

CHAPITRE OS9

Diffraction et interférences

➤ Problématique 1

Comment expliquer la forme de la houle dans la baie de San Sébastien ?

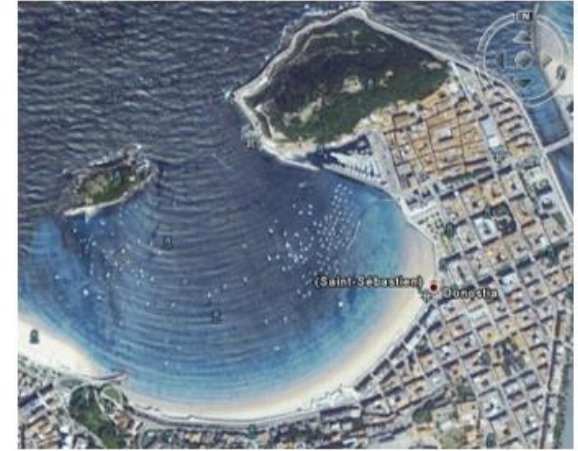


FIGURE 1 : Baie de San Sébastien, Espagne

➤ Problématique 2

Comment expliquer la forme de l'onde à la surface de l'eau ?



FIGURE 2 : Ondes à la surface de l'eau
(Photo : Berenice Abbott, 1958, Musée Guggenheim, Bilbao, Espagne)

➤ **Superposition des ondes :
phénomènes caractéristiques**

1 Diffraction des ondes

1.1 Observations expérimentales

➤ Ondes lumineuses

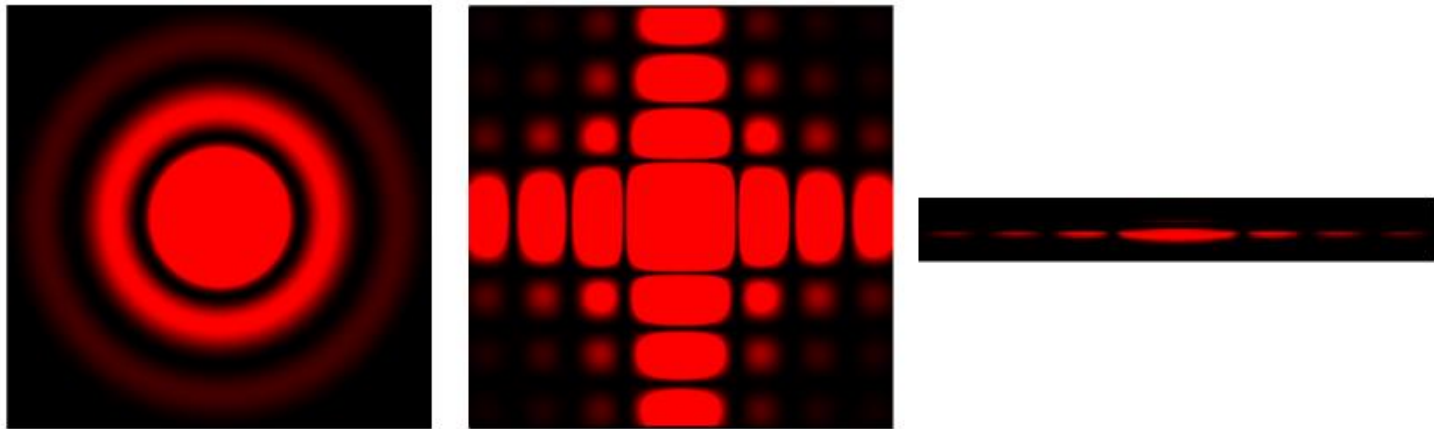


FIGURE 3 : Figures de diffraction obtenues pour :
une ouverture circulaire (à gauche), une ouverture carrée (au centre) ;
une fente verticale (à droite).

👁 Animation 2 : Physique et simulations numériques : Optique ondulatoire
/ Diffraction / Diffraction à l'infini par une fente

[http://subaru.univ-](http://subaru.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/fentever.html)

[lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/fentever.html](http://subaru.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optiondu/fentever.html)

