

Plan du cours 2024

Partie 1: Propagation dans les milieux anisotropes

ellipsoïde des indices, surface des vitesses, constructions de rayons

OBJECTIF 1: Réaliser un tracé de rayons dans un milieu anisotrope uniaxe

Pouvoir rotatoire

Partie 2 : Lumière polarisée

Etats de polarisation: représentations graphiques et matricielles

Composants de polarisation passifs et actifs: fonction et réalisation

pratique: polariseurs, lames retard, isolateur optique, cristaux liquides, ...

OBJECTIF 2: Calculer un état de polarisation à la sortie d'un système

OBJECTIF 3: Analyser un état de polarisation inconnu

OBJECTIF 4: Concevoir un système utilisant les états de polarisation

Partie 3: Interférences en lumière polarisée

connexion avec les interférences vues en optique physique

OBJECTIF 5: Interpréter une expérience d'interférences utilisant de la lumière polarisée

Retour sur les cours précédents

Etat polarisation
entrée



BOITE NOIRE
modifiant la
polarisation



Etat polarisation
sortie

Retour sur les cours précédents



- Champ électrique
- Représentation graphique
- Vecteur de Jones

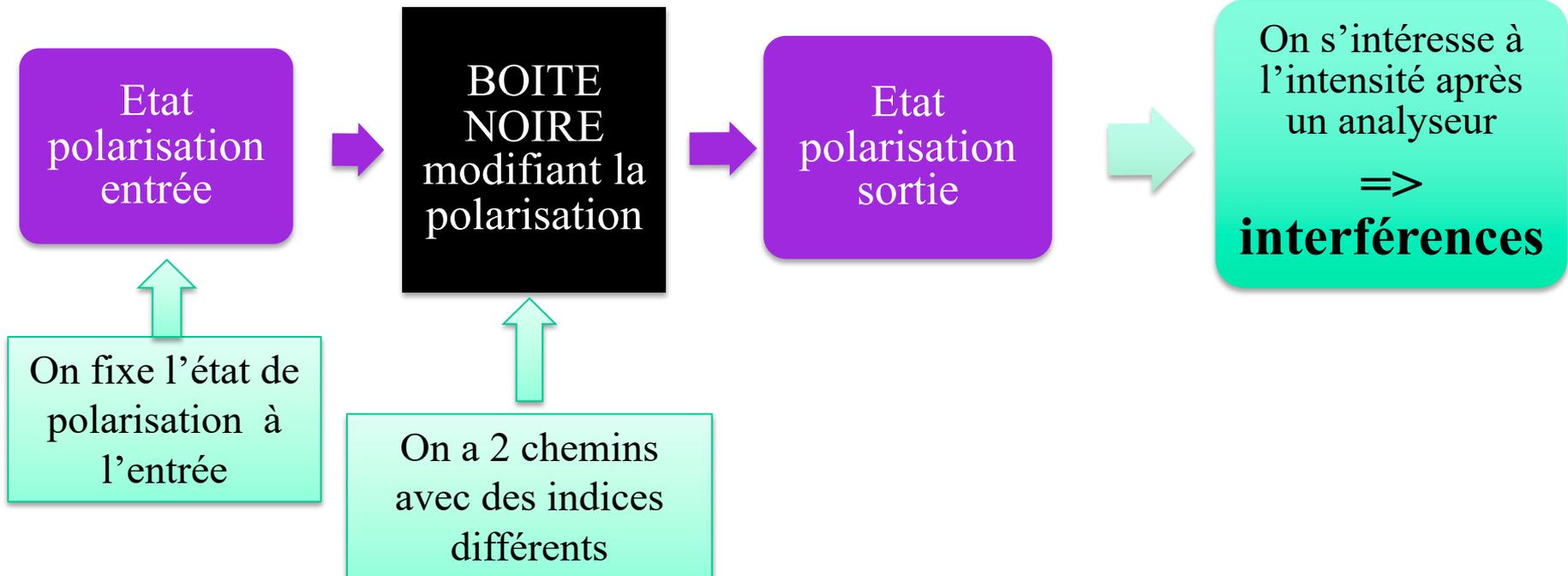
- Propagation dans les milieux anisotropes + pouvoir rotatoire et dichroïsme/absorption

- Constructions de rayons
- Matrices de Jones

- Composants: lames cristallines, cellule à cristaux liquides, polariseurs, ...

- Idem état entrée si on ne s'intéresse qu'à l'état de polarisation

Et maintenant?



Interférences en lumière polarisée

I. Interférence entre 2 ondes polarisées: cas général

- Interférences à 2 ondes: superposition de 2 champs avec un déphasage

$$\left| E_1 + E_2 e^{i\varphi} \right|^2 = E_1^2 + E_2^2 + E_1 E_2^* e^{-i\varphi} + E_1^* E_2 e^{+i\varphi}$$

- En lumière polarisée \mathbf{E}_1 et \mathbf{E}_2 sont des vecteurs complexes,
 - terme d'interférence $2\text{Re}(\mathbf{E}_1^* \cdot \mathbf{E}_2 \cdot e^{i\varphi})$,
 - nul si les deux polarisations sont orthogonales

Pour des polarisations linéaires (\mathbf{E}_1 et \mathbf{E}_2 vecteurs réels):

$$\text{terme d'interférence: } 2 \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \cos\varphi$$

- Si $\mathbf{E}_1 // \mathbf{E}_2$ on retrouve le cas non polarisé: cas d'un Michelson avec lumière incidente TE ou TM, seuls les coefficients R et T de la séparatrice dépendent de la polarisation incidente

II. Interférence à la sortie d'un milieu anisotrope

On veut tirer parti du déphasage induit par la différence d'indice entre les ondes ordinaire et extraordinaire issues d'un milieu biréfringent

PEUVENT-ELLES INTERFERER?

