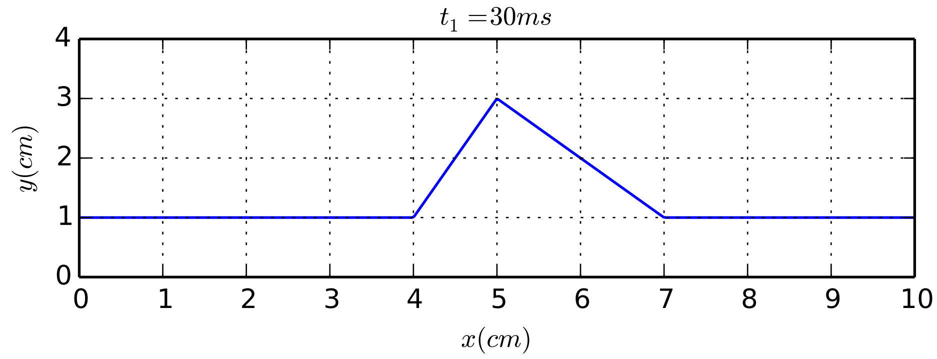
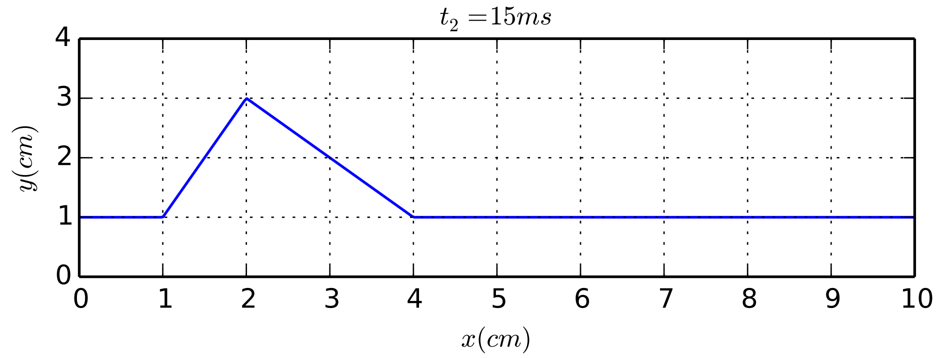
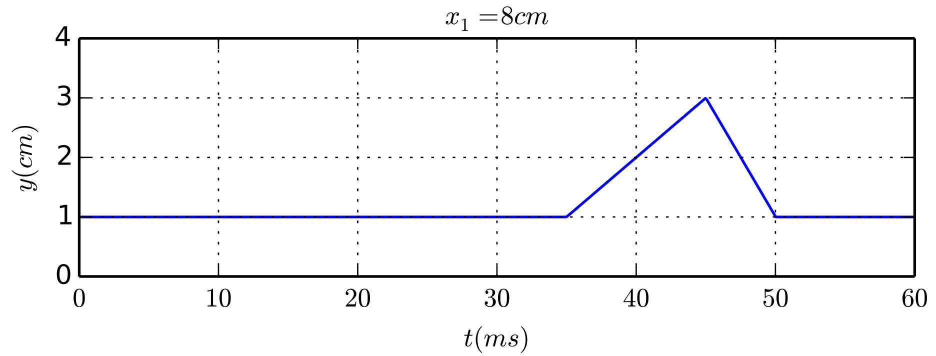
Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Propagation d'un signal Exemples de signaux. Signal sinusoïdal.	Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.	signal acoustique : onde longitudinale de surpression ou de vitesse du milieu signal électrique ou électromagnétique : onde transversale caractérisée par le champ électrique $\overrightarrow{E}(M,t)$ et magnétique $\overrightarrow{B}(M,t)$.
Propagation d'un signal dans un milieu illimité, non dispersif et transparent Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.	Écrire les signaux sous la forme $f(x-ct)$ ou $g(x+ct)$. Écrire les signaux sous la forme $f(t-x/c)$ ou $g(t+x/c)$.	Définir une propagation unidimensionnelle linéaire non dispersive et préciser la conséquence sur la propagation. Justifier le couplage spatio-temporel. — Propagation unidimensionnelle : le signal $s(M,t)$ ne dépend que d'une coordonnée spatiale notée x, donc $s(x,t)$. — Propagation linéaire : le milieu dans lequel le signal se propage est linéaire, i.e. il ne modifie pas la fréquence de l'onde. On pourra alors appliquer le principe de superposition. — Propagation non dispersive : le milieu dans lequel le signal se propage est non dispersif, i.e. la vitesse de propagation de l'onde est indépendante de sa fréquence. — Propagation non dissipative : l'onde conserve son énergie lors de sa propagation dans le milieu. Si la propagation est linéaire, non dispersive et non dissipative, alors le signal se propage « en bloc », c'est-à-dire sans déformation ni atténuation du signal. Soit une onde progressive se propageant à la vitesse c selon les x croissants, alors l'onde perçue en x quelconque pour tout t correspond à celle perçue en $x=0$ pour tout t mais avec un retard temporel correspond à la durée de propagation $\Delta t = x/c$: $\boxed{s(x,t) = s(x=0, t-x/c) = g(t-x/c)}$ On peut raisonner de même sur l'onde perçue à un instant t pour tout x correspondant à celle perçue à $t=0$ mais décalée spatialement de la distance propagée $\Delta x = ct$: $\boxed{s(x,t) = s(x-ct, t=0) = f(x-ct)}$ On peut reprendre le raisonnement avec une onde progressive se propageant selon les x décroissants. Une onde progressive dans le sens de x croissant se propageant à la vitesse c s'écrit : $\boxed{s(x,t) = f(x-ct) = g(t-x/c)}$ Onde progressive dans le sens de x décroissant se propageant à la vitesse c : $\boxed{s(x,t) = f(x+ct) = g(t+x/c)}$

Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Onde progressive dans le cas d'une propagation unidimensionnelle non dispersive. Célérité, retard temporel.	Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.	Soit une onde se propageant sur une corde à une vitesse $c = 2\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ selon les x croissants. On donne la forme de la corde à l'instant $t_1 = 30\,\mathrm{ms}$. Représenter l'allure de la corde à l'instant $t_2 = 15\,\mathrm{ms}$. Représenter l'évolution temporelle d'un point de la corde situé à $x_1 = 8\,\mathrm{cm}$.   

<table>
<tr><th>Notions et contenus</th><th>Capacités exigibles</th><th>Détail</th></tr>
<tr>
<td rowspan="2">Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.</td>
<td>Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique.
Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase.</td>
<td>

Fréquence dans le visible $f \approx 1 \times 10^{15}\,\mathrm{Hz}$
Fréquence de la bande FM $f \approx 100\,\mathrm{MHz}$
Fréquence des signaux électriques $f = 50\,\mathrm{Hz}$
Fréquences audibles $f = 20\,\mathrm{Hz} - 20\,\mathrm{kHz}$

Onde progressive sinusoïdale

- Une onde progressive se propageant à la vitesse c selon les x croissants s'écrit : $s(x,t) = g(t - x/c)$
- Une onde sinusoïdale s'écrit $g : U \mapsto S_0 \cos(\omega U + \phi)$
- Une onde progressive sinusoïdale se propageant à la vitesse c selon les x croissants s'écrit donc :

$$\boxed{s(x,t) = S_0 \cos(\omega(t - x/c) + \phi)}$$

Double périodicité

- La fonction $s(x,t)$ possède une périodicité temporelle T, telle que $s(x, t+T) = s(x,t)$, $\forall(x,t)$. On peut le vérifier en utilisant le fait que la fonction cosinus est 2π périodique :

$$s(x, t+T) = S_0 \cos(\omega(t + T - x/c) + \phi) = S_0 \cos(\omega(t - x/c) + \phi + \omega T)$$

$$s(x, t+T) = S_0 \cos(\omega(t - x/c) + \phi + 2\pi) = S_0 \cos(\omega(t - x/c) + \phi) = s(x,t)$$

- Notons λ la périodicité spatiale. C'est le plus petit réel positif vérifiant $\forall(x,t)\; s(x+\lambda, t) = s(x,t)$.

$$s(x+\lambda, t) = S_0 \cos(\omega(t - x/c) + \phi - \omega\lambda/c)$$

$s(x+\lambda, t) = s(x,t)$ avec λ le plus petit possible et positif, si et seulement si

$$\frac{\omega\lambda}{c} = 2\pi \quad \Leftrightarrow \quad \frac{2\pi\lambda}{cT} = 2\pi \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{\lambda = cT}$$

