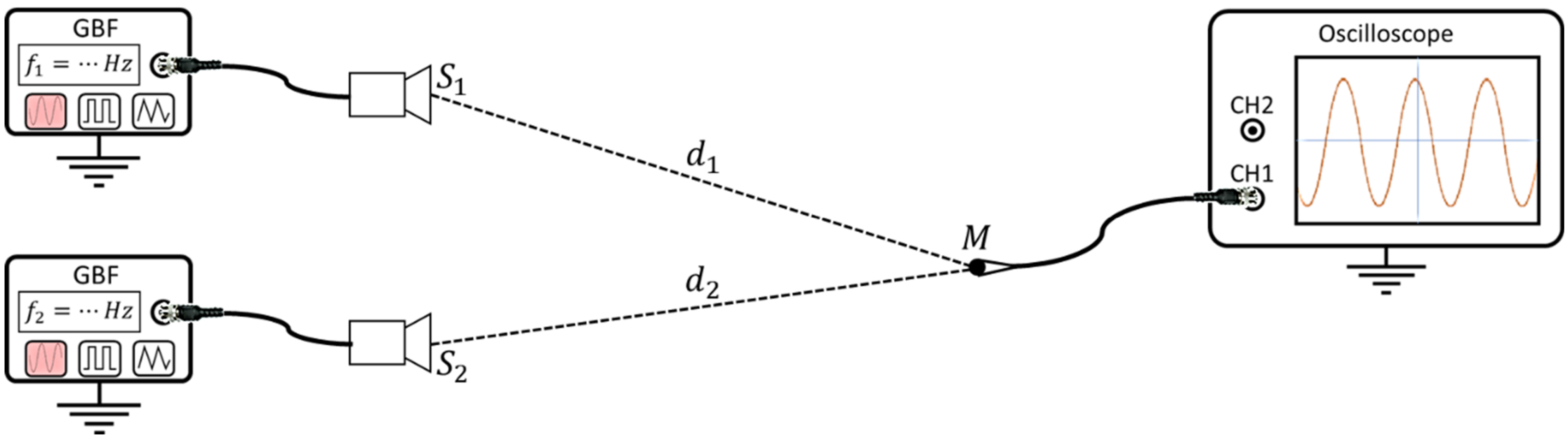
O3 Ondes

# Interférences

# Le montage



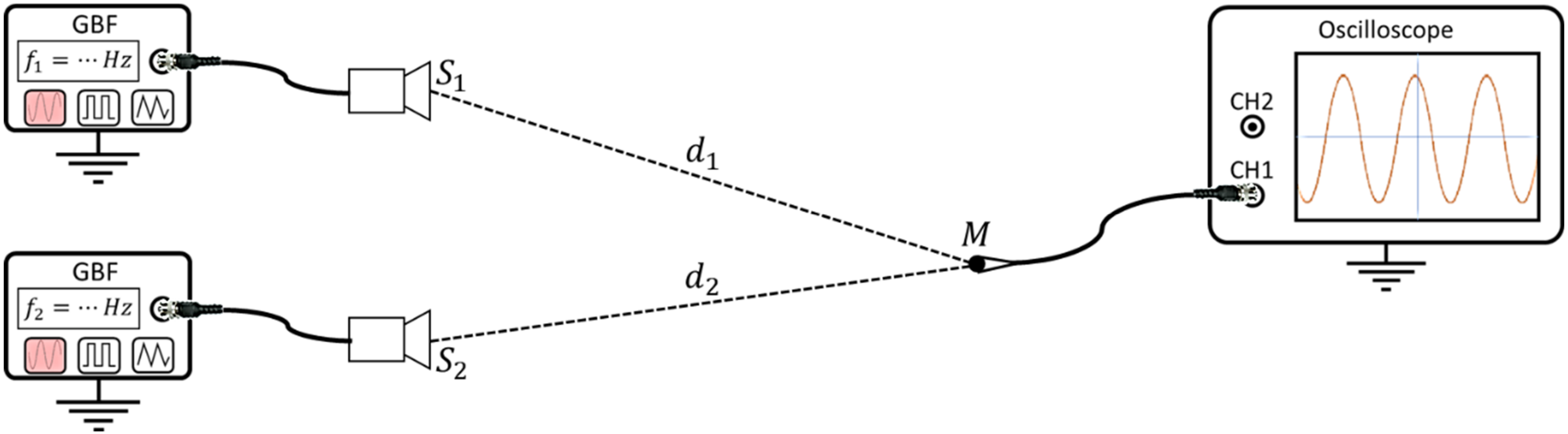
GBF
$f_1 = \cdots Hz$
GBF
$f_2 = \cdots Hz$
$S_1$
$S_2$
$d_1$
$d_2$
$M$
Oscilloscope
CH2
CH1

# Le montage

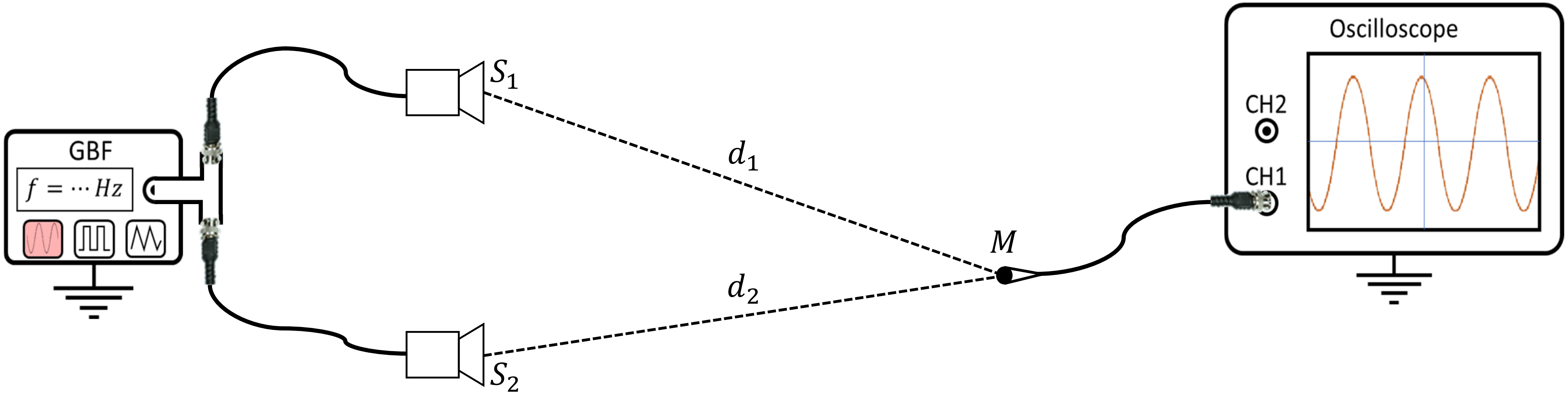
**Loi : Principe de superposition**

La perturbation résultant du croisement de 2 ondes est égale à la ***somme des perturbations*** de chacune des 2 ondes prises séparément.

