Chapitre 2

Interférences lumineuses

Les conclusions et méthodes de ce chapitre s’appliquent à tout phénomène ondulatoire scalaire et linéaire.

A – Superposition de deux ondes cohérentes (p23)

Dans cette partie, on considère les deux ondes parfaitement **monochromatiques** 单色的，单频的

A.1 Eclairement résultant de deux ondes

Soient deux ondes $s_1(M, t)$ et $s_2(M, t)$.

Montrer que l'éclairement résultant s'écrit :

$$I = I_1 + I_2 + 4\langle s_1(M, t) \times s_2(M, t) \rangle$$

Ondes **incohérentes** 不相干的 si

$$\boxed{\langle s_1(M,t) \times s_2(M,t)\rangle = 0} \quad \forall M$$ ♥

Exemple :

$$s_1(M,t) = a_1 \cos(\omega_1 t - \varphi_1(M))$$
$$s_2(M,t) = a_2 \cos(\omega_2 t - \varphi_2(M))$$

Rappel : $\cos a \times \cos b = \frac{1}{2}(\cos(a+b) + \cos(a-b))$

Ondes **cohérentes 相干性** si $\omega_1 = \omega_2$

Montrer que

$$\langle s_1(M,t) \times s_2(M,t) \rangle = \frac{\sqrt{I_1}\sqrt{I_2}}{2} \cos(\varphi_2(M) - \varphi_1(M))$$

En déduire la **formule de Fresnel** ♥

$$\boxed{I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} \cos(\Delta\varphi_{2/1}(M))}$$

avec $\Delta\varphi_{2/1}(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M)$

Question 2.1

Retrouver le résultat en utilisant les représentations complexes des deux signaux

$$\underline{s}_1(M,t) = a_1\, e^{i(\omega t - \varphi_1)}$$
$$\underline{s}_2(M,t) = a_2\, e^{i(\omega t - \varphi_2)}$$

Cas particulier où les 2 ondes ont même éclairement :

$$I_1 = I_2 = I_0$$

La **formule de Fresnel** simplifiée s’écrit :

$$\boxed{I = 2I_0(1 + \cos(\Delta\varphi_{2/1}(M)))} \quad ♥$$

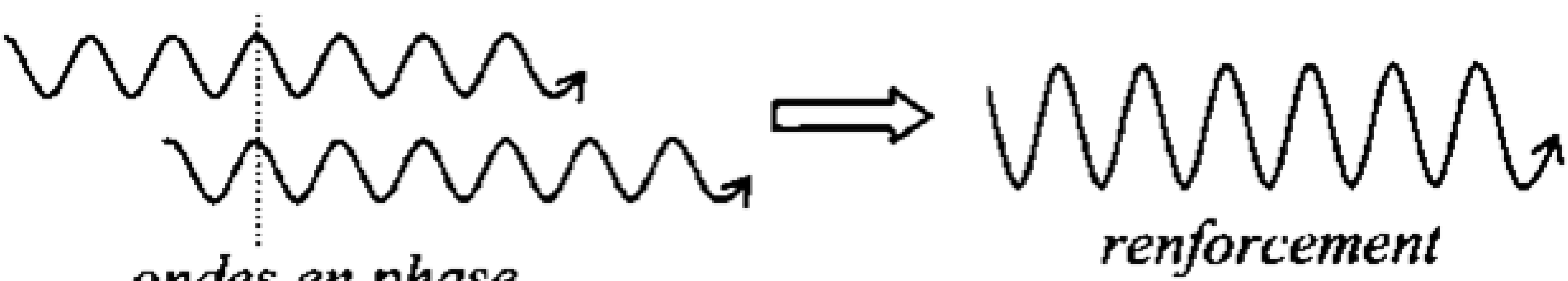
Interférences constructives 相长干涉

L'éclairement est maximal

$$I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} = \left(\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2}\right)^2$$