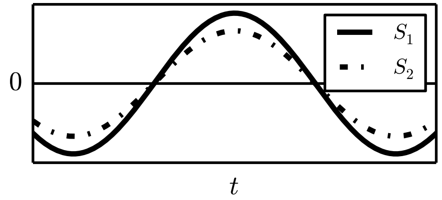
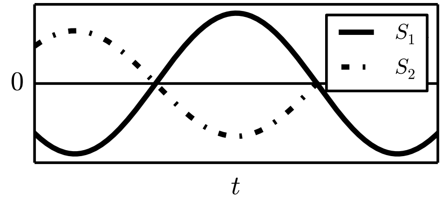
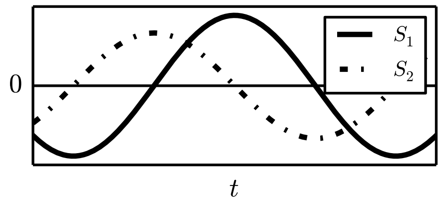
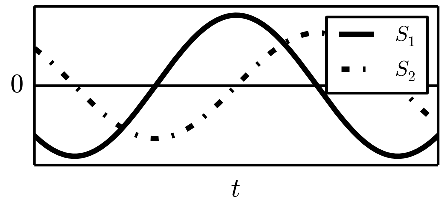
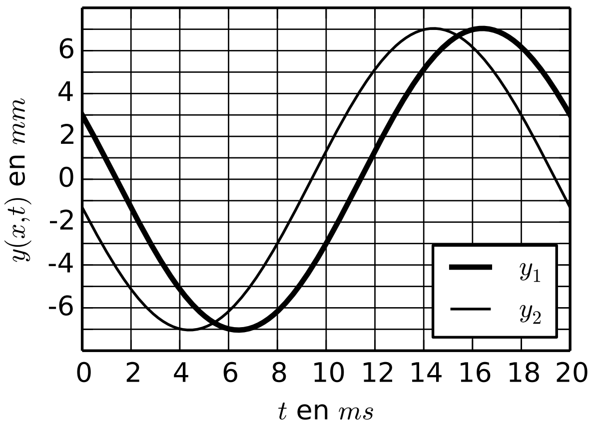
On définit le vecteur d'onde $\boxed{k\frac{2\pi}{\lambda}}$. On peut alors écrire une onde sinusoïdale progressive comme

$$\boxed{s(x,t) = S_0 \cos(\omega t \pm kx + \phi)}$$

</td>
</tr>
<tr>
<td>Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.</td>
<td>

Soient deux signaux synchrones $s_1(M,t) = S_1 \cos(\omega t - kx_1)$ et $s_2(M,t) = S_2 \cos(\omega t - kx_2)$. Les deux ondes ne se pas en phase à cause du retard de l'onde 2 par rapport à l'onde 1 lié au fait qu'elle ne parcourt pas la même distance. Le déphasage s'écrit $\boxed{\Delta\phi_{2/1} = k(x_2 - x_1)}$

</td>
</tr>
</table>

Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Milieux dispersifs ou non dispersifs.	Définir un milieu dispersif. Citer des exemples de situations de propagation dispersive et non dispersive.	Un milieu est non dispersif si toutes les ondes monochromatiques, i.e. sinusoïdales, se propagent à la même vitesse et ce quelle que soit leur fréquence. La vitesse de propagation s'appellent la vitesse de phase. Ainsi $\omega(k)$ est linéaire (exemple l'air) : $\boxed{\omega = v_\phi k}$. Dans le cas d'un milieu dispersif (exemple le verre), $\omega(k)$ n'est pas linéaire.
Modèle de l'onde progressive sinusoïdale unidimensionnelle. Vitesse de phase, déphasage, double périodicité spatiale et temporelle.	**Mesurer la vitesse de phase, la longueur d'onde et le déphasage dû à la propagation d'un phénomène ondulatoire.**	Soient s_1 et s_2 deux signaux de même fréquence. Représenter ces signaux pour les cas suivants : — s_1 et s_2 sont en phase  — s_1 et s_2 sont en opposition de phase  — s_1 est en quadrature retard par rapport à s_2  — s_1 est en quadrature avance par rapport à s_2  Déterminer le déphasage $\phi_{2/1}$ de y_2 par rapport à y_1.  — On constate que y_2 est en avance par rapport à y_1, donc $\phi_{2/1} > 0$. — $\lvert\phi_{2/1}\rvert \longrightarrow$1 carreau et $2\pi \longrightarrow$10 carreaux, donc $$\lvert\phi_{2/1}\rvert = \frac{2\pi}{10} = \frac{\pi}{5}$$ On en déduit $\boxed{\phi_{2/1} = \frac{\pi}{5}}$.

<table>
<tr><th>Notions et contenus</th><th>Capacités exigibles</th><th>Détail</th></tr>
<tr>
<td>Phénomène d'interférences
Interférences entre deux ondes acoustiques ou mécaniques de même fréquence.</td>
<td>Exprimer les conditions d'interférences constructives ou destructives.