(Hypothèse sous-jacente : linéarité du milieu de propagation)



# Sources cohérentes



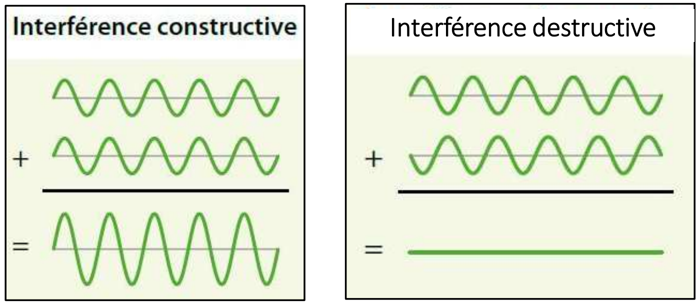

**Définition : Ondes cohérentes**

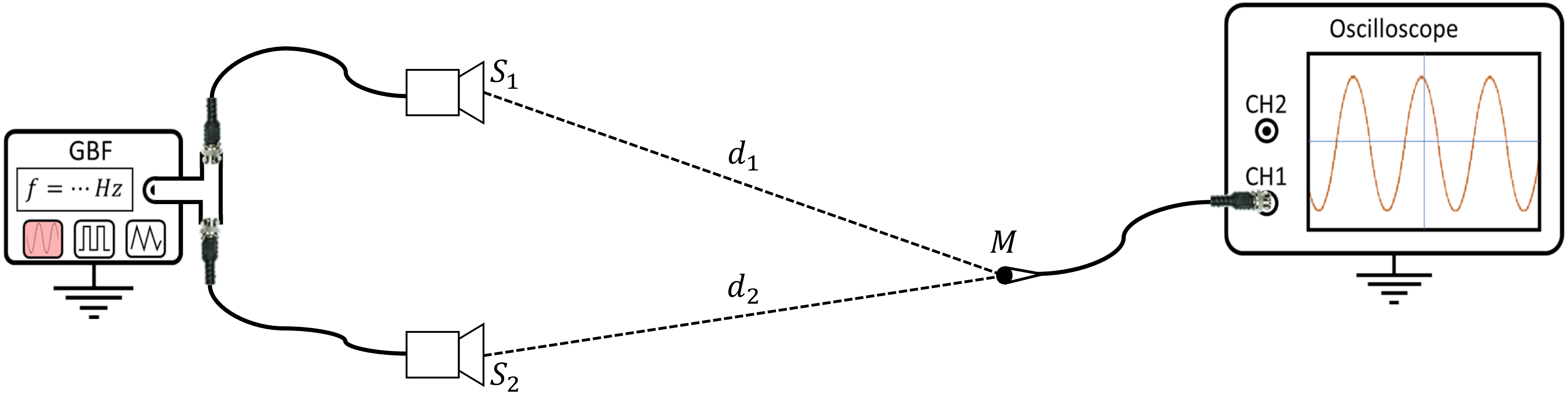
***Deux ondes*** sont dites ***cohérentes*** si en un point donné le ***déphasage*** entre ces deux ondes reste ***constant***. Il faut donc que :

- *les deux ondes soient de* ***même fréquence/pulsation***. On dit que ces ondes sont ***synchrones***.
- la différence de phase à l'origine entre les deux ondes reste constante (elle est souvent nulle mais ce n'est pas obligatoire).

*Remarque* : en pratique, on utilise souvent une même source primaire que l'on divise en 2 sources secondaires.

# Mise en évidence du phénomène




**Définition : Ondes cohérentes**

***Deux ondes*** sont dites ***cohérentes*** si en un point donné le ***déphasage*** entre ces deux ondes reste ***constant***. Il faut donc que :

- *les deux ondes soient de* ***même fréquence/pulsation***. On dit que ces ondes sont ***synchrones***.
- la différence de phase à l'origine entre les deux ondes reste constante (elle est souvent nulle mais ce n'est pas obligatoire).

*Remarque* : en pratique, on utilise souvent une même source primaire que l'on divise en 2 sources secondaires.

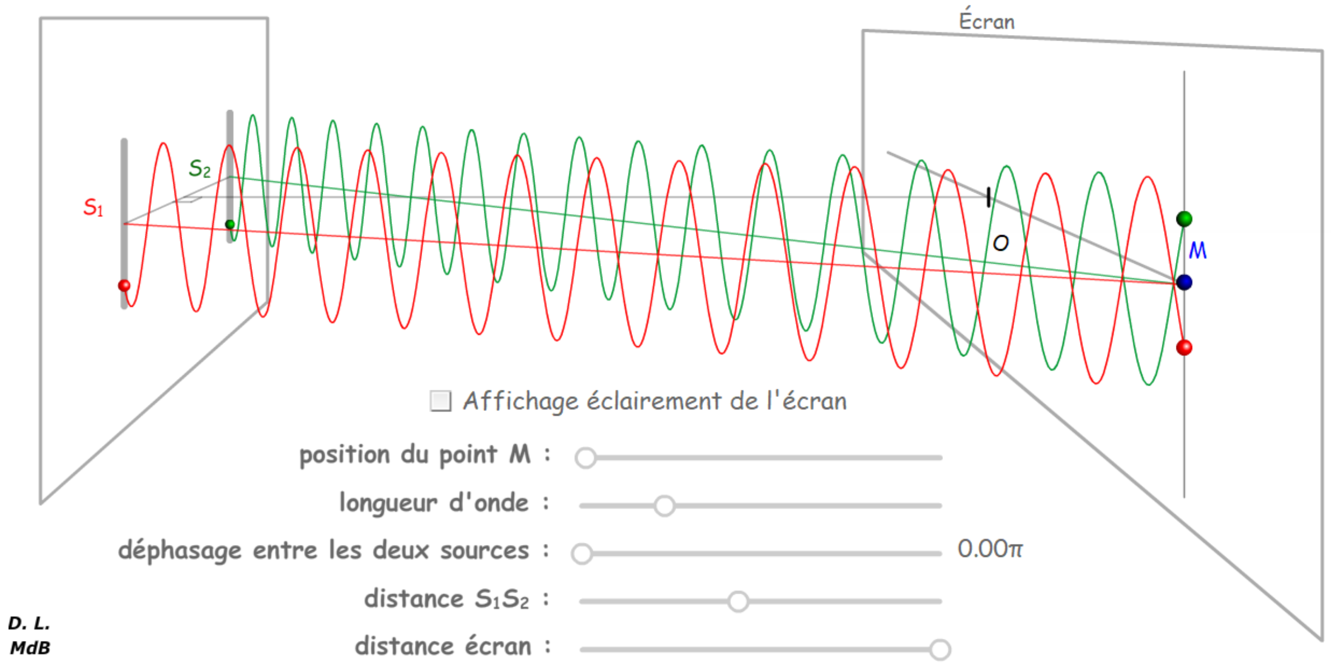
# Conditions d'interférences

**Propriété : Conditions d'interférences sur le déphasage**

- Interférences ***constructives*** si

  $\Delta_{\varphi_p} = p.2\pi$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.
- Interférences ***destructives*** si

  $\Delta_{\varphi_p} = (p + 1/2).2\pi$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.