Quiz: peuvent-elles interférer?

- 1) OUI
- 2) NON
- 3) OUI à condition d'ajouter un composant en plus

Quiz: peuvent-elles interférer?

- 1) OUI
- 2) NON
- 3) OUI à condition d'ajouter un composant en plus

Quel composant faut-il ajouter?

- 1) Une lame demi onde à 45°
- 2) Un polariseur à 45°
- 3) Un rotateur de 90°

Quiz: peuvent-elles interférer?

- 1) OUI
- 2) NON
- 3) OUI à condition d'ajouter un composant en plus

Quel composant faut-il ajouter?

- 1) Une lame demi onde à 45°
- 2) Un polariseur à 45°
- 3) Un rotateur de 90°

II. Interférence à la sortie d'un milieu anisotrope

On veut tirer parti du déphasage induit par la différence d'indice entre les ondes ordinaire et extraordinaire issues d'un milieu biréfringent

PEUVENT-ELLES INTERFERER?

- En principe NON car les champs sont orthogonaux
- MAIS...

II. Interférence à la sortie d' un milieu anisotrope

On veut tirer parti du déphasage induit par la différence d' indice entre les ondes ordinaire et extraordinaire issues d' un milieu biréfringent

PEUVENT-ELLES INTERFERER?

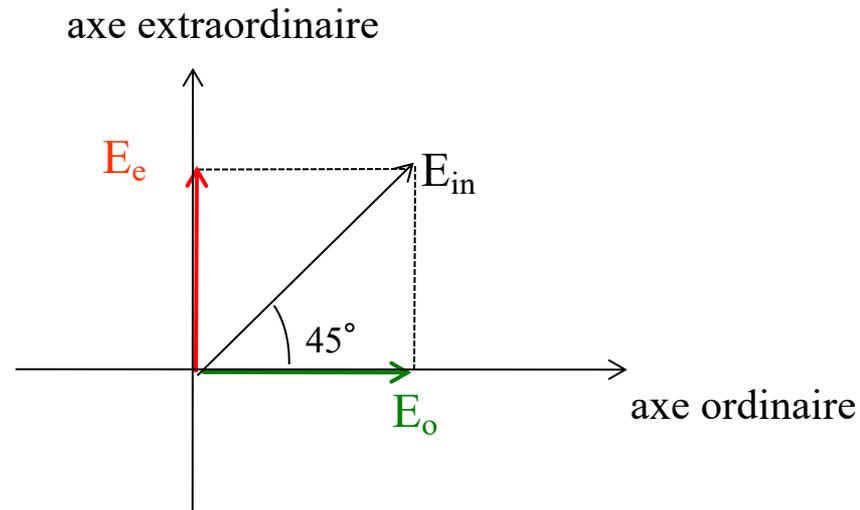
- En principe NON car les champs sont orthogonaux
- MAIS en utilisant un polariseur linéaire (que l' on appellera analyseur), on projette ces 2 champs suivant une même direction, celle de l' analyseur, et ils peuvent donc interférer

On verra un peu plus loin la meilleure façon de placer cet analyseur par rapport aux polarisations ordinaire et extraordinaire

III. Meilleures conditions d'observation

Pour que l'interférence ait un **contraste maximum** ($I_{\min}=0$) il faut que **les deux ondes qui interfèrent aient même amplitude**.

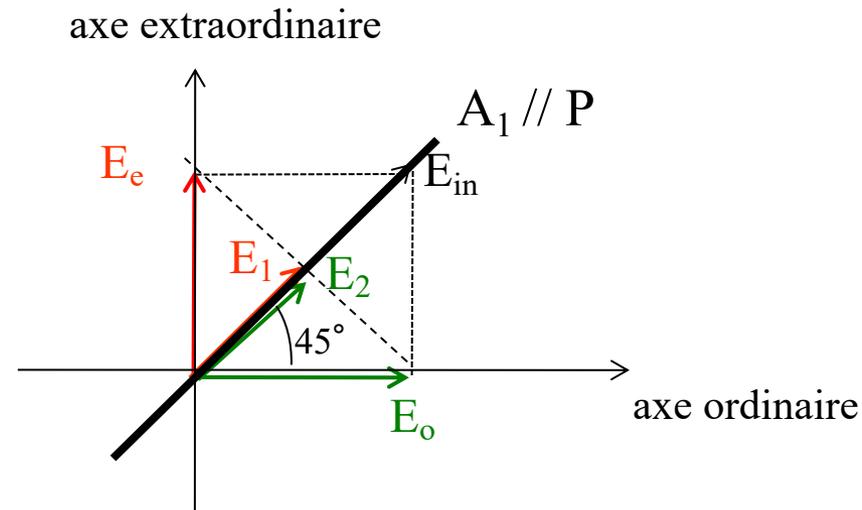
1) Comment choisir la polarisation incidente pour que les ondes ordinaire et extraordinaire aient la même amplitude?



