# Biréfringence d'un milieu uniaxe

Jusqu'à présent, nous avons considéré la propagation de la lumière dans des milieux isotropes, càd se comportant de la même façon quelque soit la direction de propagation. Il s'est avéré qu'il n'est pas nécéssaire de prendre en compte le caractère vectoriel de l'onde lumineuse, càd sa polarisation, pour expliquer les phénomènes observés.

Nous allons à présent nous intéresser à la propagation de la lumière dans des milieux anisotropes, càd qui ne se comportent pas de la même façon suivant la direction de propagation. Cette situation, qui peut sembler inutilement compliquée, est du plus haut intérêt pratique car elle permet de manipuler la lumière avec facilité. Citons comme applications les lames demi-onde et quart-onde, certains polariseurs, les cellules de Pockels et les isolateurs optiques. Cependant, la description de la propagation de la lumière dans les milieux anisotropes nécessite la notion de polarisation : la lumière avance avec des vitesses différentes suivant la direction, mais aussi suivant la polarisation.

## 1 Etude d'un cristal uniaxe

### 1.1 Introduction

Le spath d'Islande et le quartz sont des cristaux uniaxes naturels. Lorsque l'on pose un morceau suffisemment épais de spath d'Islande sur un texte, on voit ce texte dédoublé à travers le cristal : à partir d'un rayon lumineux incident, le cristal en forme deux. Il y a double réfraction, et on dit que le cristal est biréfringent. De toute évidence, comme la



Figure 1: Image d'un texte au travers d'un morceau de spath de 2 cm d'épaisseur.

réfraction n'est pas la même pour les deux rayons, chacun a son propre indice de réfraction (sa propre vitesse).

Les cristaux uniaxes sont appelés ainsi car il existe une seule direction (l'axe optique) suivant laquelle il n'y a pas de biréfringence. On montre qu'un cristal possède soit deux axes, soit un axe, sinon il est isotrope. Nous nous limiterons au cas des cristaux uniaxes.

# 1.2 Description d'une expérience de biréfringence

On éclaire un morceau de spath avec un faisceau laser non polarisé très fin.

- Deux faisceaux lumineux parallèles sortent du cristal. En faisant tourner le spath autour du faisceau incident, on s'aperçoit qu'un des faisceaux reste fixe et l'autre tourne avec le cristal.
- Le faisceau fixe est appelé rayon ordinaire. L'autre, celui qui tourne avec le cristal, est appelé rayon extraordinaire.
- On place un analyseur derrière le cristal. En le faisant tourner, on éteint chaque faisceau lorsque l'autre a une intensité maximale.
- On en déduit que les deux rayons ordinaire et extraordinaire sont polarisés linéairement, et perpendiculairement l'un à l'autre.

# 1.3 L'axe optique

Le long de l'axe optique, la lumière se propage comme dans un milieu isotrope. Il n'y a pas de biréfringence. Si on s'écarte de l'axe optique, il y a biréfringence. La différence entre les indices vus par les rayons ordinaire et extraordinaire augmente.

# 1.4 Plan de section principale

Un plan de section principale est un plan contenant l'axe optique. Dans un exercice, on précisera toujours la direction de l'axe optique du cristal. Propriétés :

- Si le plan d'incidence est un plan de section principale, les deux rayons ordinaire et extraordinaire sont dans le plan d'incidence. Mais seul le rayon ordinaire vérifie la loi des sinus.
- Si le plan d'incidence est perpendiculaire à l'axe optique, les deux rayons vérifient les deux lois de Descartes.
- Le rayon ordinaire suit toujours les deux lois de Descartes.
- Si l'axe optique n'est ni parallèle ni perpendiculaire au plan d'incidence, le rayon extraordinaire n'est généralement pas dans le plan d'incidence et ne vérifie aucune des lois de Descartes.

## 1.5 Indices ordinaire et extraordinaire. Biréfringence.

Le rayon ordinaire se propage en voyant un indice  $n_O$  appelé indice ordinaire.

Le rayon extraordinaire se propage en voyant un indice  $n_e$  qui varie suivant la direction de propagation :  $n_e = n_O$  si propagation suivant l'axe, et  $n_e = n_E$  si propagation perpendiculaire à l'axe, avec variation continue entre  $n_O$  et  $n_E$  lorsque la direction passe de parallèle à perpendiculaire à l'axe.  $n_E$  est appelé indice extraordinaire du cristal.

La biréfringence est la différence  $n_E - n_O$ . Elle peut-être positive (quartz : 0,009) ou négative (spath : -0,17). On parle de cristal uniaxe positif ou négatif.

