

# Physique - Chimie

## DEVOIR SUR TABLE N° 2

L'épreuve a été conçue pour être traitée sans calculatrice.

**L'usage des calculatrices est rigoureusement interdit.**

**TOUT DOCUMENT INTERDIT.**

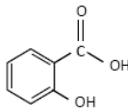
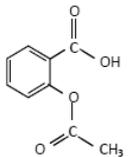
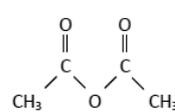
Les résultats numériques doivent être précédés d'un **calcul littéral**.

**La présentation et la rédaction** font partie du sujet et interviennent dans la notation.

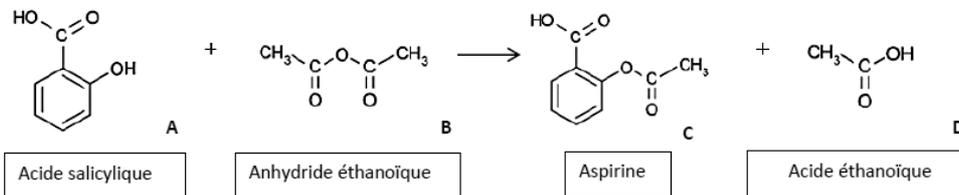
L'épreuve est **notée sur 16 points** auxquels s'ajouteront les points d'épreuve pratique sur 4 points.

**I] EXERCICE 1 :** sur 4,0 points. **UNE SYNTHÈSE DE L'ASPIRINE**

Données.

Nom	Acide salicylique	Acide acétylsalicylique	Anhydride éthanoïque
Formule			
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	138	180	102
Masse volumique (g.mL <sup>-1</sup> )			1,08
Solubilité dans l'eau	Eau froide : peu soluble Eau chaude : soluble	Eau froide : peu soluble Eau chaude : soluble	Soluble S'hydrolyse facilement
Pictogrammes			

La réaction de synthèse de l'aspirine a pour équation :



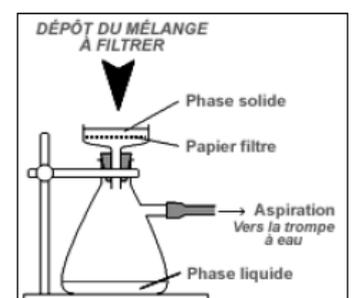
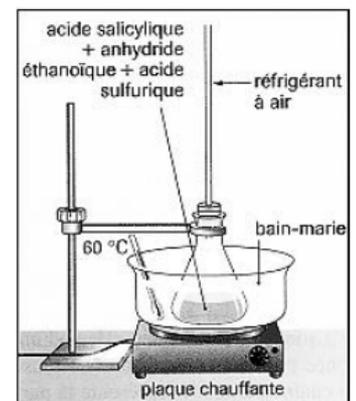
**Protocole opératoire.**

Synthèse.

- ✓ Observer les pictogrammes des réactifs utilisés et s'organiser en conséquence.
- ✓ Préparer un bain marie à 70°C dans un récipient en utilisant de l'eau chaude au départ. La température ne devra pas dépasser 80°C.
- ✓ Dans un erlenmeyer sec, fixé à un support et placé dans le bain marie sans toucher le fond du récipient, introduire :
  - un barreau aimanté ;
  - une masse **m** = 3,50 g d'acide salicylique en poudre ;
  - avec précaution, **V** = 5,00 mL d'anhydride éthanoïque ;
  - 2 gouttes d'acide sulfurique concentré avec un compte-goutte.
- ✓ Adapter un réfrigérant à air sur l'erlenmeyer comme indiqué sur le schéma ci-contre.
- ✓ Lancer une agitation douce.
- ✓ Chauffer le mélange au bain marie pendant 20 min environ, en maintenant l'agitation douce.
- ✓ Au bout de 20 min, cesser de chauffer ; sortir l'erlenmeyer du bain marie et le laisser refroidir une minute à l'air libre. Ne pas retirer le réfrigérant à air.