Animation dispo sur le cahier de prépa

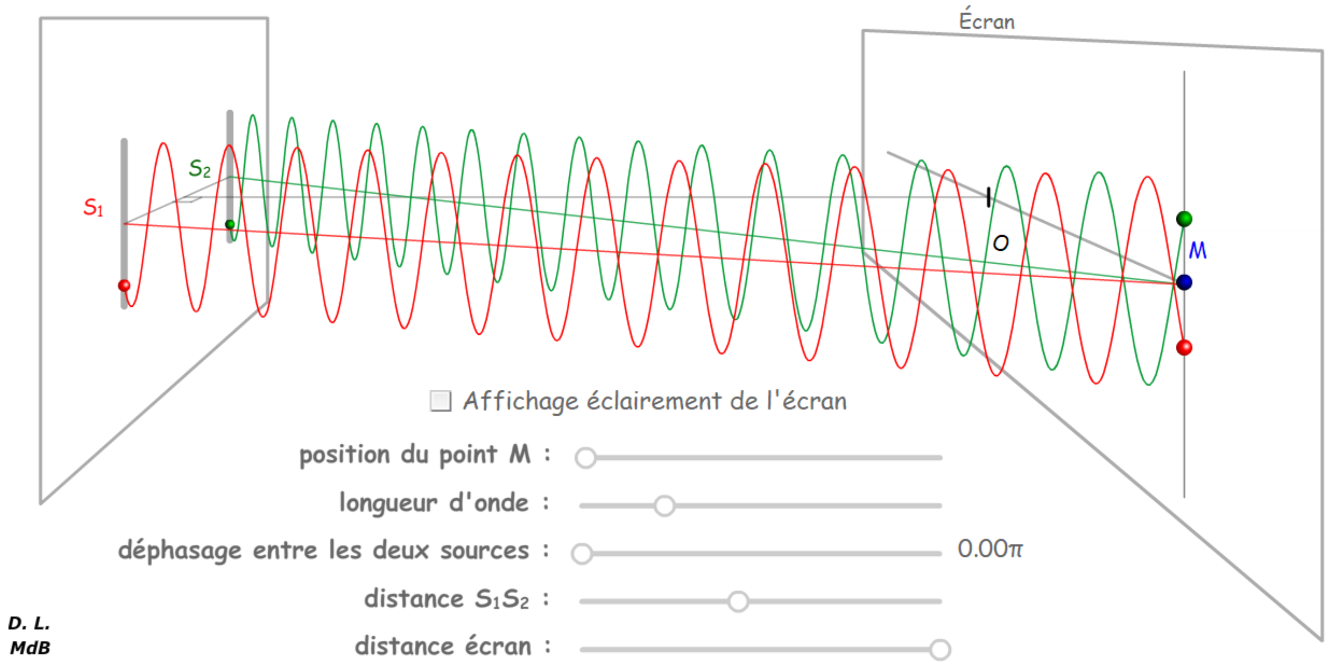
# Conditions d'interférences

**Propriété : Conditions d'interférences sur le déphasage**

- Interférences ***constructives*** si
  $\Delta_{\varphi_p} = p.2\pi$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.
- Interférences ***destructives*** si
  $\Delta_{\varphi_p} = (p + 1/2).2\pi$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.

**Propriété : Conditions d'interférences sur le retard**

- Interférences ***constructives*** si
  $\Delta\tau = p.T$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.
- Interférences ***destructives*** si
  $\Delta\tau = (p + 1/2).T$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.



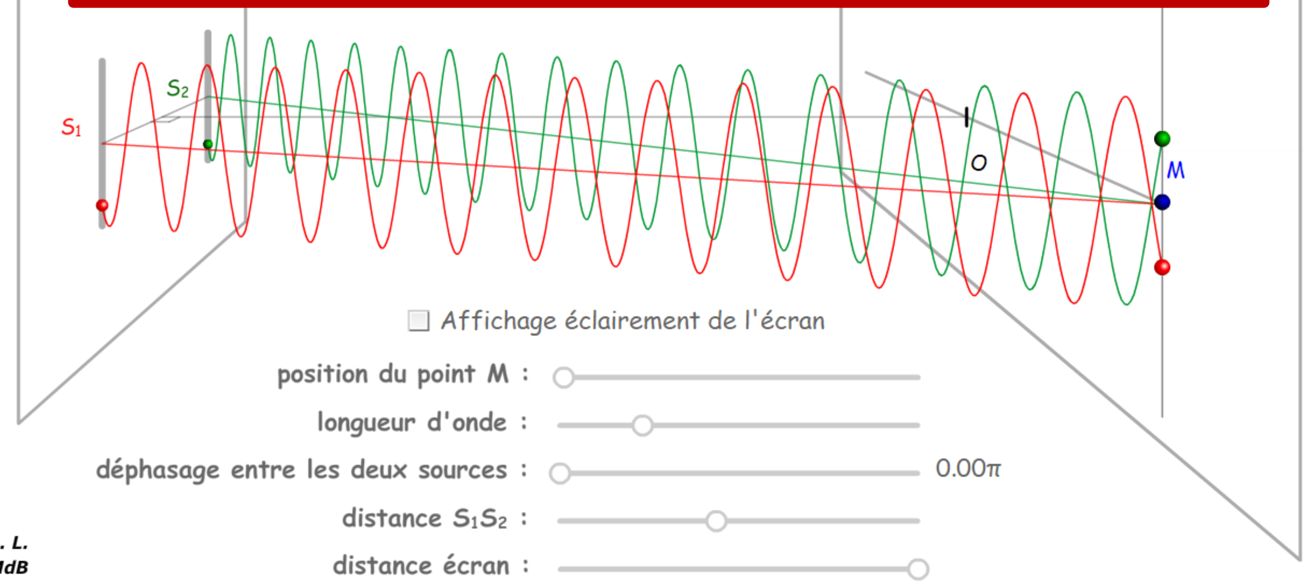

Animation dispo sur le cahier de prépa

# Conditions d'interférences

**Définition : Différence de marche**

La différence de chemin parcourue par chacune des ondes est appelée la ***différence de marche*** $\delta$. Elle vaut :

$$\delta = S_1M - S_2M$$




D. L.
MdB

Animation dispo sur le cahier de prépa

**Propriété : Conditions d'interférences sur le déphasage**

- Interférences ***constructives*** si
  $\Delta_{\varphi_p} = p.2\pi$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.
- Interférences ***destructives*** si
  $\Delta_{\varphi_p} = (p + 1/2).2\pi$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.

**Propriété : Conditions d'interférences sur le retard**

- Interférences ***constructives*** si
  $\Delta\tau = p.T$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.
- Interférences ***destructives*** si
  $\Delta\tau = (p + 1/2).T$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.

**Propriété : Conditions d'interférences sur la différence de marche**

- Interférences ***constructives*** si
  $\delta = p.\lambda$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.
- Interférences ***destructives*** si
  $\delta = (p + 1/2).\lambda$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.

# Savoir-faire 6 – Déterminer une figure d'interférence

Deux émetteurs considérés comme ponctuels, situés en $S_1$ et $S_2$, émettent des ondes sonores harmoniques de même fréquence $\boldsymbol{f} = 1{,}0\ \mathrm{kHz}$ et en phase. Un petit micro $M$ peut être déplacé le long de l'axe Ox : il délivre une tension proportionnelle à l'intensité sonore reçu au point $M$ d'abscisse $\boldsymbol{x_M}$.

