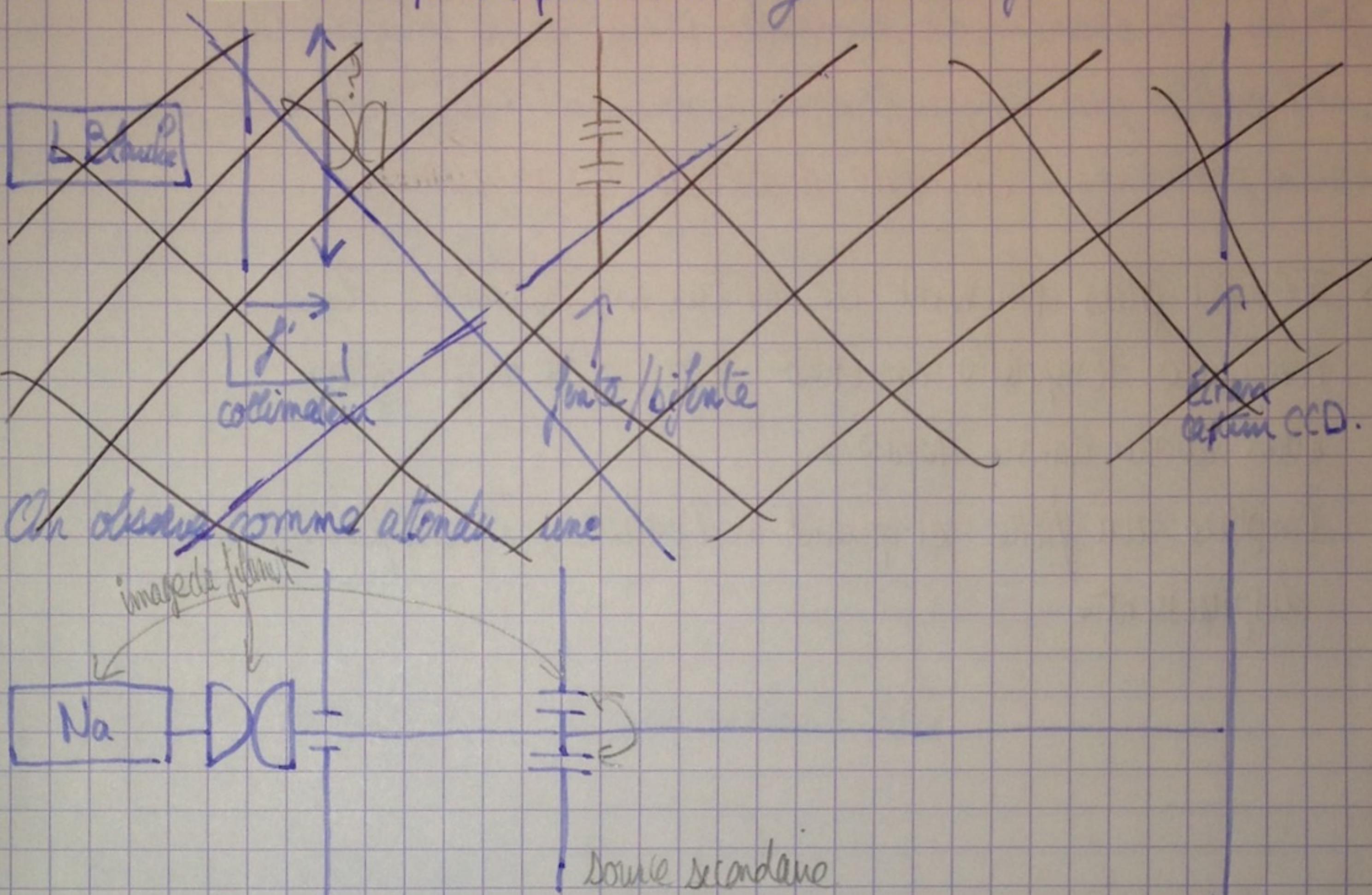


LP 33. L'intégrance à l'onde en optique

Pierre G 2019-2020

Intro.

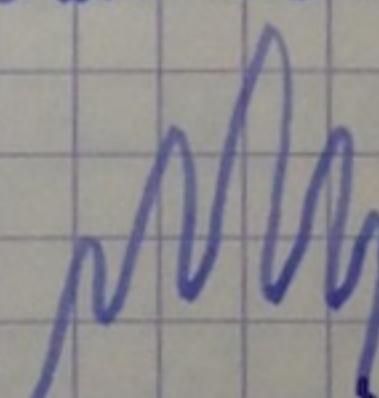
- Pour comprendre les enjeux de ce cours, je vous propose une expérience introductive.
- On éclaire avec une lampe à vapeur de sodium une lentille rectiligne verticale.



On observe une tâche simonofente.

A présent, on place une bouteille. Le bon sens nous dirait qu'on observe des tâches (ou, plutôt une grande tâche à cause de la diffraction.)

Pourtant, on observe des oscillations :



Certaines personnes pourraient se demander pourquoi la source primaire est disphragmée → On a peu de lumière. Je l'ouvre → les oscillations s'istent puis disparaissent. (revoir l'inversion de contrast)

$$\text{degé de cohérence spatial} \rightarrow \text{sinc}\left(\frac{\pi \Delta X a}{\lambda d}\right) \quad (0 \Rightarrow \Delta X = \frac{3}{2} \frac{\lambda d}{a})$$

Avant

Les phénomènes sont dus au caractère ondulatoire de la lumière et s'appellent interférences. Les sources : interférence à l'onde.

En ce basant sur nos connaissances en OF, champ électrique
électromagnétique, OPPT, onde sphérique, évidemment, transformée de Fourier
nous allons créer le modèle théorique qui permettra d'expliquer ce phénomène.

- L'objectif : on essaiera de comprendre pourquoi ces interférences
ne sont vues que lorsque la source primaire est active • pourquoi pas les sources primaires. *Conditions d'observation des interférences.*

► Il serait plus intéressant de montrer une expérience de cohérence temporelle en intro car c'est ce que nous allons aborder dans ce chapitre.

On place un filtre et quand on l'enlève, les interférences disparaissent.

I - Superposition de deux ondes lumineuses.

