

Exercice N°1 :

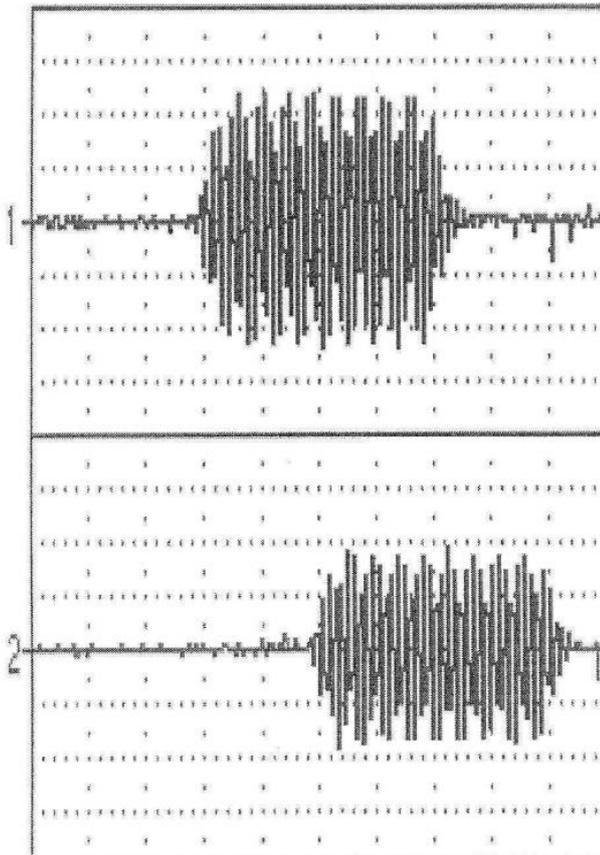
Cet exercice comporte 12 AFFIRMATIONS, toutes indépendantes, concernant les ondes étudiées en physique. À chaque affirmation, répondre par VRAI ou FAUX. Toute réponse doit être justifiée à l'aide de définitions, de calculs ou de schémas.

1^{ère} partie : Les ondes sonores et ultrasonores

Donnée : La célérité des ultrasons dans l'air est $V = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

Beaucoup d'animaux utilisent les ondes sonores ou ultrasonores pour communiquer entre eux, chasser leur proie ou se localiser. Pour illustrer quelques propriétés de telles ondes, on utilise des émetteurs et récepteurs ultrasonores.

Un émetteur et un récepteur d'ultrasons sont placés côte à côte face à une paroi réfléchissante. L'émetteur émet des salves d'ultrasons. Les tensions de sortie de l'émetteur et du récepteur sont observées sur l'écran d'un oscilloscope et sont données sur la figure ci-dessous :



Le coefficient de balayage horizontal est :
 $k = 1,0 \text{ ms / div}$

Écran 1 : signal de l'émetteur

Écran 2 : signal du récepteur

Activer V
Accédez aux

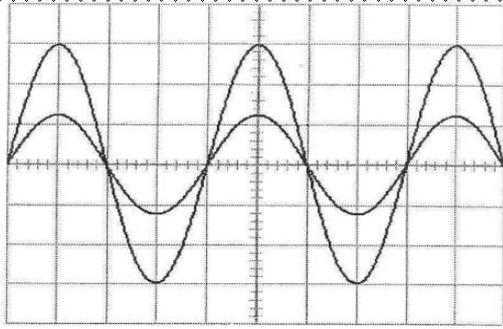
AFFIRMATION 1 : Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques. *faux*

AFFIRMATION 2 : Le retard Δt entre l'émission et la réception est de 2,0 ms. *faux*

AFFIRMATION 3 : L'émetteur et le récepteur sont alors placés à 34 cm de la paroi réfléchissante. *Faux*

On enlève maintenant la paroi réfléchissante, on place l'émetteur en mode continu. On place le récepteur face à l'émetteur de façon à obtenir deux signaux en phase.

