

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

Interférences en lumière polarisée (suite)

Comment participer ?



[Copier le lien de participation](#)



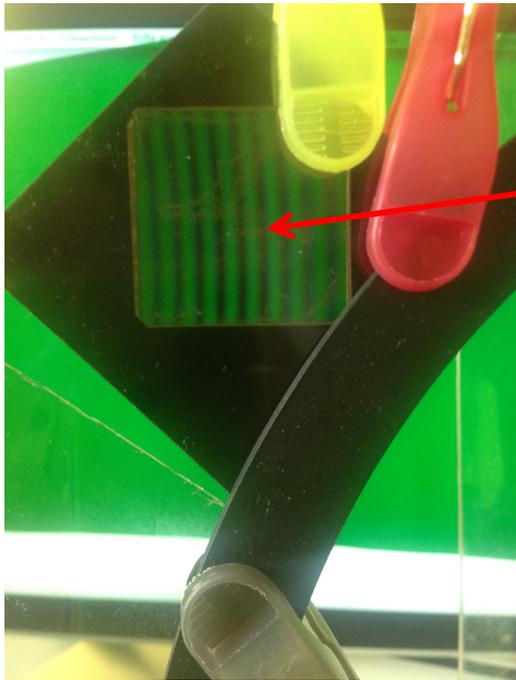
- 1 Allez sur wooclap.com
- 2 Entrez le code d'événement dans le bandeau supérieur

Code d'événement
POLARISATION



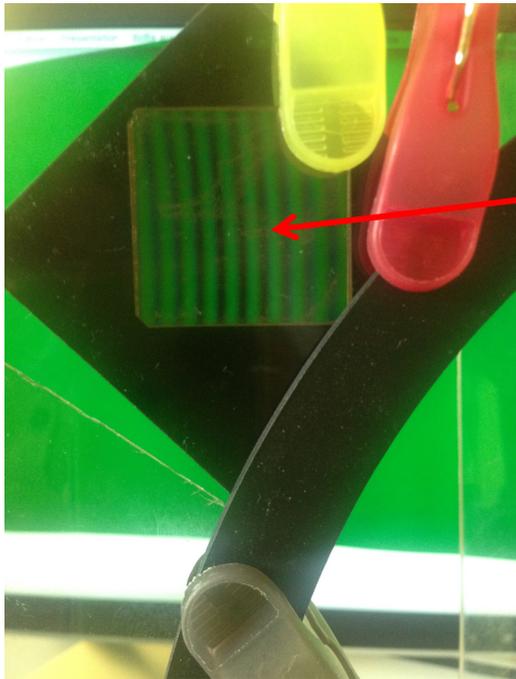
- 1 Envoyez **@POLARISATION** au **06 44 60 96 62**
- 2 Vous pouvez participer

Expliquez ce qu'on voit sur la photo (flèche rouge)



- 1) Un prisme de Wollaston entre 2 polariseurs parallèles
- 2) Un prisme de Wollaston entre 2 polariseurs croisés
- 3) Une lame biréfringente entre 2 polariseurs croisés

Expliquez ce qu'on voit sur la photo (flèche rouge)

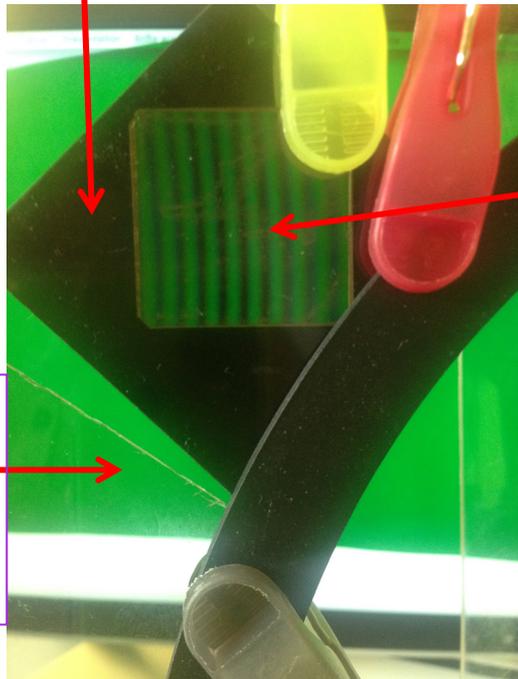


- 1) Un prisme de Wollaston entre 2 polariseurs parallèles
- 2) Un prisme de Wollaston entre 2 polariseurs croisés
- 3) Une lame biréfringente entre 2 polariseurs croisés

Rappel du montage

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

Source polarisée + filtre vert

Prisme de Wollaston d'axes à 45° de P et A

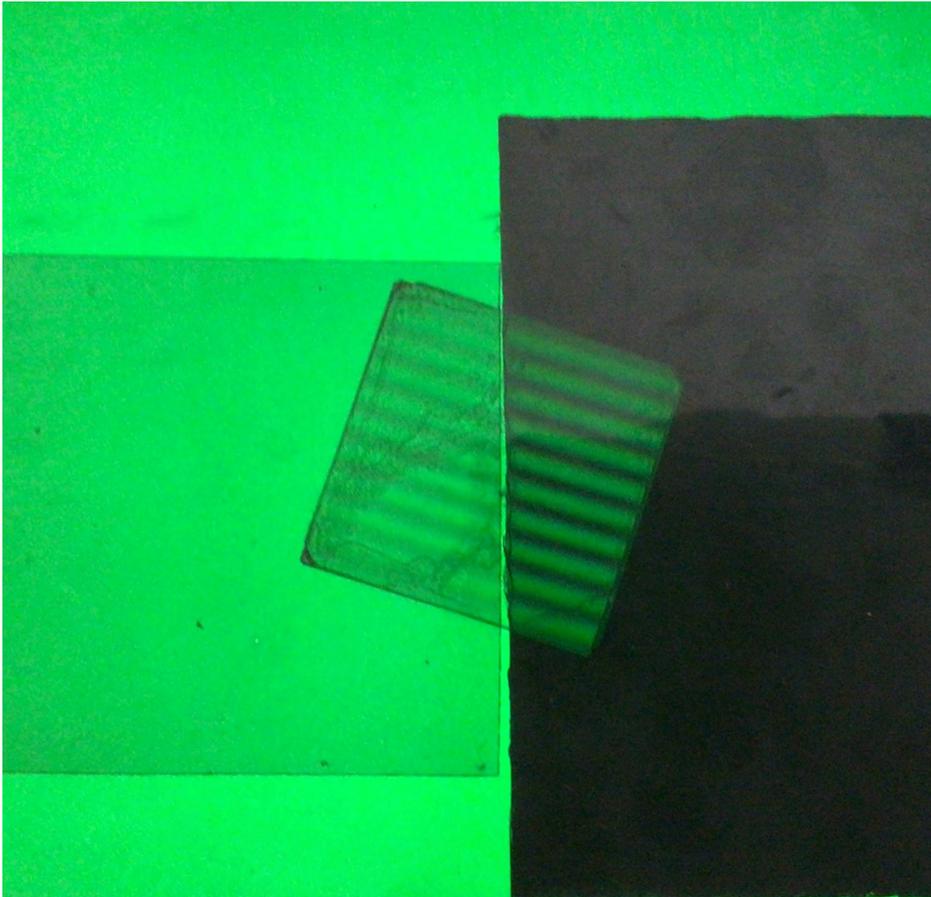
Analyseur perpendiculaire ou parallèle à P

Qu'est-ce qui a changé entre la partie droite et la partie gauche de la photo?



