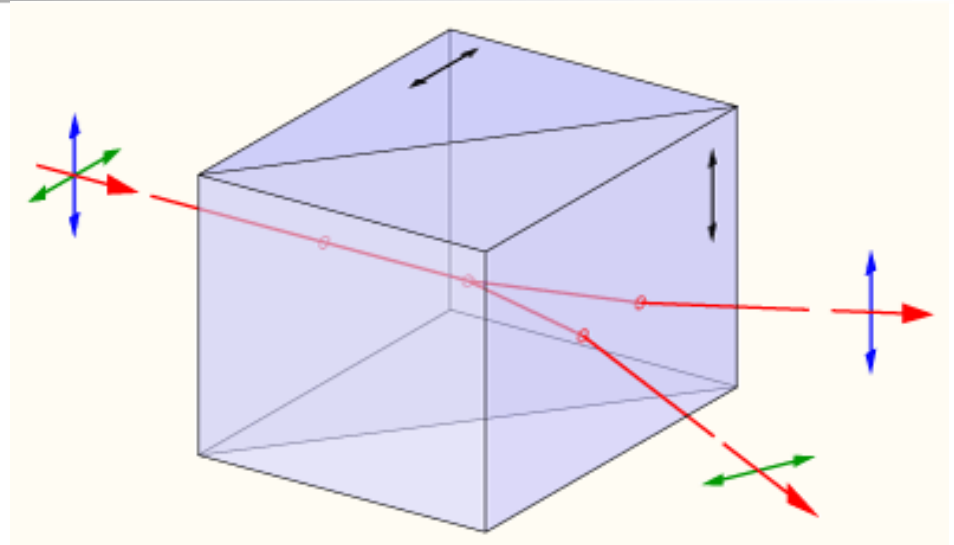
Exercice

1. Soit une onde incidente de 590 nm.
Calculer l'épaisseur minimum d'une lame en quartz ($n_o = 1.5443$, $n_e = 1.5534$) pour avoir une différence de phase de $\pi/2$ (quart d'onde) .
2. Si on utilise cette lame avec une lumière de longueur d'onde 550 nm, quel sera la différence de phase effective dans ce cas ?
3. Aura-t-on une polarisation circulaire à la sortie de la lame ?
4. Si non, calculer l'excentricité de la polarisation elliptique obtenue.

Rappel: si a et b sont respectivement les demi-grand axe et demi-petit axe d'une ellipse, l'excentricité est donnée par

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

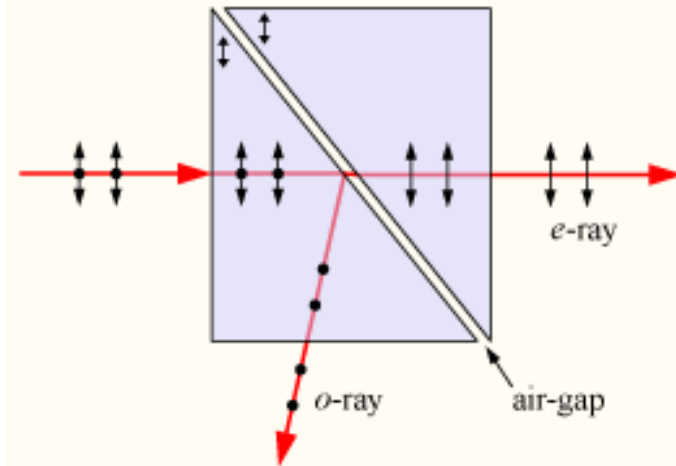
Prisme de Wollaston



- Le prisme de Wollaston est un instrument d'optique, inventé par William Hyde Wollaston: il transforme un faisceau de lumière non polarisée en deux faisceaux de directions différentes, et de polarisations linéaires orthogonales entre elles. C'est donc un **polariseur**.
- Il est constitué de deux prismes de calcite ou de quartz accolés, dont les axes optiques sont orthogonaux entre eux.
- L'écart angulaire entre les deux faisceaux sortants est déterminé par l'angle au sommet des prismes, par la longueur d'onde de la lumière. Dans le commerce, cette divergence va de quelques minutes d'angle à 45° environ.
- Il peut être utilisé en interférométrie: en effet, les faisceaux sortants peuvent interférer entre eux.