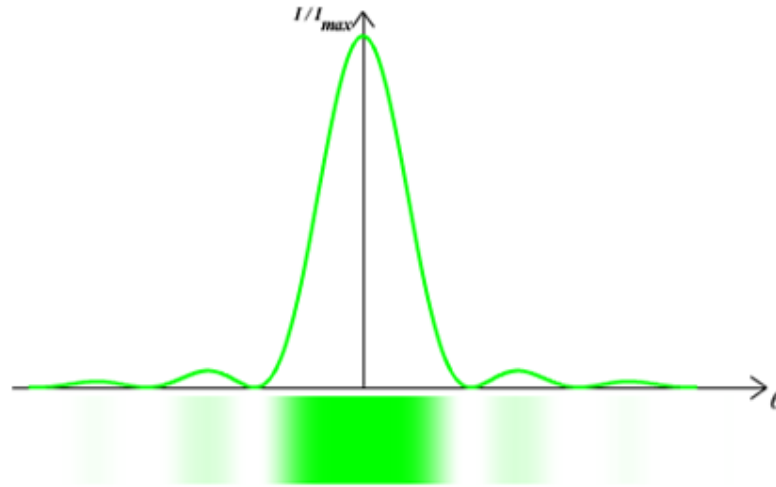


FIGURE 4 : Évolution de l'intensité lumineuse obtenue par diffraction par une fente

➤ Conclusion

Lumière + **diaphragme** (taille $\approx \lambda$) :

étalement de la lumière

alternance zones lumineuses / zones sombres

1.2 Diffraction à l'infini

- Conditions de diffraction à l'infini ou de Fraunhofer
- Taille du lobe central de diffraction