Les signaux émis par les sources $S_1$ et $S_2$ sont identiques :

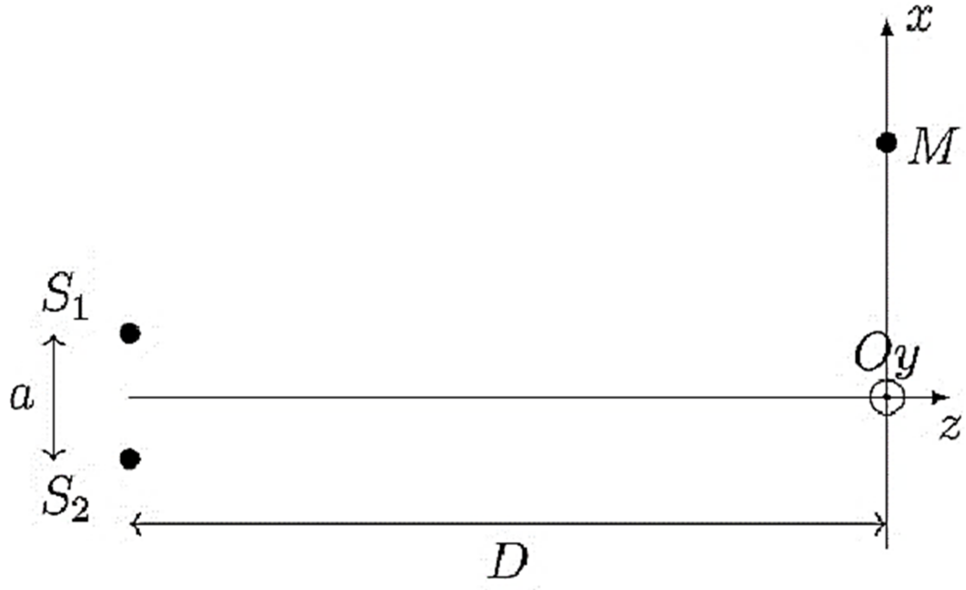
$$s_1(S_1, t) = s_2(S_2, t) = A.\cos(\omega.t)$$

Au point $M$, ces deux signaux s'écrivent :

$$s_1(M, t) = A_1.\cos(\omega.t - \phi_1(M)\ )$$

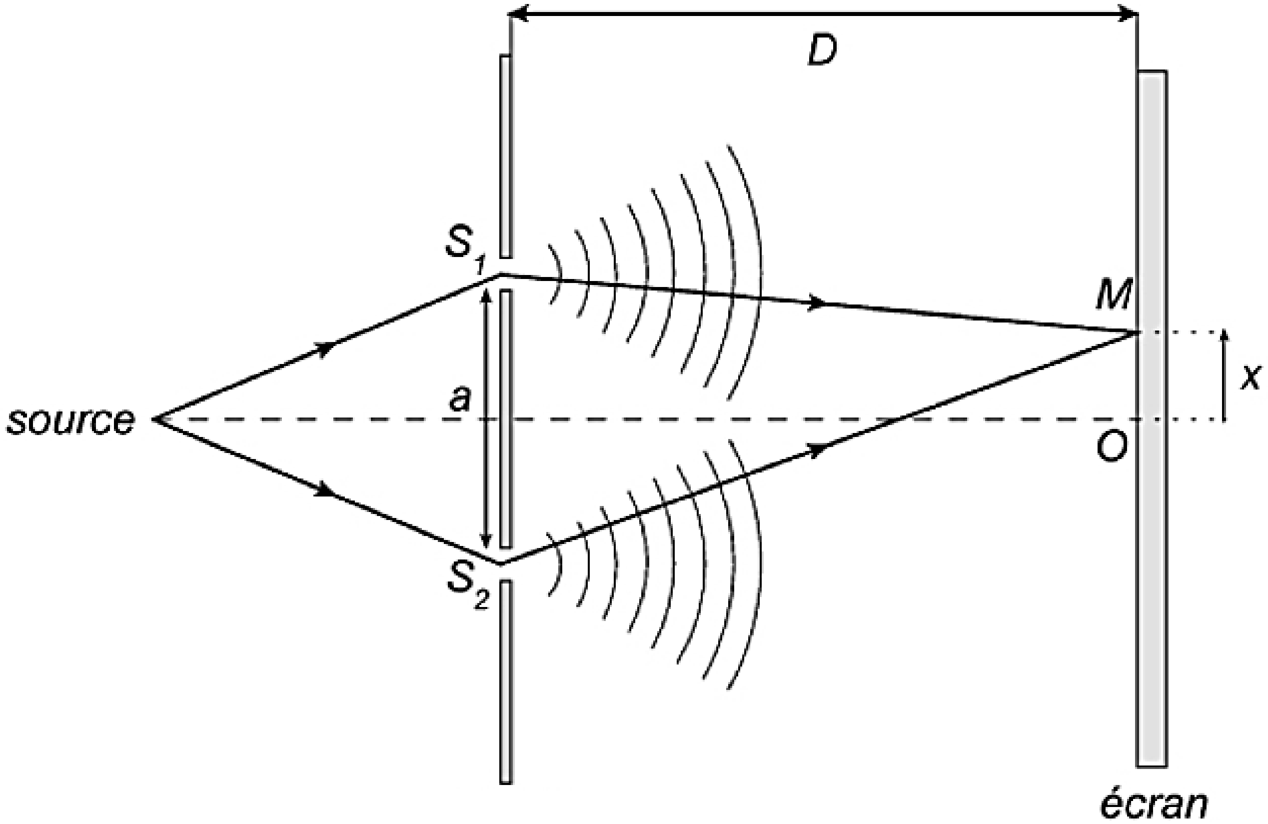
$$s_2(M, t) = A_2.\cos(\omega.t - \phi_2(M)\ )$$

La célérité du son dans l'air est $\boldsymbol{v_{\mathrm{son}}} = 340\ \mathrm{m.s}^{-1}$