$$\cos\left(\Delta\varphi_{2/1}(M)\right) = +1$$

$$\Delta\varphi_{2/1}(M) = m \times 2\pi$$



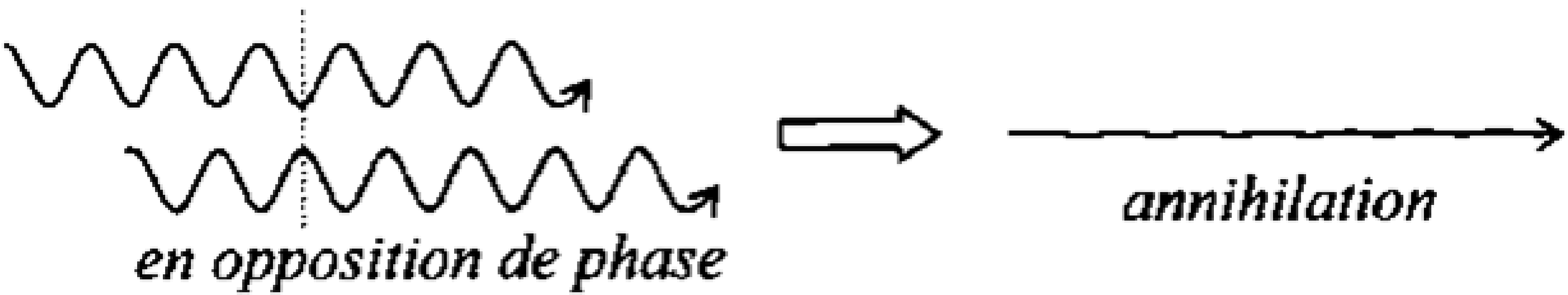
Interférences destructives 相消干涉

L'éclairement est minimal

$$I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2} = \left(\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2}\right)^2$$

$$\cos\left(\Delta\varphi_{2/1}(M)\right) = -1$$

$$\Delta\varphi_{2/1}(M) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \times 2\pi$$



<u>Remarque</u> : $I_{min} = 0$ si $I_1 = I_2$ sinon $I_{min} \neq 0$

Ordre d'interférence 干涉级次

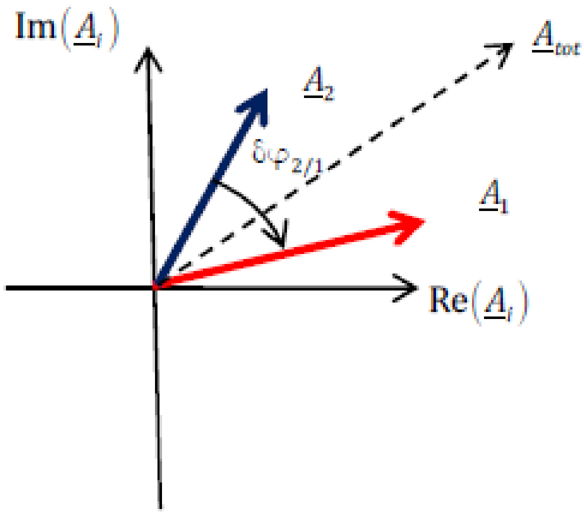
$$\boxed{p_{2/1}(M) = \frac{\Delta\varphi_{2/1}(M)}{2\pi}}$$ ♥

Interférences constructives $\Rightarrow p$ est un **entier**

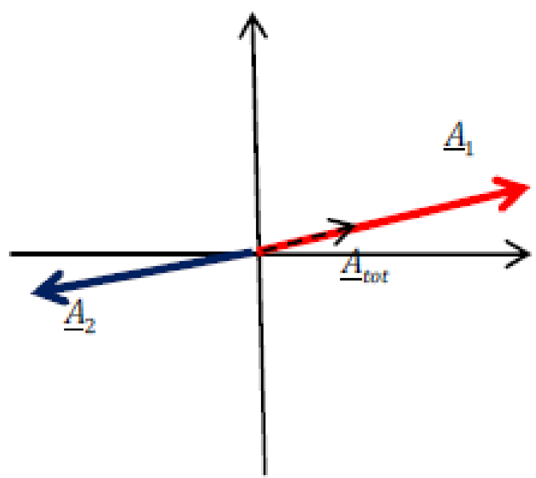
Interférences destructives $\Rightarrow p$ est un **demi-entier** (de la forme $m + \frac{1}{2}$)

Interprétation en terme d'amplitudes complexes

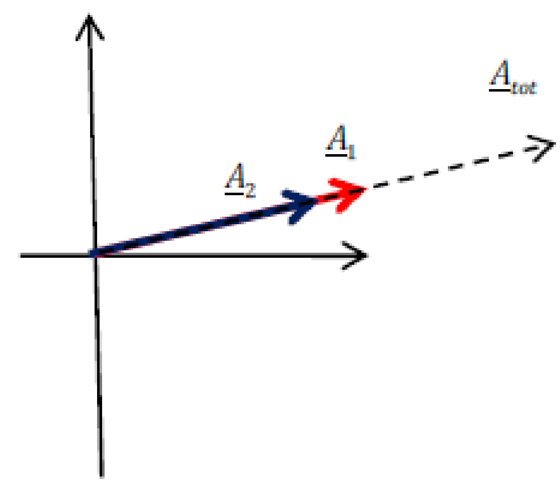
$$\underline{A}_{tot}(M) = \underline{A}_1(M) + \underline{A}_2(M)$$