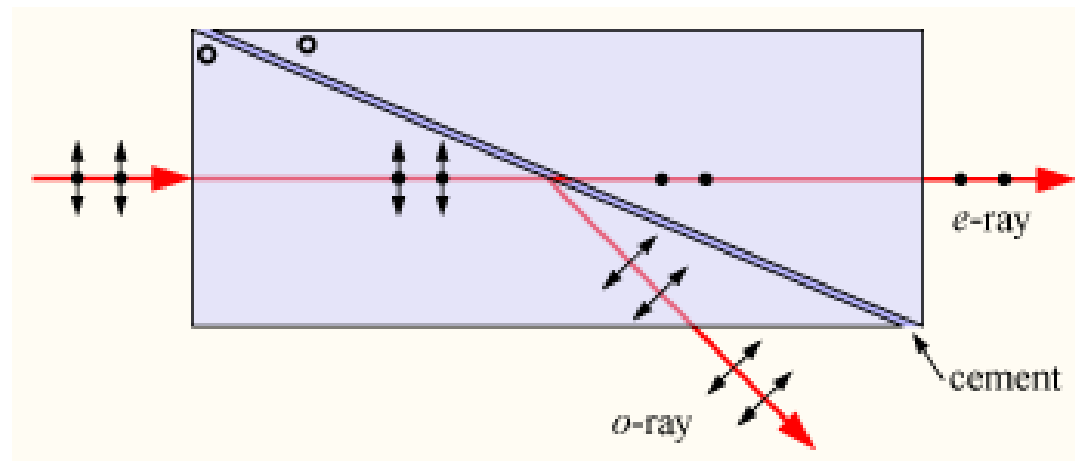
Prisme de Glan-Taylor

Un prisme de Glan-Taylor réfléchit la lumière polarisée s et transmet la lumière polarisée p.



- Un prisme de Glan-Taylor est un prisme utilisé comme **polariseur** ou comme **miroir semi-réfléchissant polarisant**. C'est un type moderne de prisme polarisant.
- Il est formé de deux prismes dont la base est un triangle rectangle, séparés par une fine couche d'air le long de leur grand côté. Ces prismes sont taillés dans un matériau biréfringent, comme la calcite. Ils présentent donc un axe privilégié que l'on choisit perpendiculaire au rayon lumineux incident, et contenu dans le plan d'incidence.
- Ce rayon, au niveau de la couche d'air, est séparé en deux rayons de polarisations différentes : la polarisation s est réfléchi, et la polarisation p est transmise. Cette séparation s'explique par le fait que ces deux rayons subissent un indice de réfraction différent, ce qui est une propriété directe de la biréfringence du matériau.
- Toutefois, cette transmission n'est pas parfaite a priori, car d'après les coefficients de Fresnel, une partie de la lumière polarisée p est réfléchi. On taille donc les prismes de façon à ce que le rayon lumineux arrive à l'angle de Brewster sur la couche d'air, c'est-à-dire l'angle auquel il n'y a aucune réflexion de la polarisation p.

Prisme de Glan-Thompson



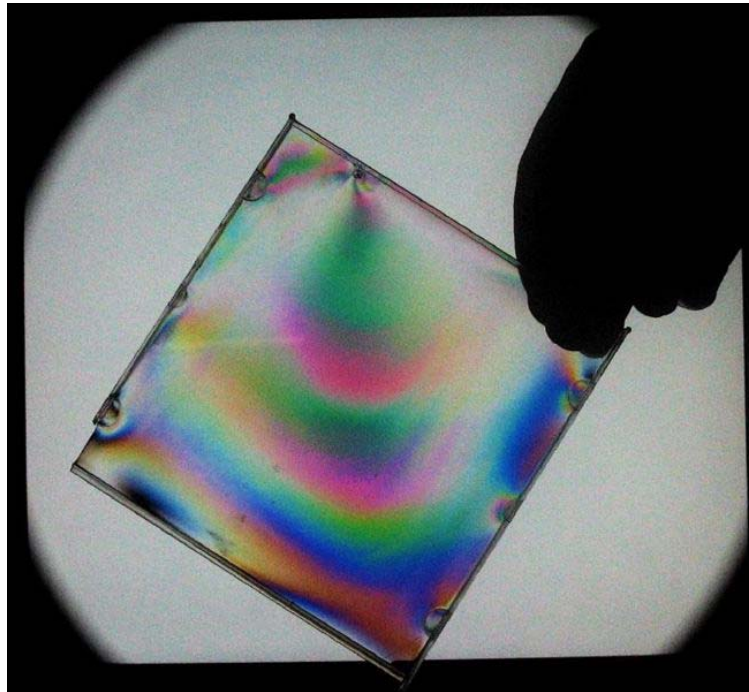
- Un prisme de Glan-Thompson est un type de prisme polarisant, autrement dit un polariseur, similaire au prisme de Nicol.
- Il est constitué de deux prismes de calcite triangulaires rectangles accolés le long de leur hypoténuse avec du baume du Canada. Le matériau est biréfringent et présente donc un axe privilégié.
- Les deux axes associés respectivement à chaque prisme triangulaire sont parallèles entre eux, et perpendiculaires au plan de réflexion. La biréfringence sépare le rayon lumineux incident en deux rayons de polarisations différentes appelées s et p.
- La lumière polarisée p subit une réflexion totale interne, la lumière polarisée s est transmise: ce prisme peut être utilisé comme **miroir semi-réfléchissant**.

