

EPREUVE COMMUNE DE SCIENCES PHYSIQUES

Ce sujet est destiné aux élèves ayant choisi la spécialité sciences physiques

Mai 2015

Durée : 3h30

L'USAGE DE LA CALCULATRICE EST AUTORISE

Le sujet comporte 11 pages dont **2 annexes (pages 11 à 12) à rendre avec votre copie.**

Toute réponse doit être justifiée. Un raisonnement rigoureux est exigé.

Il sera tenu compte dans la note de la présentation du devoir.

Tout exercice doit être commencé sur une nouvelle copie.

Ce sujet comporte 4 exercices indépendants les uns des autres :

I	Le lancer de poids	4,5 points
II	Des ondes au service de l'Homme	6 points
III	Etude de la vitamine C	4,5 points
IV	Etude de la présence des ions nitrate dans l'eau d'une mare	5 points

(page vierge)

Exercice I : le lancer de poids

Le lancer de poids est une discipline de l'athlétisme qui consiste à projeter le plus loin possible une boule métallique. La masse de la boule est de 7,26 kg pour les hommes et de 4,0 kg pour les femmes. À la différence du disque ou du javelot, les facteurs aérodynamiques du poids et les facteurs liés aux conditions atmosphériques ne jouent pas un rôle significatif et peuvent être négligés. La distance atteinte dans un lancer dépend essentiellement de la vitesse d'envol (vitesse au moment du lâcher) et de l'angle d'envol. Les meilleurs lanceurs mondiaux arrivent à projeter le poids avec une vitesse d'envol dépassant les 50 km.h⁻¹. L'angle d'envol est l'angle entre le vecteur vitesse au moment du lâcher et l'horizontale.

1. Étude de la trajectoire du poids

Au cours d'un entraînement, un athlète lance un poids avec une vitesse d'envol $v_0 = 13,8 \text{ m.s}^{-1}$ et un angle d'envol $\alpha_0 = 35^\circ$. Au moment du lancer, le centre d'inertie du poids est à une hauteur $h = 2,10 \text{ m}$ du sol.

L'étude sera faite dans le référentiel terrestre. Le champ de pesanteur terrestre est considéré comme uniforme, de valeur $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$. Le mouvement du centre de gravité G du poids est étudié dans le repère (O, \vec{i}, \vec{k}) **qui sera à préciser dans la question 1.1**. L'origine des temps correspond à l'instant où l'athlète lâche le poids.

Questions :

- 1.1. Montrer que la trajectoire du centre d'inertie G du poids est une parabole dont on écrira l'équation littérale.
- 1.2. À quelle distance de l'athlète le poids touche-t-il le sol ?

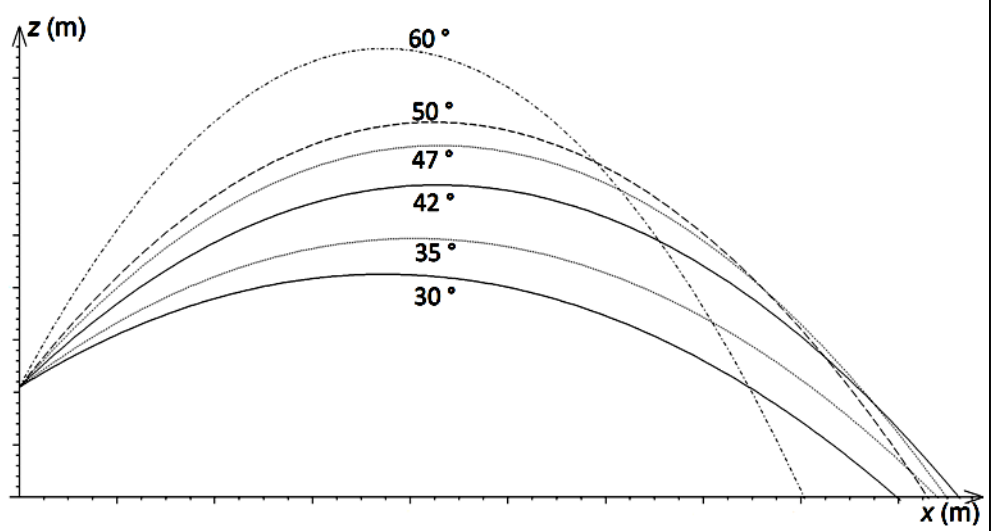
2. Amélioration du lancer

Document 1



L'américain Randy Barnes est l'actuel détenteur du record du monde du lancer de poids avec 23,12 m.