$$D_1, D_2 \gg \frac{a^2}{\lambda}$$

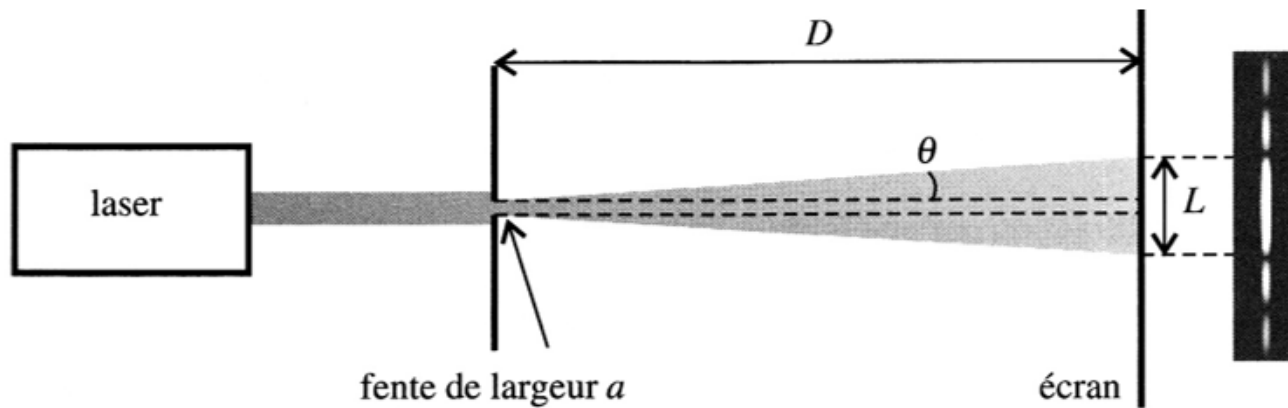


FIGURE 5 : Élargissement de la taille du faisceau par diffraction

Propriété

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



1.3 Universalité du phénomène de diffraction

➤ Ondes mécaniques à la surface de l'eau

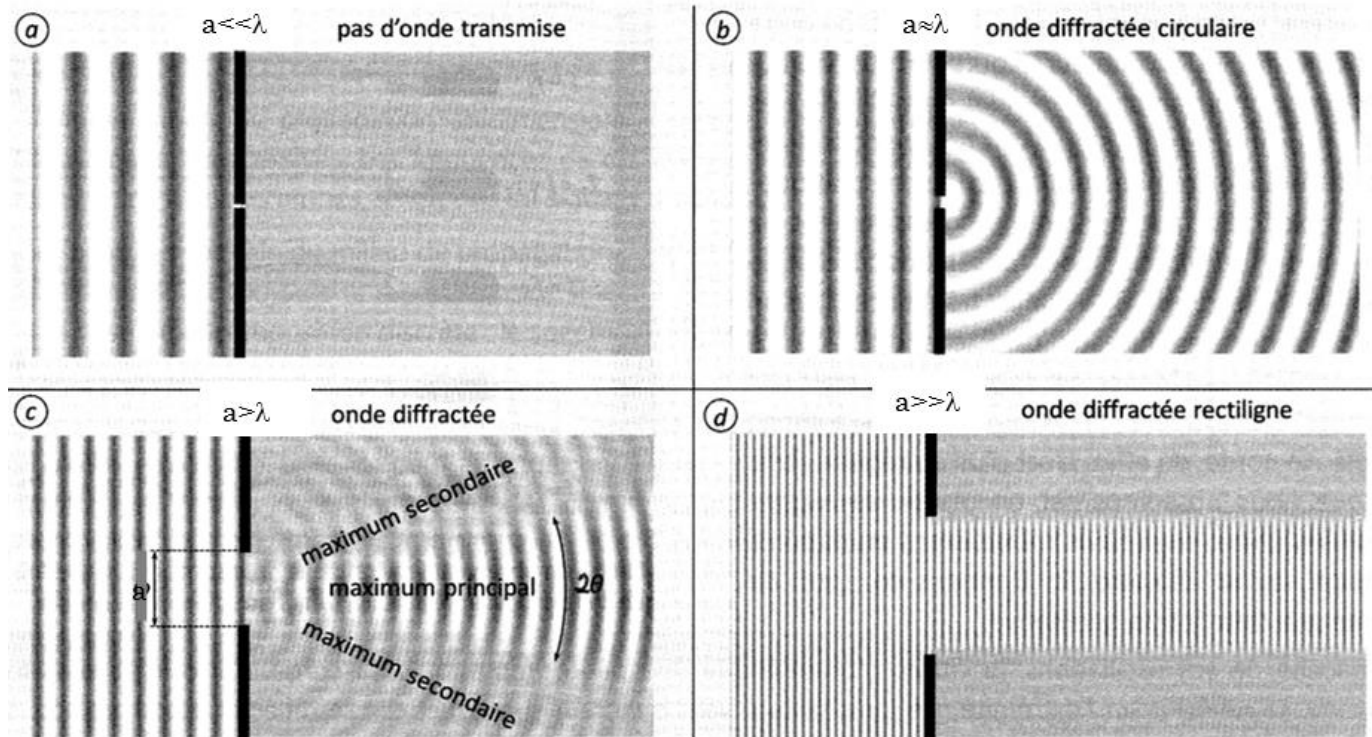


FIGURE 6 : Effet d'un diaphragme de taille a sur la propagation d'une onde rectiligne (de la figure a à la figure d , le rapport $\frac{a}{\lambda}$ augmente)

