

# Chapitre 3 : Interférences

## LE COURS

### A Généralités

A.1	Position du problème .....	1
A.2	Interférences constructives et destructives .....	2

### B Superposition d'ondes synchrones

B.1	Deux expériences à connaître .....	3
B.2	Forme mathématique du signal résultant .....	3
B.3	Cas des ondes lumineuses .....	5
B.4	Étude de l'expérience des trous d'Young .....	7

### C Superposition de signaux de fréquences voisines

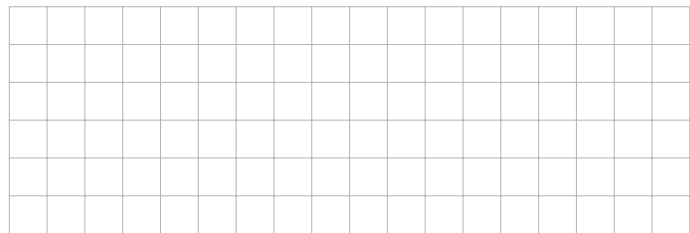
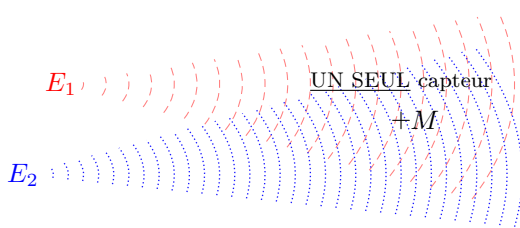
C.1	Phénomène de battements .....	10
C.2	Forme mathématique du signal résultant .....	12

## A Généralités

### A.1 Position du problème

#### ► Contexte général

On considère **deux points sources d'émission d'ondes sinusoïdales**,  $E_1$  et  $E_2$ , de fréquences respectives  $f_1$  et  $f_2$ , et d'amplitudes respectives  $A_1$  et  $A_2$  :



Les ondes générées  $s_1$  et  $s_2$  peuvent se recouvrir au moins partiellement dans une zone de l'espace qu'on pourra appeler **champ d'interférence**.

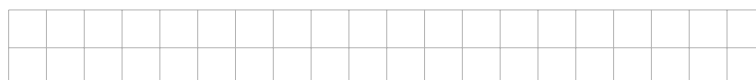
On place un **unique capteur** en un point  $M$  dans le champ d'interférence.

Par ailleurs, on considère pour simplifier que **les propagations s'effectuent sans atténuation**.

#### ► Interférences et linéarité

On considère que le milieu de propagation est linéaire. Cela implique que :

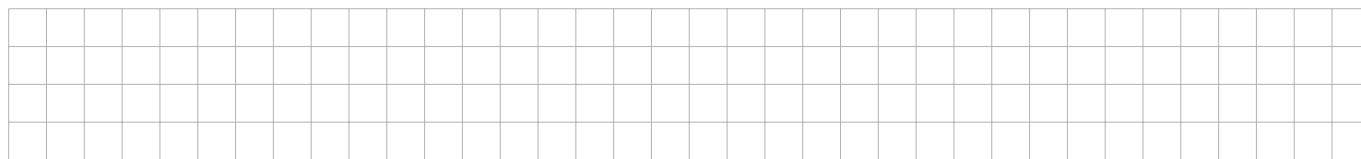
- la propagation de l'onde  $s_1$  ne perturbe pas celle de  $s_2$ , et inversement ;
- tout se passe comme si il existait une unique **onde résultante**  $s(M,t)$  correspondant à la **superposition** de  $s_1(M,t)$  et  $s_2(M,t)$  :



(R) Cela est du au fait que l'équation d'onde régissant la propagation des ondes dans le milieu considéré est une équation linéaire. Cela pourra être abordé et discuté en 2ème année de CPGE ...

Étudier les interférences entre les ondes  $s_1$  et  $s_2$  consiste à étudier la fonction  $s(M, t) = s_1(M, t) + s_2(M, t)$ .

Au fait, comment s'expriment les signaux  $s_1$  et  $s_2$  au niveau du capteur ? Nous en aurons besoin plus tard.