Document 2. Influence de l'angle d'envol sur la trajectoire du poids
(vitesse d'envol constante et égale à 13,8 m.s⁻¹ et $h = 2,10 \text{ m}$)



- 2.1. A partir des documents fournis, donner la valeur α_1 que doit prendre l'angle d'envol afin de maximiser la distance du lancer. La vitesse d'envol étant inchangée, le record du monde peut-il être battu avec l'angle d'envol α_1 ?
- 2.2. L'angle d'envol étant optimisé, quelle valeur minimale v_R doit prendre la vitesse d'envol afin de battre le record du monde ? Cette valeur est-elle en accord avec l'information du texte d'introduction ?
- 2.3. Outre la vitesse et l'angle d'envol, quel autre paramètre peut modifier la distance du lancer ? Comment l'athlète doit-il faire varier ce paramètre afin d'améliorer sa performance ?

Exercice II : les ondes au service de l'homme

1. Un peu d'ondes sonores...

1.1. Une onde sonore progressive de période T se propage à la célérité v dans un milieu matériel et sa longueur d'onde est λ .

1.1.1. Les figures 1.a et 1.b en annexe à rendre avec la copie représentent le signal reçu par un capteur sonore en fonction du temps t (en ms) pour la figure 1.a ou de la distance d (en cm) entre le capteur et la source pour la figure 1.b. Compléter ces figures en y indiquant par une double-flèche la période T et la longueur d'onde λ .

1.1.2. En déduire la célérité v de l'onde.

1.2. On réalise le spectre en fréquence de plusieurs sons. L'axe horizontal de chaque spectre est la fréquence en hertz. (Voir annexe). Associer à chaque courbe (1, 2, 3, 4) représentant le signal en fonction du temps (en ms) à son spectre (a, b, c, d). Utiliser le tableau fourni en annexe. Remplir ce tableau sans justification.

2. Mesure d'une longueur d'onde par interférence

Les caractéristiques d'un laser données par le fabricant sont :

- alimentation 230V – 50 Hz
- diamètre du faisceau 0,5 mm
- divergence du faisceau 1,2 mrad
- longueur d'onde 632,8 nm
- puissance 0,8 mW

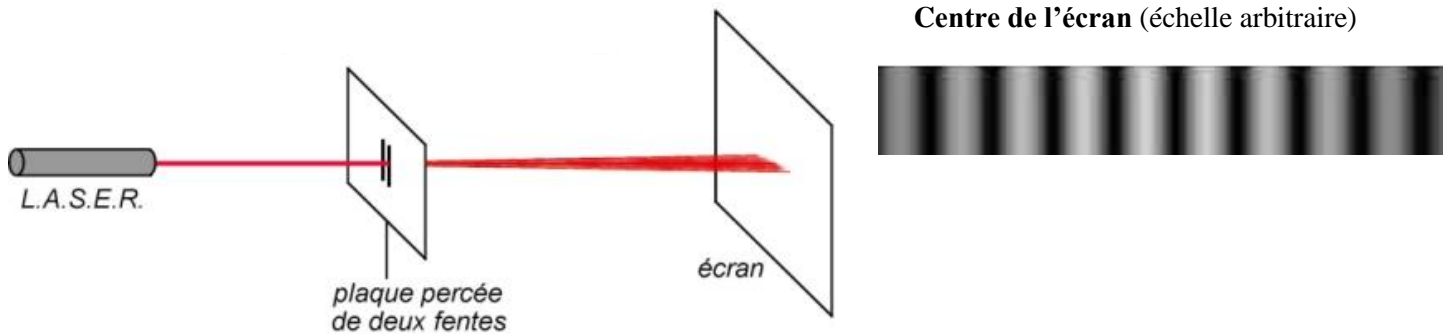
Données :

$$\text{Interfrange : } i = \frac{\lambda D}{b}$$

Incertitude $U(\lambda)$ sur la longueur d'onde :

$$U(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{U(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2}$$

On réalise une figure d'interférences à l'aide de deux fentes d'Young placées devant le faisceau de ce laser.



La distance D entre le plan des fentes et l'écran est 1,15 m. L'incertitude sur la mesure est $U(D) = 1$ cm

La distance entre les centres des fentes est $b = 0,500$ mm. L'incertitude sur b est $U(b) = 0,005$ mm.