III. Meilleures conditions d'observation

2) Comment alors placer l'analyseur pour que les ondes interfèrent en gardant la même amplitude?

1^{ère} option: l'analyseur est lui aussi à 45° => parallèle à la polarisation incidente

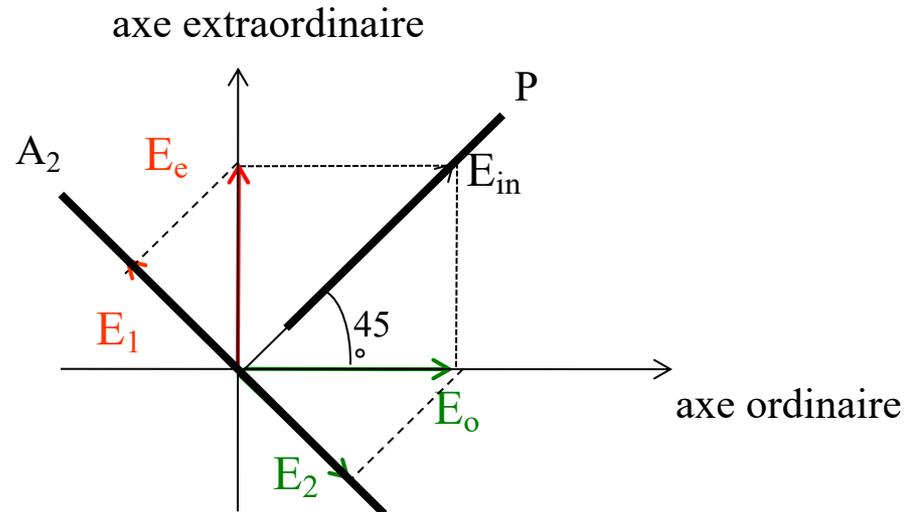


$$\vec{\mathbf{E}}_1 = \vec{\mathbf{E}}_2 = \vec{\mathbf{E}}_{in} / 2$$

$$I = \left| \vec{\mathbf{E}}_1 + \vec{\mathbf{E}}_2 e^{i\varphi} \right|^2 = I_{in} (1 + \cos \varphi) / 2$$

III. Meilleures conditions d'observation

2^e option: l'analyseur est à -45° \Rightarrow perpendiculaire à la polarisation incidente



$$E_1 = -E_2 = E_{in} / 2$$

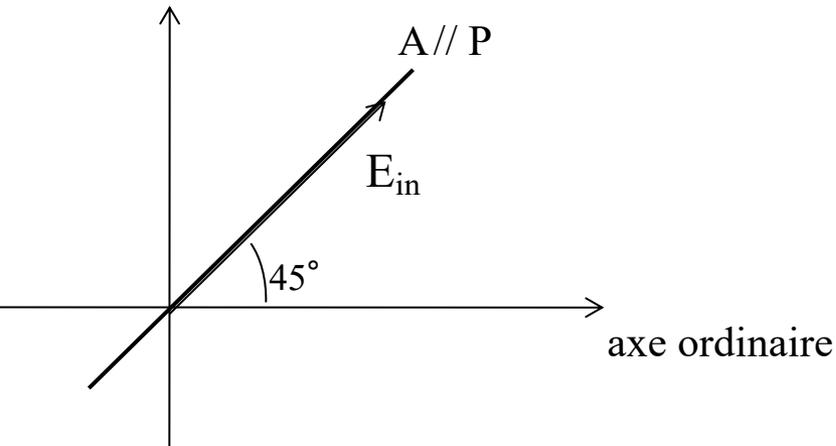
$$I = \left| \vec{E}_1 - \vec{E}_2 e^{i\varphi} \right|^2 = I_{in} (1 - \cos \varphi) / 2$$