➤ Retour à la problématique 1

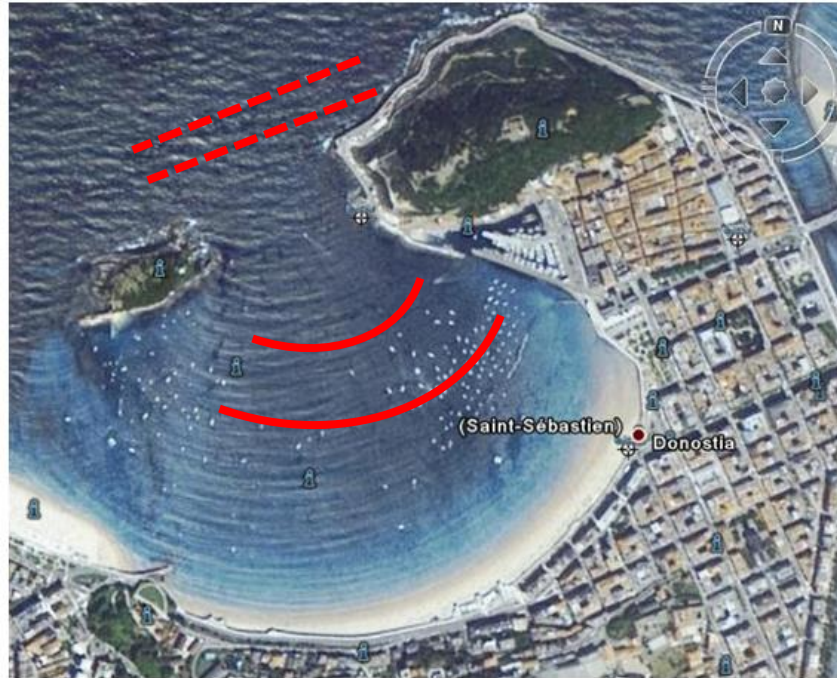


FIGURE 1 : Baie de San Sébastien, Espagne

➤ Condition d'existence de la diffraction

Onde + obstacle : **diffraction**

+ perceptible si taille obstacle $\approx \lambda$

2 Superposition de deux ondes de même fréquence : interférences

2.1 Observations expérimentales

➤ Ondes mécaniques à la surface de l'eau

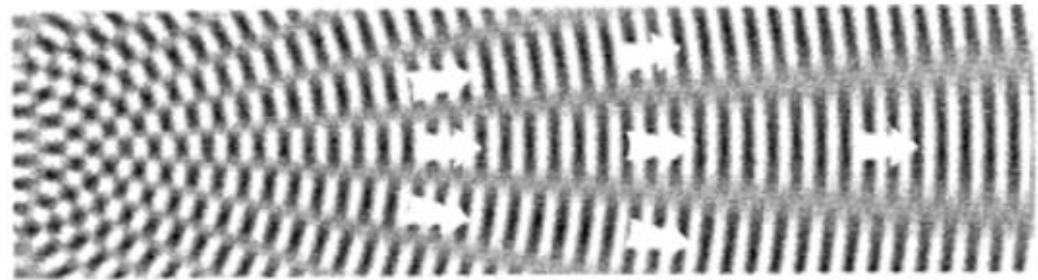
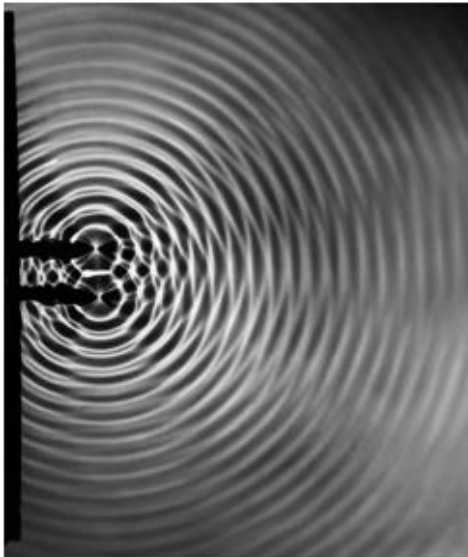


FIGURE 7 : Interférences entre deux ondes circulaires (cuve à ondes)

➤ Ondes ultrasonores

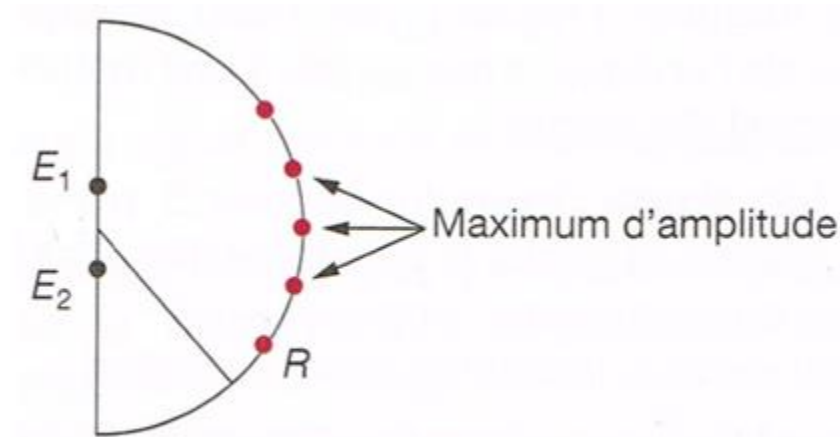


FIGURE 8 : Propagation de deux ondes ultrasonores

Variation de l'amplitude du signal reçu
en fct de la **position** du capteur
« son + son = silence ! »

➤ Conclusion

Similitudes dans les expériences:

- 2 sources ponctuelles
- 2 ondes de même pulsation
- grandeur vibratoire **résultante** au pt M :

superposition = somme

des 2 grandeurs vibratoires incidentes

$$s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$$

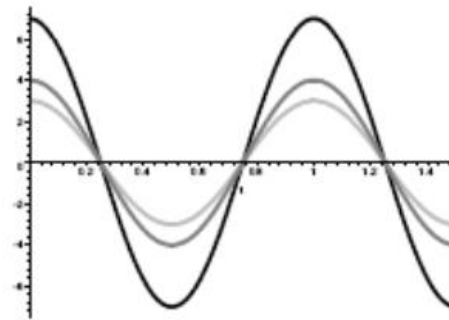


2.2 Sommation de deux signaux sinusoïdaux de même pulsation

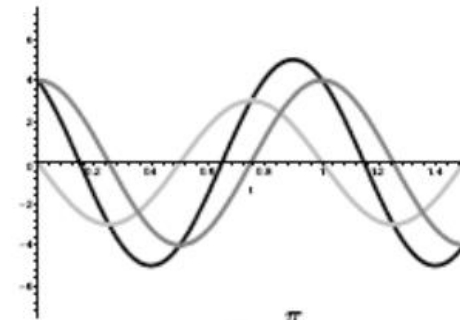
➤ Grandeurs vibratoires incidentes

$$s_1(t) = S_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \quad \text{et} \quad s_2(t) = S_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