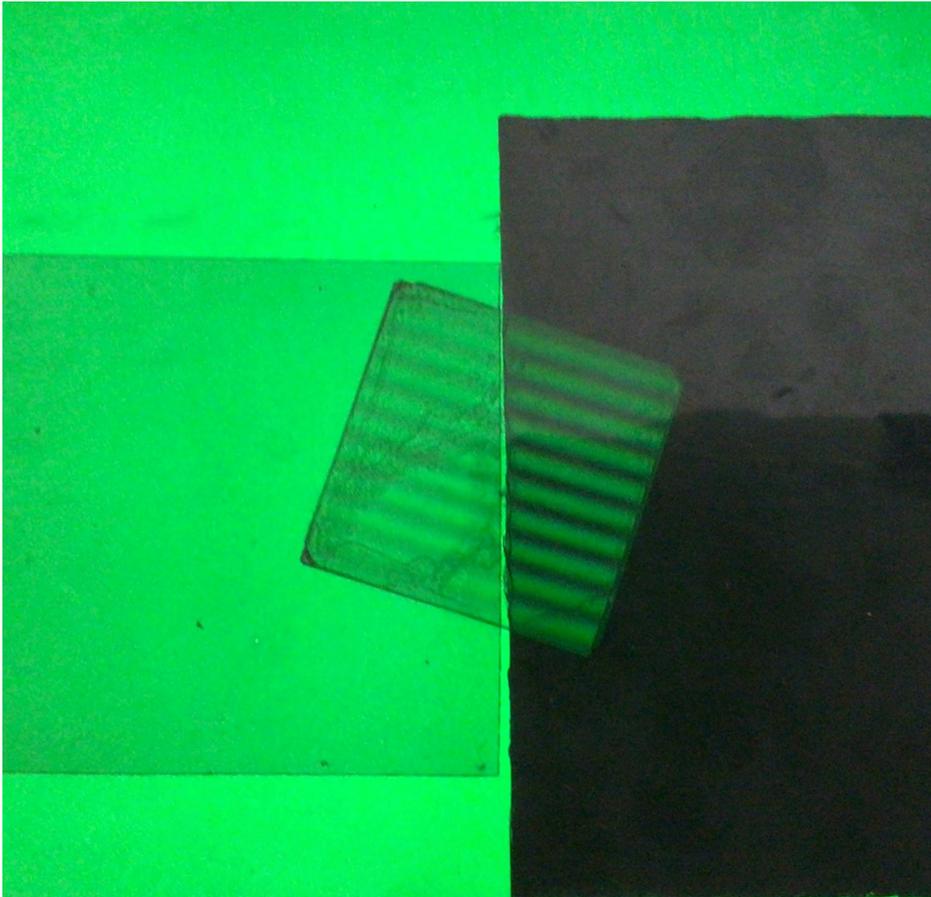
- 1) L'analyseur a tourné de 45°
- 2) L'analyseur a tourné de 90°
- 3) L'analyseur a été ajouté uniquement sur la partie droite
- 4) la partie gauche est le premier prisme du Wollaston et la partie droite le 2e avec l'axe optique perpendiculaire

Qu'est-ce qui a changé par rapport à la diapositive précédente?



- 1) L'analyseur n'est plus perpendiculaire au polariseur sur la partie droite
- 2) L'analyseur n'est plus parallèle au polariseur sur la partie gauche
- 3) Les axes du Wollaston ne sont plus à 45° des axes du polariseur et de l'analyseur

De quel côté le contraste est-il le meilleur et pourquoi?



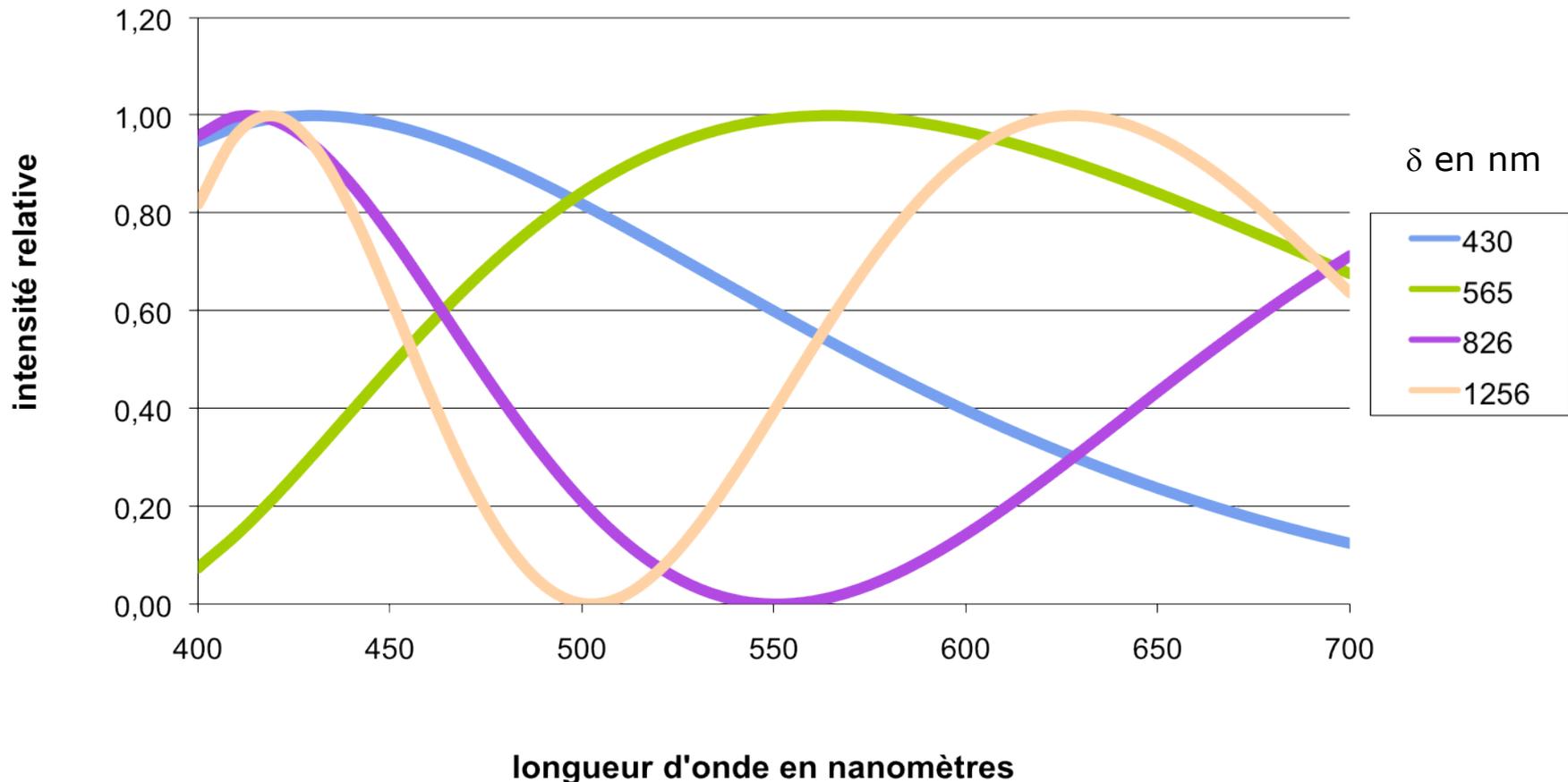
1) Du côté gauche car l'analyseur est parallèle au polariseur