III. Meilleures conditions d'observation

3) Bilan: 2 meilleurs choix possibles

**P et A parallèles et
à 45° des axes neutres**

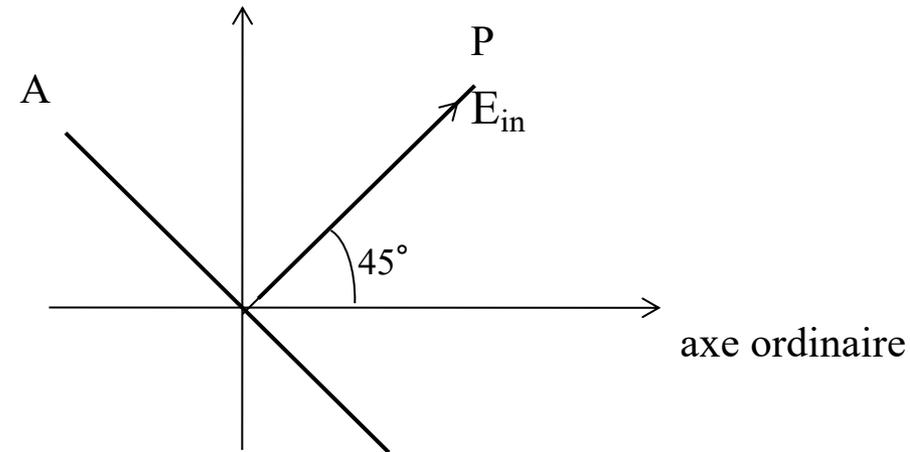
axe extraordinaire



$$I = \frac{I_{in}}{2} (1 + \cos \varphi)$$

**P et A croisés et
à 45° des axes neutres**

axe extraordinaire



$$I = \frac{I_{in}}{2} (1 - \cos \varphi)$$

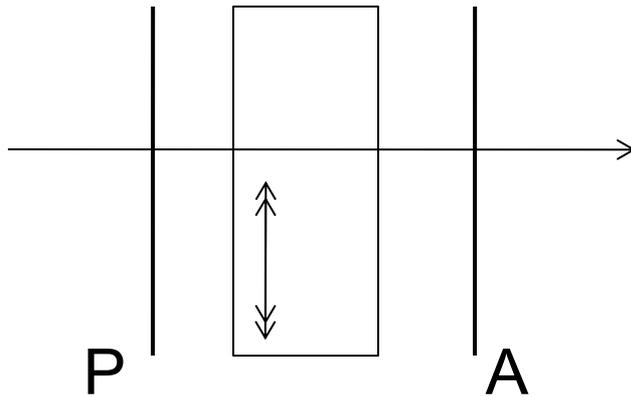
IV. Exemples d'interférences en lumière polarisée

Deux cas où la différence de marche est facile à calculer
(incidence normale)

- 1) lame biréfringente à faces parallèles d'axe optique parallèle aux faces
- 2) Prisme de Wollaston d'angle faible

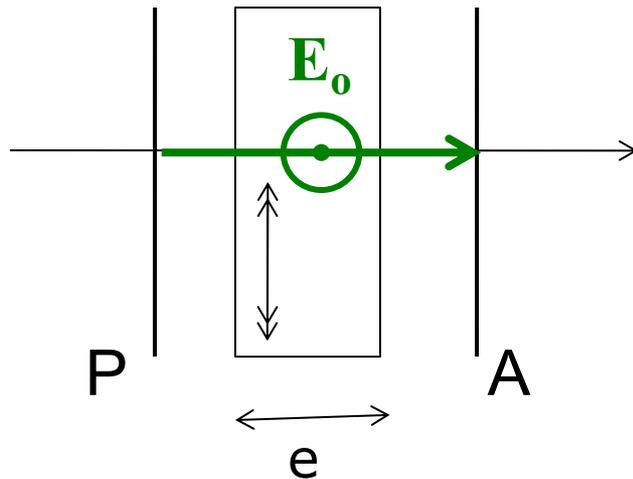
Exemple 1: lame biréfringente à faces parallèles

- Axe optique parallèle à la face d'entrée
- Éclairée en incidence normale



Exemple 1: lame biréfringente à faces parallèles

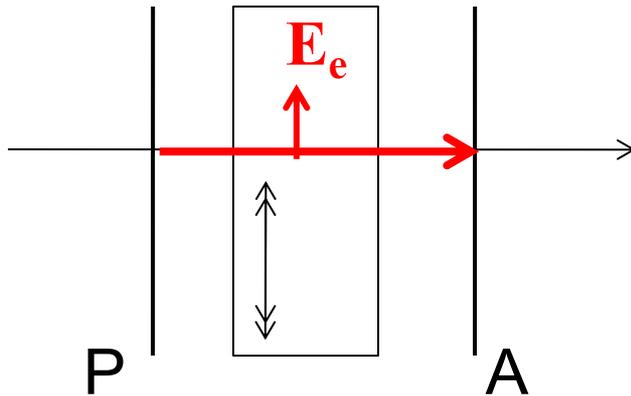
- Axe optique parallèle à la face d'entrée
- Éclairée en incidence normale



Rayons non déviés
Onde ordinaire voit l'indice n_o
 $L_o = n_o e$

Exemple 1: lame biréfringente à faces parallèles

- Axe optique parallèle à la face d'entrée
- Éclairée en incidence normale



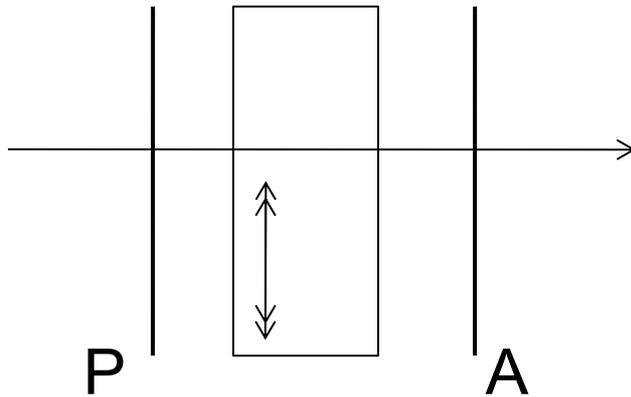
Rayons non déviés
Onde extraordinaire voit l'indice n_e