Déterminer l'amplitude de l'onde résultante en un point en fonction du déphasage.</td>
<td>On pose $s_1(M,t) = S_1\cos(\omega t - \phi_1(M))$ et $s_2(M,t) = S_2\cos(\omega t - \phi_2(M))$, et le déphasage $\Delta\phi(M) = \phi_2(M) - \phi_1(M)$. Exprimer la condition d'interférences constructives (ou destructives) sur le déphasage, le retard temporel et la différence de marche.

<table>
<tr><td>interférences</td><td>ondes</td><td>déphasage
$\Delta\phi_{2/1}(M) = \frac{2\pi}{\lambda}\delta(M)$</td><td>différence de marche
$\delta(M)$</td><td>retard temporel
$\Delta t_{2/1}$</td></tr>
<tr><td>constructives</td><td>en phase</td><td>$2n\pi$</td><td>$n\lambda$</td><td>nT</td></tr>
<tr><td>destructives</td><td>en opposition de phase</td><td>$(2n+1)\pi$</td><td>$(2n+1)\frac{\lambda}{2}$</td><td>$(2n+1)\frac{T}{2}$</td></tr>
</table>

On passe en notation complexe avec $\underline{s} = \underline{s}_1 + \underline{s}_2$:

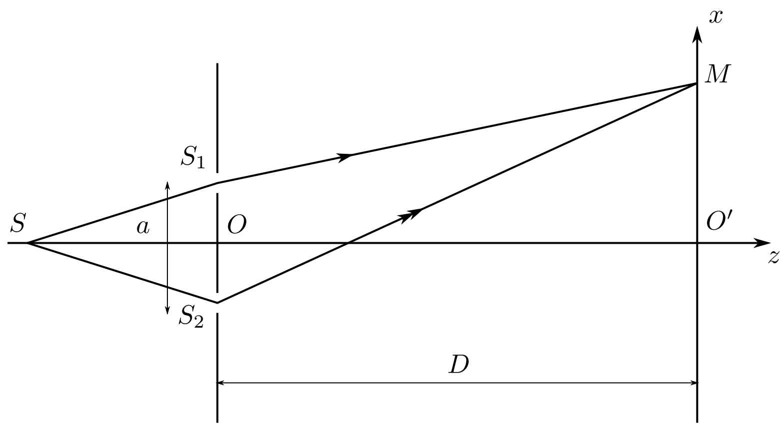
$$\underline{s}_1 = S_1 e^{j(\omega t - \phi_1(M))} \quad \text{et} \quad \underline{s}_2 = S_2 e^{j(\omega t - \phi_2(M))} \quad \text{et} \quad \underline{s} = S_0(M) e^{j(\omega t - \phi(M))}$$

$$S_0^2(M) = \underline{s} \times \underline{s}^* = (\underline{s}_1 + \underline{s}_2) \times (\underline{s}_1^* + \underline{s}_2^*) = \underline{s}_1\underline{s}_1^* + \underline{s}_2\underline{s}_2^* + \underline{s}_1\underline{s}_2^* + \underline{s}_2\underline{s}_1^*$$

$$\text{soit} \quad S_0^2(M) = S_1^2 + S_2^2 + S_1 S_2 \left(e^{j(\phi_2(M) - \phi_1(M))} + e^{-j(\phi_2(M) - \phi_1(M))}\right)$$

$$\text{donc} \quad \boxed{S_0(M) = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + 2 S_1 S_2 \cos\left(\Delta\phi_{2/1}(M)\right)}}$$

On retrouve qu'il y a interférences constructives si $S_0(M)$ est maximale, donc $\cos\left(\Delta\phi_{2/1}(M)\right) = 1$, soit $\Delta\phi_{2/1}(M) = 2n\pi$ avec $n \in \mathbb{Z}$.
De même il y a interférences destructives si $S_0(M)$ est minimale, donc $\cos\left(\Delta\phi_{2/1}(M)\right) = -1$, soit $\Delta\phi_{2/1}(M) = \pi + 2n\pi$ avec $n \in \mathbb{Z}$.</td>
</tr>
</table>