2) Du côté droit car l'analyseur est perpendiculaire au polariseur

VI. Interférences en lumière blanche

Principe des interférences en lumière blanche

Intensité en fonction de la longueur d'onde
pour plusieurs valeurs de différences de marche
échelle à centre blanc (P//A): $I=I_0(1+\cos(2\pi\delta/\lambda))$



Echelle des teintes de Newton

		Echelle des teintes de Newton						
δ en nanomètres	échelle à centre blanc $I=I_0 \cdot \cos^2(\pi\delta/\lambda)$	échelle à centre noir $I=I_0 \cdot \sin^2(\pi\delta/\lambda)$		δ en nanomètres	échelle à centre blanc $I=I_0 \cdot \cos^2(\pi\delta/\lambda)$	échelle à centre noir $I=I_0 \cdot \sin^2(\pi\delta/\lambda)$		
0	blanc	noir	premier ordre	1128	vert jaunâtre	violet bleuâtre clair	troisième ordre	
40	blanc	gris de fer		1151	jaune sale	indigo		
97	blanc jaunâtre	gris lavande		1258	couleur chair	bleu (teinte verdâtre)		
158	blanc jaunâtre	bleu gris		1334	rouge brun	vert de mer		
218	brun jaune	gris plus clair		1376	violet	vert brillant		
234	brun	blanc verdâtre		1426	bleu violacé grisâtre	jaune verdâtre		
259	rouge clair	blanc		1495	bleu verdâtre	rose (nuance clair)		
267	rouge carmin	blanc jaunâtre		1534	bleu vert	rouge carmin		
275	brun rouge sombre	jaune paille pâle		1621	vert terne	carmin pourpre		
281	violet sombre	jaune paille		1658	vert jaunâtre	gris violacé		
306	indigo	jaune clair						
332	bleu	jaune vif						
430	bleu gris	jaune brun		1682	jaune verdâtre	bleu gris		quatrième ordre
505	vert bleuâtre	orangé rougeâtre		1711	jaune gris	vert de mer		
536	vert pâle	rouge chaud		1744	mauve gris rouge	vert bleuâtre		
551	vert jaunâtre	rouge plus foncé	1811	carmin	beau vert			
			1927	gris rouge	gris vert			
			2007	bleu gris	gris presque blanc			
			2048	vert	rouge clair			
565	vert plus clair	pourpre				5e ordre		
575	jaune verdâtre	violet						
589	jaune d'or	indigo	2338	rose pâle	vert bleu pâle			
664	orangé	bleu de ciel	2668	vert bleu pâle	rose pâle			
728	orangé brunâtre	bleu verdâtre						
747	rouge carmin clair	vert						
826	pourpre	vert plus clair						
843	pourpre violacé	vert jaunâtre						
866	violet	jaune verdâtre						
910	indigo	jaune pur						
948	bleu sombre	orangé						
998	bleu verdâtre	orangé rougeâtre vif						
1101	vert	rouge violacé foncé						

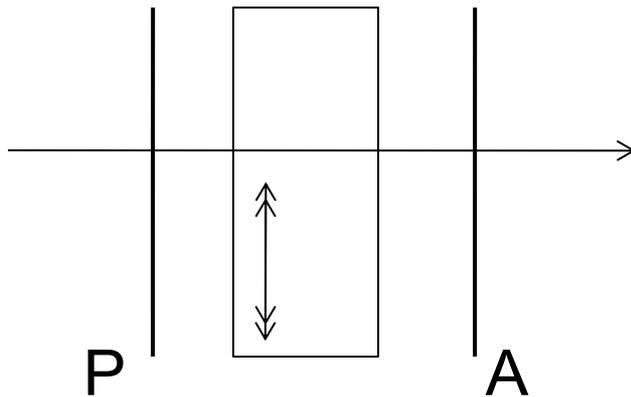


Couleurs interférentielles

- Couleurs vives pour les petites différences de marche
→ bien adapté aux matériaux biréfringents car $\delta=(n_e-n_o)e$ est petit
- Teinte sensible pourpre (= équilibre entre bleu et rouge) utile pour détecter des variations de DDM de moins de 100nm
- Pour $\delta > 2,5\mu\text{m}$, plus de teinte mais un spectre cannelé observable avec un spectromètre (à prisme ou réseau)
 - P//A: cannelures sombres si $\delta=\lambda/2+k\lambda$
 - P⊥A: cannelures sombres si $\delta=k\lambda$

Exemple 1: lame biréfringente à faces parallèles

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



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

Rayons non déviés

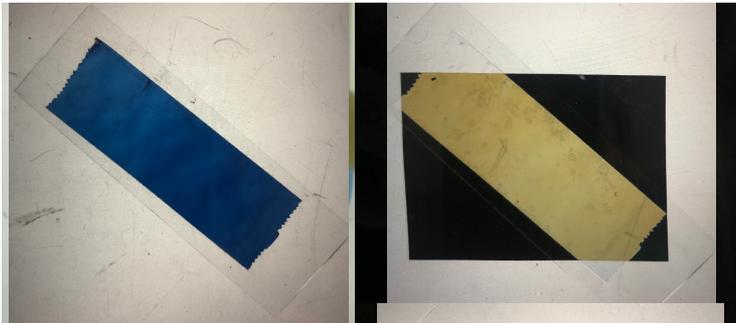
$$\varphi = 2\pi (n_e - n_o)e / \lambda$$

- En lumière monochromatique: intensité uniforme $I = I_0(1 \pm \cos\varphi)/2$
- En lumière blanche: chaque λ est transmise avec une intensité qui dépend du déphasage correspondant ($2\pi \delta / \lambda$). Si la DDM de suffisamment petite ($< 2,5\mu\text{m}$) : couleur caractéristique de la valeur de la DDM donnée par l'échelle des teintes de Newton, à centre blanc si P//A ou centre noir si P et A croisés

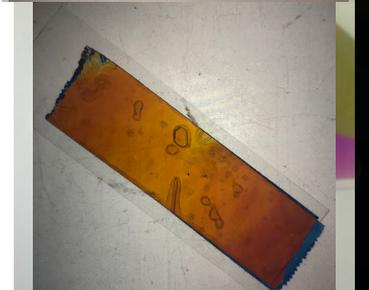
Expériences de cours: couleurs interférentielles de couches de scotch placées entre P et A parallèles ou croisés