$$L_e = n_e e$$

$$\delta = L_e - L_o = (n_e - n_o)e$$

Exemple 1: lame biréfringente à faces parallèles

- Axe optique parallèle à la face d'entrée
- Éclairée en incidence normale



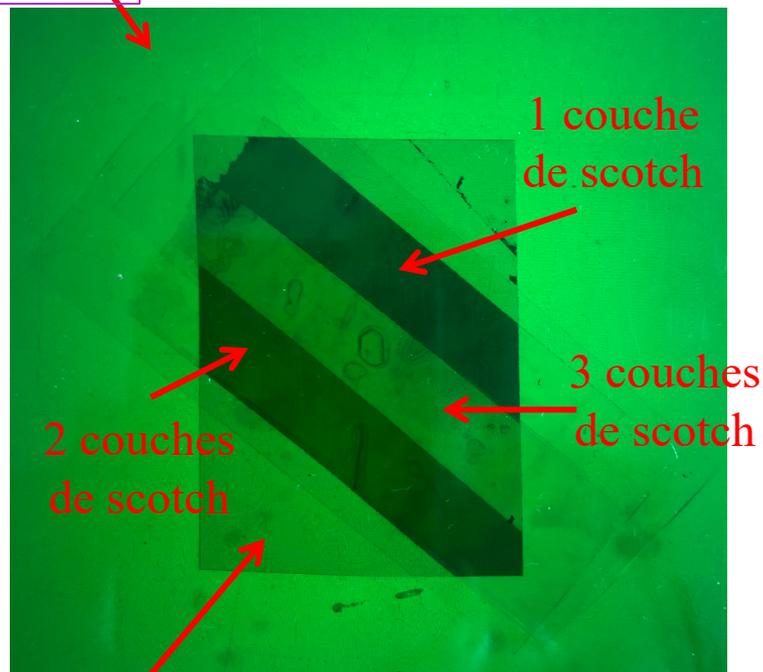
$$\text{DDM} : \delta = (n_e - n_o)e$$

$$\varphi = 2\pi (n_e - n_o)e / \lambda$$

- En lumière monochromatique: intensité uniforme $I = I_0(1 \pm \cos\varphi)/2$

Expérience de cours: Utilisation de couches de scotch comme lames biréfringentes d'épaisseurs différentes

Source
polarisée
+ filtre
vert



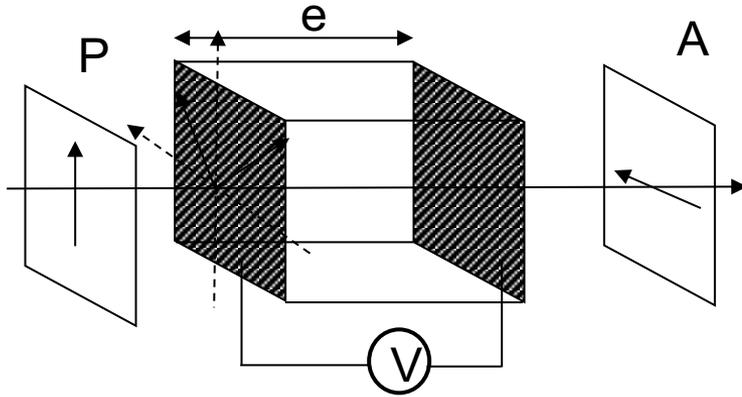
Analyseur
parallèle à la
polarisation
de la source

**Entre polariseur et
analyseur parallèles**

Analyseur
perpendiculaire
à la polarisation
de la source

**Entre polariseur et
analyseur croisés**

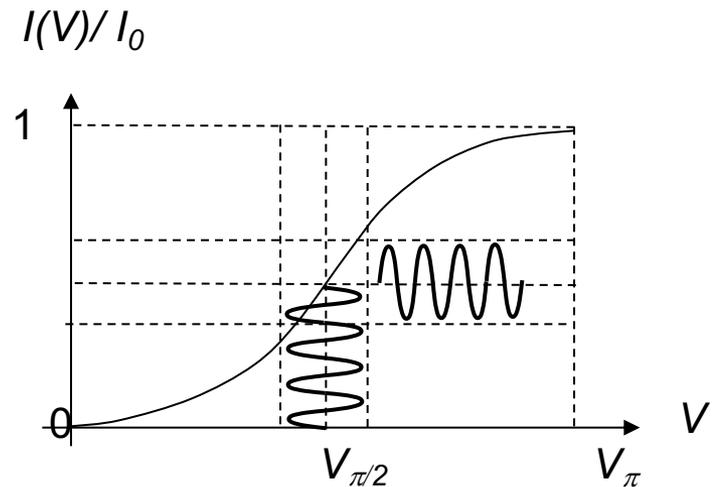
Application à un dispositif: le modulateur électrooptique



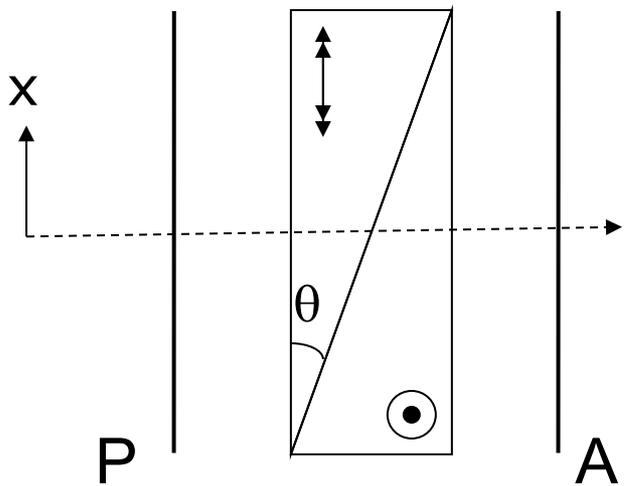
$$\phi = \frac{2\pi e \Delta n}{\lambda} = \frac{2\pi n_o^3 r_{63}}{\lambda} E_z e = \frac{2\pi n_o^3 r_{63}}{\lambda} V$$