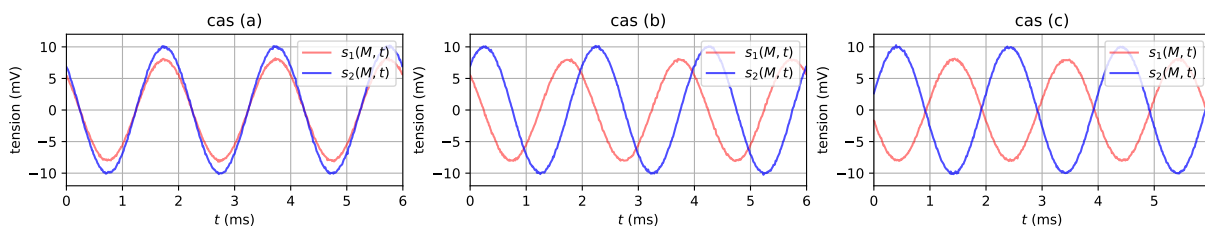


## A.2 Interférences constructives et destructives

### Exemple d'ondes synchrones

Considérons par exemple des signaux **synchrones** (càd, de *même pulsation*).

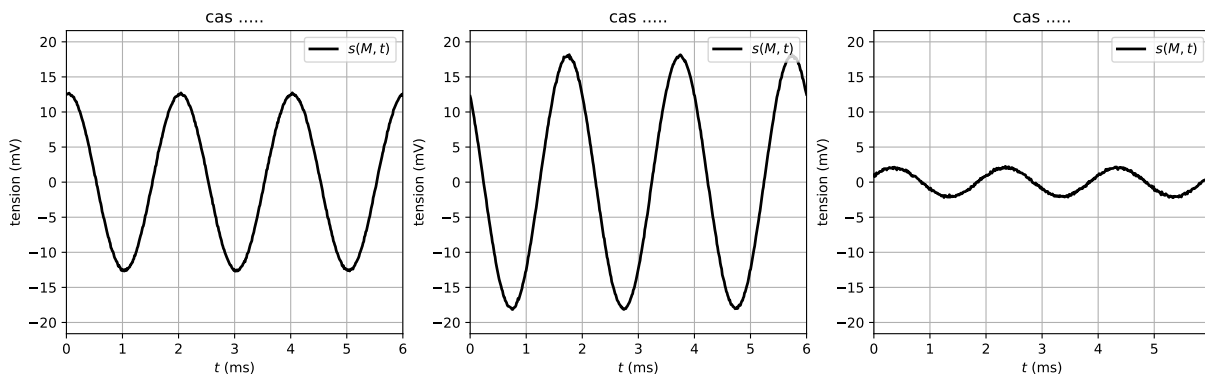
Observons les différentes situations ci-dessous. Il s'agit de représentations temporelles de  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$  pour différentes positions du capteur  $M$  dans le champ d'interférence.



Changer la position du capteur a notamment pour effet de modifier la valeur des temps de propagations  $\tau_{E_1 \rightarrow M}$  et  $\tau_{E_2 \rightarrow M}$ . Ainsi, le déphasage  $\Delta\varphi_{1/2}(M, t)$  entre  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$  change de valeur d'un graphique à l'autre.

Pour quel cas ci-dessus observera-t-on un signal résultant  $s(M, t)$  ...

... d'amplitude maximale ? .....      ... d'amplitude minimale ? .....



### Généralisation

On observera une :

- interférence **constructive** en  $M$  si les signaux  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$  sont .....

$$\Delta\varphi_{1/2}(M, t) = \dots\dots\dots$$

«Les effets des deux ondes coïncident.» D'où une **vibration résultante d'amplitude maximale**.

- interférence **destructive** en  $M$  si les signaux  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$  sont .....

$$\Delta\varphi_{1/2}(M, t) = \dots\dots\dots$$

«Les effets des deux ondes se compensent.» D'où une **vibration résultante d'amplitude minimale**.