P//A

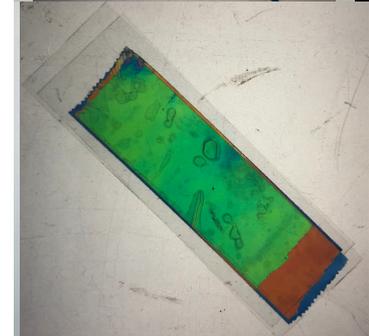
P⊥A

1 couche
de scotch

Bleu foncé (//) / Jaune pâle (per)

2
couches

Orangé (//) / Bleu clair (perp)

3
couches

Vert (//) / Rose (perp)

Echelle des teintes de Newton

Echelle des teintes de Newton			Echelle des teintes de Newton		
δ en nanomètres	échelle à centre blanc $I=I_0 \cdot \cos^2(\pi\delta/\lambda)$	échelle à centre noir $I=I_0 \cdot \sin^2(\pi\delta/\lambda)$	δ en nanomètres	échelle à centre blanc $I=I_0 \cdot \cos^2(\pi\delta/\lambda)$	échelle à centre noir $I=I_0 \cdot \sin^2(\pi\delta/\lambda)$
0	blanc	noir	1128	vert jaunâtre	violet bleuâtre clair
40	blanc	gris de fer	1151	jaune sale	indigo
97	blanc jaunâtre	gris lavande	1258	couleur chair	bleu (teinte verdâtre)
158	blanc jaunâtre	bleu gris	1334	rouge brun	vert de mer
218	brun jaune	gris plus clair	1376	violet	vert brillant
234	brun	blanc verdâtre	1426	bleu violacé grisâtre	jaune verdâtre
259	rouge clair	blanc	1495	bleu verdâtre	rose (nuance clair)
267	rouge carmin	blanc jaunâtre	1534	bleu vert	rouge carmin
275	brun rouge sombre	jaune paille pâle	1621	vert terne	carmin pourpre
281	violet sombre	jaune paille	1658	vert jaunâtre	gris violacé
306	indigo	jaune clair			
332	bleu	jaune vif	1682	jaune verdâtre	bleu gris
430	bleu gris	jaune brun	1711	jaune gris	vert de mer
505	vert bleuâtre	orangé rougeâtre	1744	mauve gris rouge	vert bleuâtre
536	vert pâle	rouge chaud	1811	carmin	beau vert
551	vert jaunâtre	rouge plus foncé	1927	gris rouge	gris vert
			2007	bleu gris	gris presque blanc
			2048	vert	rouge clair
565	vert plus clair	pourpre			
575	jaune verdâtre	violet			
589	jaune d'or	indigo	2338	rose pâle	vert bleu pâle
664	orangé	bleu de ciel	2668	vert bleu pâle	rose pâle
728	orangé brunâtre	bleu verdâtre			
747	rouge carmin clair	vert			
826	pourpre	vert plus clair			
843	pourpre violacé	vert jaunâtre			
866	violet	jaune verdâtre			
910	indigo	jaune pur			
948	bleu sombre	orangé			
998	bleu verdâtre	orangé rougeâtre vif			
1101	vert	rouge violacé foncé			

premier ordre

deuxième ordre

troisième ordre

quatrième ordre

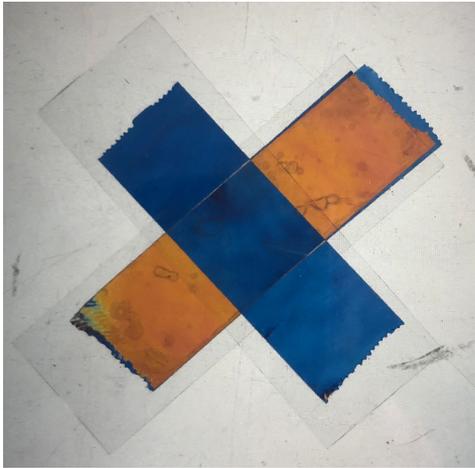
5e ordre



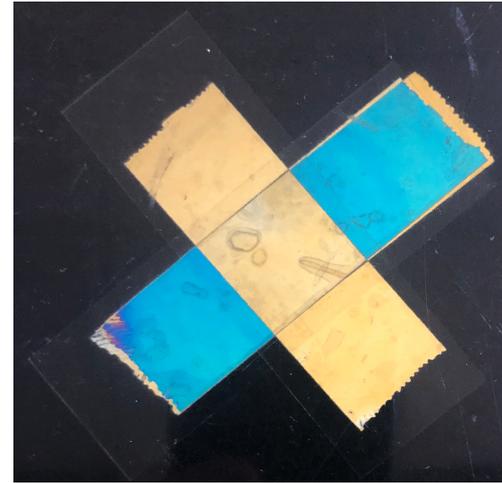
=> $\delta \approx 350\text{nm}$ par couche de scotch

- On peut aussi croiser les couches: les DDM se soustraient

P // A



P ⊥ A



- sur une plaque de verre on a croisé des couches de scotch successives de DDM plus petites pour échantillonner les teintes de

Newton

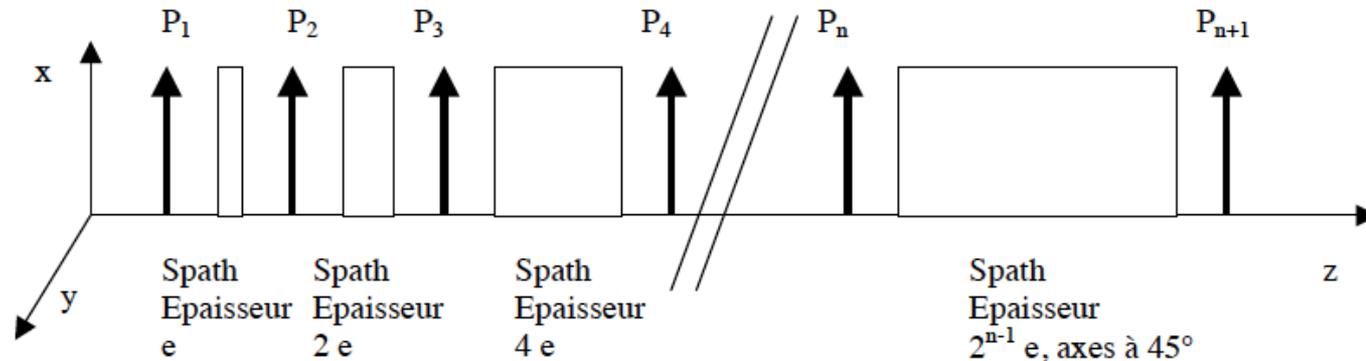
P // A



P ⊥ A



Application: filtre interférentiel de Lyot



$$I = I_0 \cos^2(2\pi\delta / \lambda) \text{ pour 1 lame avec } \delta = (n_e - n_o)e$$