⇒ conditions d'intéférences (S_1, S_2)

$S_1 \times$

$S_2 \times$

Source 1: $\vec{E}_1(\eta) = \vec{E}_{10}(r_1) \cos\left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{\lambda_1} (S_1 \eta) - \gamma_{01}\right)$ retard de phase du déphasage de S_1 à η

Source 2: $\vec{E}_2(\eta) = \vec{E}_{20}(r_2) \cos\left(\omega_2 t - \frac{2\pi}{\lambda_2} (S_2 \eta) - \gamma_{02}\right)$

Onde localement plane loin des sources $\vec{E}_{10}(r_1) = \vec{E}_{10}$ bousculant α
 $\vec{E}_{20}(r_2) = \vec{E}_{20}$

$E(M) = \langle \|\vec{E}(M)\|^2 \rangle$ à une constante près

$E(M) = \langle \|\vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M)\|^2 \rangle$!

$$\begin{aligned} \langle \|\vec{E}_1(M) + \vec{E}_2(M)\|^2 \rangle &= \left\langle E_{10}^2 \cos^2\left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{\lambda_1} (S_1 M) - \gamma_{01}\right) \right. \\ &\quad + E_{20}^2 \cos^2\left(\omega_2 t - \frac{2\pi}{\lambda_2} (S_2 M) - \gamma_{02}\right) \\ &\quad \left. + 2E_{10} \cdot E_{20} \cos\left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{\lambda_1} (S_1 M) - \gamma_{01}\right) \cos\left(\omega_2 t - \frac{2\pi}{\lambda_2} (S_2 M) - \gamma_{02}\right) \right\rangle \\ &= \underbrace{\frac{E_{10}^2}{2}}_{E_1} + \underbrace{\frac{E_{20}^2}{2}}_{E_2} + 2E_{10} \cdot E_{20} \underbrace{\left\langle \cos\left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{\lambda_1} (S_1 M) - \gamma_{01}\right) \cos\left(\omega_2 t - \frac{2\pi}{\lambda_2} (S_2 M) - \gamma_{02}\right) \right\rangle}_{P_1} \end{aligned}$$

$\Rightarrow \alpha \cos \theta = \frac{1}{2} (\cos(a+b) + \cos(a-b))$

$E(M) = E_1 + E_2 + E_{10} \cdot E_{20} \left\langle \cos\left(\omega_1 t - \frac{2\pi}{\lambda_1} (S_1 M) - \gamma_{01}\right) + \cos\left(\omega_2 t - \frac{2\pi}{\lambda_2} (S_2 M) - \gamma_{02}\right) \right\rangle$

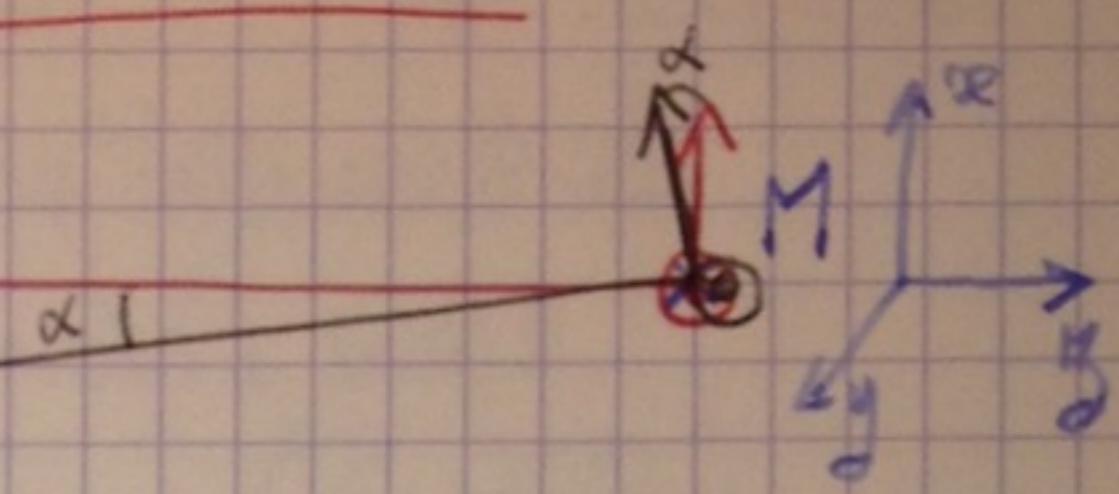
$\bullet C_1: E_{10} \cdot E_{20} \neq 0$

$E(M) = E_1 + E_2 + E_{10} \cdot E_{20} \left\langle \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t + \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{2}\right) \right\rangle$

cas 2: $\omega_1 = \omega_2$

$\bullet C_2: \omega_1 = \omega_2$ non同期

$\bullet C_3: \omega_1 = \omega_2$ non同期



3) Approximation scolaire de l'onde lumineuse

Remarque: approximation scolaire de l'onde lumineuse

| proche de l'optique (c de gauze)

- d'observation est suffisamment $\lambda \ll \alpha$ très petit. En négligeant le terme d'asse à en α , $E_1 \vec{u}_1 \cdot E_2 \vec{u}_2 = E_1 E_2 \vec{u}_1 \cdot \vec{u}_2$

~~$\vec{u}_1 = \vec{u}_2$~~ de gauze

- De par la nature des sources lumineuses utilisées (lampes spectrales, laser du labo), les deux de pulsions viennent simultanément.

Passeage d'une onde vectorielle à une onde scalaire.

$$S_1(M, t) = S_{01} \cos(\omega_1 t - \varphi_1(M))$$

$$S_2(N, t) = S_{02} \cos(\omega_2 t - \varphi_2(N))$$

$$\omega_1 = \omega_2$$

$$E = \langle S_1 \times S_2 \rangle = \frac{S_{01}^2}{2} + \frac{S_{02}^2}{2} + 2 S_{01} S_{02} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

$$= E_0 \delta_{\theta} + 2 \sqrt{E_0 E_0} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