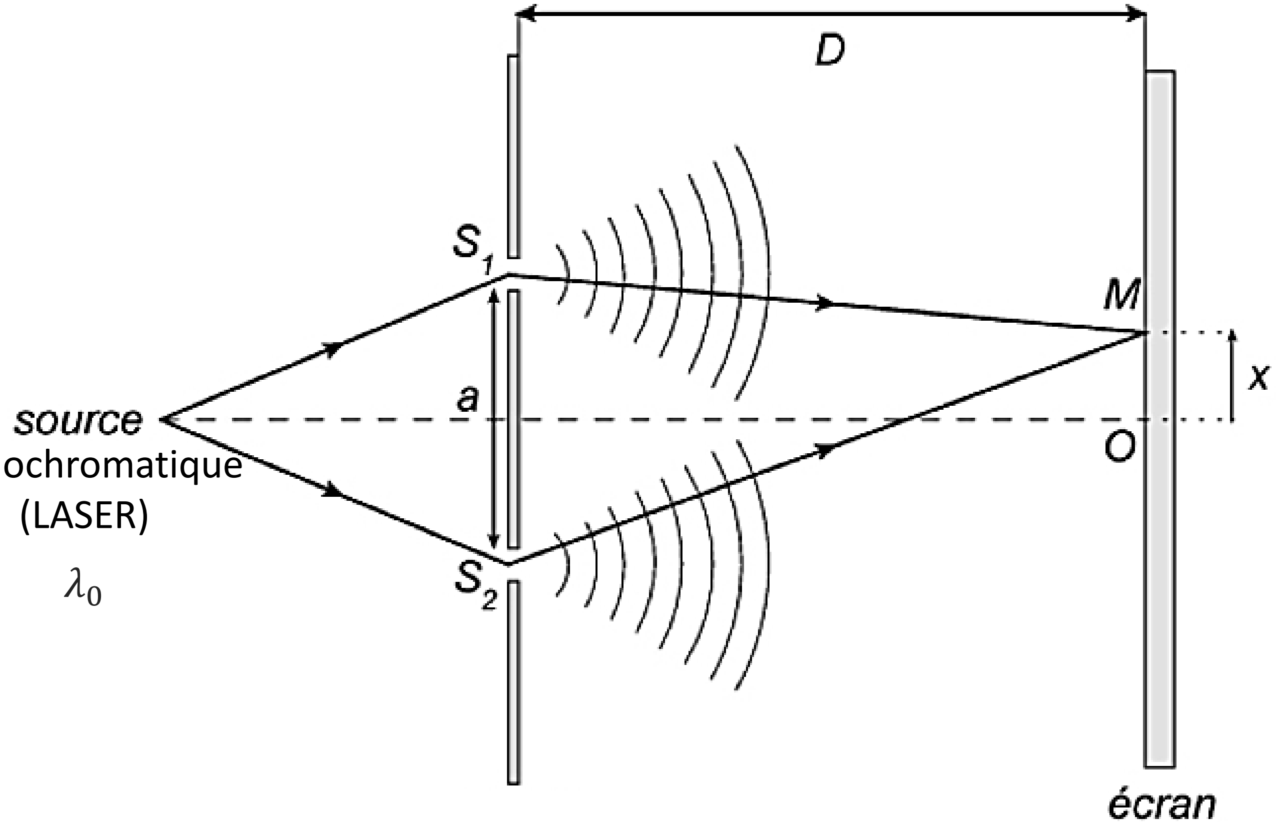
# Interférences d’ondes lumineuses

# Les fentes d'Young




**Thomas Young**
(28 ans en 1801!)

# Les fentes d'Young

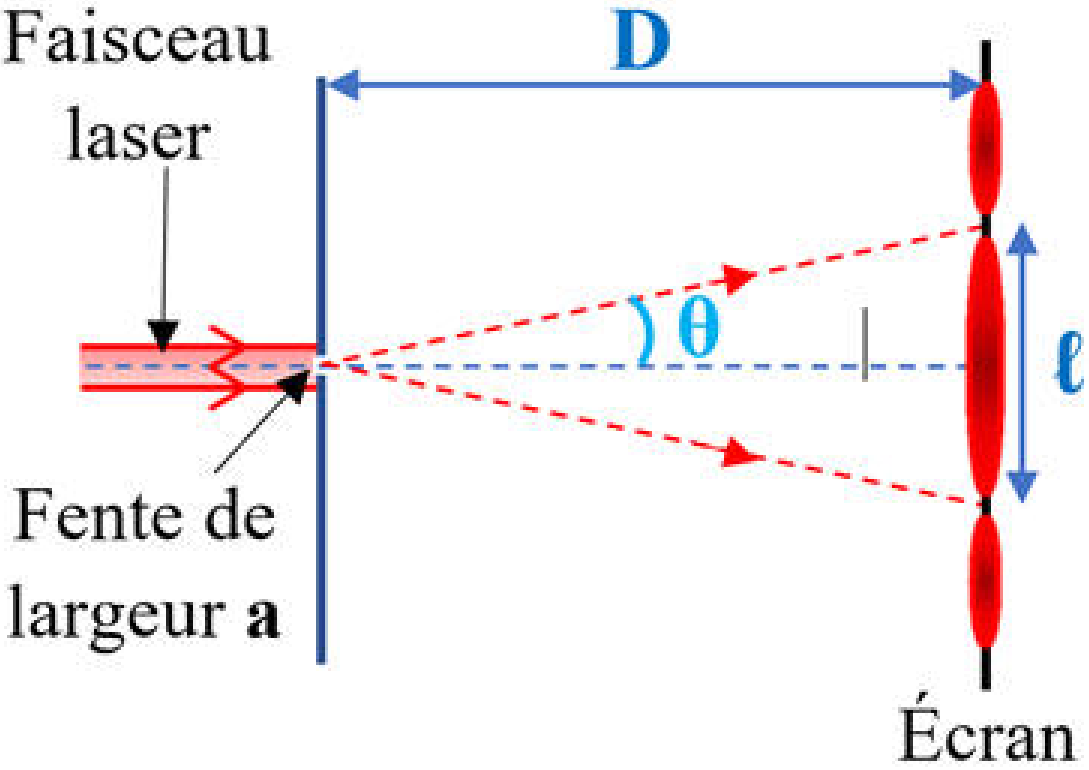



monochromatique
(LASER)

$\lambda_0$

**Thomas Young**
(28 ans en 1801!)

# Problème des fentes: la diffraction !




**Définition : Diffraction**

La diffraction est une ***modification de la direction de propagation*** d'une onde au passage d'une ouverture ou d'un obstacle dont la largeur est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde.

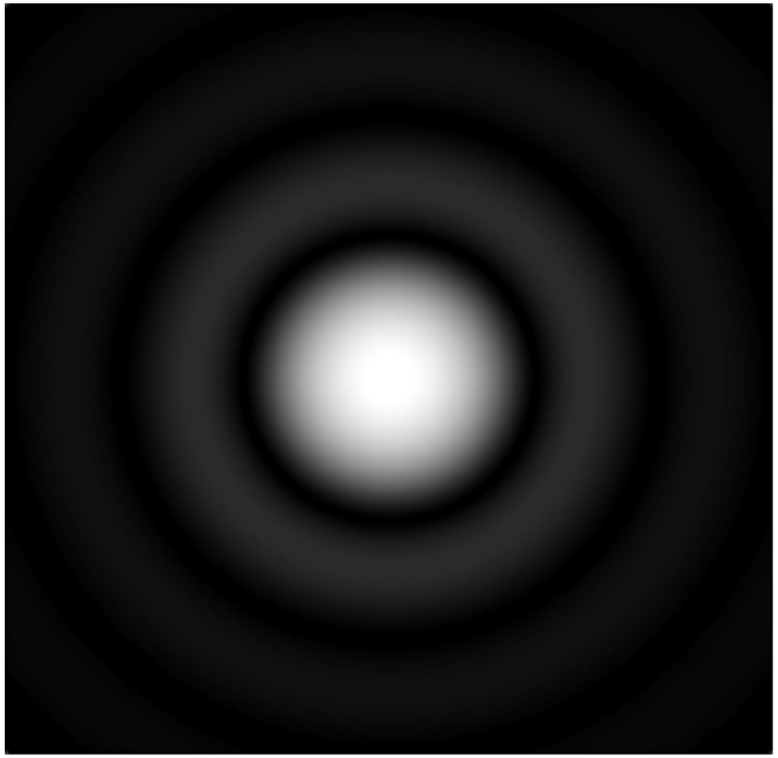
**Propriété : Angle de demie-ouverture**

$$\sin(\theta) = \frac{\lambda}{a}$$

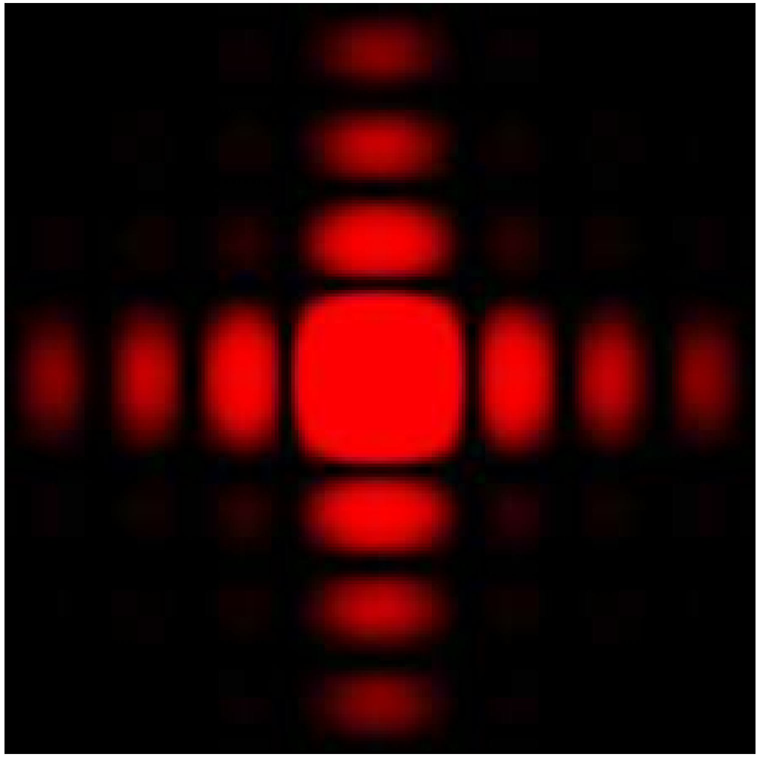
On peut montrer que $\ell \approx \frac{2\lambda D}{a}$