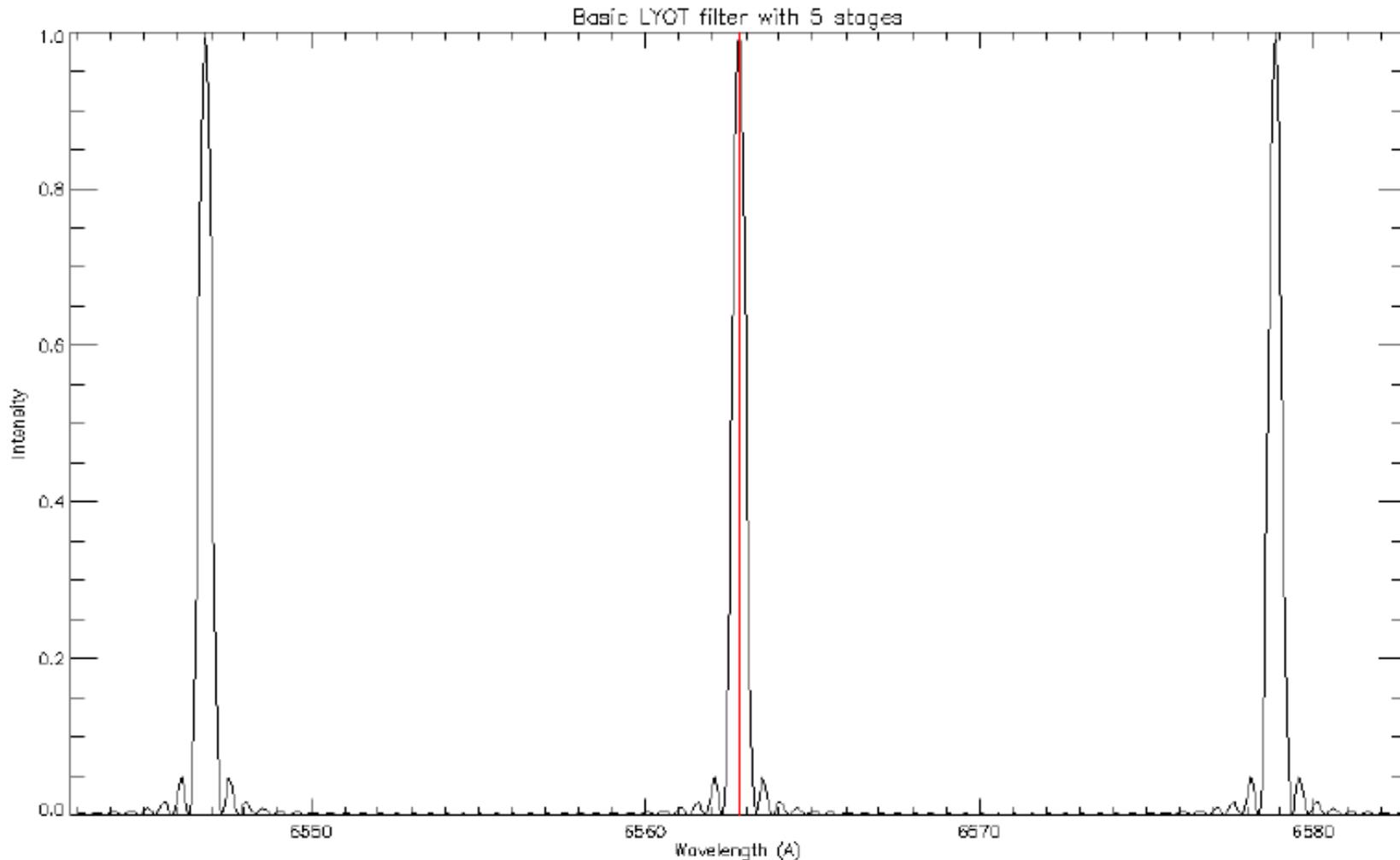
$$I = I_0 \cos^2(2\pi\delta / \lambda) \cos^2(2\pi 2\delta / \lambda) \cos^2(2\pi 4\delta / \lambda) \cos^2(2\pi 8\delta / \lambda)$$

pour 4 lames e , $2e$, $4e$, $8e$

Filtre interférentiel:

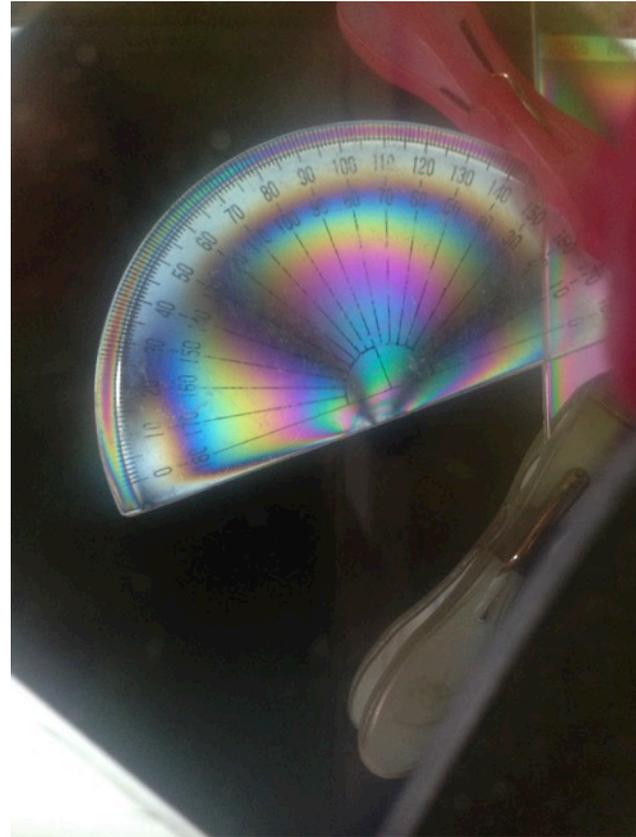
- > Période: celle de la lame la plus fine (épaisseur e)
- > Largeur d'un pic: inférieur à celui de la lame la plus épaisse (épaisseur $8e$)

Application: filtre interférentiel de Lyot



Spectre cannelé d'un filtre de LYOT de base à $n=5$ étages, $e=1.5$ mm, 0.5Å de bande passante

Mise en évidence des contraintes dans des objets en plastique

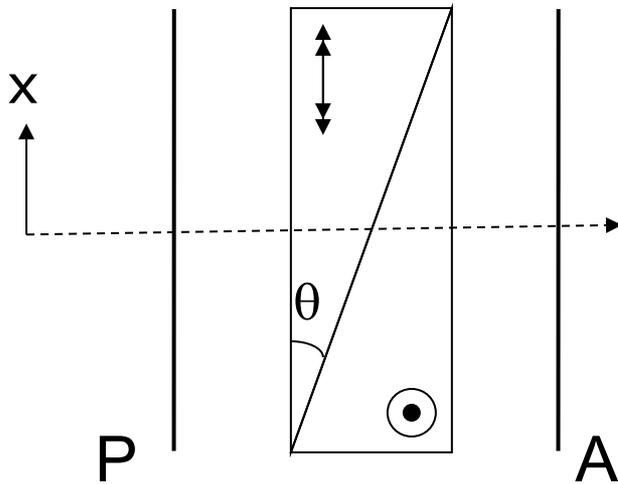


Application à la visualisation de contraintes
maquette en plastique d'un pont sur lequel se
déplace un train:

Voir le film enregistré au Palais de la Découverte

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

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

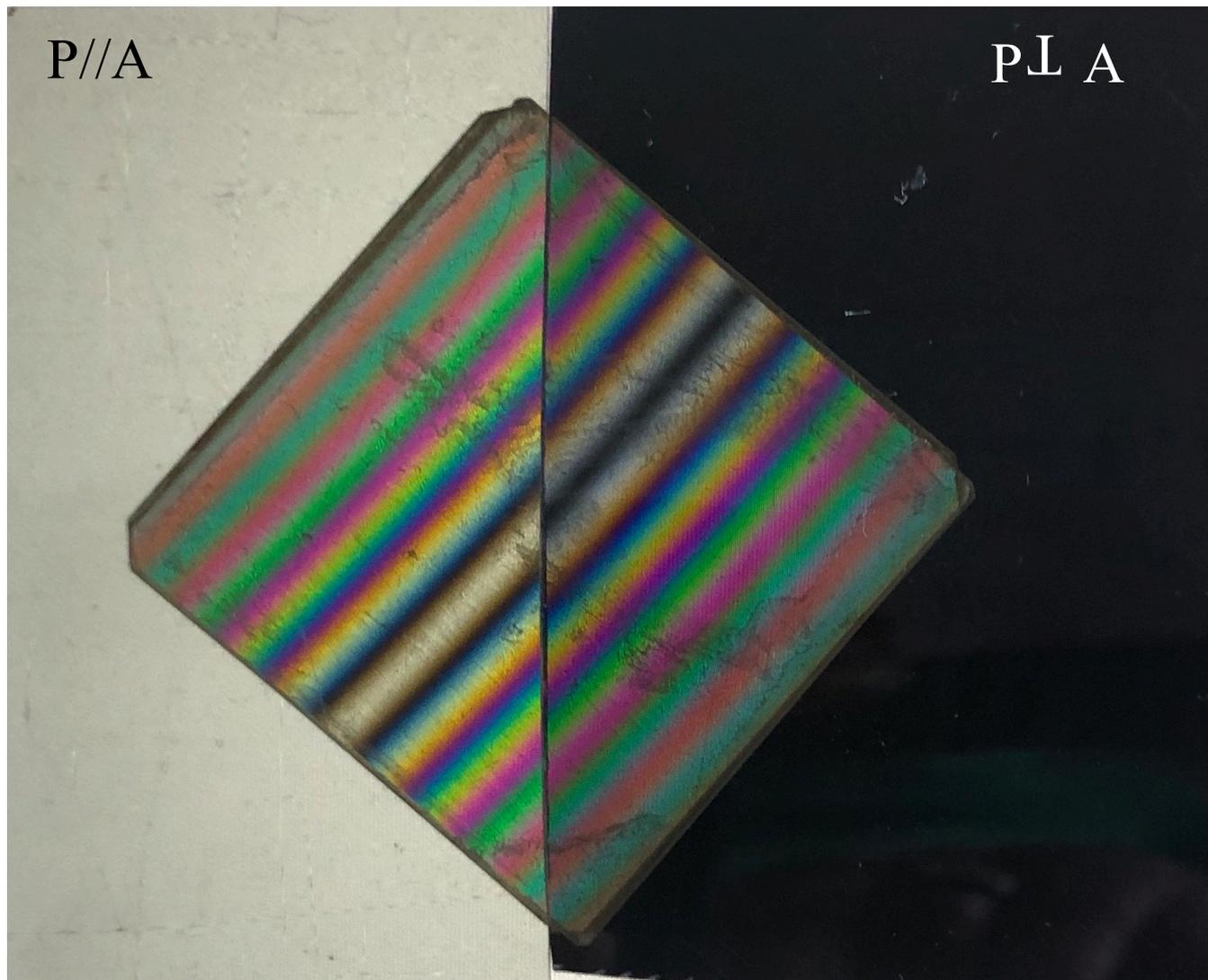


$$\text{DDM: } \delta = 2(ne - no)x\theta$$

En lumière monochromatique:

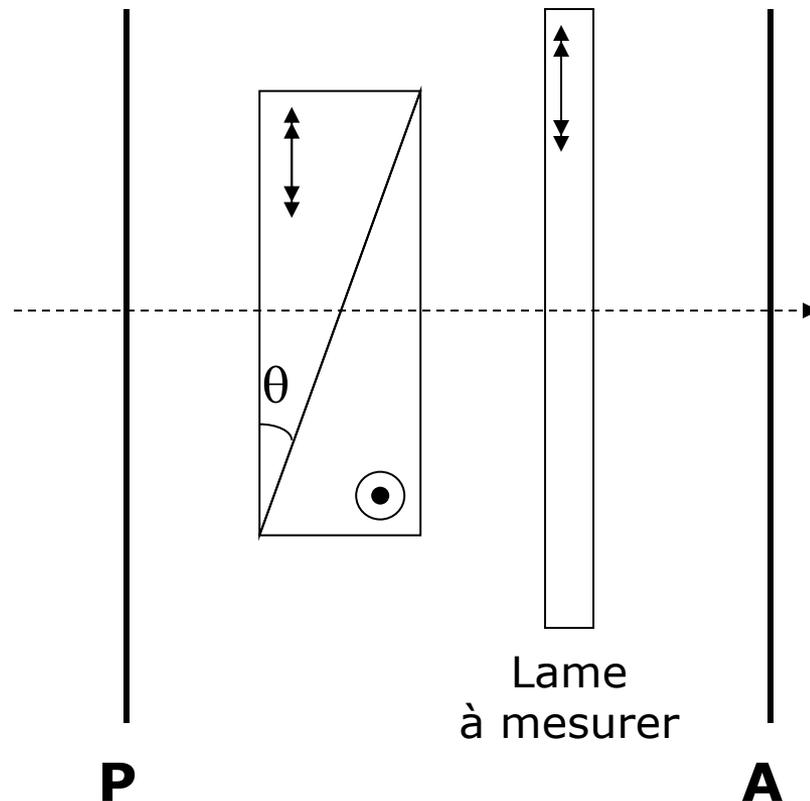
Franges rectilignes parallèles de période: $\Delta x = \lambda/2(ne - no)\theta$

En lumière blanche: franges rectilignes couvrant l'échelle des teintes de Newton à centre blanc (si $P // A$) ou noir (si $P \perp A$)



Application à la mesure du déphasage d'une lame cristalline : compensateur de Babinet

On ajoute une lame de déphasage inconnu d'axes parallèles entre le Wollaston et l'analyseur