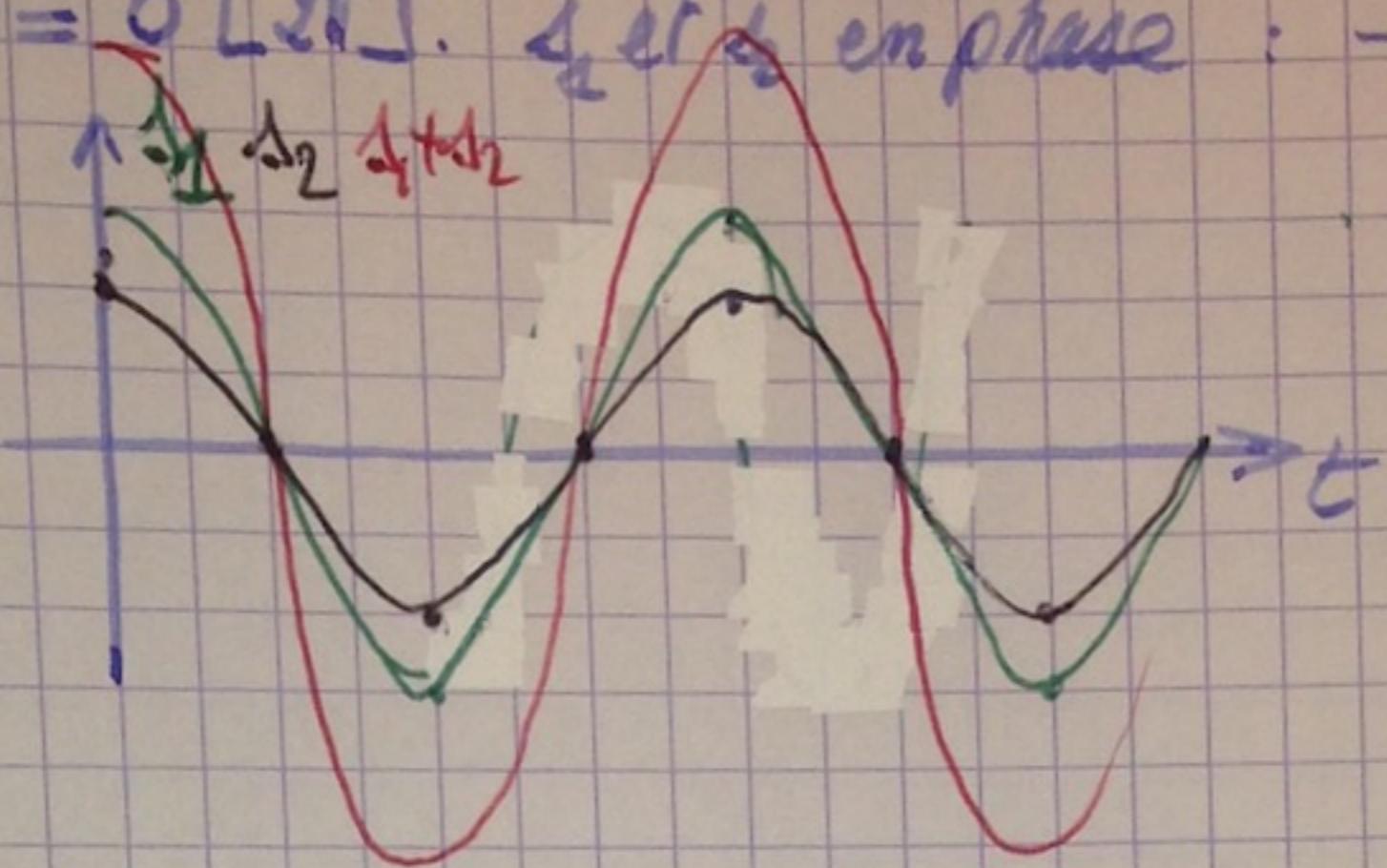
Si source de même intensité $S_1 = E_0$ (égaleté des écartements monochromatiques)

$$\text{D'où } E = 2 E_0 (1 + 2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1))$$

$$E = 2 E_0 \left(1 + 2 \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} [(S_2, n) - (S, n)] + \varphi_{20} - \varphi_{10} \right) \right)$$

3-) Intégration constructive et destructive

Si $\Delta\varphi = 0 [2\pi]$. s_1 et s_2 en phase : \rightarrow intégration constructive

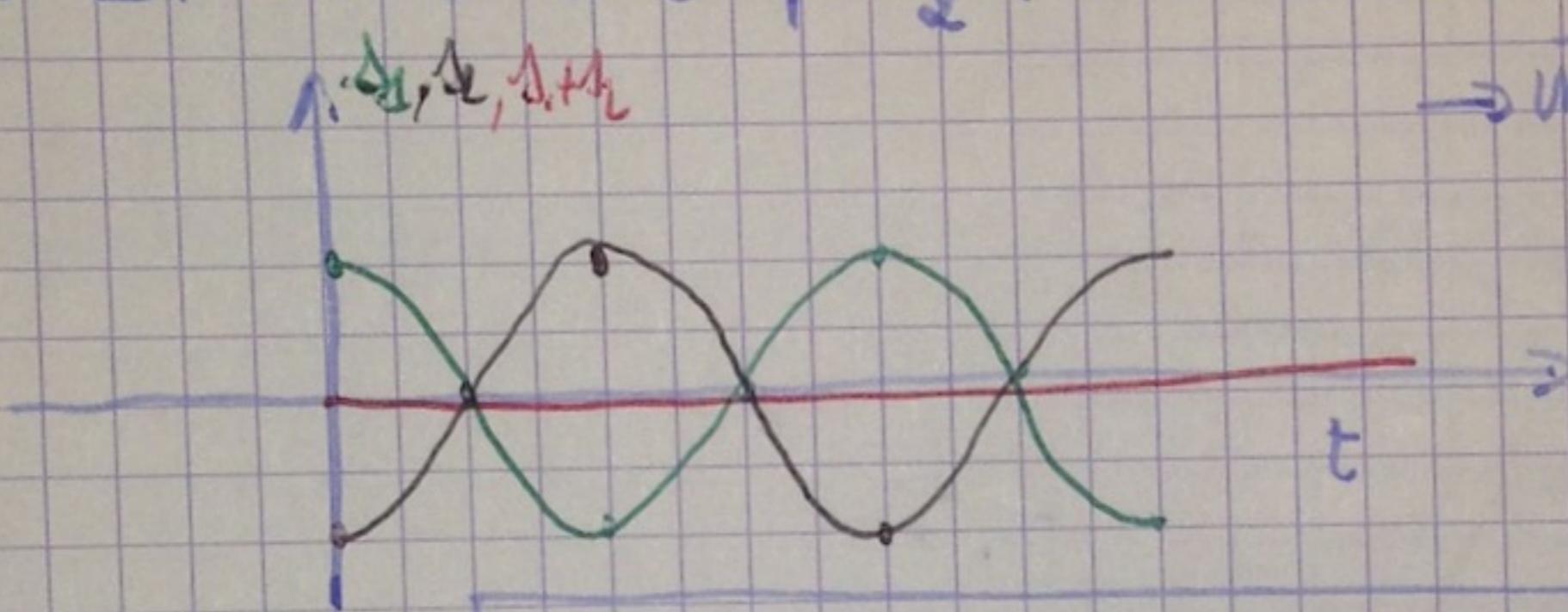


$$\Delta\varphi = 0 [2\pi]$$

$$P = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = R \text{ avec } R \in \mathbb{Z}$$