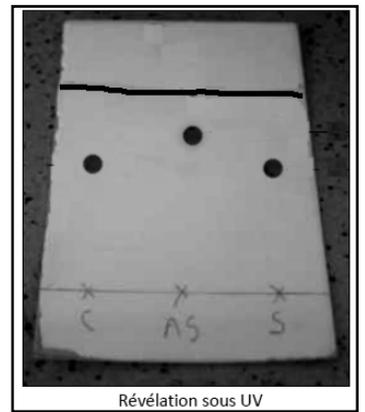
Cristallisation et isolement de l'aspirine.

- ✓ Refroidir l'erlenmeyer sous l'eau du robinet puis ajouter 70 mL d'eau distillée froide afin de détruire, d'une part, l'excès d'anhydride éthanoïque et, d'autre part, d'observer le début de la cristallisation de l'aspirine.
- ✓ Favoriser la cristallisation en grattant le fond de l'erlenmeyer avec un agitateur en verre.
- ✓ Placer l'erlenmeyer dans un bain d'eau glacée (eau froide + glaçons) pendant 10 minutes. Ne pas agiter !
- ✓ Filtrer les cristaux obtenus sur filtre Büchner (voir schéma ci-contre) et les rincer à l'eau distillée froide.
- ✓ Sécher plusieurs fois les cristaux formés entre deux morceaux de papier-filtre et peser l'aspirine obtenue en la plaçant dans un verre de montre préalablement pesé.



Analyse du produit purifié.

- ✓ Verser 5 ml d'éluant dans le bécher à chromatographie.
- ✓ Préparer une solution dans l'éthanol des cristaux synthétisés (2 pointes de spatule dans un mini tube).
- ✓ Sur la plaque C.C.M., pour chaque solution, faire 2 dépôts (vérifier les dépôts sous U.V.).
  - C** : solution dans l'éthanol d'aspirine contenue dans un Comprimé du commerce.
  - AS** : solution dans l'éthanol d'Acide Salicylique.
  - S** : solution dans l'éthanol des cristaux Synthétisés.
- ✓ Mettre à éluer.
- ✓ Révéler sous U.V. et entourer les tâches observées.  
On obtient le *chromatogramme ci-contre*.



### Questions.

1. Pourquoi chauffe-t-on le milieu réactionnel ?
2. Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?
3. Identifier les groupes caractéristiques oxygénés présents dans la molécule d'aspirine.
4. Calculer la quantité de matière initiale  $n_{a-sal}$  d'acide salicylique.
5. Calculer la quantité de matière initiale  $n_{a-éth}$  d'anhydride éthanoïque.
6. Calculer la quantité de matière maximale  $n_{max-asp}$  d'aspirine formée.
7. Déterminer le rendement  $r$  de la synthèse, sachant que la masse d'aspirine synthétisée pesée est :  $m_{asp} = 4,20$  g.
8. Le produit synthétisé est-il pur ? *Justifier*.

Aides aux calculs :  $3,5 \times 1,38 \approx 4,83$  ;  $\frac{3,5}{1,38} \approx 2,54$  ;  $5,4 \times 1,02 \approx 5,51$  ;  $\frac{5,4}{1,02} \approx 5,29$  ;  $\frac{4,2}{1,8} \approx 2,33$ .

## II ] EXERCICE 2 : sur 7,0 points.

### L'ÉCHOGRAPHIE

Dans cet exercice, les résultats numériques seront donnés avec 2,0 chiffres significatifs.

En médecine, l'échographie est un examen courant, indolore et non dangereux permettant l'observation « directe » d'organes internes. La technique de l'échographie utilise des ondes ultrasonores produites par une sonde jouant le rôle d'émetteur et de récepteur. Les fréquences utilisées dépendent des organes ou des tissus biologiques à sonder (2 MHz à 15 MHz).