On observe les signaux de sortie de l'émetteur et du récepteur sur la figure ci-dessous :



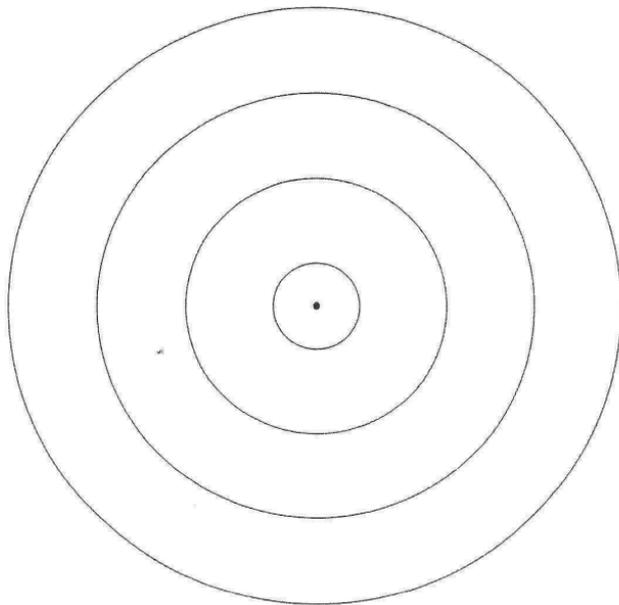
Le coefficient de balayage horizontal est :
 $k = 5,0 \mu\text{s} / \text{div}$

AFFIRMATION 4 : La fréquence des signaux est de 40 kHz.

AFFIRMATION 5 : Il faut éloigner le récepteur de 6,8 cm de l'émetteur pour que les signaux se retrouvent en phase pour la première fois.

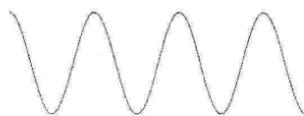
2^{ème} partie : Les ondes à la surface de l'eau

Un vibreur muni d'une pointe S crée une onde à la surface de l'eau d'une cuve à ondes. On obtient les relevés suivants, à l'échelle 1/2 :



Vue de dessus à l'échelle 1/2
 (1 cm sur la figure correspond à 2 cm en réalité)

Activer V



Vue de profil à l'échelle 1/2

AFFIRMATION 6 : L'onde formée est une onde périodique.

AFFIRMATION 7 : Cette onde est longitudinale.

AFFIRMATION 8 : La longueur d'onde vaut 2,5 cm.

3^{ème} partie : Les ondes lumineuses

On utilise un faisceau laser de longueur d'onde 633 nm et de diamètre 1 mm.

AFFIRMATION 9 : Ce faisceau laser subit une dispersion quand il passe à travers un prisme en verre.

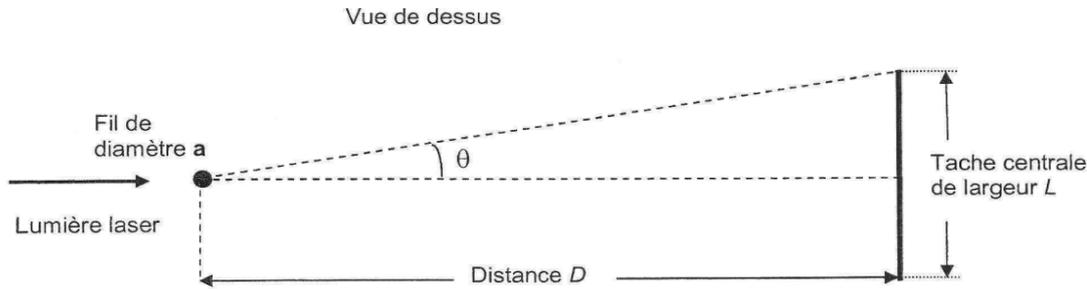
AFFIRMATION 10 : La valeur de l'indice de réfraction n d'un milieu dispersif dépend de la fréquence f de la radiation lumineuse qui le traverse.

AFFIRMATION 11 : Il subit une diffraction quand il passe au centre d'une fente de largeur 3 mm.

Le faisceau laser est intercepté par un fil vertical de diamètre a placé à la distance $D = 2,0 \text{ m}$ d'un écran. Le schéma ci-dessous fait apparaître :

- la largeur L de la tache centrale lumineuse observée sur l'écran ;
- la distance D entre le fil et l'écran ;
- l'écart angulaire θ .

On a mesuré $L = 1,3 \text{ cm}$.



AFFIRMATION 12 : Le diamètre du fil vaut environ $100 \mu\text{m}$.

NB : dans les conditions du montage, $\tan \theta \simeq \theta$, θ étant exprimé en radians.