Biréfringence induite

- Il est possible de créer de la biréfringence dans un milieu optiquement isotrope de plusieurs manières.
- Par un champ électrique
- Par un champ magnétique
- Par une contrainte mécanique
 - Les cristaux soumis à des contraintes mécaniques peuvent présenter une biréfringence : on parle de photoélasticité. Lorsque le matériau est transparent, cet effet permet de visualiser les contraintes par interférométrie.

Photoélasticimétrie

- La photoélasticimétrie est une méthode expérimentale permettant de visualiser les contraintes existant à l'intérieur d'un solide grâce à sa photoélasticité.
- C'est une méthode principalement optique se basant sur la **biréfringence** acquise par les matériaux soumis à des contraintes.
- On l'utilise souvent dans les cas où les méthodes mathématiques et informatiques deviennent trop lourdes à mettre en œuvre.



Ecrans LCD

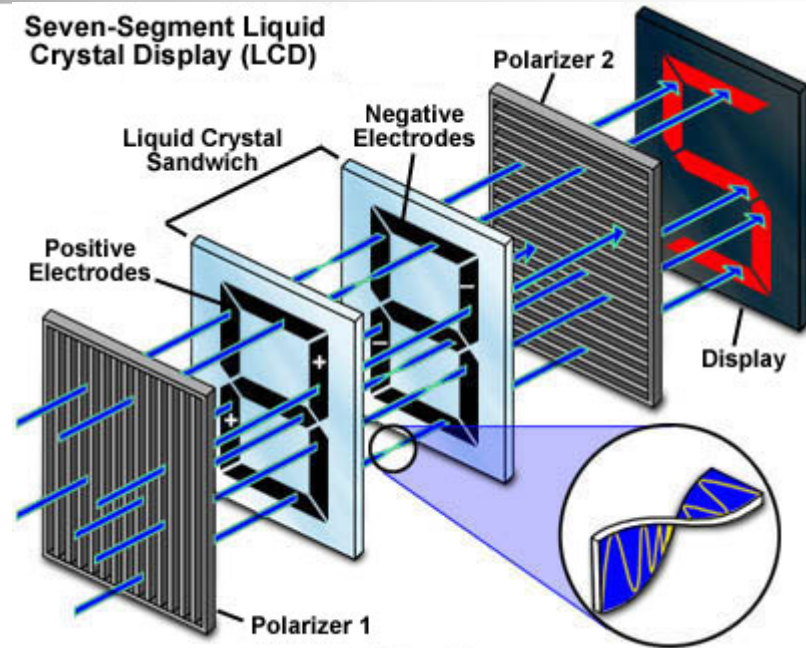
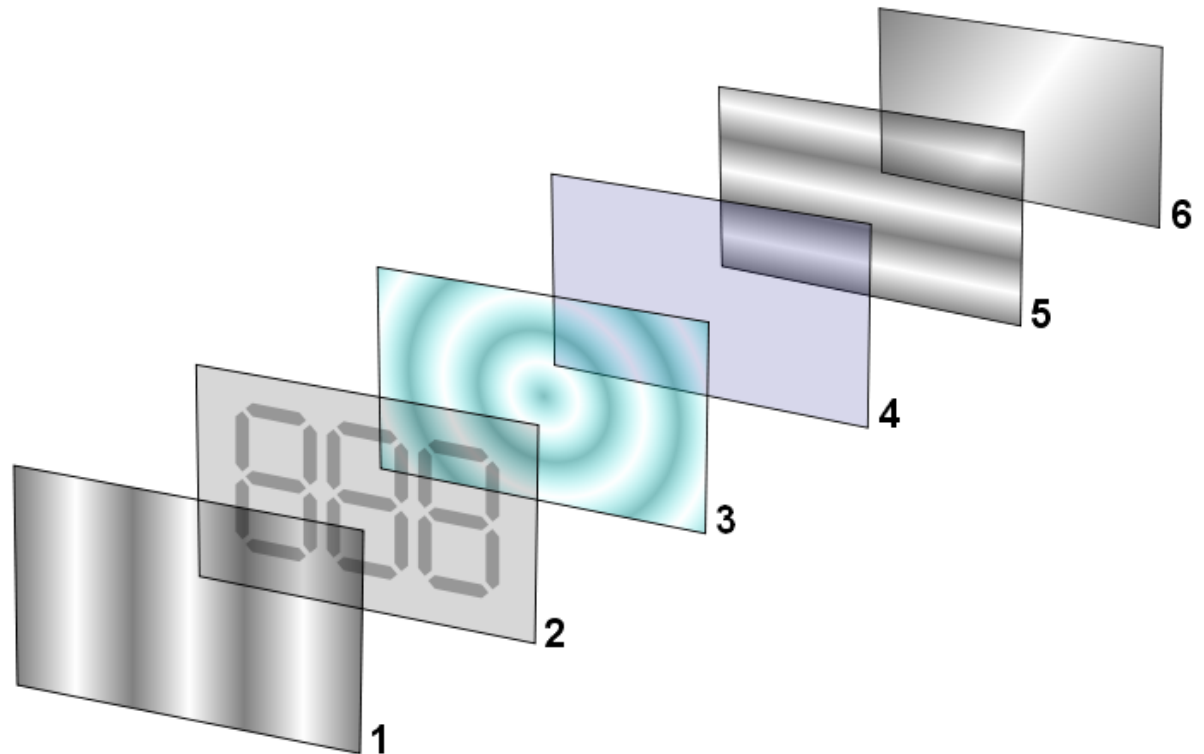