On mesure précisément la distance séparant les centres de plusieurs franges rouges consécutives et on trouve pour valeur de l'interfrange $i = 1,46$ mm. On estime que l'incertitude sur l'interfrange est $U(i) = 0,01$ mm.

Le calcul de la longueur d'onde obtenu à partir des données de l'expérience est-il compatible avec les données du constructeur, compte tenu des incertitudes sur les mesures réalisées ou sur les données ?

3. Synthèse : OBSERVER DIRECTEMENT UNE EXO-PLANÈTE

Pour trouver des exoplanètes, les méthodes de détection se divisent en deux grandes catégories : les méthodes indirectes qui ont permis la découverte de la quasi-totalité des exoplanètes actuellement et les méthodes directes qui voient à peine le jour avec l'aide du Very Large Telescope, ou VLT, et qui permettraient d'en savoir encore plus sur ces planètes.

A l'aide des documents et en utilisant vos connaissances, rédiger, en 30 lignes **maximum**, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

« Peut-on directement discerner une exoplanète avec un télescope ? »

Pour cela, après avoir présenté ce qu'est une exoplanète, on se demandera si les deux télescopes présentés sont capables de détecter l'exoplanète Osiris.

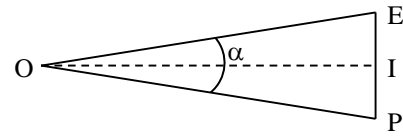
DOCUMENT 1 : découverte d'une exoplanète

La première exoplanète, planète gravitant autour d'une autre étoile que le Soleil, a été détectée en 1995. Avec les instruments actuels, la détection "directe" des exoplanètes n'est guère possible. En effet, d'après Michel Mayor, un des grands spécialistes du sujet, observer une exoplanète reviendrait à essayer de distinguer à 1 000 km une flamme de bougie près d'un phare. Différents moyens sont employés pour "deviner" l'existence de ces planètes si éloignées de nous.

DOCUMENT 2 : écart angulaire

L'écart angulaire α séparant une étoile E d'une planète P est l'angle sous lequel sont vus ces deux points à partir de l'instrument d'optique utilisé (situé en O) :

$$\alpha \approx \frac{EP}{OI} \quad (\alpha \text{ en radians})$$



DOCUMENT 3 : pouvoir de résolution

Le **pouvoir de résolution** d'un système optique désigne sa capacité à distinguer des détails fins. Il est défini comme l'écart angulaire minimum entre deux objets qui permet d'en obtenir deux images séparées ; on dit alors que les objets sont *résolus*.

Le pouvoir de résolution de l'oeil est d'environ 3×10^{-4} radian, soit environ 100 km sur la surface de la Lune vue de la Terre ou, plus à notre échelle, un détail de 1 mm pour un objet ou une image situé à 3 m de distance. En conditions réelles, le télescope spatial Hubble atteint un pouvoir de résolution de 2×10^{-7} radian.



Limite de diffraction

La diffraction limite le pouvoir de résolution des instruments optiques : un objet ponctuel donne une image non ponctuelle, appelée tache de diffraction. Si deux détails d'un objet (ou deux objets) sont trop proches, les taches de diffraction se chevauchent et il devient impossible d'obtenir des images séparées de ces détails (ou de ces objets). Pour un instrument optique de diamètre D observant à une longueur d'onde λ , le pouvoir de résolution maximal,

exprimé en radians, est :

$$\theta \approx \frac{\lambda}{D}$$

DOCUMENT 4 : l'exoplanète Osiris (découverte en 2000)

Exoplanète Osiris	Étoile hôte : HD 209458 (constellation de Pégase)
Distance moyenne à son étoile : 0,45 u.a.	Distance à la Terre : 153 années de lumière Longueur d'onde principale émise : 0,5 μm
1 unité astronomique : 1 u.a. = $1,50 \times 10^{11}$ m	1 année de lumière : 1 a.l. = $9,5 \times 10^{15}$ m

DOCUMENT 5 : le VLT Very Large Telescope

Le Very Large Telescope, de l'Observatoire Européen Austral ESO, opérationnel depuis 1998, est un des équipements principaux de l'observation astronomique européenne. Il est composé de 4 télescopes unitaires de miroir primaire de 8,2 m de diamètre ainsi que de 4 télescopes auxiliaires mobiles de miroir primaire de 1,8 m de diamètre, qui peuvent fonctionner ensemble en interférométrie. **Le pouvoir de résolution d'un tel instrument est équivalent à celui d'un télescope de 200 m de diamètre.** Le site a été choisi pour la pureté du ciel, une agitation atmosphérique minimale et son isolement géographique impliquant une absence de pollution lumineuse.