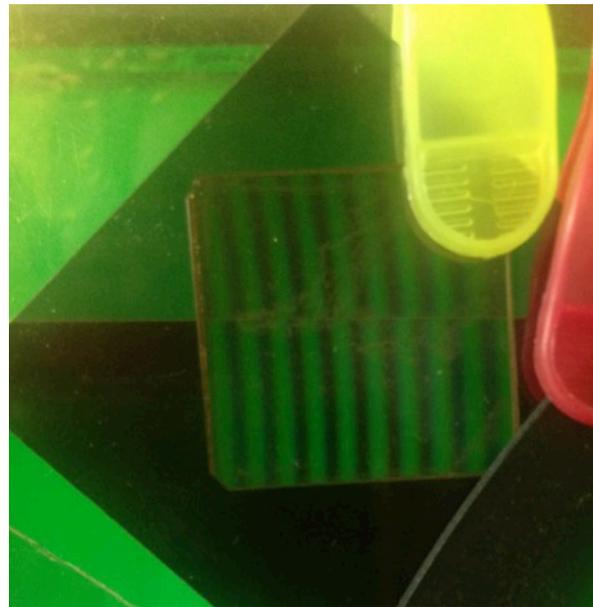


La lame provoque une translation des franges d'une quantité:

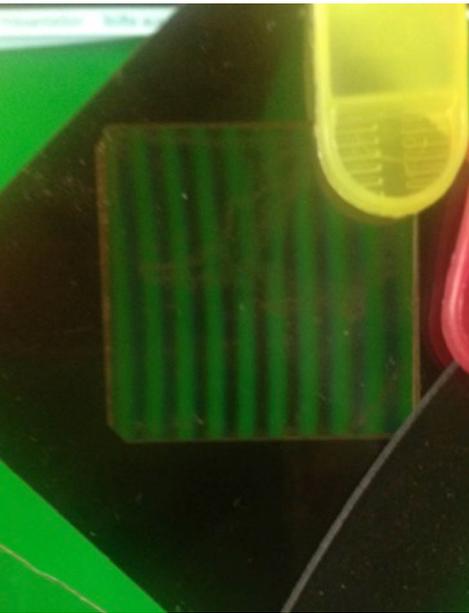
$$\frac{\delta_{\text{lame}}}{\lambda} * \text{période des franges}$$



Wollaston seul

Wollaston + lame quart d'onde
sur demi champ (en haut)

Sur la photo de droite quelle lame a-t-on mis en haut devant le Wollaston?

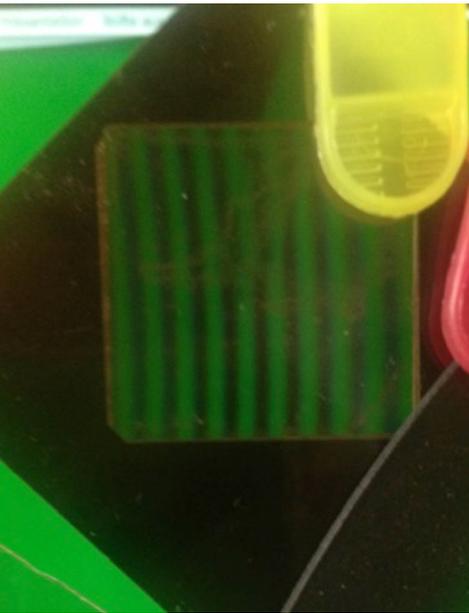


Wollaston seul
(pour mémoire)



- Un polariseur
- Une lame quart onde
- Une lame demi onde

Sur la photo de droite quelle lame a-t-on mis en haut devant le Wollaston?



- Un polariseur
- Une lame quart onde
- Une lame demi onde

Wollaston seul
(pour mémoire)

VII. Cohérence de polarisation

Nouveau dispositif expérimental:

La source est non polarisée (par exemple réflexion diffuse d'une lampe de bureau à LED sur un tableau blanc)

Va-t-on voir des interférences si on éclaire un milieu biréfringent, par exemple un Wollaston, avec cette source?

- A. OUI à condition de mettre un analyseur en sortie à 45° des axes du Wollaston**
- B. OUI à condition de mettre aussi un polariseur avant le Wollaston parallèle aux axes du Wollaston**
- C. Oui à condition de mettre aussi un polariseur avant le Wollaston parallèle ou perp aux axes de l'analyseur**

Wollaston W tenu par une pince grise
Polariseur P placé avant W tenu par une pince jaune
Analyseur A placé après W tenu par une pince rose

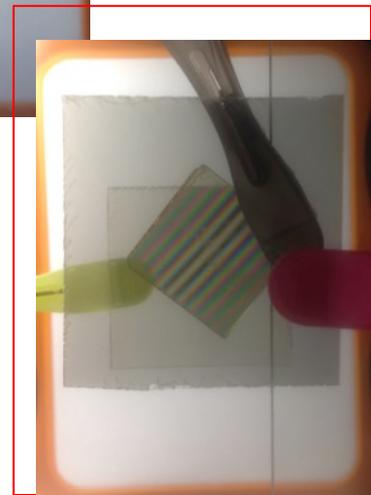
A. OUI à condition de mettre un analyseur en sortie à 45° des axes du Wollaston W



