

# OPTIQUE 9 : Cohérence temporelle

École Centrale Pékin

Année 3

## Table des matières

<b>2 Cas de la lumière blanche</b>	<b>2</b>
2.1 La lumière blanche n'est pas une lumière quasi-monochromatique . . . . .	2
2.2 Observations expérimentales . . . . .	2
2.3 Interprétation . . . . .	3

## 2 Cas de la lumière blanche

### 2.1 La lumière blanche n'est pas une lumière quasi-monochromatique

• Dans la lumière blanche, sont présentes (avec des intensités qui diffèrent suivant la nature de la source) les longueurs d'ondes  $\lambda_0 \in [400 \text{ nm} ; 800 \text{ nm}]$  centrées sur la longueur d'onde moyenne  $\lambda_m = 600 \text{ nm}$ . On constate que  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_m} = \frac{400}{600} = 0,66$  n'est pas très petit devant 1. La lumière blanche ne saurait donc être traitée comme une lumière quasi-monochromatique. Elle constitue une lumière **polychromatique**.

• On peut associer une longueur de cohérence à la lumière blanche :  $\ell_c = \frac{\lambda_m^2}{\Delta\lambda} = \frac{(0,6 \mu\text{m})^2}{(0,8 - 0,4) \mu\text{m}} = 0,9 \mu\text{m}$ .

• On développe, dans ce paragraphe, la démarche classique qui permet d'interpréter qualitativement les expériences d'interférences en lumière blanche.

### 2.2 Observations expérimentales

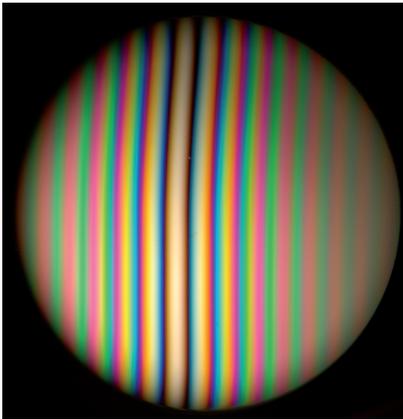
**Observation expérimentales :** Lorsque l'on éclaire un dispositif interférométrique<sup>a</sup> en lumière blanche, on observe :

- un blanc **brillant** sur la frange telle que  $\delta = 0$  ;
- des irisations au voisinage des points M tels que  $|\delta(M)| \lesssim \mu\text{m}$  ;
- un éclaircissement blanc uniforme ailleurs dit **blanc d'ordre supérieur**. Le spectre révèle que certaines longueurs d'onde sont absentes : on dit qu'il présente des **cannelures**.

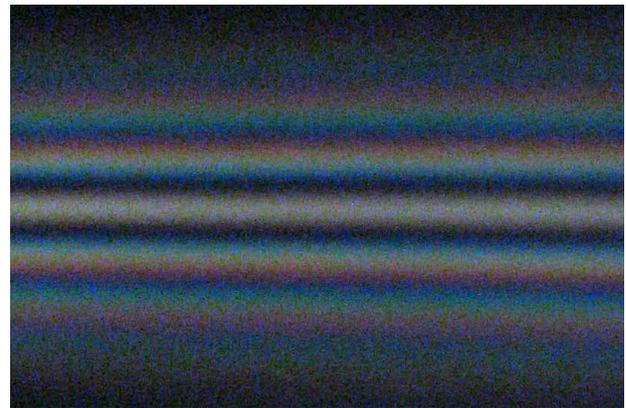
Il s'en suit qu'observer des interférences en lumière blanche est la signature des lieux des points M tels que  $|\delta(M)| \lesssim \mu\text{m}$ .

<sup>a</sup>. On supposera la cohérence spatiale totale pour éviter d'affronter simultanément le problème de la *cohérence spatiale* et celui de la *cohérence temporelle*.

#### Illustrations :



**FIGURE 1** – Figure d'interférences obtenue avec le Michelson réglé en coin d'air éclairé en lumière blanche



**FIGURE 2** – Franges d'interférences obtenues par les fentes de Young éclairées en lumière blanche



**FIGURE 3** – Simulation informatique de la figure d'interférences obtenues avec le Michelson réglé en coin d'air éclairé en lumière blanche

**Commentaires :**

① En lumière monochromatique, une différence de marche nulle ne peut être distinguée de la différence de marche multiple de  $2\pi$  : les interférences sont constructives. **Il en est tout autrement en lumière blanche : une différence de marche nulle  $\delta = 0$  est le seul cas où l'état d'interférence ne dépend pas de la longueur d'onde ; les interférences sont totalement constructives pour toutes les longueurs d'onde et on observe le "blanc brillant"**. Ainsi, sur les figures 1 et 3, on peut repérer la position de l'arête du coin d'air puisqu'elle coïncide avec la frange brillante (voir chapitre 8 d'Optique).