Notions et contenus	Capacités exigibles	Détail
Interférences entre deux ondes lumineuses de même fréquence.	Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique.	Soit une onde se propageant entre deux points P_1 et P_2 dans un milieu homogène d'indice n. On définit le chemin optique (P_1P_2) comme $\boxed{(P_1P_2) = nP_1P_2}$, distance qu'aurait parcourue l'onde dans le vide pendant la même durée de propagation $t_{P_1P_2}$. Si l'onde traverse plusieurs milieux homogènes différents, il conviendra de décomposer le chemin optique total en plusieurs chemins optiques dans des milieux homogènes. En notant λ_0 la longueur d'onde de l'onde dans le vide, on a alors $\boxed{\Delta\phi(M) = \frac{2\pi}{\lambda_0}\delta(M)}$, avec $\delta(M)$ la différence de chemin optique.
Exemple du dispositif des trous d'Young éclairé par une source monochromatique.	Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique entre les deux ondes.	 On observe sur un écran éloigné tel que $D \gg \|x\|$ et $D \gg \|y\|$ et $D \gg a$ $$\delta(M) = (SS_2M) - (SS_1M) = n_{\text{air}}\left(SS_2 + S_2M - SS_1 - S_1M\right) = n_{\text{air}}\left(S_2M - S_1M\right)$$ Dans la suite, on prend $n_{\text{air}} = 1$. $$\delta(M) = \sqrt{D^2 + (x+a/2)^2 + y^2} - \sqrt{D^2 + (x-a/2)^2 + y^2}$$ $$\text{soit} \quad \delta(M) = D\left[\sqrt{1 + \left(\frac{x+a/2}{D}\right)^2 + \left(\frac{y}{D}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{x-a/2}{D}\right)^2 + \left(\frac{y}{D}\right)^2}\right]$$ On effectue un DL. $$\delta(M) \approx \frac{D}{2}\left(\left(\frac{x+a/2}{D}\right)^2 - \left(\frac{x-a/2}{D}\right)^2\right) \quad \text{soit} \quad \boxed{\delta(M) \approx \frac{ax}{D}}$$

<table>
<tr><th>Notions et contenus</th><th>Capacités exigibles</th><th>Détail</th></tr>
<tr><td>Différence de chemin optique. Conditions d'interférences constructives ou destructives. Formule de Fresnel.</td><td>Exploiter la formule de Fresnel fournie pour décrire la répartition d'intensité lumineuse.</td><td>

Définir l'intensité lumineuse. Établir l'expression de la formule de Fresnel. L'appliquer dans le cas du dispositif des trous d'Young. Représenter le profil de l'intensité lumineuse et exprimer l'interfrange.

L'intensité vibratoire est définie par

$$\boxed{I(M) = < s^2(M,t) >}$$

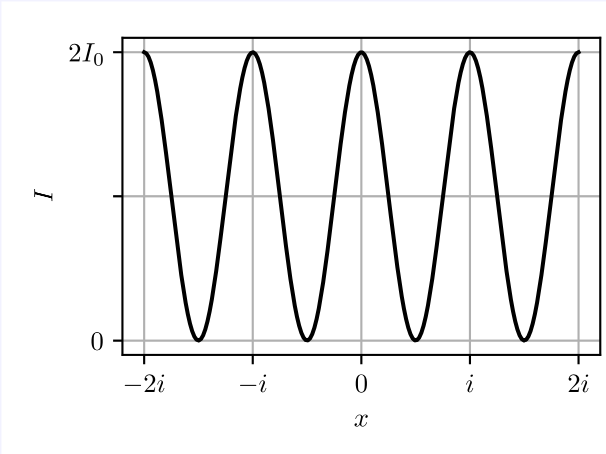
Comme $s(M,t) = S_0(M)\cos(\omega t - \phi(M))$ et que $< \cos(\omega t - \phi(M)) >= 1/2$, on a alors $I(M) = S_0^2(M)/2$.
On reprend l'expression de $S_0(M)$ établie précédemment

$$I(M) = \frac{S_1^2}{2} + \frac{S_2^2}{2} + \frac{2S_1S_2\cos(\Delta\phi(M))}{2} \quad \text{soit} \quad \boxed{I(M) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos(\Delta\phi(M))}$$

Dans le cas du dispositif des trous d'Young, $\Delta\phi(M) = \dfrac{2\pi}{\lambda_0}\dfrac{ax}{D}$, et $I_1 = I_2 = I_0$ donc

$$\boxed{I(x) = 2I_0\left(1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\frac{ax}{D}\right)\right)}$$

On a une fonction sinusoïdale de périodicité spatiale $\boxed{i = \dfrac{\lambda_0 D}{a}}$ correspondant à l'interfrange.



Il est à noter qu'on n'a pas considérer la modulation de l'intensité par la diffraction de chaque ouverture.

</td></tr>
</table>