https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Diffraction

# Problème des fentes: la diffraction !

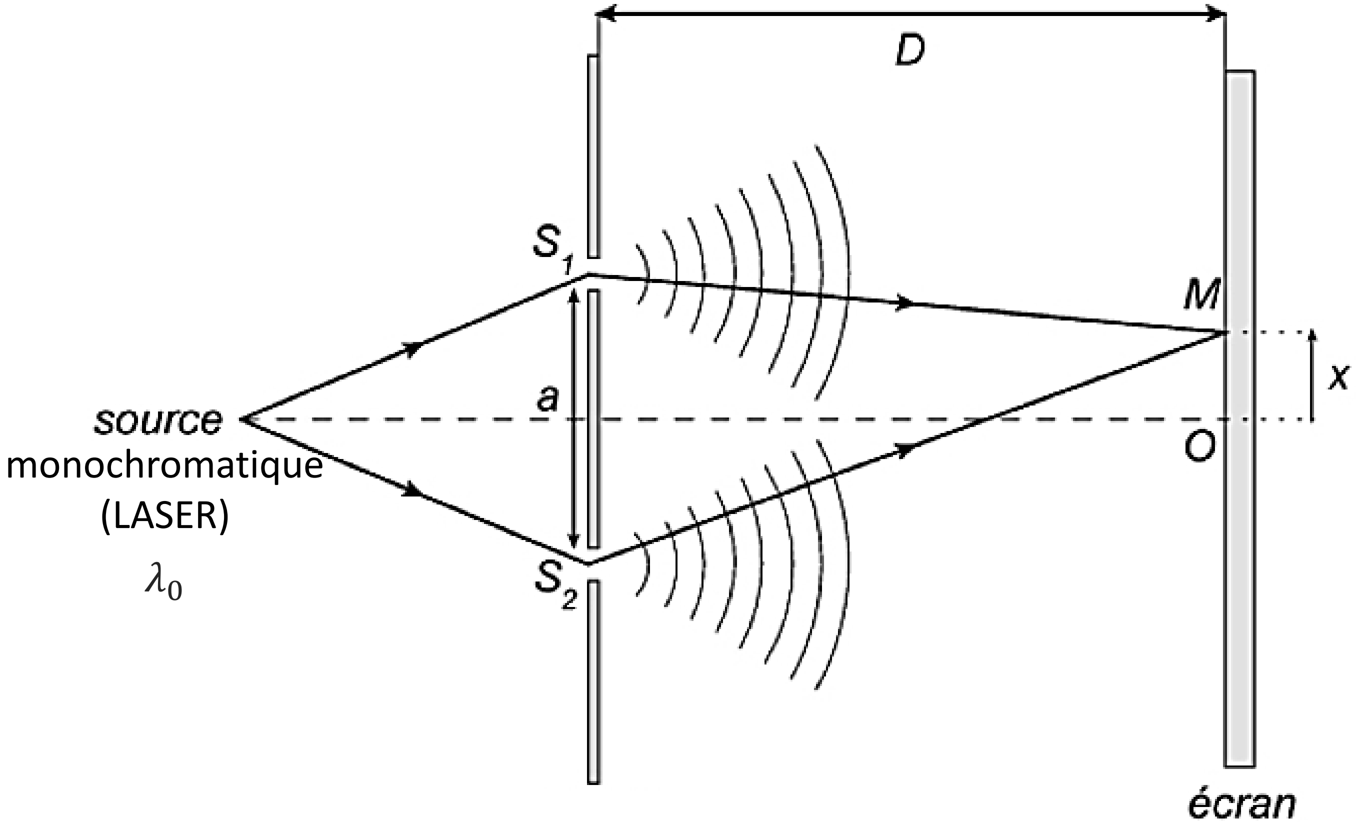


Diffraction par un trou circulaire.



Diffraction par un trou carré.