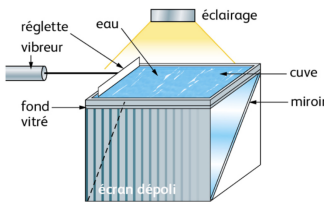
**(R)** Ces deux conditions sont indépendantes des valeurs prises par les amplitudes  $A_1$  et  $A_2$ . Il n'était donc pas nécessaire de négliger l'atténuation des ondes au cours de leur propagation, car l'atténuation n'affecte que la valeur des amplitudes  $A_1$  et  $A_2$  et pas celles des phases instantanées de  $s_1(M, t)$  et  $s_2(M, t)$ . Mais cela simplifie tout de même l'étude, et donc on ne s'en privera pas, dans un souci didactique ...

## B Superposition d'ondes synchrones

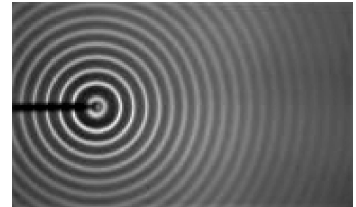
Dans cette partie,  $f_1 = f_2 = f$  (signaux synchrones). Et  $\varphi_{E_1} = \varphi_{E_2} = \varphi_0$  : signaux émis en phase donc, cela sera vérifié dans les exemples concrets abordés.

### B.1 Deux expériences à connaître

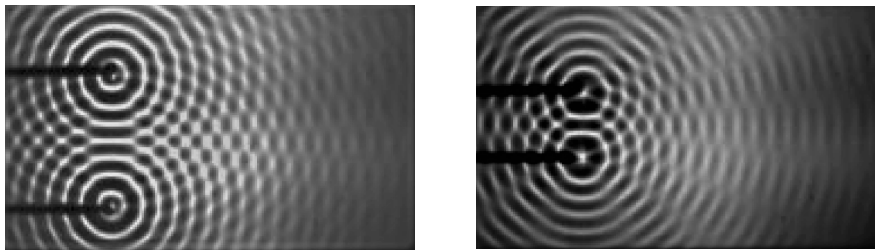
#### a. Observations d'interférences à l'aide d'une cuve à onde



Avec une cuve à ondes munie d'un vibreur et d'un éclairage stroboscopique de même fréquence que le vibreur, on peut observer le profil spatial d'une ou plusieurs ondes circulaires à la surface d'une petite étendue d'eau.



Lorsqu'on superpose deux ondes synchrones, on observe une **figure d'interférence** :

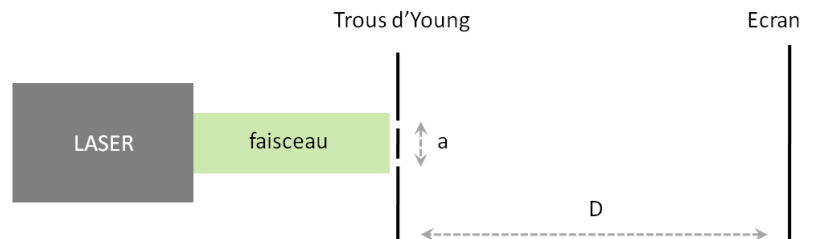


Les zones avec une succession fortement contrastée de fronts d'onde brillants et sombres correspondent à des interférences constructives alors que les zones uniformément grises correspondent à des interférences destructives.

#### b. Trous d'Young

##### ► Dispositif expérimental

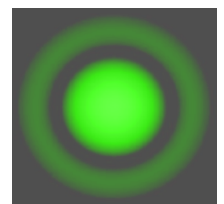
Deux trous séparés d'une distance  $a$  sont éclairés par une source monochromatique. On place un écran à une distance  $D \gg a$  (en pratique,  $D$  est de l'ordre du mètre, alors que  $a$  est de l'ordre de la centaine de  $\mu\text{m}$ ).



##### ► Diffraction par un unique trou

Un des deux trous est obstrué. Voir ci-contre la **figure de diffraction** observée sur l'écran.

(R) Cette figure est d'autant plus grande sur l'écran que la taille du trou est petite.

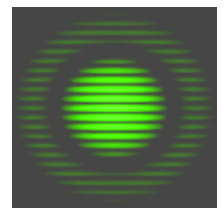


##### ► Diffraction par deux trous

Dans le cas où aucun trou n'est obstrué, voici ce qui est observé sur l'écran.