La mise en interférométrie des télescopes permet d'obtenir des détails 25 fois plus fins qu'une utilisation individuelle des télescopes. **Les télescopes peuvent voir des objets d'une luminosité 4 milliards de fois plus faible qu'à l'oeil nu** : avec cette précision, le VLT pourrait distinguer deux phares de voiture allumés sur la Lune. Les télescopes ont été conçus pour permettre l'étude des astres qui émettent des longueurs d'ondes allant de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Exercice III : étude de la vitamine C

À la fin du XVI^e siècle, beaucoup de marins succombaient au scorbut. Cette mortalité était due à une carence en vitamine C dont l'une des formes est l'acide (L)-ascorbique et l'autre forme est l'ion (L)-ascorbate. Ce dernier est un acide organique hydrosoluble ayant entre autres des propriétés antioxydantes. Il est présent dans les citrons, les jus de fruits et les légumes frais. Le nom « ascorbique » vient du préfixe grec *a* (privatif) et de *scorbut*, signifiant littéralement anti-scorbut.

L'organisme humain puise la vitamine C dans les aliments tels que les fruits et légumes. Une carence prolongée provoque des pathologies qui conduisent le médecin à prescrire un complément sous forme de comprimés.

Dans cet exercice, on étudie l'acide (L)-ascorbique.

Document 1 : extrait de l'emballage d'une boîte de comprimés de vitamine C

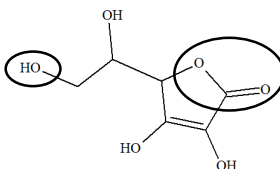
La vitamine C est commercialisée sous forme de comprimés à croquer.

Composition d'un comprimé de « Vitamine C UPSA® » :

- Acide (L)-ascorbique : 250 mg
- (L)-ascorbate de sodium : 285 mg
- Excipients : sucres, arômes artificiels

Données :

- L'acide (L)-ascorbique a pour formule topologique :



- L'acide (L)-déshydroascorbique est l'oxydant conjugué de l'acide (L)-ascorbique.
- L'ion (L)-ascorbate est la base conjuguée de l'acide (L)-ascorbique. Le pK_A du couple correspondant vaut 4,1 à 37°C
- pH de la salive environ égal à 6
- pH de l'estomac environ égal à 1,5

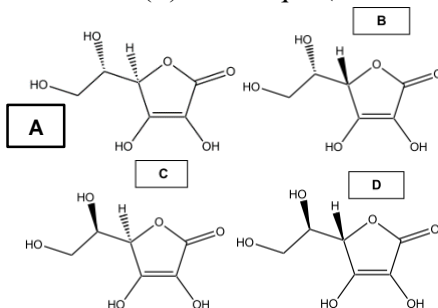
1. Nommer les deux groupes caractéristiques entourés dans la formule topologique.

2. Dessiner la formule semi-développée de l'acide (L)-ascorbique. En déduire la formule brute de l'acide (L)-ascorbique.

3. Dessiner sans justification le spectre RMN de l'acide (L)-ascorbique, courbe d'intégration comprise, sans se préoccuper du déplacement chimique de chaque multiplet. L'ordre de succession de gauche à droite des différents multiplets sera donc choisi arbitrairement.

4. Repérer le(s) atome(s) de carbone asymétrique(s) par un astérisque. Justifiant le(s) choix.

5. Voici l'ensemble des stéréoisomères de l'acide (L)-ascorbique (ce dernier étant le A) :



Indiquer si chacune des paires que l'on peut former à partir de ces quatre stéréoisomères est un couple d'énantiomères ou un couple de diastéréoisomères. Justifier.

6. En déduire si l'acide (L)-ascorbique est chiral ou achiral.

7. Les propriétés acido-basiques de l'acide (L)-ascorbique sont dues à l'hydrogène porté par l'oxygène situé en bas à gauche du cycle de la molécule (cf. formule topologique dans les **données**). Dessiner l'ion (L)-ascorbate, en indiquant la charge des atomes éventuellement non neutres.
8. En référence au **document 1** et en utilisant les **données**, sous quelle forme principale la vitamine C du comprimé se trouve-t-elle dans la bouche, une fois dissoute dans la salive ? dans l'estomac ? Justifier.
9. En déduire l'équation de la réaction provoquée par les ions oxonium de l'estomac avec la vitamine C arrivant de la bouche.
10. Expliquer pourquoi la vitamine C est un antioxydant. On ne basera le raisonnement que sur l'une des formes de la vitamine C : l'acide (L)-ascorbique.