Exercice N°2 :

I. Étude sur une cuve à ondes.

On laisse tomber une goutte d'eau sur une cuve à ondes. Le fond de la cuve à ondes présente un décrochement de telle sorte que l'onde créée par la chute de la goutte d'eau se propage d'abord à la surface de l'eau dont l'épaisseur au repos est $e_1 = 3 \text{ mm}$ puis ensuite à la surface de l'eau dont l'épaisseur au repos est $e_2 = 1 \text{ mm}$. On filme la surface de l'eau à l'aide d'une *webcam*. Le clip vidéo est effectué avec une fréquence de 24 images par seconde. Le document 1 (annexe 1) représente les positions du front de l'onde créée par la chute de la goutte d'eau, repérées sur les images n° 1, n° 7, n° 8 et n° 14 du clip.

- I.1. Donner les définitions d'une onde transversale et d'une onde longitudinale. À quelle catégorie appartient l'onde créée par la goutte d'eau sur la cuve à ondes ?
- I.2. Calculer la célérité c de cette onde pour les deux épaisseurs d'eau mentionnées dans le document 1 (annexe 1). L'échelle de ce document est 1 (1 cm représente 1 cm).
- I.3. Comment varie, dans cet exemple, la célérité c de l'onde en fonction de l'épaisseur de l'eau ?

II. Ondes périodiques.

On installe sur la cuve à ondes un vibreur qui permet d'obtenir des ondes planes. La fréquence du vibreur a été fixée à 24 Hz. Une source lumineuse éclaire la surface de l'eau. Cette lumière traverse l'eau et est captée ensuite par la *webcam*. Le document 2 d'échelle 1 (annexe 1) représente l'onde périodique obtenue à partir d'une image du clip vidéo.

- II.1. Comment appelle-t-on la distance séparant deux franges brillantes (ou sombres) successives ? Quelle relation lie cette grandeur à la célérité c de l'onde et sa période temporelle T ?
- II.2. À l'aide du document 2 (annexe 1), calculer la célérité c de l'onde périodique pour les deux épaisseurs d'eau de 3 et 1 mm. Quelle est l'influence de l'épaisseur de l'eau sur la célérité de l'onde périodique ?
- II.3. On utilise maintenant une cuve à ondes sans décrochement. L'épaisseur de l'eau au repos est constante. Après avoir fait varier la fréquence du vibreur, on a réalisé des photographies et on a mesuré la longueur d'onde λ pour chacun des enregistrements. Les résultats ont été consignés dans le tableau ci-dessous.

f (Hz)	12	24	48	96
λ (m)	0,018	0,0097	0,0059	0,0036

Calculer la célérité c de l'onde périodique pour chaque enregistrement. Comment évolue cette célérité en fonction de la fréquence de l'onde ?

III. Un phénomène caractéristique des ondes.

III.1. Expérience sur les ondes lumineuses.

On place sur un faisceau laser une fente de dimension $a = 0,08$ mm. On place après la fente un écran. La distance entre la fente et l'écran est $D = 3,00$ m, (voir **figure 1 document 3 annexe 2**).

La figure obtenue sur l'écran est représentée sur la **figure 2 document 3 (annexe 2)**.

III.1.1. Comment se nomme le phénomène observé ?

III.1.2. L'écart angulaire θ entre le milieu de la tache centrale et la première extinction vérifie la relation :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Calculer la longueur d'onde de ce faisceau laser (on considérera que cet écart angulaire θ est faible et que donc $\theta \approx \tan\theta$ si θ est exprimé en radians).