Il apparaît des **franges brillantes** et des **franges sombres** témoignant d'interférences constructives et destructives.

Les deux trous peuvent désormais diffracter la lumière. Les figures de diffraction sont identiques et très peu translatées l'une par rapport à l'autre car les trous sont très proches l'un de l'autre. Dans ce **recouvrement**, il apparaît donc une **figure d'interférence**.



Deux franges brillantes consécutives quelconques semblent être séparées d'une distance constante, appelée **interfrange**. Il est en de même pour les franges sombres.

Expérimentalement, on constate que l'**interfrange** est fonction croissante de la distance  $D$  et de la longueur d'onde  $\lambda$ , et fonction décroissante de la distance  $a$ .







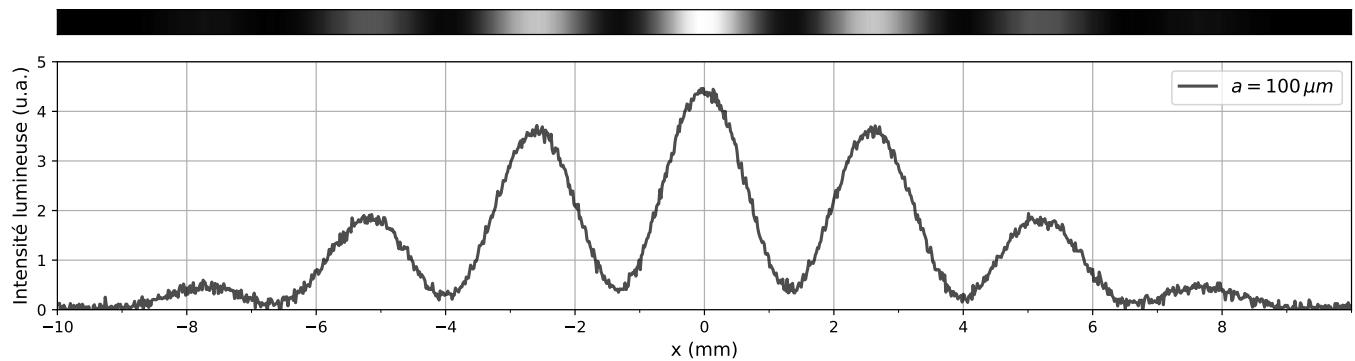
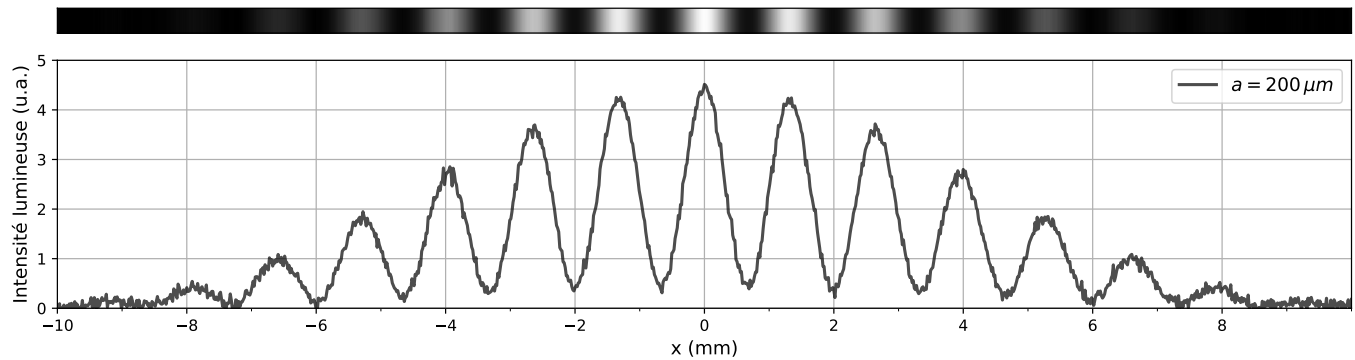