Exercice IV : étude de la présence d'ions nitrate dans l'eau d'une mare

Ceci est l'exercice de spécialité du bac blanc du samedi 16 mai pour les TS5 et un devoir uniquement de spécialité pour les TS9.

Le but de cet exercice est de savoir si l'eau d'une mare dénommée mare « M » est propre à la consommation comme eau de boisson et si la mare est sujette au phénomène d'eutrophisation concernant les ions nitrate.

Document 1 : La qualité de l'eau en France (rapport paru en 2002-2003) d'après le site du Sénat (<http://www.senat.fr>)

La dégradation des eaux souterraines liée à la présence du nitrate est connue et incontestable. (...)

Les sources naturelles de nitrates dans les sols

En l'absence de toute fertilisation azotée, on trouve néanmoins toujours des nitrates dans les sols. Ceux-ci proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales, les légumineuses, qui sont capables, grâce à des bactéries qui vivent en symbiose avec elles, de capter l'azote et de le transformer en matière organique azotée dans leur racines. On estime la concentration « naturelle » en nitrates des eaux souterraines en l'absence de fertilisation à 5 à 15 mg/L (en NO_3^-).

Les sources anthropiques de nitrates dans les sols et les rivières.

La source principale de nitrates dans les sols et les rivières est l'apport d'engrais azotés. Les rejets d'eaux usées urbaines contiennent également des nitrates, mais aussi de l'ammonium, s'il n'a pas été détruit (c'est-à-dire transformé en nitrates) par une station d'épuration. Dans la Seine, à l'arrivée dans l'estuaire, les travaux du PIREN-Seine estiment que 70 % des nitrates sont d'origine agricole, et 30 % d'origine urbaine.

Pollution par les nitrates

L'effet majeur des nitrates sur les eaux de surface est de les conduire à l'eutrophisation. Ce processus se déclenche quand les eaux sont trop chargées en ions nitrate et phosphate, ces deux nutriments qui permettent la croissance des algues. Quand ils sont tous les deux en grande quantité dans l'eau, les algues microscopiques (phytoplancton) et les végétaux fixés (macrophytes) se développent de façon excessive.

Les teneurs en nitrates qui permettent d'éviter l'eutrophisation des cours d'eau sont beaucoup plus basses que les teneurs admissibles pour l'eau de boisson. Au lieu des 50 mg/L en NO_3^- , pour l'eau de boisson (JO du 6 février 2007), c'est dès 1,0 mg/L dans les eaux de rivière ou de lacs que le risque d'eutrophisation peut se déclencher.

Document 2 : de quelle façon le nitrate et le nitrite nuisent-ils à la santé humaine?

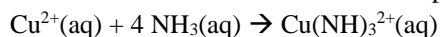
Des concentrations excessives de nitrate dans l'eau potable peuvent causer des maladies graves et parfois mortelles, notamment chez les jeunes enfants. Chez les adultes et les nourrissons, l'effet néfaste est lié à la conversion de nitrate en nitrite dans l'organisme, ce qui interfère avec la capacité du sang à transporter l'oxygène (pouvoir oxyphorique). Cette condition est connue sous le nom de "méthémoglobinémie" ou de "maladie bleue", parce que les symptômes comprennent l'essoufflement et la cyanose (coloration bleue de la peau). Les nourrissons de moins de trois mois y sont particulièrement vulnérables.