B. OUI à condition de mettre aussi un polariseur avant le Wollaston parallèle aux axes du Wollaston



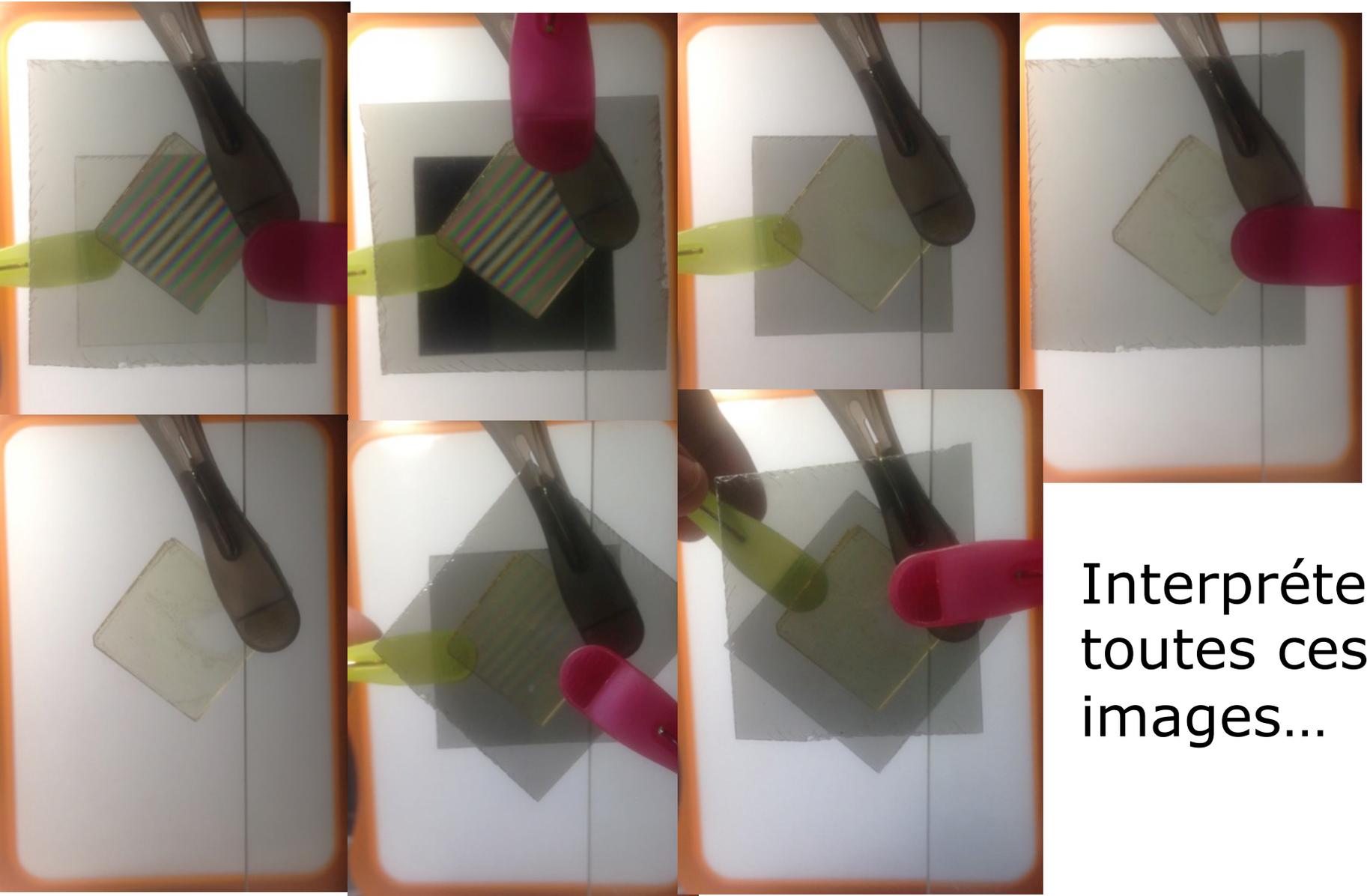
C. OUI à condition de mettre aussi un polariseur avant le Wollaston parallèle ou perp aux axes de l'analyseur



Wollaston W tenu par une pince grise

Polariseur P placé avant W tenu par une pince jaune

Analyseur A placé après W tenu par une pince rose



Interprétez
toutes ces
images...

BILAN

Les interférences en lumière polarisée nécessitent à la fois:

- un polariseur avant le dispositif (pour les deux ondes qui vont interférer soient cohérentes entre elles)
- et un analyseur après le dispositif (pour que les deux ondes qui interfèrent soient de polarisation parallèle, en tout cas pas orthogonales).

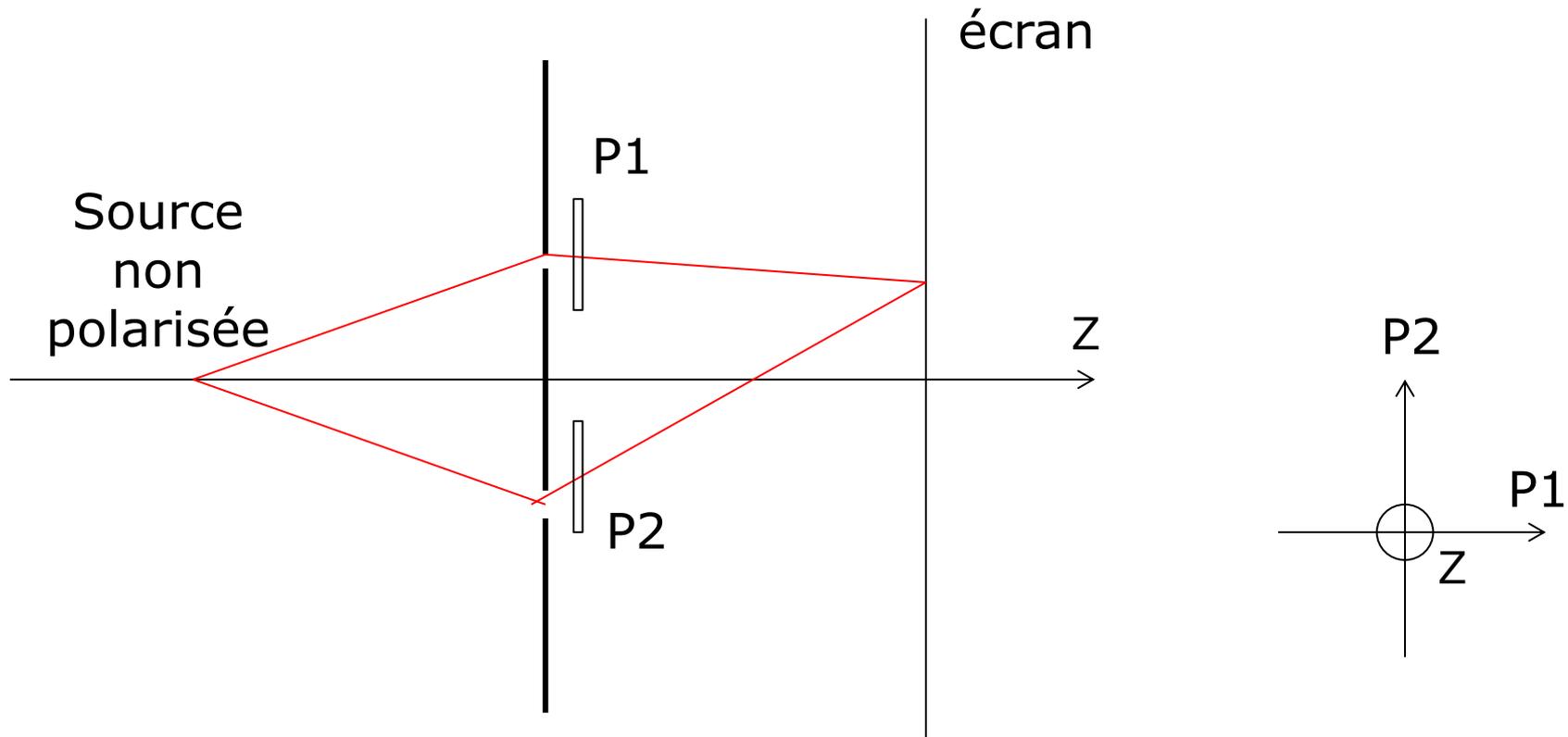
De plus:

P et A doivent être à 45° des axes du dispositif biréfringent, en tout cas pas parallèles ni l'un ni l'autre à ces axes sinon

- seule une onde va se propager dans le milieu (cas où P // l'un des axes)
- ou va être détectée derrière A (cas où A // à l'un des axes).

Expérience originale de Fresnel-Arago

On place devant chaque trou d'Young un polariseur, ces deux polariseurs étant croisés entre eux: voit-on encore des franges? Que faut-il ajouter au montage pour les observer?



Expérience originale de Fresnel-Arago

On place devant chaque trou d'Young un polariseur, ces deux polariseurs étant croisés entre eux: voit-on encore des franges? Que faut-il ajouter au montage pour les observer?