➤ Signal résultant



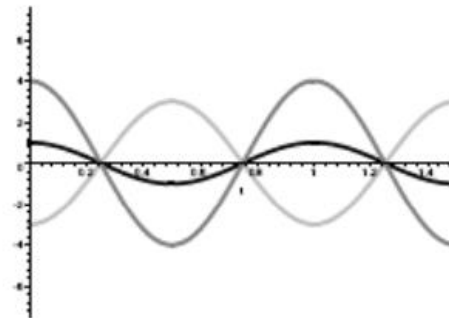
$\varphi = 0$



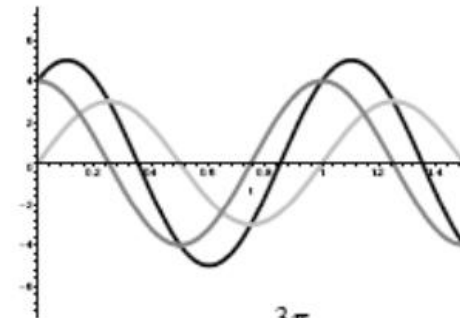
$\varphi = \frac{\pi}{2}$

$\varphi_1 = 0$

$\varphi_2 = \varphi$



$\varphi = \pi$



$\varphi = \frac{3\pi}{2}$

FIGURE 9 : Allures des signaux $s_1(t)$ (en gris foncé), $s_2(t)$ (en gris clair), $s(t)$ (en noir) pour $s_1(t) = 4 \cos(\omega t)$, $s_2(t) = 3 \cos(\omega t + \varphi)$ et pour différentes valeurs de φ .

Propriété :

Signal résultant **sinusoïdal** de **même pulsation**

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t) = S \cos(\omega t + \psi)$$

➤ Influence du déphasage

Amplitude du signal
résultant dépend du
déphasage

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

Expression du déphasage
entre $s_2(t)$ et $s_1(t)$:

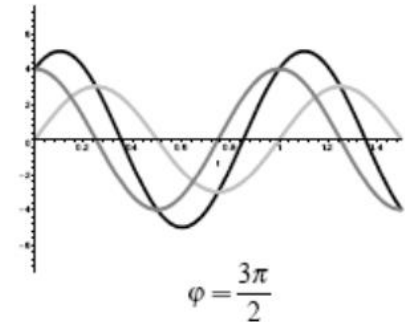
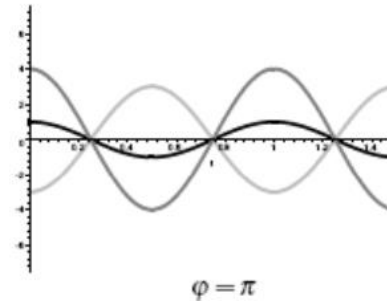
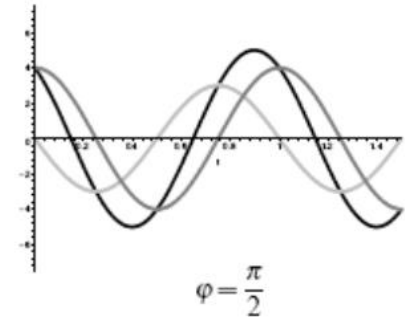
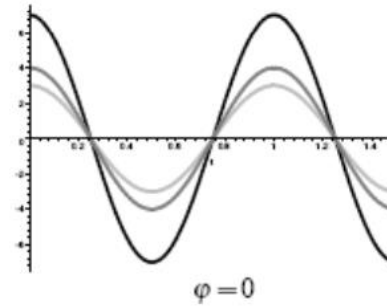
$$|\Delta\varphi| = |\varphi_2 - \varphi_1| = 2\pi \frac{\Delta t}{T} = 2\pi \cdot \Delta t \cdot f \quad (\text{rad})$$