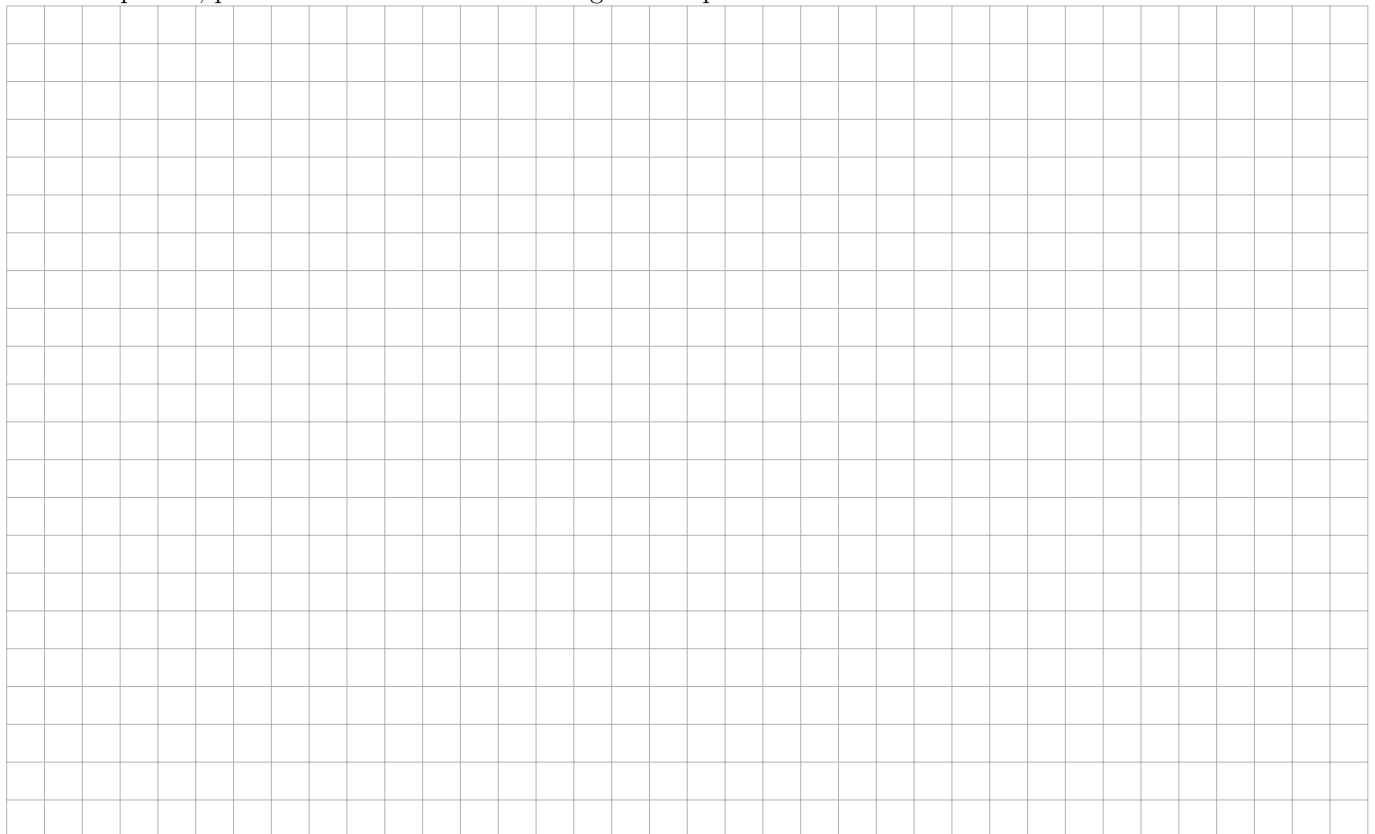
### ► Confrontation à l'expérience

Ci-dessous, un capteur CCD a permis d'enregistrer la figure d'interférence le long de l'axe  $Ox$  en employant un laser vert de longueur d'onde  $\lambda = 532,0 \text{ nm}$ . La distance écran-trous a été choisie à  $D = 50,0 \text{ cm}$ .