# Les fentes d'Young



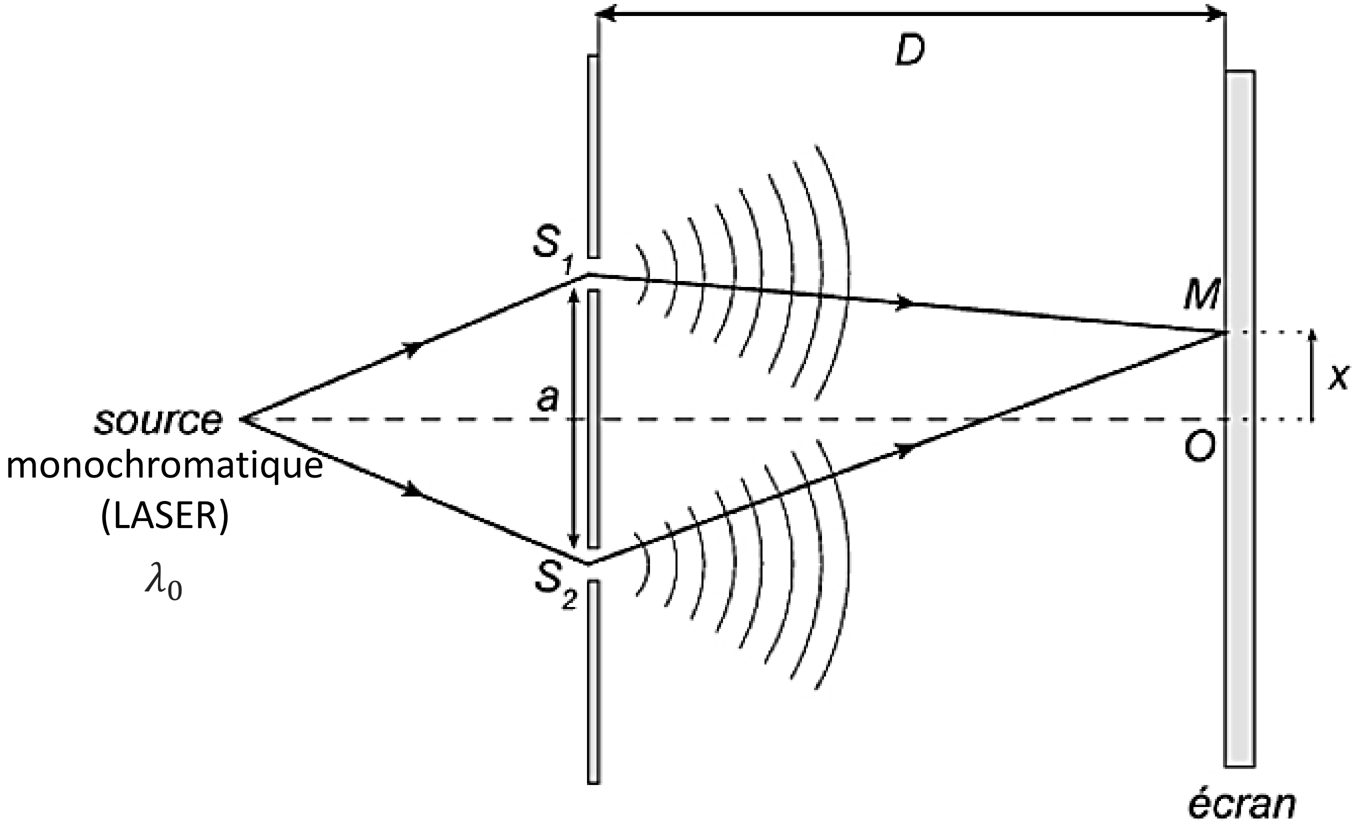


**Définition : Interfrange**

La figure d'interférence est constituée d'une alternance de ***franges brillantes*** et ***de franges sombres*** comme sur la figure ci-contre. La distance entre chaque frange sombre s'appelle l'***interfrange*** noté $i$. On sait montrer qu'il vaut :

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

# Les fentes d’Young, immergée dans l’eau ?





**Définition : Interfrange**

La figure d’interférence est constituée d’une alternance de ***franges brillantes*** et ***de franges sombres*** comme sur la figure ci-contre. La distance entre chaque frange sombre s’appelle l’***interfrange*** noté $i$. On sait montrer qu’il vaut :

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

# Changement de milieu ?

**Définition : Différence de chemin optique**

Dans un milieu homogène et isotrope d'indice optique $\boldsymbol{n}$ dans lequel se propage en ligne droite selon un rayon lumineux, on définit le ***chemin optique*** entre deux points $S$ et $M$ de ce milieu la quantité :

$$(SM) = \boldsymbol{n}.SM$$

où $SM$ représente la longueur du segment $[SM]$.

On montre alors que ***la différence de marche*** $\boldsymbol{\delta}$ en $M$ peut s'exprimer comme la différence des chemins optiques : $\delta(M) = (S_1M) - (S_2M)$.

# Changement de milieu ?

**Définition : Différence de chemin optique**

Dans un milieu homogène et isotrope d'indice optique $\boldsymbol{n}$ dans lequel se propage en ligne droite selon un rayon lumineux, on définit le ***chemin optique*** entre deux points $S$ et $M$ de ce milieu la quantité :

$$(SM) = \boldsymbol{n}.SM$$

où $SM$ représente la longueur du segment $[SM]$.

On montre alors que ***la différence de marche*** $\boldsymbol{\delta}$ en $M$ peut s'exprimer comme la différence des chemins optiques : $\delta(M) = (S_1M) - (S_2M)$.

**Propriété : Conditions d'interférences pour les ondes lumineuses**

Les conditions d'interférences sont alors similaires à celles obtenues pour les ondes mécaniques en considérant la longueur d'onde *dans le vide* $\boldsymbol{\lambda_0}$ :

→ Interférences ***constructives*** si $\boldsymbol{\delta}(M) = \boldsymbol{p}.\boldsymbol{\lambda_0}$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.

→ Interférences ***destructives*** si $\boldsymbol{\delta}(M) = \left(\boldsymbol{p} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\right).\boldsymbol{\lambda_0}$ avec $\boldsymbol{p}$ entier relatif.

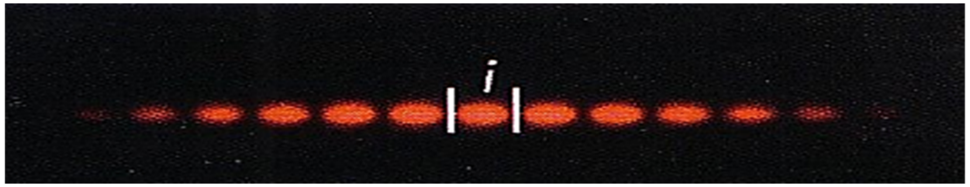
# Aller au-delà des cas extrêmes

**Définition : Intensité d'une onde**

On définit l'***intensité*** $I$ d'une onde, exprimée en W.m$^{-2}$, en un point $M$ comme une grandeur ***proportionnelle*** à la ***moyenne temporelle*** du ***carré de l'amplitude*** de l'onde :

$$I(M) = K.\langle s^2(M,t)\rangle$$

où $K$ est le coefficient de proportionnalité.



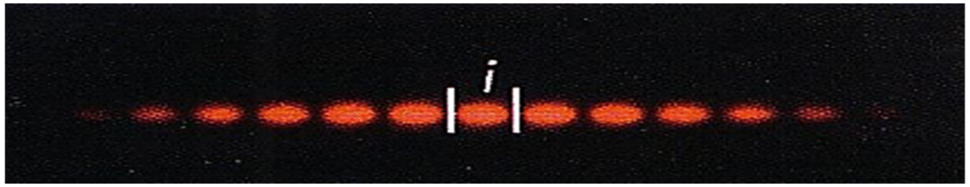
# Aller au-delà des cas extrêmes

**Définition : Intensité d'une onde**

On définit l'***intensité*** $I$ d'une onde, exprimée en W.m$^{-2}$, en un point $M$ comme une grandeur ***proportionnelle*** à la ***moyenne temporelle*** du ***carré de l'amplitude*** de l'onde :

$$I(M) = K.\langle s^2(M,t)\rangle$$

où $K$ est le coefficient de proportionnalité.




**Relation : Formule de Fresnel**

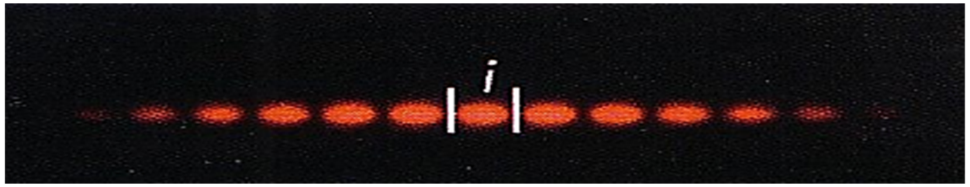
L'***intensité lumineuse*** $I(M)$ en un point $M$ de l'onde lumineuse résultant de la superposition de deux ondes d'intensités $I_1$ et $I_2$ est donnée par la ***formule de Fresnel*** :

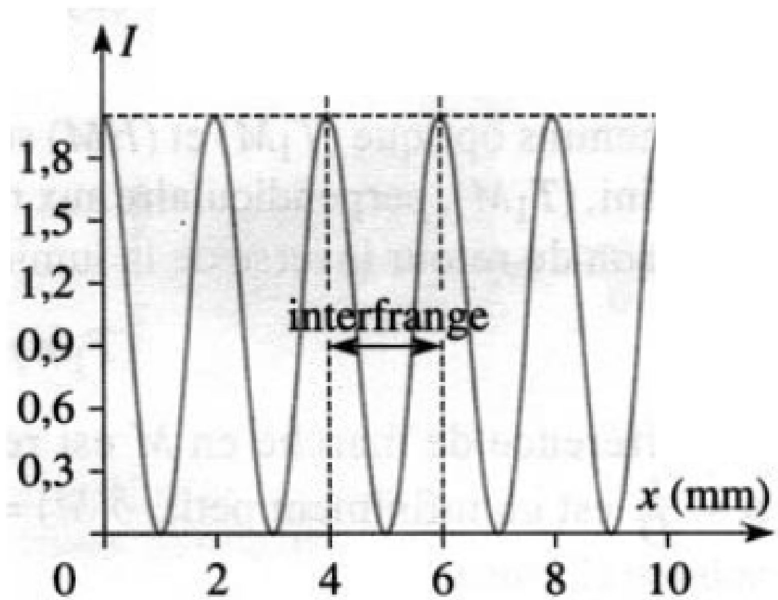
$$I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\left(2\pi\frac{\delta(M)}{\lambda}\right)$$