$$\Delta\varphi > 0$$

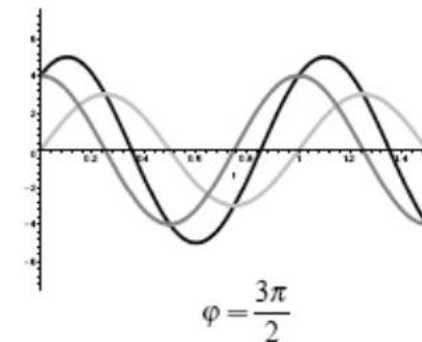
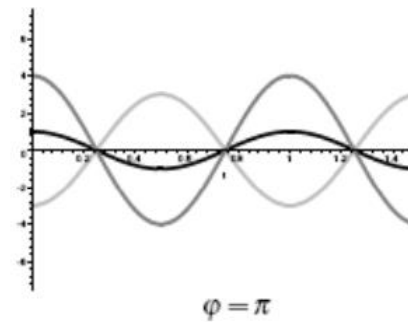
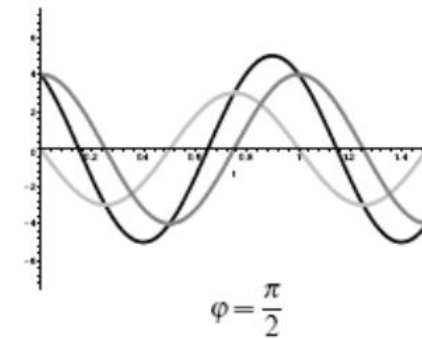
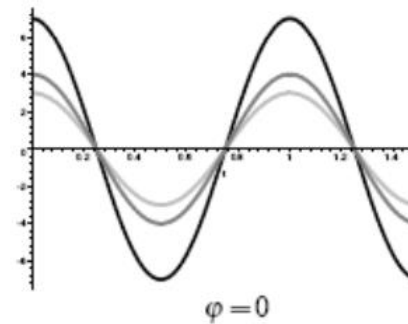
si $s_2(t)$ en avance sur $s_1(t)$

$$\Delta\varphi < 0$$

si $s_2(t)$ en retard sur $s_1(t)$



Propriété
amplitude S du signal
résultant :
formule des interférences



$$S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + 2S_1S_2 \cos(\Delta\varphi)} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + 2S_1S_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$



$$S \neq S_1 + S_2$$



2.3 Phénomène d'interférences

➤ Description du phénomène

Amplitude de l'onde résultante
modulée dans l'espace

➤ Modélisation des expériences

➤ Origine du déphasage

➤ Expression du déphasage



$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_1 - r_2) = k(r_1 - r_2)$$



$r_1 - r_2$: différence de parcours

2.4 Interférences constructives et destructives

➤ Interférences constructives

Propriété

$$r_1 - r_2 = E_1 M - E_2 M = p\lambda$$



p (entier relatif) : ordre d'interférences

Amplitude maximale

Propriété

$$S_{\max} = S_1 + S_2$$

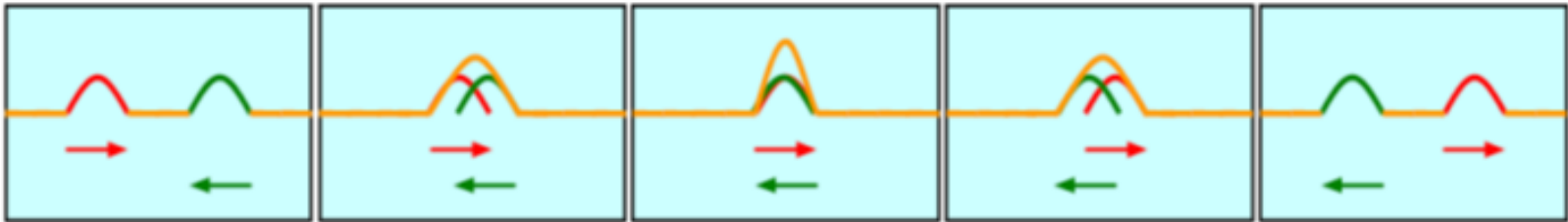


Cas particulier

$$S_1 = S_2 : S_{\max} = 2S_1$$

2.4 Interférences constructives et destructives

Superposition constructive : (Ondes additives)



Superposition destructive : (Ondes soustractives)