Pour obtenir une image par échographie on exploite entre autres, les propriétés suivantes des ondes ultrasonores :

- la célérité et l'absorption de l'onde ultrasonore dépendent du milieu traversé
- lorsqu'elle change de milieu, une partie de l'onde incidente est réfléchie, l'autre est transmise (elle continue son chemin). On dit qu'il y a réflexion partielle lorsqu'il y a changement de milieu aux interfaces tissulaires.

Connaissant les temps de retour des échos, leurs amplitudes et leurs célérités, on en déduit des informations sur la nature et l'épaisseur des tissus traversés. Un ordinateur compile toutes les informations et fournit des images de synthèse des organes sondés.

L'objectif de cet exercice est d'illustrer le principe de l'échographie linéaire unidimensionnelle par la mesure de l'épaisseur d'un obstacle.

#### 1. Les ondes ultrasonores

1.1. Les ondes sonores et ultrasonores sont des ondes mécaniques.

Définir ce qu'on appelle une onde mécanique.

1.2. Les ondes ultrasonores sont des ondes longitudinales.

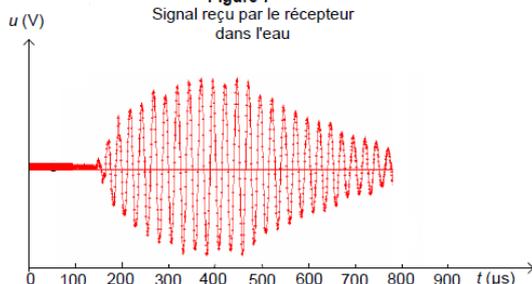
Donner la définition d'une onde longitudinale.

#### 2. Vitesse de propagation et milieu de propagation

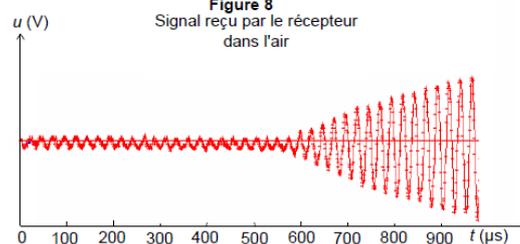
Un émetteur ultrasonore est relié à un générateur de salves. L'émetteur est le siège d'oscillations très brèves. Le récepteur transforme l'onde ultrasonore reçue en signal électrique de même fréquence que cette onde. L'émetteur et le récepteur, placés dans un même milieu, en regard l'un de l'autre et à une distance donnée  $\ell$ , sont reliés à un oscilloscope à mémoire. Les acquisitions sont transférées vers un tableur grapheur scientifique.

Les graphes ci-dessous donnent le signal capté par le récepteur. L'origine des dates  $t = 0$  s est l'instant de l'émission. Selon les milieux traversés on obtient les deux enregistrements **figure 7** et **figure 8** ci-dessous.

**Figure 7**  
Signal reçu par le récepteur dans l'eau



**Figure 8**  
Signal reçu par le récepteur dans l'air



2.1. Sans faire de calcul, expliquer à l'aide des graphiques dans quel milieu la propagation des ultrasons est la plus rapide.

2.2. L'émetteur et le récepteur sont séparés par une distance  $\ell = 20,0 \text{ cm}$ .

Calculer la vitesse de propagation des ultrasons dans l'eau.

### 3. Comprendre le principe de l'échographie - Modélisation

Dans un récipient rempli d'eau, on place une plaque de Plexiglas® d'épaisseur  $e$ . L'eau simule le corps humain dont la composition est de 65 à 90 % d'eau (excepté pour les os et les dents). La plaque de plexiglas simule un muscle dense.

Une sonde échographique constituée d'un émetteur et d'un récepteur est plongée dans l'eau. Les signaux émis et reçus par la sonde sont très brefs. Sur les oscillogrammes, on représentera par un pic simple les signaux nécessaires à l'exploitation. On choisit sur les oscillogrammes l'origine des dates à l'instant de l'émission du signal.