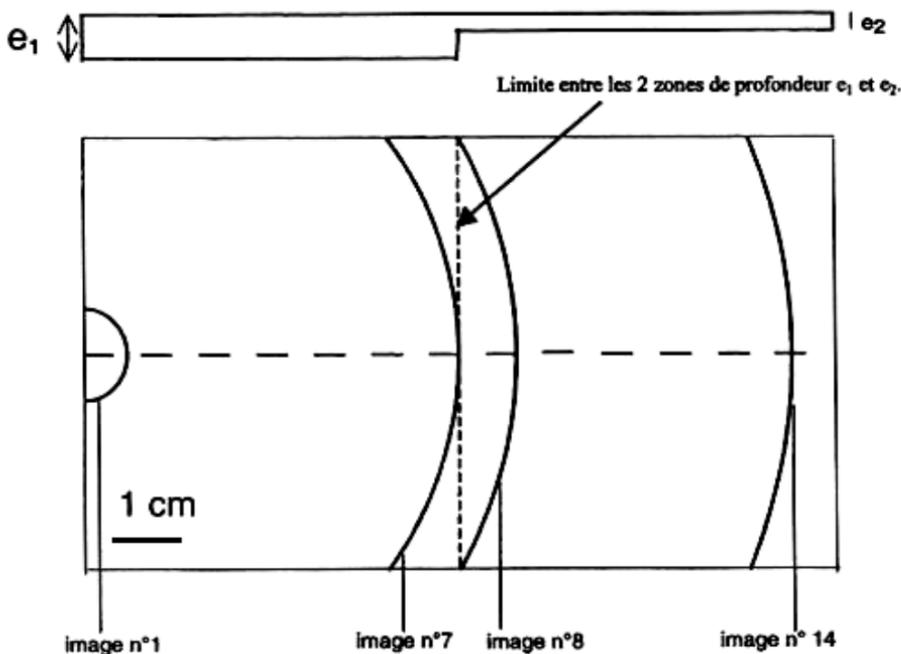
III.2. Étude sommaire de la houle.

La houle prend naissance sous l'effet du vent loin des côtes. Un vent de 65 km.h^{-1} engendre une houle dont les vagues font 1 mètre de hauteur. Ces vagues sont espacées de 230 mètres. Une vague remplace la précédente après une durée de 12 secondes.

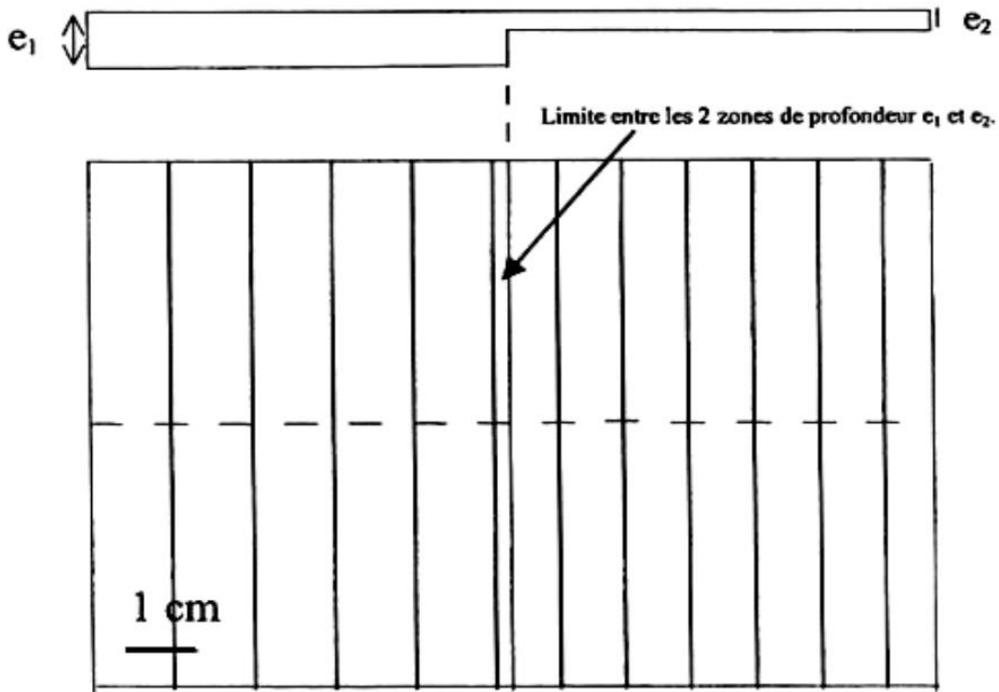
III.2.1. Calculer la vitesse de déplacement des vagues à la surface de l'océan.

III.2.2. Cette houle arrive sur un port dont l'ouverture entre deux jetées a une largeur $a = 200$ m. Un bateau est stationné au fond du port comme indiqué sur le schéma du **document 4**. Ce bateau risque-t-il de ressentir les effets de la houle ? Justifier la réponse à l'aide d'un schéma reproduit sur la copie.