(onde d'interférence)

Si $\Delta\varphi = \pi [2\pi]$ i.e. $P = \frac{1}{2} + k$ avec $k \in \mathbb{Z}$

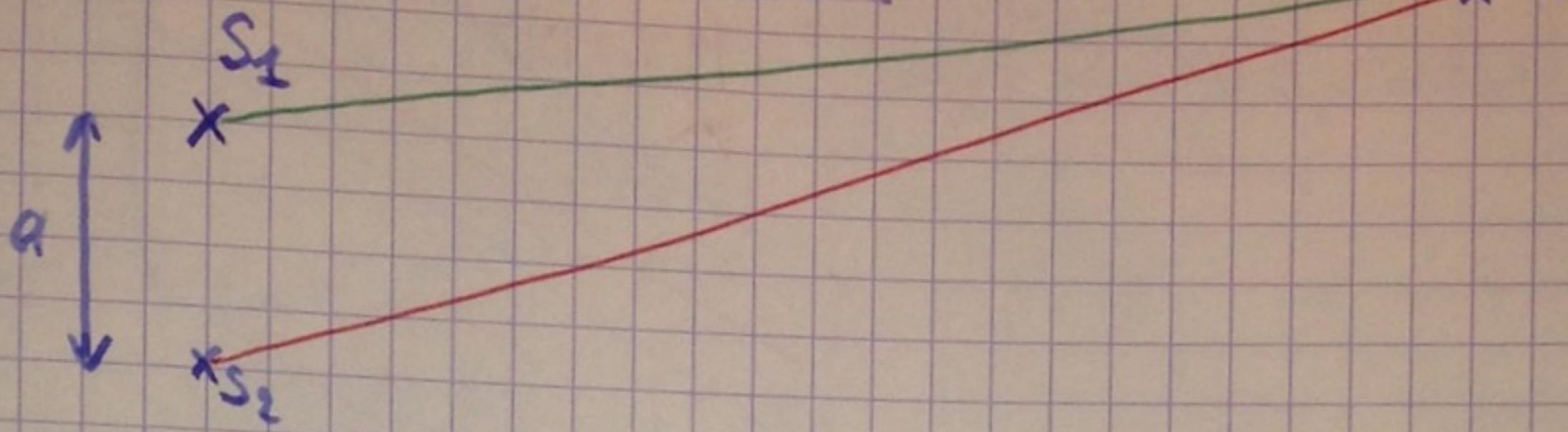


\rightarrow intégration destructive

p 732 Bellanger Remorize
PC

3) Figure d'interférence

3-1- Hyperboloids de révolution

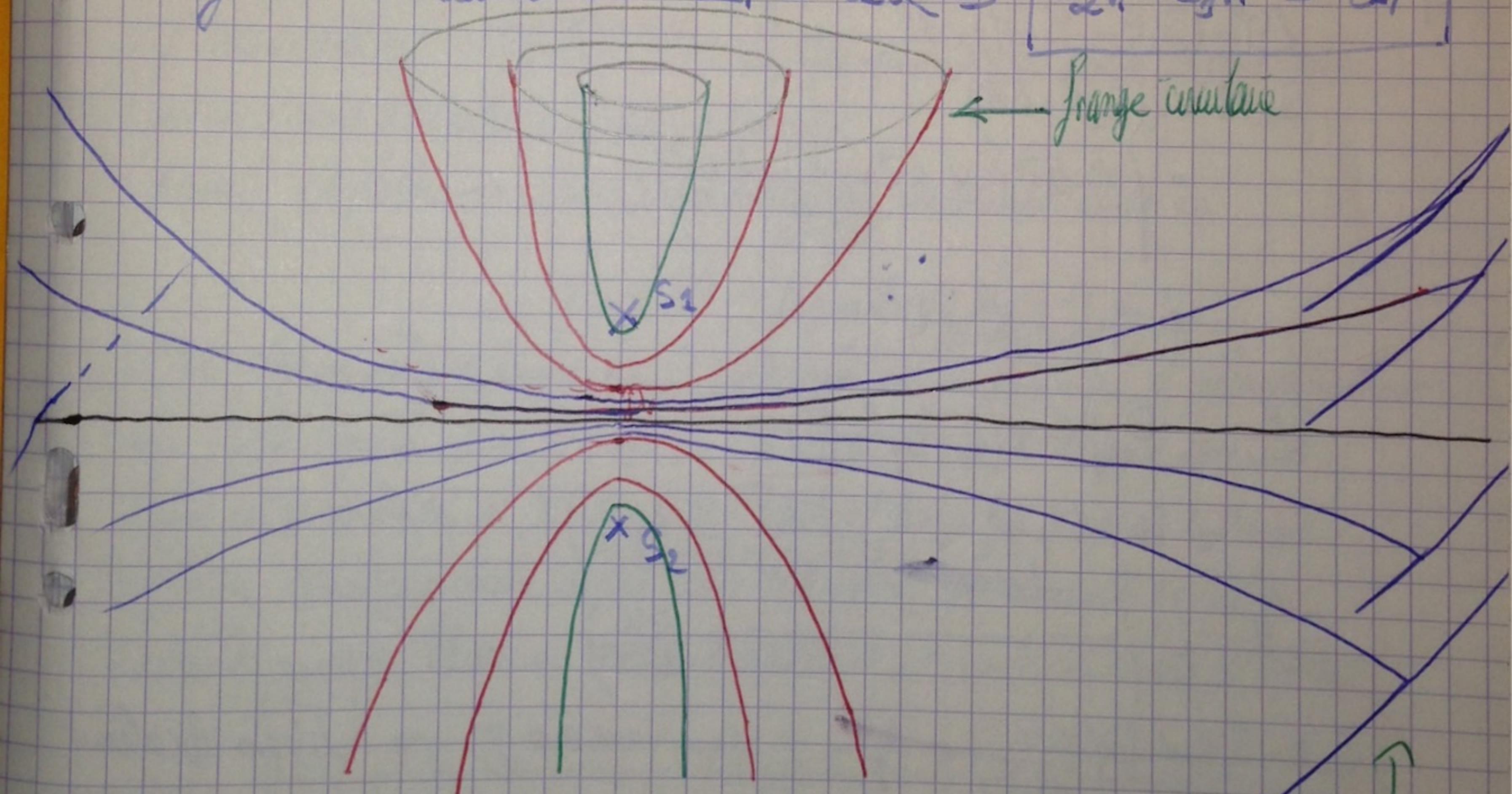


$$\mathcal{E}(M) = \alpha E_0 / (1 + \cos(\Delta\varphi(M)))$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} [(S_2 M) - (S_1 M)] + \boxed{\varphi_1 - \varphi_2}$$

Surface d'éclaircissement $\Delta\varphi = \text{cst} \Rightarrow [S_2 M - S_1 M = \text{cst}]$

$$[S_2 M - S_1 M = \text{cst}] \quad \leftarrow \text{frange constante}$$

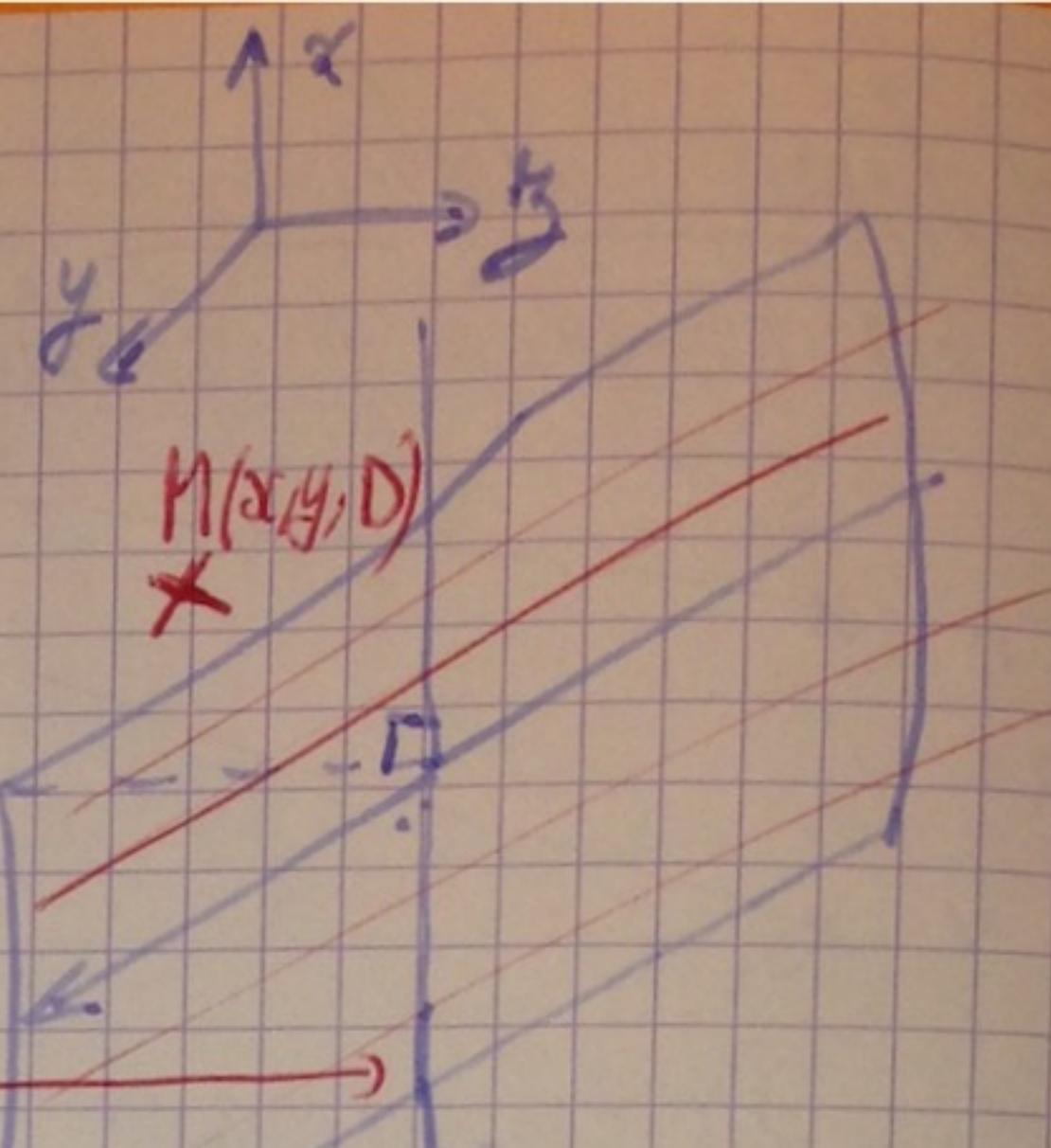
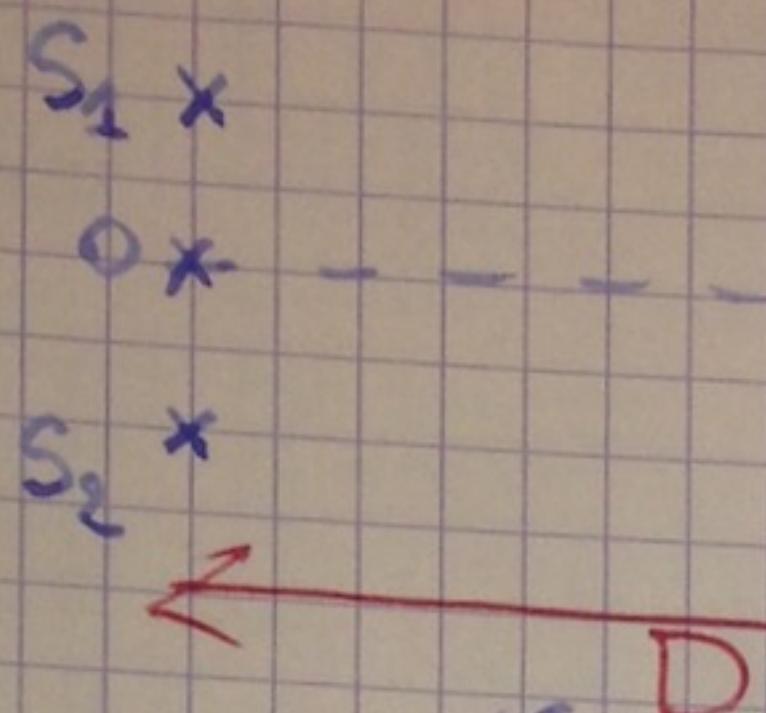


p 736 PC Remoigné. Belanger.