**(R)** On voit clairement l'influence de la diffraction qui a pour effet de moduler l'amplitude de la fonction  $I(x)$  tracée précédemment. On devine ainsi la taille des deux tâches principales de diffraction qui se recouvrent.



Dans chaque cas, prédisons la valeur de l'interfrange et comparons à la mesure.



L'accord entre le modèle et l'expérience est satisfaisant !

**(R)** En toute rigueur, il faudrait estimer les incertitudes de mesures et évaluer les écarts normalisés pour conclure ...

## C Superposition de signaux de fréquences voisines

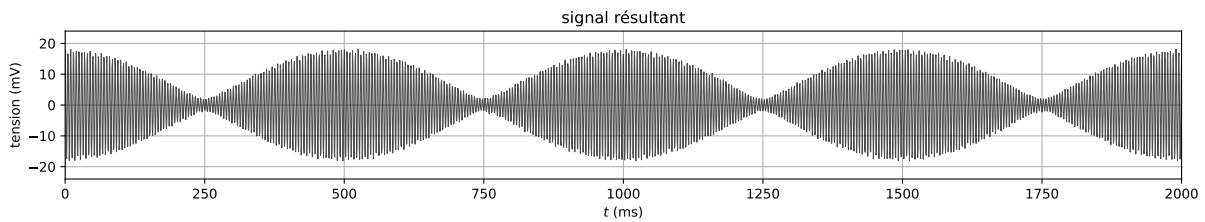
Dans cette partie,  $f_1 \neq f_2$  mais les deux fréquences sont de valeurs voisines. Et désormais, le capteur est fixe en une position donnée. On ne s'intéresse donc plus aux *interférences dans l'espace*. Par contre, on constatera qu'il existe des *interférences dans le temps* ...

Notons désormais simplement  $s_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$  et  $s_2(t) = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$  le signaux se superposant au niveau du capteur en  $M$ .

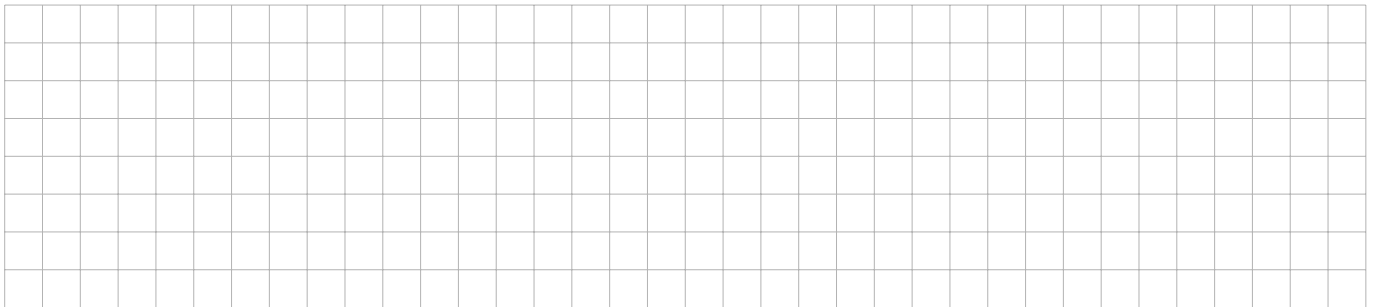
### C.1 Phénomène de battements

#### ► Expérience

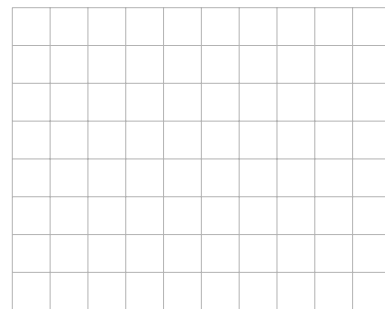
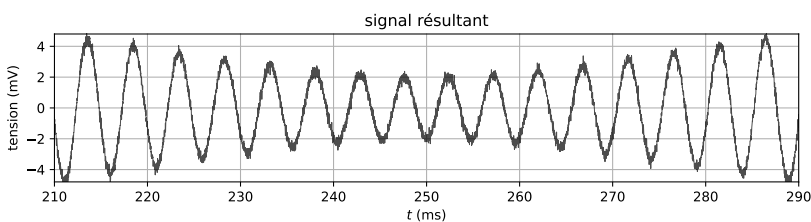
Avec deux hauts-parleurs émettant respectivement des sons sinusoïdaux de fréquences  $f_1 = 200$  Hz et  $f_2 = 202$  Hz, l'auditeur perçoit une modulation périodique du niveau sonore. Il s'agit du **phénomène de battements**. Par ailleurs, le microphone détecte le signal résultant suivant :