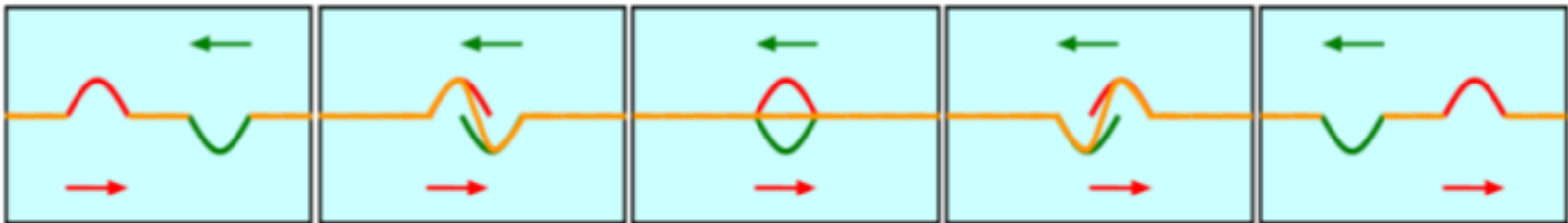


FIGURE 10 : Obtention d'interférences constructives (en haut) et destructives (en bas) : signal résultant en orange (gris clair)

➤ Interférences destructives



Propriété

$$r_1 - r_2 = E_1 M - E_2 M = \frac{\lambda}{2} + p\lambda$$



Amplitude minimale



Propriété

$$S_{\min} = |S_1 - S_2|$$

Cas particulier

$$S_1 = S_2 : S_{\min} = 0$$

☞ **Pour approfondir... Actualités scientifiques...**

[1] A. Hajian et T. Armstrong, La détection des étoiles par interférométrie, *Pour la Science – Dossiers*, n°53, p 108-112, Octobre-Décembre 2006

[2] A. Ganier, En plein dans le mille, *Les défis du CEA*, n°236, p 7, Avril 2019

➤ Retour à la problématique 2

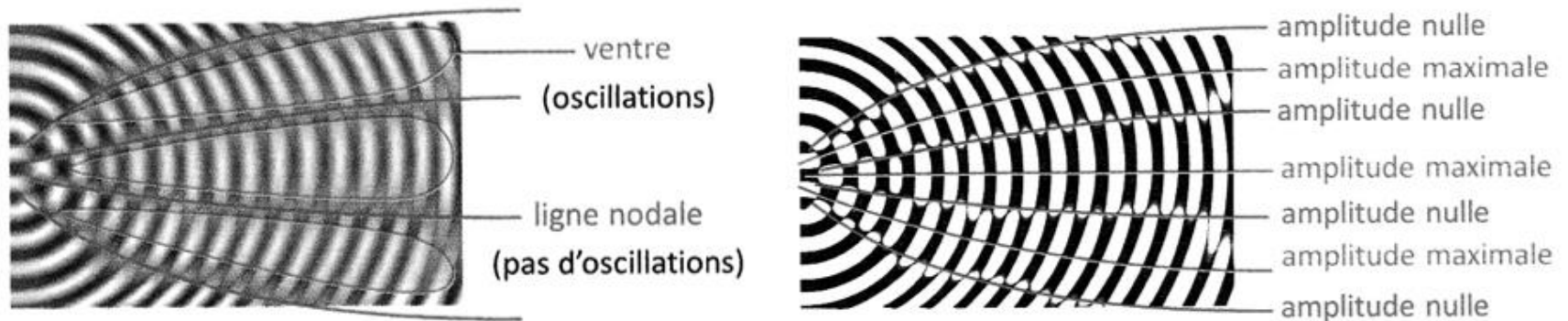


FIGURE 11 : Figure d'interférences de deux ondes circulaires

- **Lignes incurvées**, alternative^t foncées / claires
amplitude max. du signal résultant
interférences **constructives**
- **Lignes grises (lignes nodales)**
amplitude min. du signal résultant
interférences **destructives**

2.5 Cas des interférences lumineuses

2.5.1 Réalisation expérimentale

➤ Particularité de l'expérience

source lumineuse **unique**

+ dispositif donnant 2 ondes **cohérentes**

➤ Dispositif expérimental

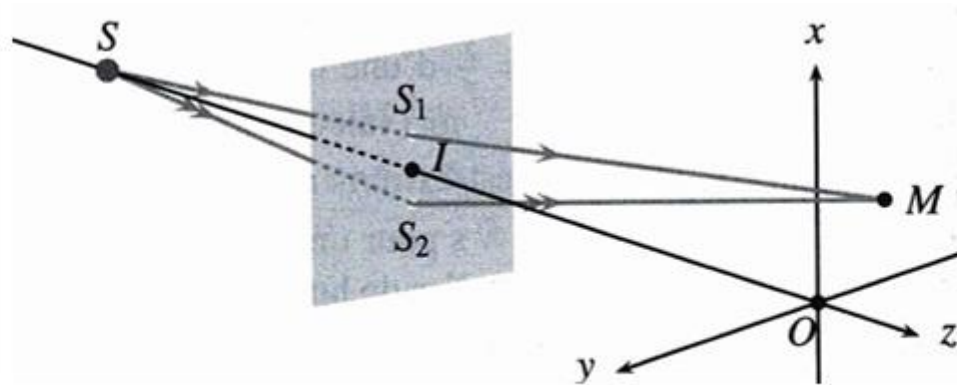


FIGURE 12 : Schéma du dispositif expérimental des trous de Young

➤ Observation expérimentale

📺 Animation 3 : Figures animées pour la physique : Ondes / Ondes lumineuses / Interférences