Foucault

frange
constante

3.2 Frange rectiligne



On place l'écran perpendiculairement à une méridienne des sources
 ↗ le cas où l'écran est placé perpendiculairement à l'axe → frange rectiligne

(Intensité d'éclairement
d'amplitude)

$$\Delta \Psi = (S_1 M - S_2 M) \times \frac{2\pi}{\lambda} + 0 \quad \text{pour simplifier}$$

$$S_1 M^2 = (\vec{S}_1 \vec{O} + \vec{O} \vec{R})^2 = \left(\frac{a}{2} \vec{u_x} + x \vec{u_x} + y \vec{u_y} + 0 \vec{u_z} \right)^2$$

$$= \left(\frac{a}{2} + x \right)^2 + y^2 + D^2$$

$$S_1 M = D \sqrt{1 + \left(\frac{x-a}{D} \right)^2 + \frac{y^2}{D^2}}$$

$$= D \sqrt{1 + \frac{y^2}{2D^2} + \frac{x^2}{2D^2} + \frac{a^2}{4D^2} - \frac{2ax}{4D^2}}$$

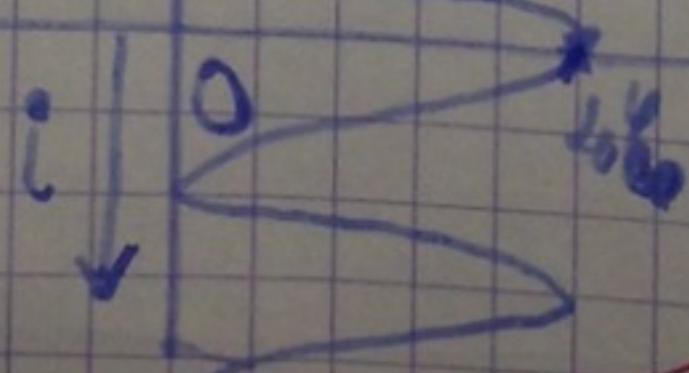
$$S_2 M = D \sqrt{1 + \frac{y^2}{2D^2} + \frac{x^2}{2D^2} + \frac{a^2}{4D^2} + \frac{2ax}{4D^2}}$$

$$S_2 M - S_1 M = D \left(\frac{2ax}{2D^2} \right) = \frac{ax}{D} \rightarrow \text{intensité } I_1 \rightarrow \text{rectiligne localement}$$

$$I(M) = I_0 \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \frac{ax}{D} + \theta_2 - \theta_1 \right) \right)$$

$$i = \frac{\lambda_0 D}{a}$$

Interfrange ≈ 100



distance entre 2 franges
Brillant au maximum \Rightarrow pôles

- Transition :
- Pourquoi on voit l'effet de Léonard secondaires ?
 - Pourquoi si j'éteignis la source primaire \rightarrow disparaissent les interférences ?

II - Cohérence.

↳ Capacité d'ondes à donner naissance à des interférences.

I-D) Cohérence temporelle

a) Sources lumineuses et trains d'onde

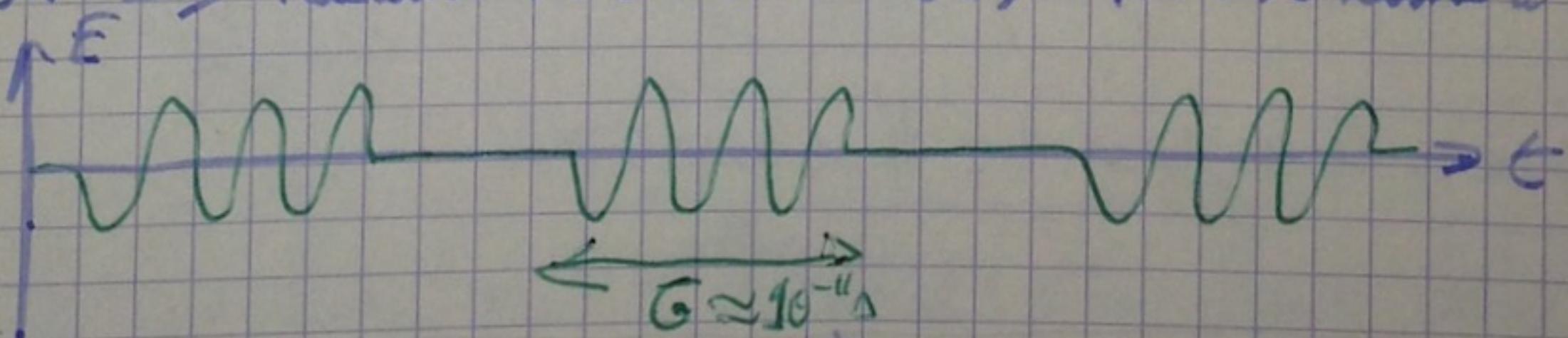
(cf. leçon de Nathalie) : Intuitions nous au fonctionnement des sources lumineuses qui produisent les ondes que nous étudions.

Emission de photons \rightarrow désexcitation des atomes constituant la source

$$\Delta E = h\nu \rightarrow \text{fréquence du photon}$$

L'onde électromagnétique émise par la désexcitation de l'atome a nécessairement une durée limitée dans le temps : $T \approx 10^{-11} \text{ s}$ pour la source spectrale.

Après cette émission et le retour de l'électron dans un niveau d'énergie inférieur, il peut se produire à une date aléatoire une nouvelle excitation radiative. \Rightarrow Plusieurs ondes se succèdent ; on parle de trains d'ondes.