Cas général



Destructif : $\delta\varphi_{2/1} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \times 2\pi$



Constructif : $\delta\varphi_{2/1} = m \times 2\pi$

A.3 Contraste du phénomène d’interférences

On définit le contraste 可见度 par

$$\boxed{\gamma = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}}$$

♥

Ondes **incohérentes** $\Rightarrow \gamma = 0$

Ondes **cohérentes** $\Rightarrow \gamma = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2}$

On introduit le rapport $r = \frac{I_1}{I_2}$, il vient :

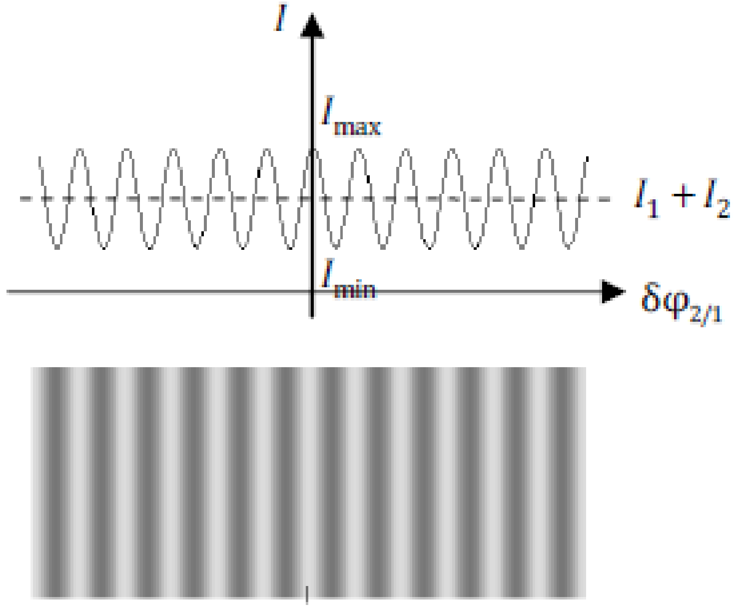
$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{r}} + \sqrt{r}}$$

Si $r \to 0$ ou si $r \to \infty$ alors $\gamma \to 0$

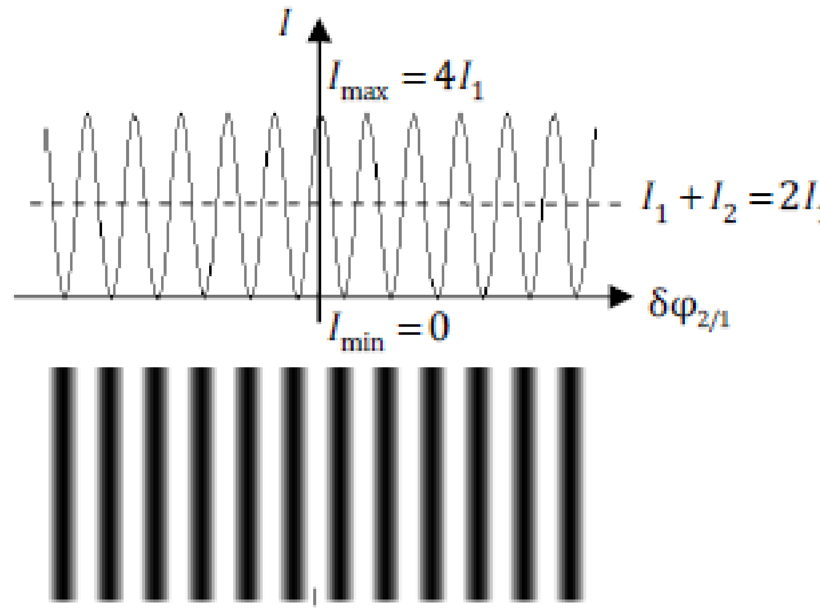
Si $r = 1$ alors $\gamma = 1$

Le phénomène d’interférences est observable si les deux signaux sont d’intensités comparables

Interférences de contrastes différents



$\gamma = 0{,}6$



$\gamma = 1\ ,\ I_1 = I_2$

Remarque : phénomène d’interférences visible à l’œil si $\gamma > 0{,}1$

A.4 Interférences entre deux sources ponctuelles cohérentes dans un milieu uniforme

$$\varphi_1(M) = \varphi_1(S_1) + k_0(S_1M)$$
$$\varphi_2(M) = \varphi_2(S_2) + k_0(S_2M)$$