Document 1



Document 2



Document 3

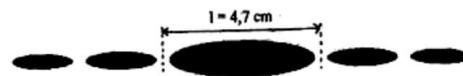
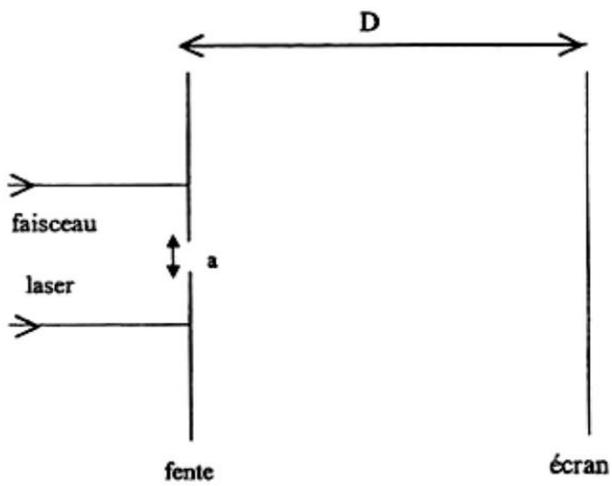
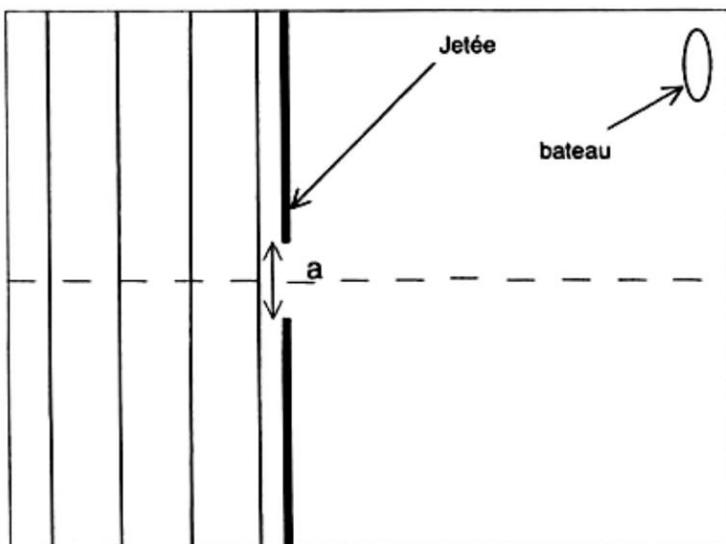


Figure 1 : schéma du dispositif

Figure 2 : Figure observée sur l'écran

Document 4



Exercice N°3 :

LIGO et VIRGO sont deux interféromètres, situés, respectivement aux États-Unis et en Italie. Ils ont pour but la détection d'ondes gravitationnelles. Ces phénomènes, dont Einstein avait prédit l'existence en 1916, ont été observés pour la première fois en 2015 au LIGO. Il s'agit de phénomènes de propagation de nature complexe qui se produisent lors de la réunion de trous noirs ou d'explosion de supernovæ. Ces ondes gravitationnelles sont capables de déplacer des corps massifs mais ces déplacements sont imperceptibles à échelle humaine.

La description de l'interféromètre VIRGO permet de comprendre le principe de la mesure. Il est composé de deux tubes sous vide de 3 kilomètres de long disposés à angle droit. Aux extrémités sont installés deux miroirs parmi les plus parfaits au monde. Un faisceau laser, émis par une source, est divisé en deux grâce à un diviseur de faisceau. Les rayons ainsi produits se réfléchissent sur un des miroirs, et sur l'autre. Après leurs allers-retours, ces deux rayons laser se combinent et forment des interférences avant d'atteindre le détecteur (figure 1).

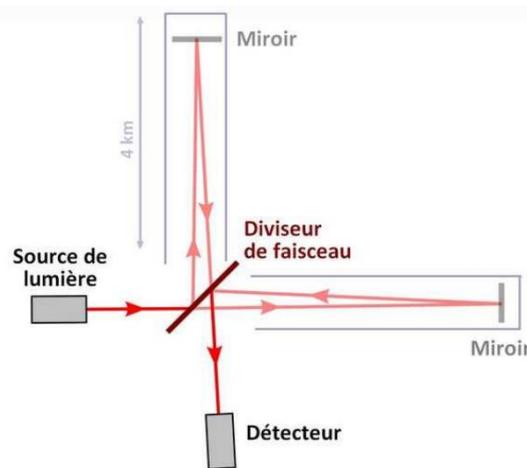


Figure 1. Schéma illustrant le fonctionnement d'un interféromètre (schéma d'après Stannered, GFDL)

Le principe de VIRGO consiste donc à faire interférer les deux rayons qui ont été réfléchis sur les deux miroirs différents. Les miroirs sont positionnés de façon à ce que les deux faisceaux interfèrent, en l'absence d'onde gravitationnelle, de façon destructive au niveau du détecteur.