Chaque train d'onde successif est séparé par des durées aléatoires, le retard de phase à l'origine des temps change c'est une fonction du temps :

$$\phi_1(t)$$

$$\phi_2(t)$$

$$E(t) = E_0 / \left(1 + \left(\cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} [S(t) - S_0] \right) + \alpha t - \beta / t \right) \right)$$

La dépendance en temps est aléatoire \rightarrow suppression du terme d'interférence

Les 2 sources ne sont pas cohérentes entre elles.
de Pelt & Hall

Pour que la dépendance en temps ne soit plus aléatoire, il faut que $S_2 - S_1$ (δ) ne soit plus dépendant du temps et donc diffusée de déphasage à l'origine des temps

Il faut que l'origine des temps soit commune donc que les deux sources S_1 et S_2 soient secondaires issues d'une même source primaire.

C_3 : il faut que les 2 sources soient cohérentes entre elles (à issued d'une même source primaire).

Les deux ondes qui interfèrent en un point M sont issues de la même source primaire mais suivent des trajets différents.

À un point M, les deux ondes superposées sont issues du même train d'onde que si la différence de longueur des trajets est inférieure à la longueur des trains d'onde.

Faire schéma ou animation pour illustrer.

On note $L_c = c \delta$ la différence de temps d'onde.

C_3 : il faut que les 2 sources soient cohérentes entre elles (issues d'une même source primaire) et que la différence de chemin optique soit inférieure à la longueur L_c d'un train d'onde $L_c > \delta$

Le modèle des trains d'onde peut paraître très schématique

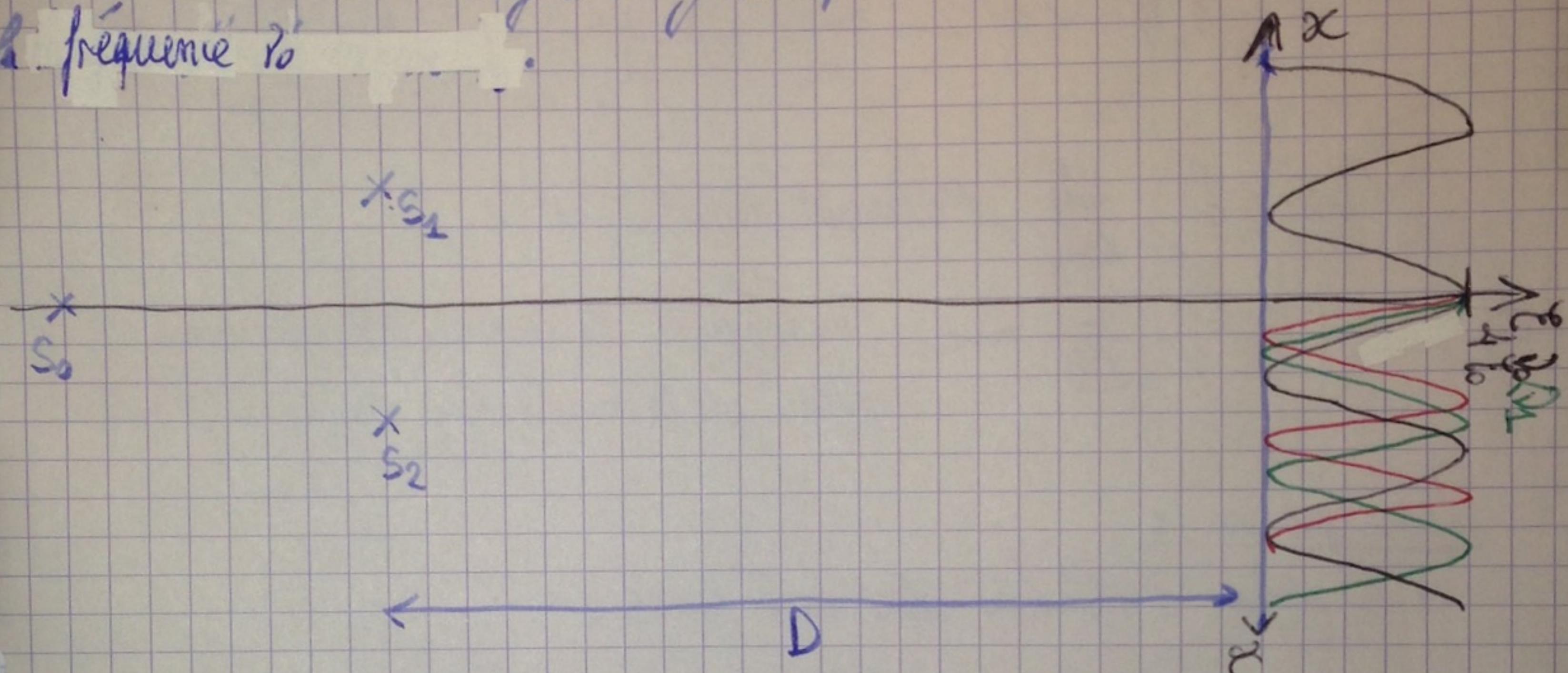
- source lumineuse peu localisée discrète mais un flux de photons.

Nous raisonnons jusqu'ici sur une source supposée parfaitement monochromatique ce qui n'est pas le cas puisque les trains d'onde sont limités dans le temps

Faire schéma de l'onde d'onde de Lagueur τ et de leur transformée de Fourier pour relier l'onde temporelle et spectrale.