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2n_o^3 r_{63}}$$

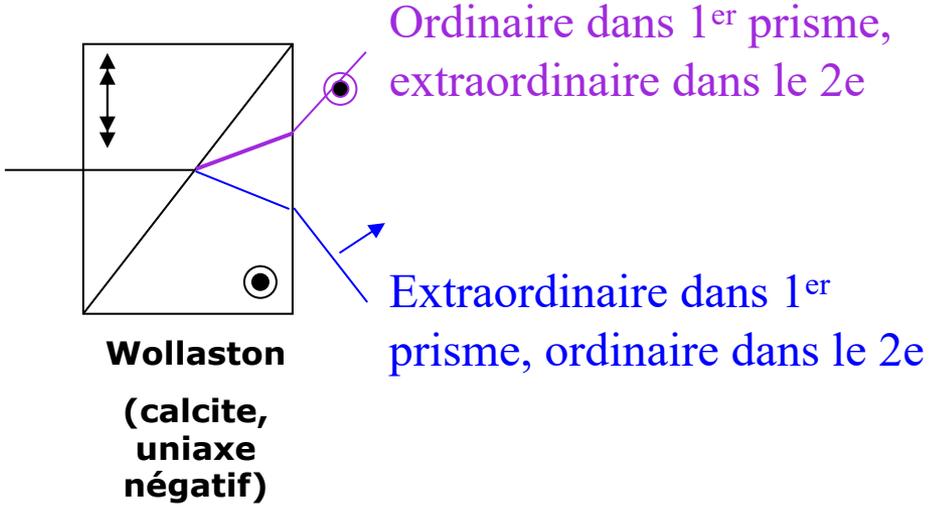
$$I(V) = \frac{I_0}{2} (1 - \cos\phi)$$



Exemple 2: prisme de Wollaston d'angle faible - Éclairé en incidence normale



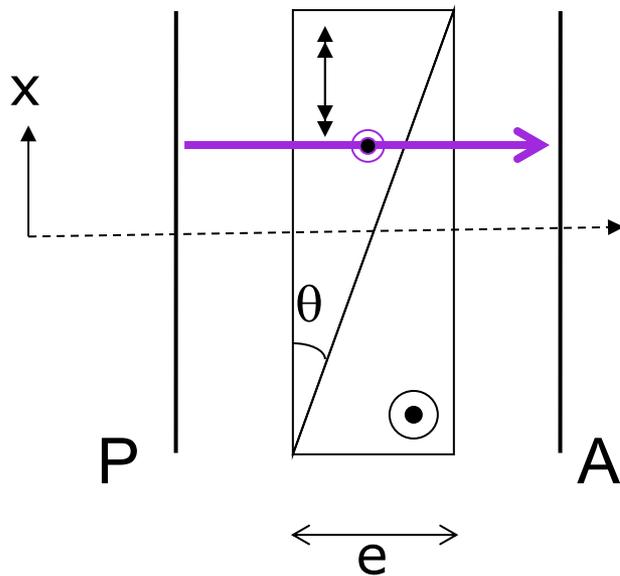
Rappel du TD2



Exemple 2: prisme de Wollaston d'angle faible

- Éclairé en incidence normale

Petit angle $\theta \Rightarrow$ on peut négliger la déviation des rayons



Chemin ordinaire puis
extraordinaire:

$$L_{oe} = n_o e_1 + n_e e_2$$

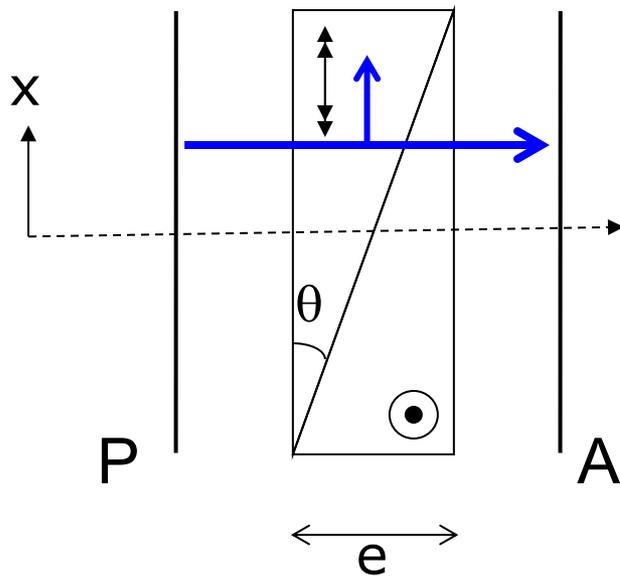
$$e_1 = e/2 + \theta x$$

$$e_2 = e/2 - \theta x$$

Exemple 2: prisme de Wollaston d'angle faible

- Éclairé en incidence normale

Petit angle $\theta \Rightarrow$ on peut négliger la déviation des rayons



Chemin extraordinaire puis ordinaire:

$$L_{eo} = n_e e_1 + n_o e_2$$

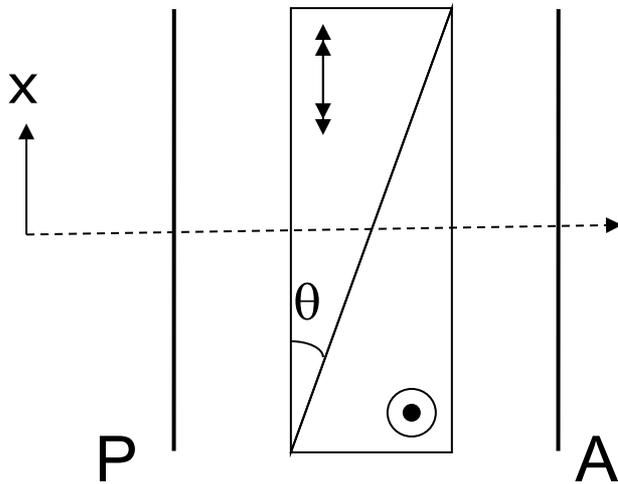
$$e_1 = e/2 + \theta x$$

$$e_2 = e/2 - \theta x$$

$$\delta = L_{eo} - L_{oe} = (n_e - n_o)(e_1 - e_2)$$

Exemple 2: prisme de Wollaston d'angle faible - Éclairé en incidence normale

Petit angle $\theta \Rightarrow$ on peut négliger la déviation des rayons



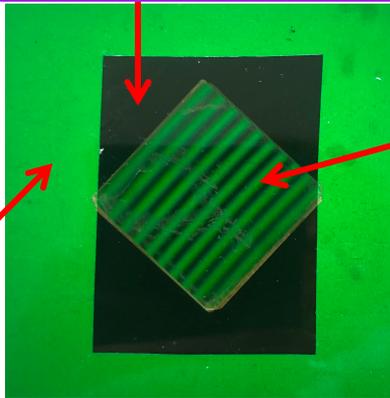
$$\text{DDM: } \delta = 2(n_e - n_o)x\theta$$

En lumière monochromatique:

Franges rectilignes parallèles de période: $\Delta x = \lambda/2(n_e - n_o)\theta$

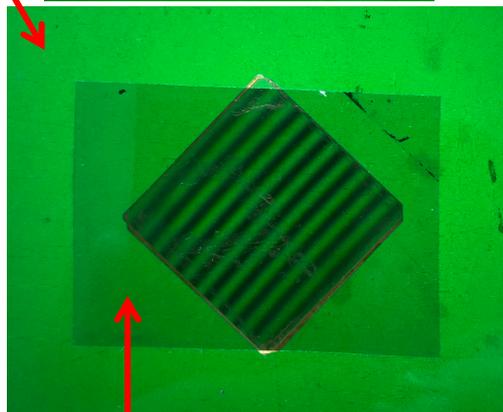
Expérience de cours: Utilisation d'un prisme de Wollaston d'angle faible

Analyseur perpendiculaire à la polarisation de la source



Prisme de Wollaston d'angle faible placé entre la source polarisée et l'analyseur