D'après les propos de Nathalie Duruelle directrice de recherche au CNRS : « *quand une onde gravitationnelle passe sur Terre, le temps d'aller et retour de la lumière entre les deux miroirs va changer, puisque l'un se sera un tout petit peu rapproché et l'autre un tout petit peu éloigné compte tenu de leur disposition en angle droit. A l'arrivée, les deux ondes lumineuses ne s'annulent plus au moment de se combiner et le récepteur détecte un signal lumineux.* »

Afin de comprendre le principe de fonctionnement de l'interféromètre VIRGO, un dispositif avec des fentes d'Young est réalisé au laboratoire (figure 2). Une lumière laser de longueur d'onde λ éclaire deux fentes étroites S_1 et S_2 situées à égales distances de la source S et séparées de la distance d . Le point P , proche de O , est repéré sur un écran éloigné d'une distance D des deux sources telle que $D \gg d$.

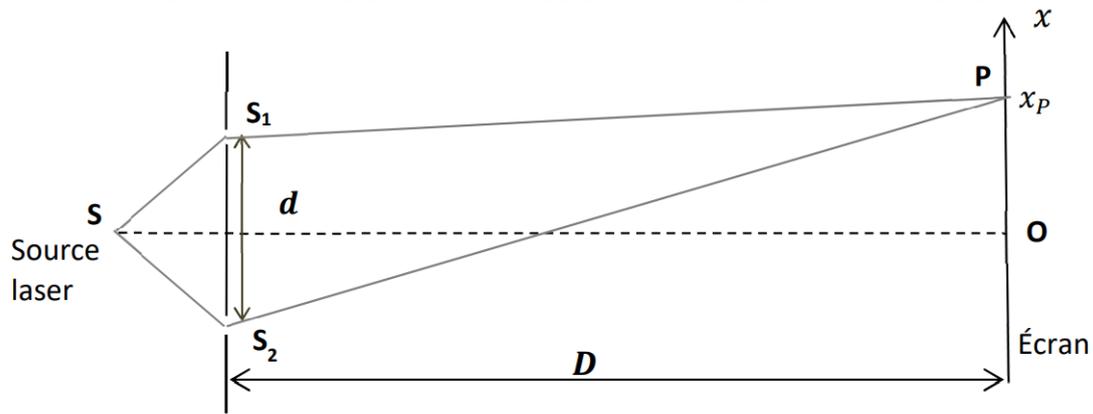


Figure 2. Dispositif des fentes d'Young vu de dessus

Données :

- distance entre les fentes et l'écran : $D = 2,0$ m
- distance entre les centres des fentes : $d = 0,20$ mm
- longueur d'onde du laser : $\lambda = 6,0 \times 10^{-7}$ m
- dans le cas de l'expérience, $S_2P - S_1P$ est la différence entre les deux distances parcourues par les deux ondes.

Elle s'exprime par la relation approximative : $S_2P - S_1P = \frac{d \times x_P}{D}$

On considère, dans un premier temps, le point P tel que la différence $S_2P - S_1P$ a pour valeur $1,5 \times 10^{-6}$ m.

1. Déterminer si les interférences en P sont constructives ou destructives. Préciser ce qui sera observé en P sur l'écran.
2. Calculer la valeur de l'abscisse x_P du point P.
3. Donner les valeurs des abscisses les plus proches de celle de P où le même phénomène est observable. En déduire la valeur de l'interfrange i .
Le candidat est invité à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

On ajoute sur le chemin S_1P un objet transparent qui ralentit la lumière et modifie ainsi le déphasage entre les deux ondes issues de S_1 et S_2 . Ce déphasage peut être modélisé par une nouvelle valeur $S_2P - S_1P$ telle que $S_2P - S_1P = 1,2 \times 10^{-6}$ m.

4. Préciser le changement observé sur l'écran au point P.
5. Expliquer comment cette expérience permet de comprendre le principe de l'interféromètre gravitationnel.