Figure 3

- L'écran utilise la **polarisation** de la lumière grâce à des **filtres polarisants** et à la **biréfringence** de certains cristaux liquides dont on peut faire varier l'orientation en fonction du champ électrique.
- L'écran LCD (Liquid Crystal Display) est constitué de deux polariseurs dont les directions de polarisation forment un angle de 90° , de chaque côté d'un sandwich formé de deux plaques de verre enserrant des cristaux liquides.
- Les deux faces internes des plaques de verre comportent une matrice d'électrodes transparentes, une (noir et blanc) ou trois (couleur) par pixel.
- L'épaisseur du dispositif et la nature des cristaux liquides sont choisis de manière à obtenir la rotation désirée du plan de polarisation en l'absence de tension électrique.

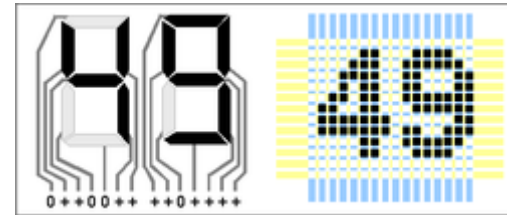
Ecrans LCD



Afficheur 3 chiffres

- 1 & 5 : filtres polarisants ;
- 2 : électrodes avant ;
- 4 : électrode arrière ;
- 3 : cristaux liquides ;
- 6 : miroir

- L'application d'une différence de potentiel plus ou moins élevée entre les deux électrodes d'un pixel entraîne un changement d'orientation des molécules, une variation du plan de polarisation et donc une variation de la transparence de l'ensemble du dispositif.
- Cette variation de transparence est exploitée par un rétro-éclairage, par réflexion de la lumière incidente ou par projection.
 - Affichage par segments et par pixels
 - Affichage par segments et par pixels



- Les petits afficheurs LCD monochromes utilisent souvent des électrodes avant en forme de segments de caractère de façon à simplifier l'électronique (commande directe en tout ou rien) tout en obtenant une très bonne lisibilité (pas de balayage).
- Les affichages plus complexes, comme pour les télévisions, utilisent des électrodes par pixels accessibles par ligne ou colonne entières. Leur commande d'allumage ou d'extinction doit se faire par un balayage régulier des lignes/colonnes de points.

Age Group	Percentage
18-24	~10%
25-34	~35%
35-44	~25%
45-54	~15%
55-64	~10%
65-74	~5%
75-84	~2%
85+	~1%