Schéma de principe :

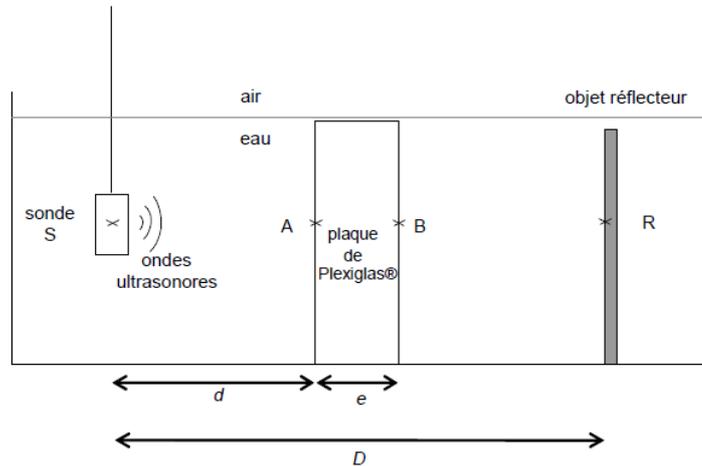
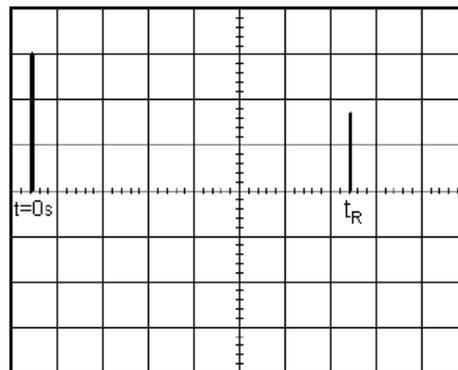


Figure 9

3.1. L'oscillogramme **figure 10** est obtenu sans la plaque de Plexiglas®. À l'instant  $t = 0 \text{ s}$  on visualise le signal émis par la sonde. À l'instant  $t_R$ , on visualise l'écho réfléchi sur l'objet réflecteur, on l'appellera écho de référence.



La durée de balayage de l'oscilloscope est  $\tau_{osc} = 20 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Figure 10

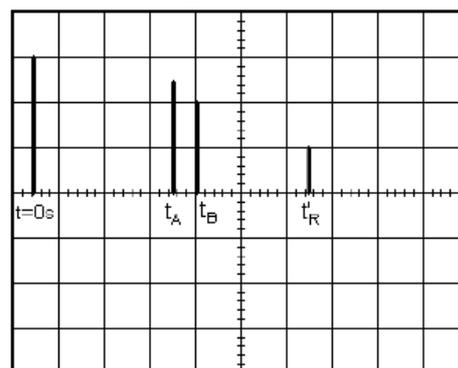
3.1.1. À l'aide de l'oscillogramme **figure 10**, déterminer la date  $t_R$ .

3.1.2. Établir que l'expression de la date  $t_R$  en fonction de la distance  $D$  et de la célérité  $v$  des

ultrasons dans l'eau est :  $t_R = \frac{2 \cdot D}{v}$

3.2. L'oscillogramme **figure 11** est obtenu avec la plaque de Plexiglas®.  $t_A$  et  $t_B$  sont les dates auxquelles la sonde détecte les ondes réfléchies par les faces de la plaque de Plexiglas®.

Le nouvel écho de référence arrive à la date  $t'_R$ .



La durée de balayage de l'oscilloscope est  $\tau_{osc} = 20 \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$ .

Figure 11

3.2.1. Les ultrasons se propagent-ils plus vite dans l'eau ou dans le Plexiglas®? Justifier en comparant les résultats obtenus sur **figures 10 et 11**.