# 2 Surfaces d'onde et évolution de $n_e$ en fonction de l'incidence

# 2.1 Réfraction entre deux milieux isotropes

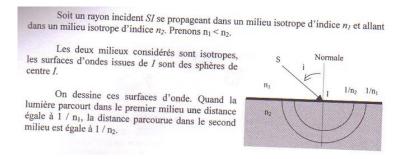


Figure 2: Extrait de Optique Moderne, F. Weil, Ed. Ellispes

Dans un milieu isotrope homogène, l'indice de réfraction est le même partout et dans toutes les directions, et les surfaces d'onde sont sphériques (voir principe d'Huygens-Fresnel). Au niveau d'un dioptre entre deux milieux isotropes, on peut tracer les surfaces d'onde dans chaque milieu, qui sont des cercles de rayon 1/n car la vitesse de propagation est proportionnelle à 1/n. L'écart entre les indices  $n_1$  et  $n_2$  séparant le dioptre est constant et ne dépend pas de la direction du rayon lumineux. Le fait que la loi des sinus de Descartes soit vérifiée vient du fait que les deux surfaces d'onde sont circulaires.

### 2.2 Réfraction entre l'air et un milieu uniaxe

## 2.2.1 Axe optique perpendiculaire au plan d'incidence

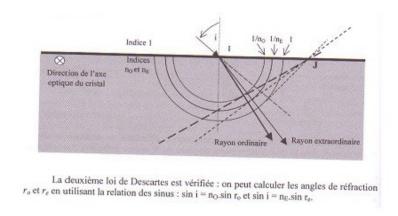


Figure 3: Extrait de Optique Moderne, F. Weil, Ed. Ellipses

Sur un dioptre air / cristal uniaxe, la surface d'onde dans l'air est un cercle de rayon 1/1 = 1. Comme l'axe optique est perpendiculaire au plan d'incidence, les rayons ordinaire et extraordinaire se propagent perpendiculairement à l'axe optique. L'indice vu par le rayon ordinaire est toujours  $n_O$  et celui vu par le rayon extraordinaire est ici  $n_E$  quelque soit l'angle d'incidence. La surface d'onde du rayon ordinaire est donc un cercle de rayon  $1/n_O$  et celle du rayon extraordinaire est un cercle de rayon  $1/n_E$ .

Comme pour les deux rayons, la surface d'onde est un cercle, on peut établir la loi des sinus de Descartes pour chacun d'eux, avec son indice respectif.

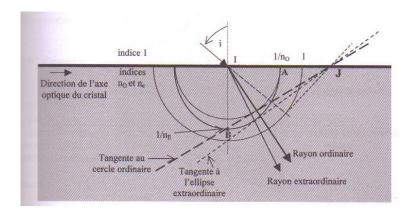


Figure 4: Extrait de Optique Moderne, F. Weil, Ed. Ellipses

## 2.2.2 Axe optique parallèle au plan d'incidence

Sur un dioptre air / cristal uniaxe, la surface d'onde dans l'air est un cercle de rayon 1/1 = 1. Le rayon ordinaire voit toujours un indice  $n_O$  et sa surface d'onde est un cercle de rayon  $1/n_O$ . Le rayon ordinaire vérifie la loi des sinus de Descartes avec son indice  $n_O$ .

Comme l'axe optique est dans le plan d'incidence (le plan d'incidence est un plan de section principale), l'indice  $n_e$  vu par le rayon extraordinaire dépend de la direction de propagation :  $n_e = n_O$  pour une propagation parallèle à l'axe optique,  $n_e = n_E$  pour une propagation perpendiculaire à l'axe optique, et  $n_e$  prend des valeurs intermédiaires pour une direction de propagation entre ces deux directions. La surface d'onde du rayon extraordinaire n'est plus un cercle, mais une ellipse. Cette ellipse est tangente au cercle de l'onde ordinaire dans la direction de l'axe optique (là où  $n_e = n_O$ ).

Comme la surface d'onde du rayon extraordinaire n'est plus un cercle, il ne vérifie plus la loi des sinus de Descartes.

# 2.3 Polarisation des rayons ordinaire et extraordinaire

Le rayon extraordinaire est polarisé dans un plan de section principale, c'est à dire dans un plan contenant l'axe optique.

Le rayon ordinaire est polarisé perpendiculairement à la polarisation du rayon extraordinaire, en particulier perpendiculairement à l'axe optique.

Dans tous les cas, la polarisation est perpendiculaire à son rayon.