Source polarisée + filtre vert



Analyseur parallèle à la polarisation de la source

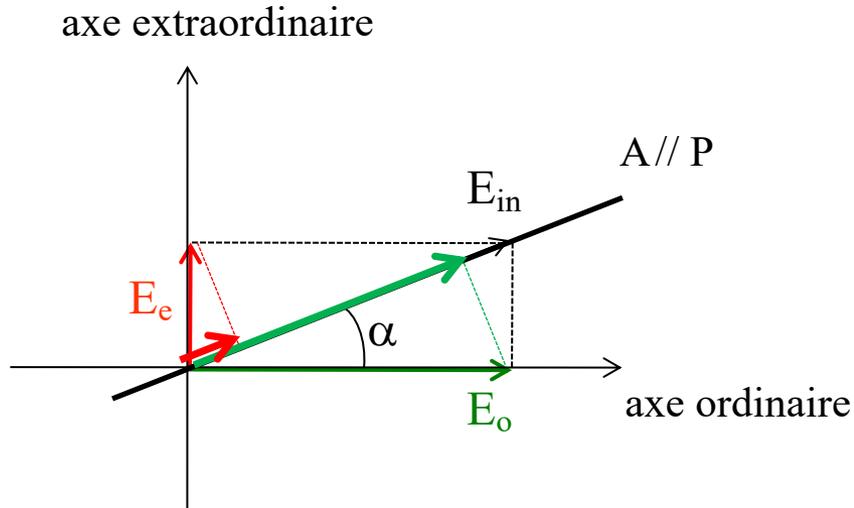
Source polarisée + filtre vert

Prisme de Wollaston

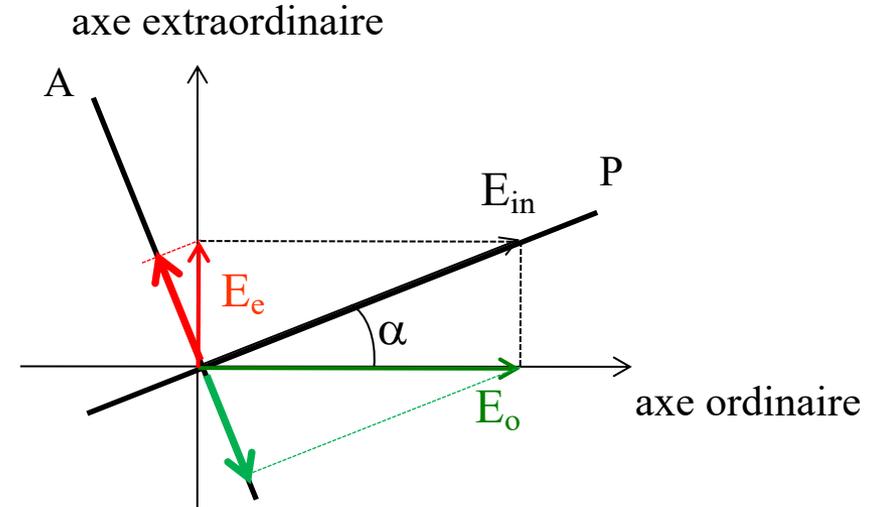
Analyseur perpendiculaire ou parallèle

V. Modifications des conditions d'observation

Effet d'un angle différent de 45°



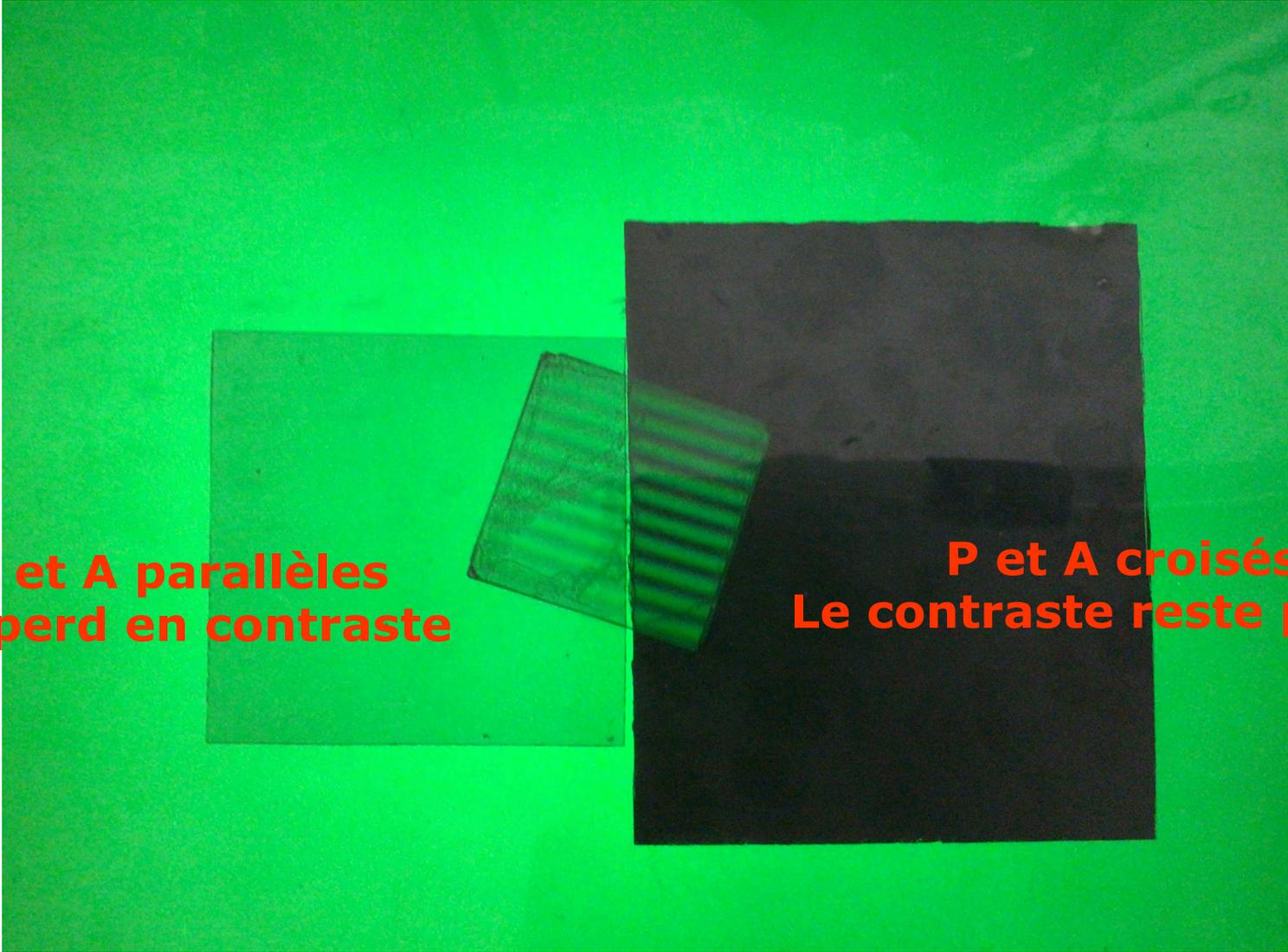
P et A parallèles
On perd en contraste



P et A croisés
Le contraste reste parfait

Expérience de cours avec un Wollaston

Effet d'un angle différent de 45°



P et A parallèles
On perd en contraste

P et A croisés
Le contraste reste parfait