3.2.2. On appelle  $v'$  la vitesse de propagation des ultrasons dans le Plexiglas®.

a. Montrer que, la longueur  $L$  du trajet total aller-retour du signal dans l'eau uniquement est :

$$L = 2 \cdot (D - e)$$

b. À l'aide de la question 3.2.2.a, exprimer  $t'_R$  en fonction de  $D$ ,  $e$ ,  $v$  et  $v'$ .

3.2.3. Donner l'expression de la date  $t_A$ , date à laquelle la sonde reçoit l'écho dû à la réflexion partielle au point A, en fonction de  $d$  et  $v$ .

3.2.4. Donner l'expression de la date  $t_B$ , date à laquelle la sonde reçoit l'écho dû à la réflexion partielle au point B, en fonction de  $d$ ,  $e$ ,  $v$  et  $v'$ .

3.3. Exploitation des résultats

À partir des expressions de  $t_R$  et  $t'_R$  on montre que  $t_R - t'_R = \frac{2e}{v} - \frac{2e}{v'}$  (**relation 1**)

À partir des expressions de  $t_A$  et  $t_B$  on montre que  $t_B - t_A = \frac{2e}{v'}$  (**relation 2**)

3.3.1. En utilisant les **relations 1 et 2**, montrer que l'épaisseur  $e$  de la plaque a pour expression :  $e = \frac{v}{2}(t_R - t'_R + t_B - t_A)$ .

3.3.2. Connaissant les dates suivantes :  $t'_R = 1,2 \times 10^{-4}$  s ;  $t_A = 6,2 \times 10^{-5}$  s ;  $t_B = 7,2 \times 10^{-5}$  s, calculer la valeur de l'épaisseur de la plaque en prenant  $v = 1,43 \times 10^3$  m.s<sup>-1</sup>

3.3.3. À partir de la **relation 2**, exprimer  $v'$  en fonction de  $e$ ,  $t_A$  et  $t_B$  puis calculer sa valeur. Ce résultat est-il en accord avec la question 3.2.1. ?

### III ] EXERCICE 3 : sur 5,0 points. **GRAVIMÉTRIE**

#### 1. Mesure de $g$ et prévision des séismes.

La prévision des séismes demeure un défi majeur posé aux géophysiciens. Une nouvelle voie de recherche utilisant la gravimétrie pourrait prédire les tremblements de terre à moyen terme (2 – 3 ans). En effet des études scientifiques ont mis en évidence une variation anormale du champ de pesanteur local précédant le déclenchement d'un séisme. Ainsi, il est nécessaire d'avoir à disposition un instrument qui permette une mesure suffisamment précise de la valeur  $g$  du champ de pesanteur local ; c'est le rôle du gravimètre dont le fonctionnement est étudié ci-après.

Des chercheurs ont réalisé des mesures répétées de  $g$  dans différentes régions de la Chine entre 1998 et 2005 à l'aide de gravimètres. Ils ont constaté une variation sensible de  $g$  avant le déclenchement d'un séisme dans une de ces régions.

Le Gal est une unité d'accélération : 1 Gal = 1 cm.s<sup>-2</sup>. Son nom provient du célèbre physicien italien Galilée. Les mesures sont rassemblées dans le tableau suivant.

Lieu du séisme (province)	magnitude	date du séisme	Variation de gravité $\Delta g$ (en $\mu\text{Gal}$ )
Kunlun (Xinjiang)	8,1	14 Nov. 2001	130
Côte Est de Taïwan	7,5	31 Mars 2002	80
Wangqing (Jilin)	7,2	29 Juin 2002	60
Jashi (Xinjiang)	6,8	24 Fév. 2003	60
Frontière entre Chine et Russie	7,9	28 Sep. 2003	60
Gaizhe (Tibet)	6,9	9 Jan. 2008	80
Yutian (Xinjiang)	7,3	21 Mars 2008	90
Wenchuan (Sichuan)	8,0	12 Mai 2008	130

Figure 1. Tableau présentant les séismes d'envergure (magnitude supérieure à 6,8) ayant eu lieu en Chine entre 2001 et 2008 et les variations de gravité observées entre 1998 et 2005

Donner la variation de gravité en m.s<sup>-2</sup> précédant le séisme survenu à Wangqing en 2002.