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/lumiere/interference_lumiere.php

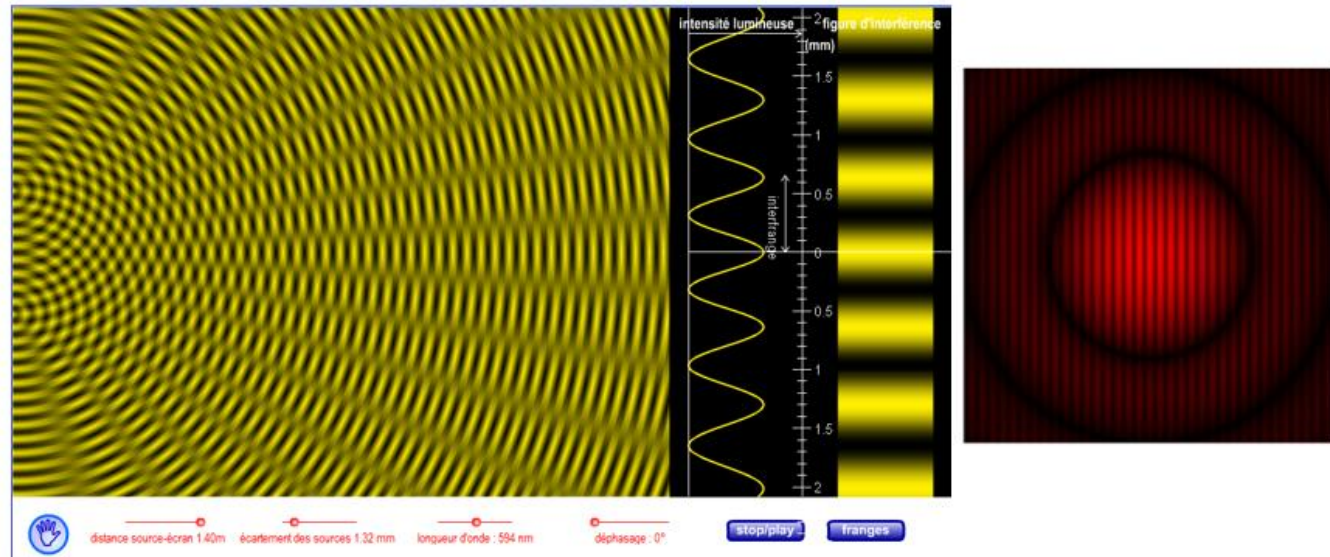


FIGURE 13 : Interférences lumineuses avec des trous de Young

« lumière + lumière = obscurité » !

Tache centrale de diffraction composée de
franges sombres (interf. destructives)

// franges lumineuses (interf. constructives)

2.5.2 Différence de chemin optique

➤ Chemin optique


Définition : $(SM) = n \cdot SM$

➤ Différence de chemin optique

Définition

$$\delta(M) = (SM)_2 - (SM)_1 = n \cdot SM_{(2)} - n \cdot SM_{(1)}$$

➤ Expression de $\delta(M)$


$$\delta(M) \simeq \frac{nax}{D}$$



2.5.3 Relation entre $\delta(M)$ et le déphasage



$$\Delta\varphi = \frac{\omega}{c} \delta(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \delta(M)$$

2.5.4 Conditions d'interférences

Propriété

- Interférences constructives

$$\Delta\varphi = 2p\pi \Leftrightarrow \delta(M) = p\lambda_0 \quad (p \text{ entier relatif})$$

- Interférences destructives

$$\Delta\varphi = (2p+1)\pi \Leftrightarrow \delta(M) = \left(\frac{1}{2} + p\right)\lambda_0 \quad (p \text{ entier relatif})$$



2.5.5 Interfrange

- Frange brillante d'ordre p



droite perpendiculaire à S_1S_2

Interf. constructives : amplitude max

- Interfrange
Propriété

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



- Frange sombre d'ordre $p+1/2$

Interf. destructives : amplitude min