Pour des ondes synchrones, montrer que

$$\Delta\varphi_{2/1}(M) = k \times [S_2M - S_1M\ ]$$

Le lieu des points pour lesquels $\Delta\varphi_{2/1}(M)$ est uniforme est appelé **franges d'interférences**
干涉条纹

Il s'agit de surfaces sur lesquelles on a :

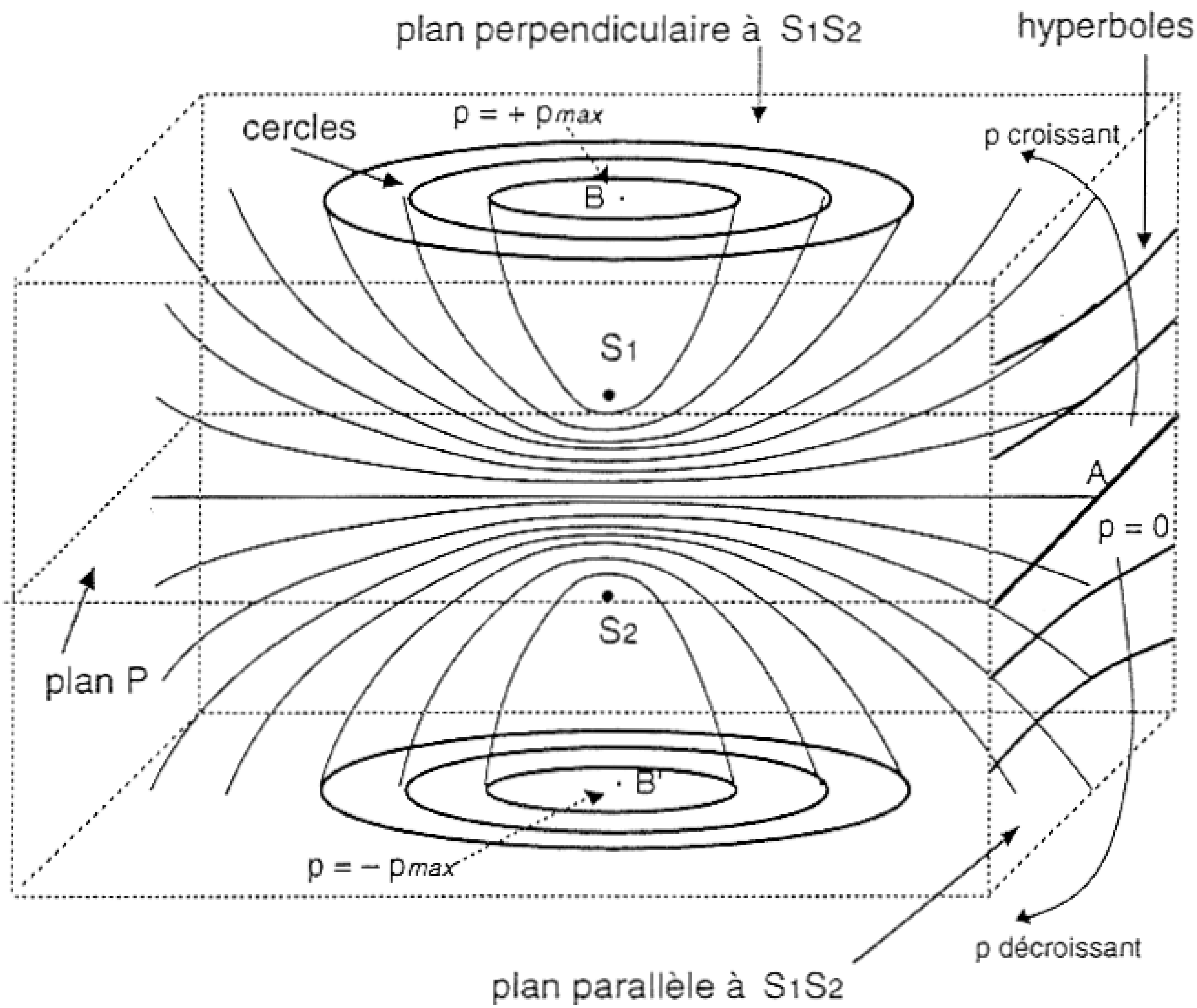
$$\boxed{S_2M - S_1M = \text{constante}}$$

Franges brillantes 亮条纹 $\Rightarrow S_2M - S_1M = m\lambda$

Si $m = 0$ on parle de frange d'ordre 0

Franges sombres 暗条纹 $\Rightarrow S_2M - S_1M = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$