② Les irisations que l'on observe à la surface des bulles de savon (voir figure 4) ou de films d'hydrocarbures qui flottent sur de l'eau sont dues à la division d'amplitude d'un rayon incident par le film (voir figure 5). La longueur de cohérence de la lumière blanche étant de l'ordre du micromètre, la présence des irisations impose que la différence de marche entre les rayons lumineux qui interfèrent est inférieure au micromètre ce qui permet d'accéder à un ordre de grandeur de l'épaisseur locale du film.



FIGURE 4 – Photo des irisations à la surface d'une bulle de savon

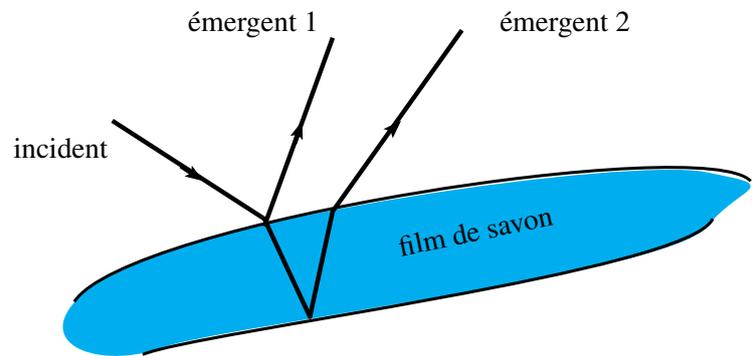


FIGURE 5 – Schéma de la division d'amplitude par la lame de savon

### 2.3 Interprétation

• Même en supposant la densité spectrale d'éclairement en nombre d'onde uniforme (approximation grossière) sur tout le spectre visible, le traitement proposé au paragraphe ??, à savoir l'étude de

$$\mathcal{E}(\delta) = 2 \int_{\sigma=0}^{\sigma=\infty} e_{\sigma}(\sigma) [1 + \cos(2\pi\sigma\delta)] d\sigma$$

ne permet pas de rendre compte aisément des observations expérimentales.

• On procède ainsi : chaque longueur d'onde constituant la source polychromatique donne naissance à sa figure d'interférences

$$\mathcal{E}_{\lambda_0}(M) = 2\mathcal{E}_0 \left[ 1 + \cos \left( 2\pi \frac{\delta(M)}{\lambda_0} \right) \right]$$

Chaque figure d'interférences engendrée par une longueur d'ondes se superpose avec celle engendrée par une autre longueur d'ondes.

• Sur la figure 6, on a représenté l'éclairement généré par différentes longueurs d'ondes :

- en traits pleins :  $\lambda_0 = 700$  nm (rouge) ;
- en pointillés :  $\lambda_0 = 580$  nm (jaune) ;
- en tirets :  $\lambda_0 = 480$  nm (violet).