b) Laguerre de cohérence temporelle et laguerre spectrale

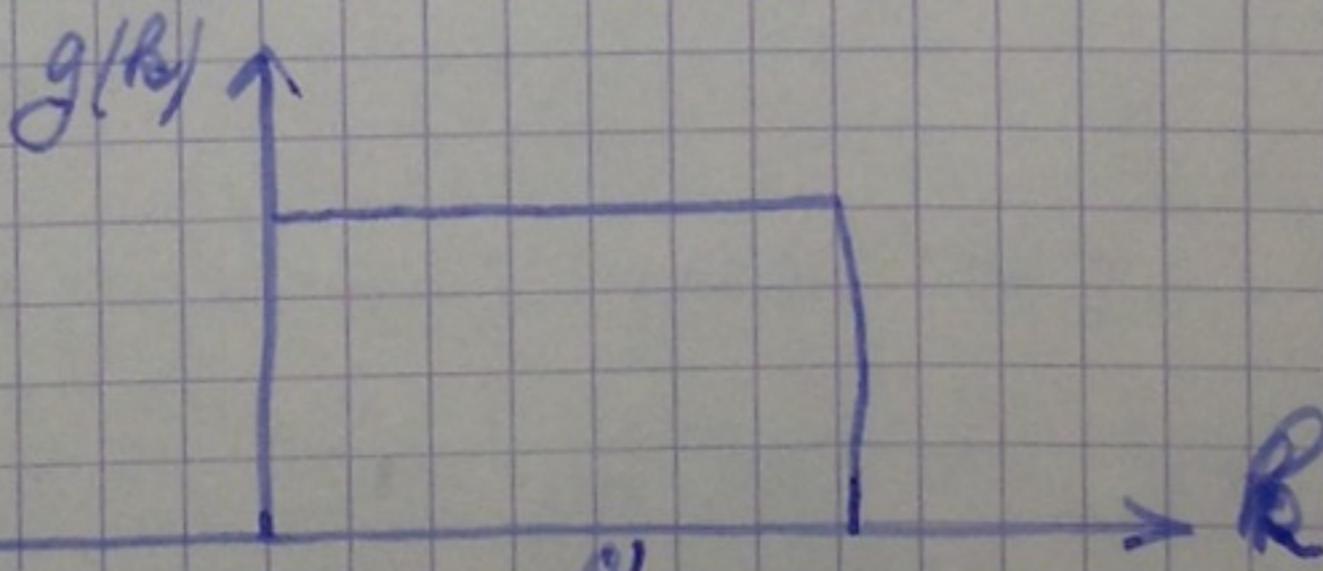
On considère une source de fréq. Lagueur spectrale entrée sur la fréquence ν_0 .



$$E = \omega_0 \left(1 + \alpha / R \frac{\Delta \nu}{D} \right)$$

P 788 P Person Remoissé.

Comme les ondes de fréquens et d'onde τ ne sont pas cohérentes entre elles \rightarrow on somme les éclairements.



On définit la densité spectrale d'intensité d'une source comme

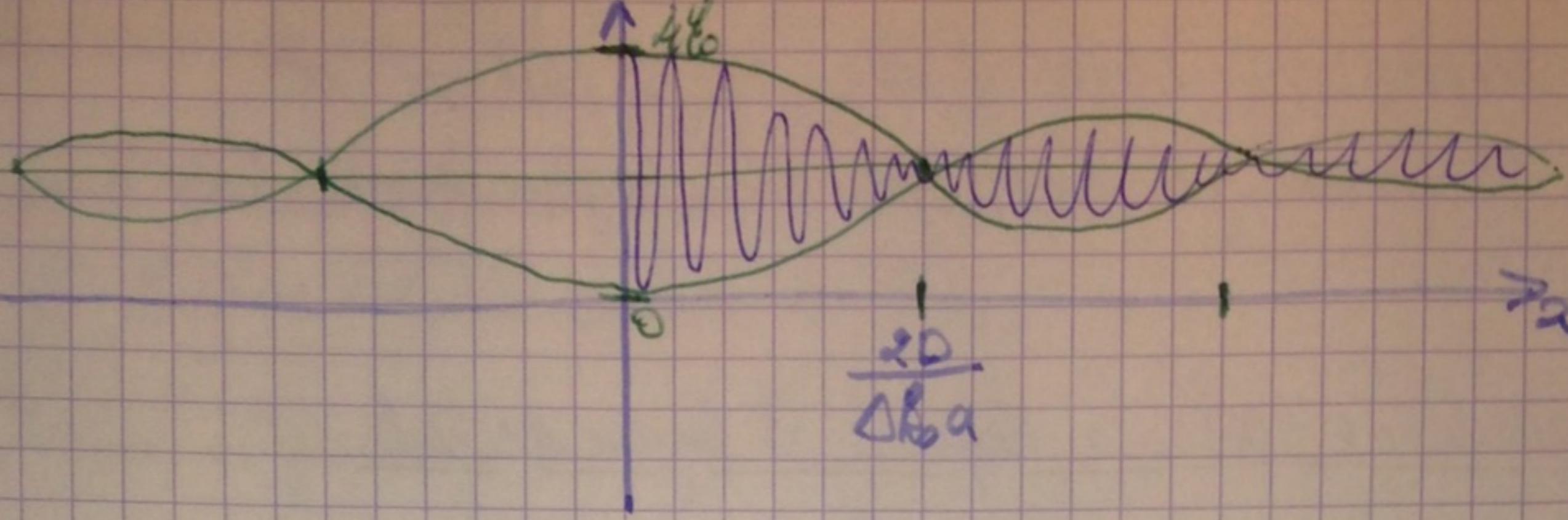
$$dI = g(\kappa) d\kappa$$

$$D = \frac{c k}{2\pi}$$

Eclairement monochromatique et I sont proportionnel à \sin^2 de la source ou l'onde optique peut être approximé localement à une onde plane

$$E(N) = \int_{-\infty}^{+\infty} 2d\kappa [1 + \alpha(\kappa \delta(N))] = E(N) = 26 \left[1 + \cos \left(\frac{1}{2} \delta(N) \right) \cos \left(\frac{1}{2} \delta(N) \right) \right]$$

→ dépôt de cohérence temporel



$$E(y) = E_0 \left(1 + \sin\left(\frac{\Delta k_0}{2} ax\right) \cos\left(k_m \frac{a^2}{D}\right) \right)$$

Pour $\delta > \frac{2\pi}{\Delta k_0}$, l'intensité devient très faible.

$\delta > \frac{c}{D} = L_c$ On retrouve le fréquence de cohérence obtenu par la modélisation des termes d'onde.

Conclusion :

- Condition d'obtention des interférences : C_1 ; C_2 ; C_3 ;
- L'enveloppe nous donne des informations sur la densité spectrale de puissance de la source. \rightarrow spectroscopie
- C_4 : cohérence spatiale: superposition d'onde spectralement déplacé \rightarrow déphasage \rightarrow brouillage
- Filtre séparateur : \rightarrow division d'amplitude source large.

OG:

\rightarrow sensibilité max. de l'œil : $\lambda_0 = 550\text{nm}$ $f_k = 0,5 \cdot 10^{15} \text{Hz}$ $T = 2 \cdot 10^{-15} \text{s}$

\rightarrow durée de cohérence temporelle : $\tau = 10^{-11} \text{s}$ pour onde classique $\rightarrow L = \frac{c\tau}{2} = 10^{-3}$