Géométriquement, ces surfaces sont appelées **hyperboloïde** 双曲面 de révolution



Question 2.2

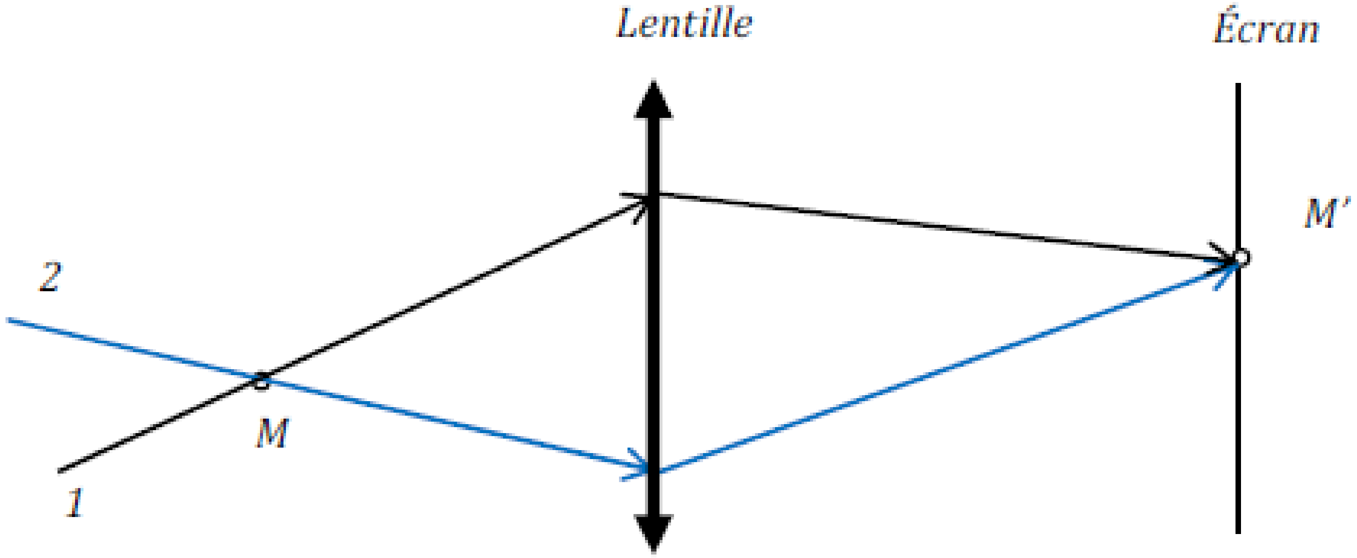
La distance $a = S_1S_2$ et la longueur d'onde dans le milieu λ étant donnée, déterminer le nombre total de franges brillantes que l'on peut obtenir.

Dans quel cas a-t-on une seule frange brillante ?

A.5 Systèmes optiques stigmatiques et interférences

N’importe quel système stigmatique n’introduit aucune modification dans l’état d’interférences