Quelle est la **période des battements** perçus, notée  $T_{batt}$  ? Quelle est la fréquence correspondante notée  $f_{batt}$  ?

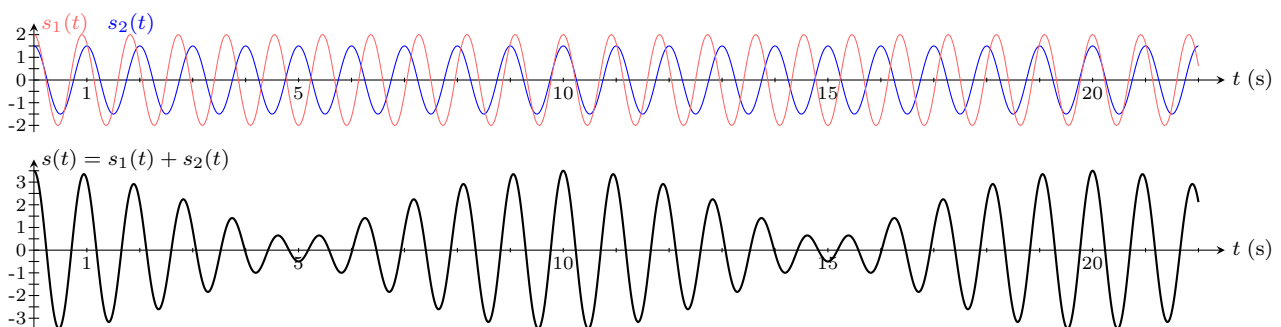


Voici un «zoom» au voisinage d'un minimum d'amplitude :



#### ► Analyse du phénomène

Dans les simulations graphiques ci-dessous, on a choisi  $A_1 = 1,5$  et  $A_2 = 2$  ainsi que  $f_1 = 1,0$  Hz et  $f_2 = 1,1$  Hz afin de faciliter la lecture graphique et donc la compréhension du phénomène.