#### 2. Principe de fonctionnement d'un gravimètre.

Un gravimètre est un appareil permettant de déterminer la valeur  $g$  du champ de pesanteur. Une des méthodes consiste à mesurer l'accélération d'un corps qui chute en l'absence de tout frottement. Pour cela on lâche un objet et on mesure le temps qu'il met pour parcourir une certaine distance.

Dans le dispositif étudié, un miroir tombant de masse  $m$ , enfermé dans une chambre à vide, est lâché sans vitesse initiale, à la position  $z = 0$  (voir **Figure 2 page 5**). Un faisceau laser est envoyé sur une lame semi-réfléchissante qui le sépare en deux au point **A** (voir **Figure 2 page 5**). Une partie de ce faisceau la traverse et atteint directement le détecteur (trajet **S-A-D**). L'autre partie est réfléchiée vers le miroir tombant, puis poursuit son trajet jusqu'à atteindre à son tour le détecteur (trajet **S-A-B-A-C-A-D**). Les deux parties du faisceau interfèrent au niveau du détecteur.

Le laser utilisé a une longueur d'onde dans l'air connue avec une grande précision :  $\lambda = 632,991\ 357$  nm.

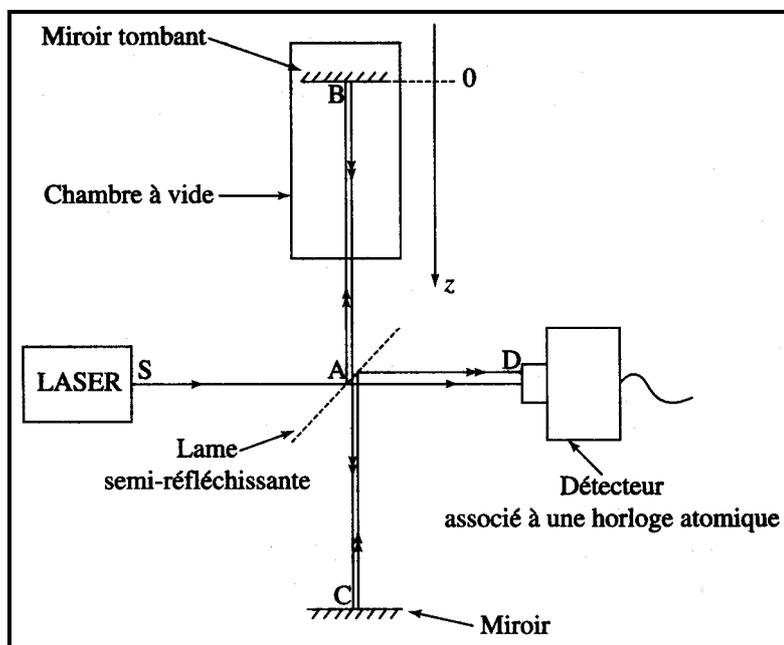


Figure 2. Principe de fonctionnement du gravimètre.

2.1. Quel est l'intérêt de la chambre à vide dans ce dispositif ?

2.2. On appelle  $z$  la position verticale du miroir tombant. Son mouvement est décrit par l'équation horaire :

$$z(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2.$$

Quelles sont les deux grandeurs physiques qu'il faudrait mesurer pour accéder à la valeur  $g$  du champ de pesanteur local ?

### 3. Mesure de $g$ à l'aide du gravimètre.

Afin de mesurer avec une certaine précision la valeur de  $g$ , on utilise une méthode interférométrique. Au cours de la chute du miroir, le détecteur enregistre l'évolution temporelle de l'intensité lumineuse  $I$  due aux interférences entre les deux faisceaux reçus au point  $D$ . On calcule ensuite le rapport  $I / I_{\max}$  (Voir graphe de la Figure 3).