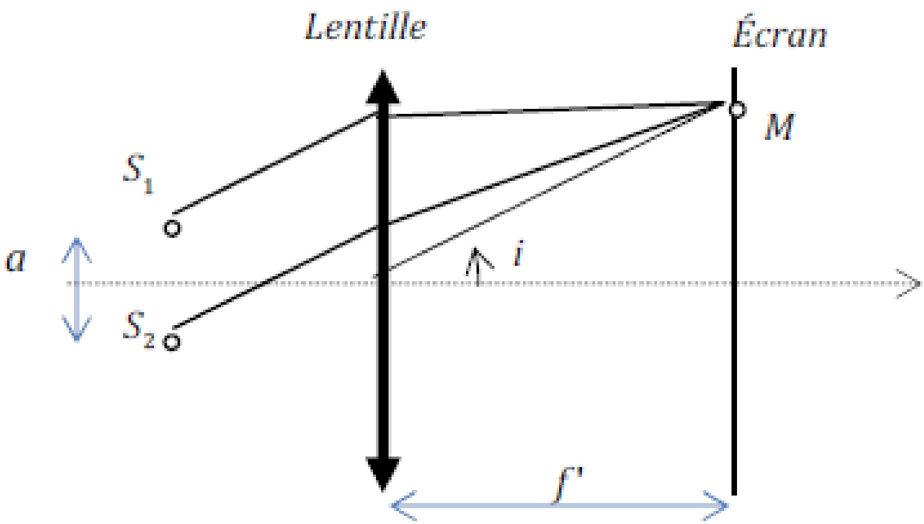
Exemple : lentille convergente

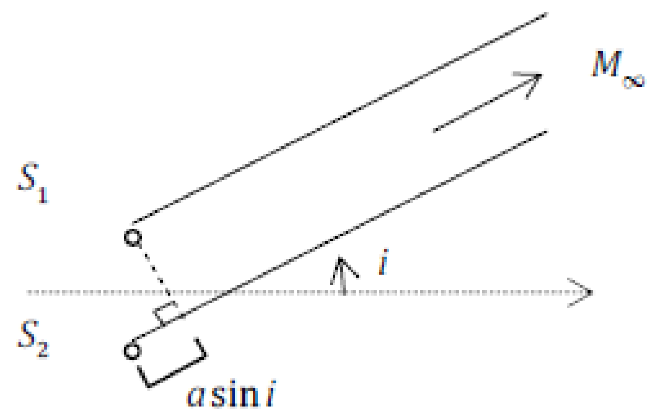


Montrer que

$$\Delta\varphi_{2/1}(M') = \Delta\varphi_{2/1}(M)$$

Exemple : observation dans le plan focal image d'une lentille convergente





Montrer que

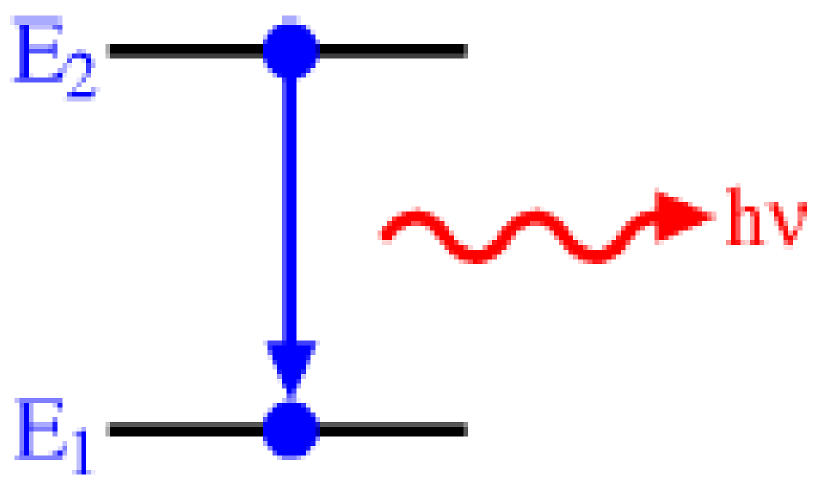
$$\delta = S_2M_\infty - S_1M_\infty = a \times \sin i$$

Question 2.3

Retrouver ce résultat par application directe du théorème de Malus (et de la loi du retour inverse)

B – Cohérence temporelle des sources réelles (p31)

Les atomes (ou molécules) émettent de la lumière par un processus de **relaxation radiative**

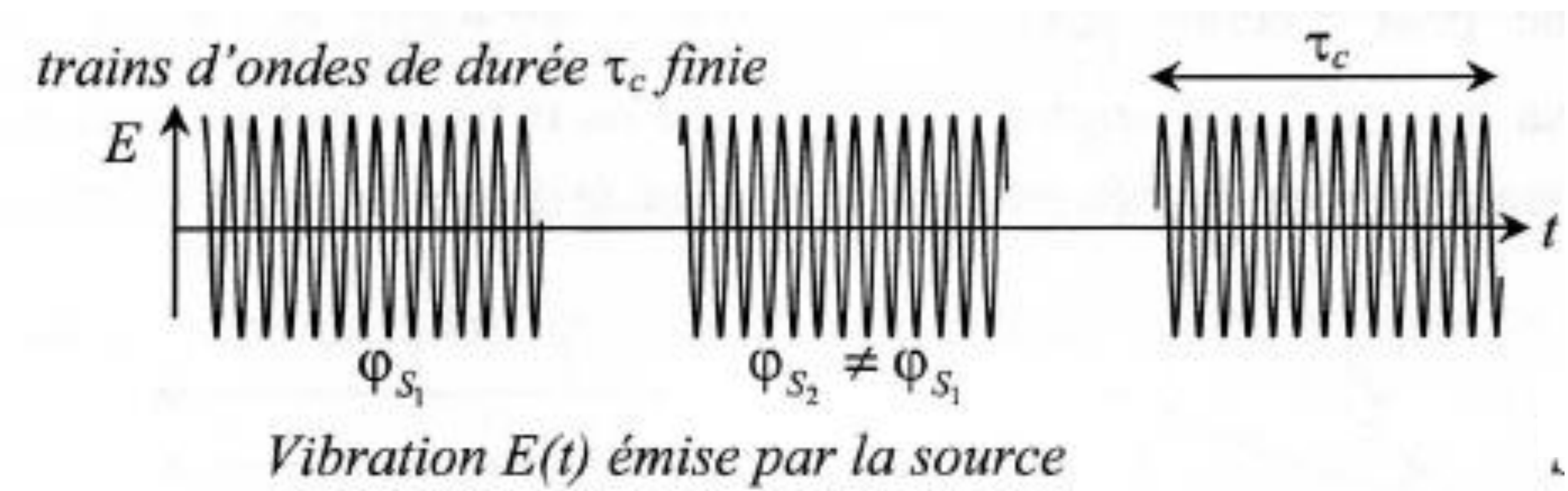


B.1 Modèle des trains d’onde 波列

Le signal émis par la source s’écrit :