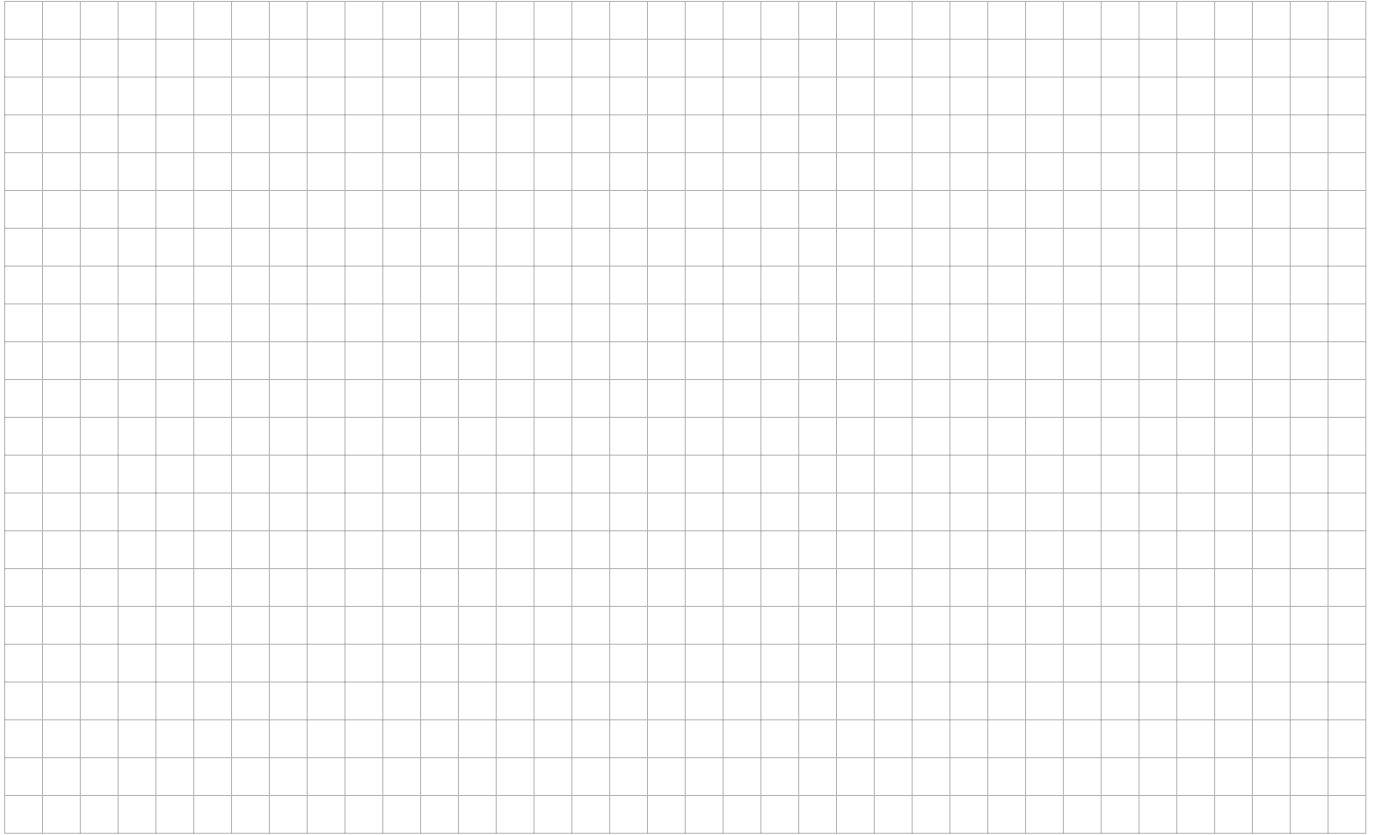




## C.2 Forme mathématique du signal résultant

### ► Forme analytique

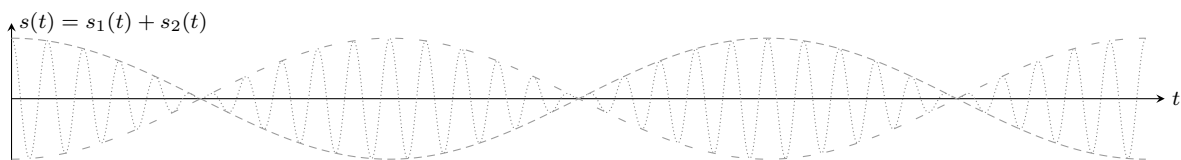
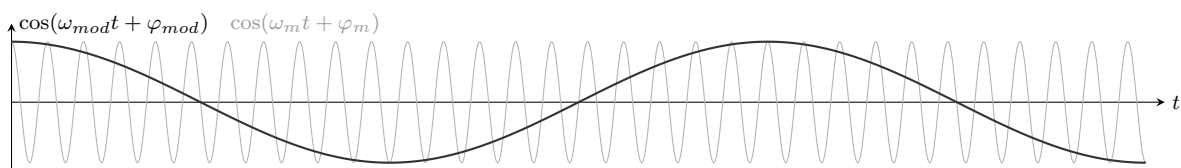
Dans le cas particulier  $A_1 = A_2 = A_0$ , cherchons à établir l'expression mathématique du signal résultant. On supposera ici  $f_1 > f_2$ .



Ainsi, tout se passe comme si  $s(t)$  était un signal sinusoïdal de fréquence  $f_{moy}$  mais dont l'amplitude évoluerait lentement dans le temps et s'exprimant ainsi :

$$2A_0 |\cos(\omega_{mod}t + \varphi_{mod})|$$

### ► Tracé graphique



Est-ce qu'on peut d'ailleurs retrouver ainsi la fréquence des battements ?