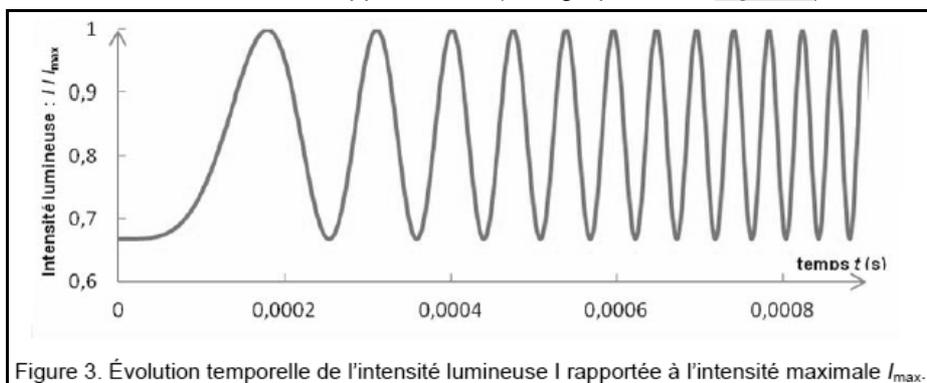


Figure 3. Évolution temporelle de l'intensité lumineuse  $I$  rapportée à l'intensité maximale  $I_{\max}$ .

3.1. À quoi est dû le phénomène d'interférences ?

3.2. Que peut-on dire de l'intensité  $I$  reçue par le détecteur lorsque les deux faisceaux interfèrent de manière destructive ? Et de manière constructive ?

3.3. Soit :  $\Delta t = t_2 - t_1$  où  $t_2$  et  $t_1$  représentent respectivement les durées des trajets lumineux **S-A-B-A-C-A-D** et **S-A-D**. Choisir parmi les propositions suivantes, l'expression de  $\Delta t$  lorsque les deux faisceaux interfèrent en  $D$  de manière destructive. Justifier la réponse.

a.  $k.T$  ; b.  $k \cdot \frac{T}{2}$  ; c.  $(2k + 1) \cdot \frac{T}{2}$  ; d.  $(2k + 1).T$ .

avec  $k$  entier, et  $T$  la période de l'onde émise par le laser.

3.4. Dans la suite, on admettra que la distance  $\Delta z$  parcourue par le miroir tombant pendant l'intervalle de temps séparant 2 interférences destructives consécutives vaut  $\frac{\lambda}{2}$  où  $\lambda$  désigne la longueur d'onde du laser.

3.4.1. Compléter le texte à trous suivant qui justifie la phrase qui précède, en indiquant sur la copie l'expression correspondant à chaque numéro.

La durée  $t_1$  du trajet **S-A-D** est constante. Pour une variation de hauteur du miroir tombant de  $\Delta z$ , la longueur du trajet **S-A-B-A-C-A-D** varie de (1) \_\_\_\_\_ à cause de l'aller-retour **A-B-A** du rayon lumineux.

Entre deux interférences destructives consécutives,  $\Delta t = t_2 - t_1$  varie de (2) \_\_\_\_\_.

On en déduit donc que : (3)  $\Delta z =$  \_\_\_\_\_.

3.4.2. Le miroir parcourt au cours de sa chute une distance  $d = 20$  cm. Choisir parmi les propositions suivantes la valeur estimée du nombre d'interférences destructives détectées. *Justifier la réponse par un calcul.*

a.  $6 \cdot 10^5$ ;    b.  $6 \cdot 10^{-6}$ ;    c.  $6 \cdot 10^7$ .

3.5. Pourquoi les interférences destructives sont-elles de plus en plus rapprochées dans le temps (Voir *Figure 3*) ?