$$s(S,t) = A\cos(\omega t - \varphi(S,t))$$

où $\varphi(S,t)$ est une phase aléatoire qui est différente pour chaque train d’onde émis



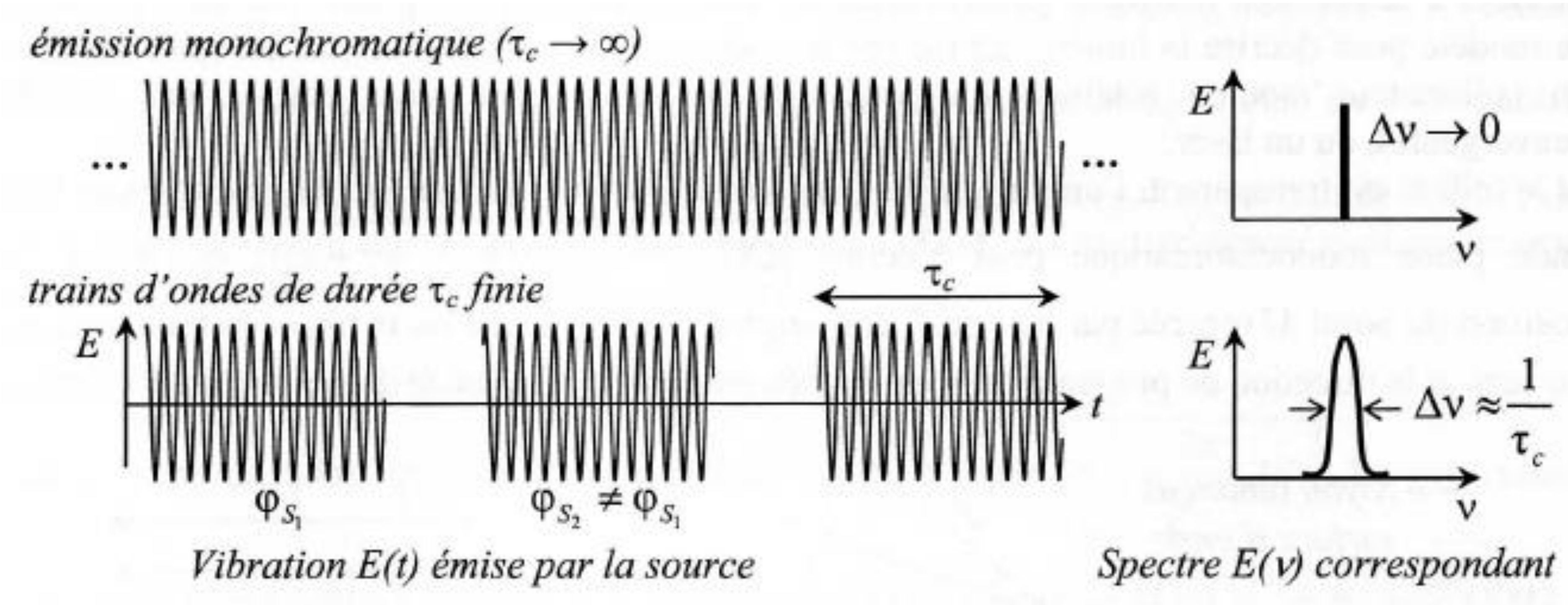
Rappel : cohérence 相干性

On note τ_C la **durée de cohérence** moyenne de la source.