# La formule de Fresnel pour les fentes d'Young

Si, comme dans le cas des fentes d'Young, $I_1 = I_2 = I_0$ alors la relation se simplifie en :

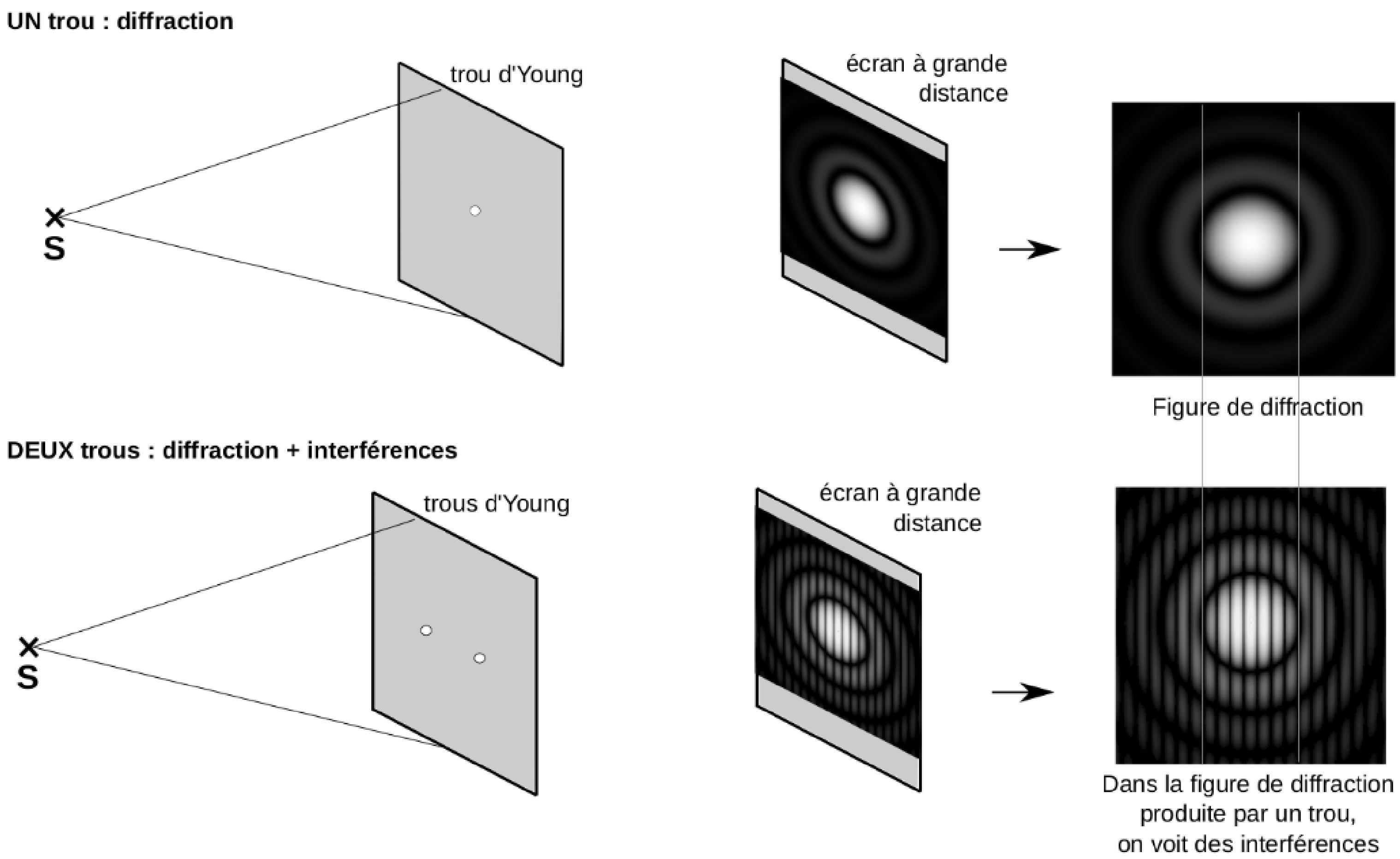
$$I(M) = 2I_0\left(1 + \cos\left(2\pi\frac{\delta(M)}{\lambda}\right)\right)$$



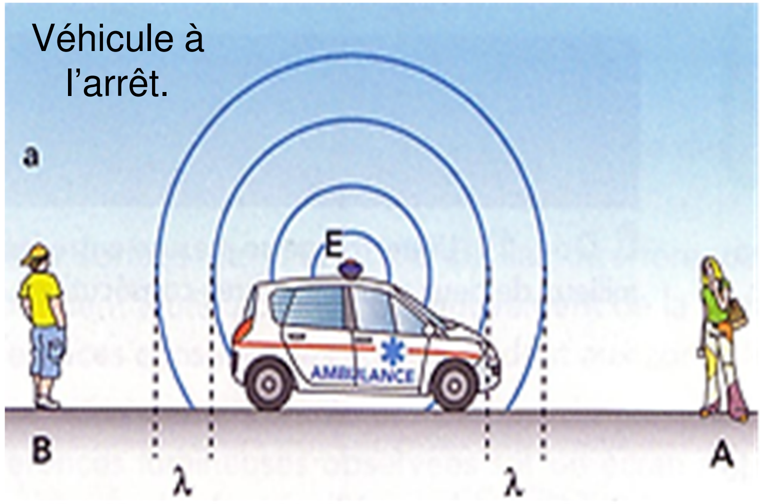



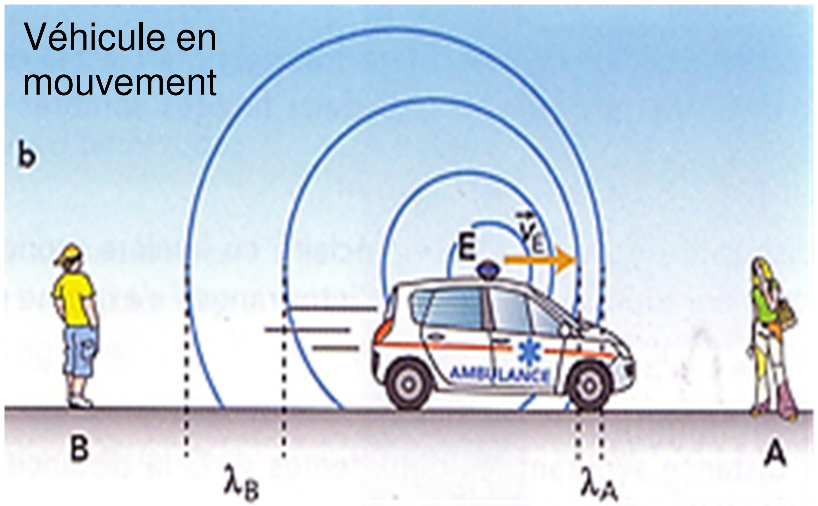
https://www.etienne-thibierge.fr/

# Les trous d'Young



# En bonus: Effet Doppler




https://physique.ostralo.net/doppler/