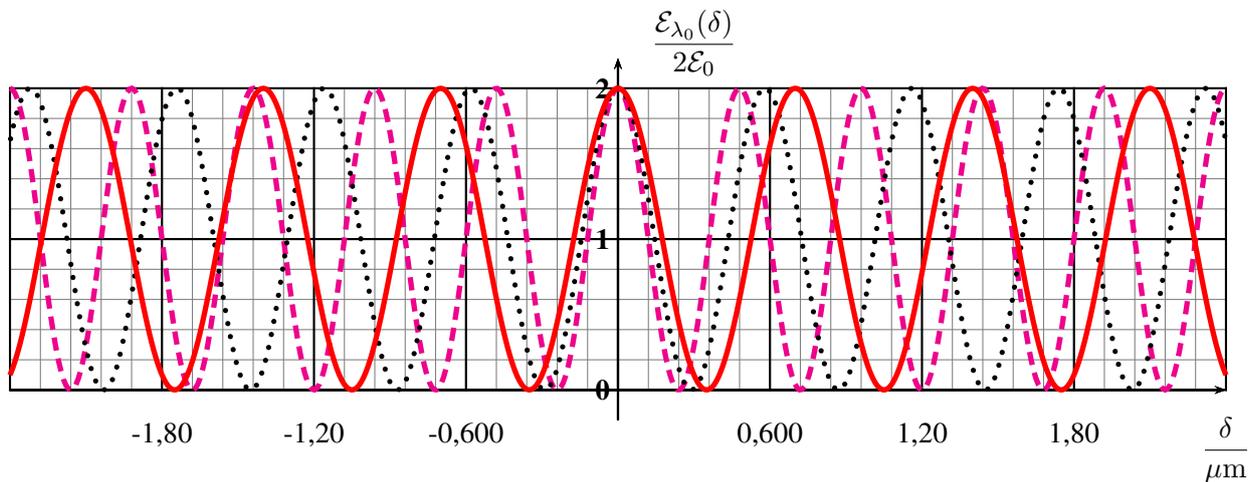


FIGURE 6 – Allure de  $\frac{\mathcal{E}_{\lambda_0}(x)}{2\mathcal{E}_0}$  pour différentes valeurs de  $\lambda_0$  en fonction de  $\delta$  ( $\mu\text{m}$ )

On constate qu'en  $\delta = 0$ , les interférences sont constructives pour toutes les longueurs d'ondes. Elles sont donc toutes présentes : on observe une frange centrale blanche.

Pour  $\delta \sim 0,25 \mu\text{m}$ , le bleu est éteint : on observera une teinte rougeâtre. Au voisinage de  $\delta \sim 0,275 \mu\text{m}$  les interférences sont destructives pour toutes les longueurs d'ondes : on observe une frange sombre. Pour  $\delta \sim 0,35 \mu\text{m}$ , le rouge est éteint : on observera une teinte bleutée. Ensuite, on observe différentes couleurs : d'abord *vives*, puis *pastel* à mesure que  $\delta$  croît.

Newton a été le premier à décrire les teintes que l'on observe en fonction de la différence de marche. L'**échelle de teinte de Newton** (voir figure 8) a été complétée au fil du temps. Dans le cas particulier des lames ou des films minces, le relevé de la couleur permet de déduire la différence de marche locale et donc l'épaisseur locale si l'indice optique du milieu est connu.

Au delà (pour  $\delta \gtrsim 3 \mu\text{m}$ ), si l'on se trouve encore dans le champ d'interférences, la plupart des longueurs d'ondes sont présentes sauf quelques unes (interférences destructives) : la lumière est blanche mais moins éclatante que la frange centrale en raison de l'absence de quelques longueurs d'ondes. On parle de "blanc d'ordre supérieur". L'analyse de cette lumière révélerait que son spectre continu présente quelques **cannelures**, marque de l'absence de certaines longueurs d'ondes (voir figure 7) : on parle de **spectre cannelé**.

- **Ordres de grandeurs** : cherchons les radiations absentes pour  $\delta = 3,0 \mu\text{m}$ .

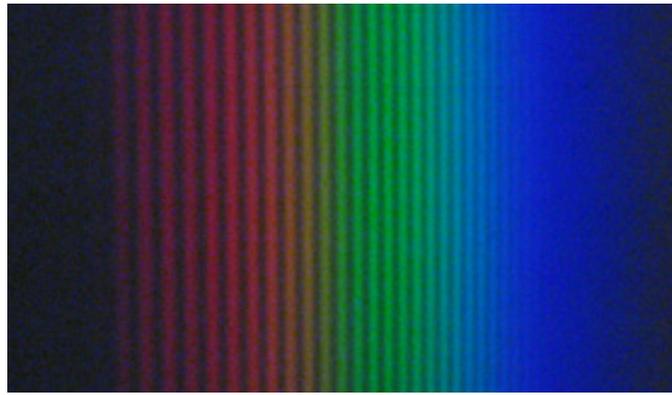


FIGURE 7 – Spectre cannelé

$\delta$ (en nm)	Teinte (centre blanc)
0	blanc
40	blanc
97	blanc jaunâtre
158	blanc brunâtre
218	brun-jaune
234	brun
259	rouge clair
267	rouge carmin
275	brun-rouge sombre
281	violet sombre
306	indigo
332	bleu
430	bleu-gris
505	vert-bleuâtre

FIGURE 8 – Extrait de l'échelle des teintes de Newton proposée par Michel-Lévy