On appelle **longueur de cohérence** de la source la quantité

$$\boxed{l_C = c\,\tau_C}$$ ♥

Il s’agit de la distance parcourue par l’onde durant une durée de cohérence



Par analyse de Fourier, on associe à un train d'onde de durée τ_c un **élargissement 拓宽 spectral** :

$$\boxed{\Delta\nu \approx \frac{1}{\tau_C}}$$

	laser HeNe		lampe spectrale		lampe à filament, soleil	
	monomode	multimode	basse pression	haute pression	filtre coloré	spectre visible
τ_c	1 µs	1 ns	0,1 ns	1 ps	0,1 ps	3 fs
L_c	300 m	30 cm	3 cm	0,3 mm	30 µm	1 µm
$\Delta\nu$	1 MHz	1 Ghz	10 GHz	1 THz	10 THz	300 THz

B.2 Sources distinctes : trains d’onde décorrélés (aucun lien : 没有链接)

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\,\langle \cos(\Delta\varphi_{2/1}(M,t))\,\rangle$$

$\Delta\varphi_{2/1}(M,t) = \varphi_2(M,t) - \varphi_1(M,t)$ est une fonction aléatoire du temps qui varie entre $+\pi$ et $-\pi$

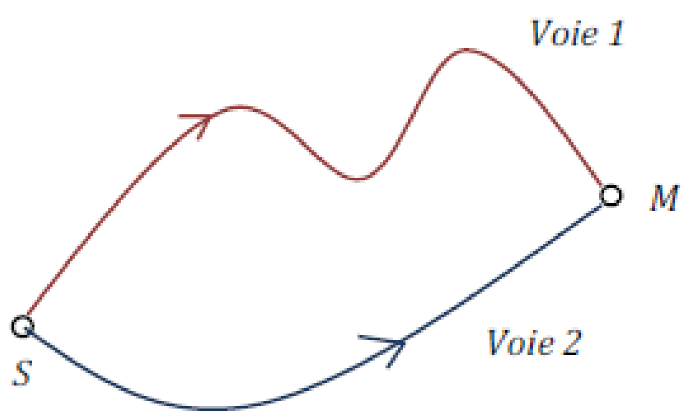
$$\Rightarrow\ I = I_1 + I_2$$

Il ne peut pas exister d’interférences entre deux sources physiquement distinctes

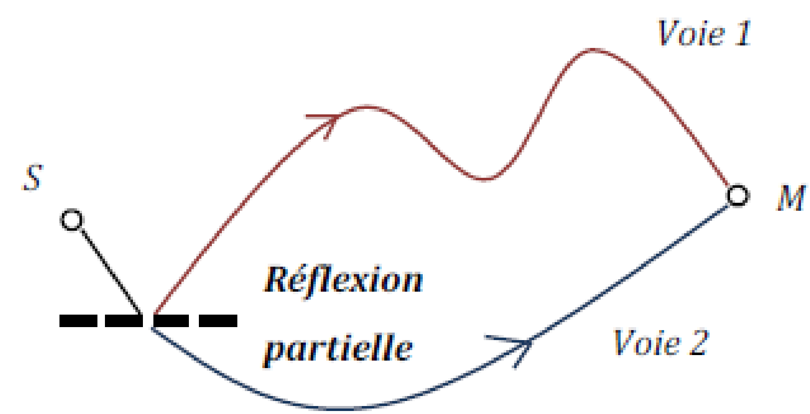
B.3 Interférences entre ondes issues d’une source unique

Il existe 2 types de dispositifs interférentiels

- dispositifs à division du **front d’onde** 波阵面
  (Ex : dispositif des trous 孔 d’Young)
- dispositifs à division **d’amplitude**
  (Ex : Interféromètre 干涉仪 de Michelson)



Division de front d'onde



Division d'amplitude

Il existe 2 chemins possibles pour aller de S à M

On appelle **différence de marche** la quantité

$$\boxed{\delta_{2/1} = (SM)_2 - (SM)_1}$$

♥

On rappelle que

$$\varphi_{SM} = \frac{2\pi}{\lambda_0}(SM) + \varphi_{sup}$$

Montrer que

$$\Delta\varphi_{2/1}(M) = k_0\,\delta_{2/1} + \Delta\varphi_{sup}$$

Cas où $\Delta\varphi_{sup} = 0$, on a :

♥

Interférences **constructives**

$$\Delta\varphi_{2/1}(M) = m \times 2\pi$$

$$\delta_{2/1} = m \times \lambda_0$$

Interférences **destructives**

$$\Delta\varphi_{2/1}(M) = \left(m + \frac{1}{2}\right) \times 2\pi$$

$$\delta_{2/1} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0$$

On ne peut observer des interférences qu'entre deux ondes provenant d'un même train d'onde

$$\left|\tau_{SM,2} - \tau_{SM,1}\right| \leq \tau_C$$

$$\boxed{\left|\delta_{2/1}\right| < l_C}$$

♥

B.4 Conclusion

Pour observer le phénomène d'interférences, il faut :

1. des signaux issus d'une source unique
2. des signaux d'intensités comparables
3. une différence de marche plus faible que la longueur de cohérence de la source

Fin du chapitre 2