Document 3 : quelques données physicochimiques

$M(\text{N}) = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{S}) = 32,1 \text{ g.mol}^{-1}$

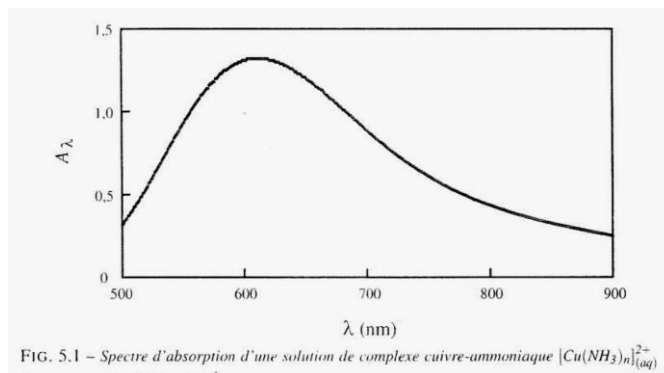
Le dosage des ions nitrate dans une eau naturelle est possible : les ions nitrate peuvent être oxydés par le cuivre métallique. Les couples oxydant/réducteur en présence sont : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) / \text{Cu}(\text{s})$ et $\text{NO}_3^-(\text{aq}) / \text{NO}(\text{g})$.

Les ions cuivre II forment ensuite un ion complexe bleu $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ en présence d'ammoniac NH_3 :



Le spectre d'absorption d'une solution de complexe cuivre-ammoniac est donné ci-contre :

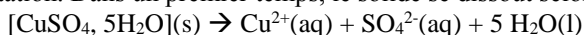
Ce complexe peut être ainsi dosé par spectrophotométrie.



Document 4 : préparation d'une gamme de solutions étalons et obtention d'une courbe d'étalonnage

• Préparation de la solution mère S_0

Introduire 0,5 g de sulfate de cuivre pentahydraté $[\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}](\text{s})$ dans une fiole jaugée de 100 mL et dissoudre complètement le solide en complétant avec une solution ammoniacale S' contenant des molécules d'ammoniac en excès jusqu'au trait de jauge. Mettre sous agitation. Dans un premier temps, le solide se dissout selon l'équation suivante :



Puis tous les ions Cu^{2+} réagissent avec les molécules d'ammoniac $\text{NH}_3(\text{aq})$ pour former le complexe bleu.

• Préparation des solutions diluées

A partir de la solution mère S_0 , on prépare dans des fioles jaugées de 100 mL, les solutions de la gamme d'étalonnage S_1 à S_4 en introduisant un volume V de solution mère S_0 (voir tableau) et on complète à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

	S_1	S_2	S_3	S_4
Volume V de solution mère S_0 (mL)	2,5	5,0	7,5	10

• Courbe d'étalonnage

A une longueur d'onde de 610 nm, on mesure l'absorbance des 4 solutions précédentes. Les résultats sont les suivants :

	S_1	S_2	S_3	S_4
Volume V de solution mère S_0 (mL)	2,5	5,0	7,5	10
Absorbance A à 610 nm	0,030	0,058	0,091	0,119

Document 5 : obtention d'une solution d'eau de la mare « M » prête pour le dosage et résultat

- Dans un ballon de 250 mL, muni d'un réfrigérant à eau surmonté d'une garde contenant du sel de Mohr pour piéger le monoxyde d'azote qui peut se former, introduire :
 - Précisément $V_{\text{pipette}} = 20,0$ mL de l'eau de la mare « M » à étudier
 - 1 copeau de cuivre de masse comprise entre 150 et 200 mg
 - 5 mL d'acide sulfurique concentré (acide en excès)
- Chauffer au bain-marie à 80°C pendant 1h. afin que la réaction soit totale. Il reste du cuivre solide à la fin (en excès)
- Laisser refroidir puis transvaser dans un erlenmeyer de 250 mL en laissant le copeau de cuivre dans le ballon.
- Rincer le ballon et le cuivre et récupérer les eaux de rinçage dans l'erlenmeyer.
- Placer l'erlenmeyer dans un bain de glace sous la hotte et ajouter avec précaution environ 25 mL de solution ammoniacale concentrée (à 28% en masse). L'ammoniac est ainsi en excès.
- Transférer l'ensemble dans une fiole jaugée de 200 mL. Rincer l'erlenmeyer avec un peu d'eau distillée et verser les eaux de rinçage dans la fiole puis compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. On obtient une solution S_{Mare}

Un échantillon de cette solution S_{Mare} est alors placé dans le spectrophotomètre et on trouve une valeur pour l'absorbance $A_{\text{mare}} = 0,011$

Questions préliminaires

- 1) Montrer que la solution S_0 a une concentration en complexe de $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- 2) Après avoir déterminé les concentrations en complexe des solutions S_1 à S_4 , construire la courbe d'étalonnage donnant l'absorbance A en fonction de la concentration en complexe.

Problème posé

L'eau de la mare « M » est-elle propre à la consommation comme eau de boisson et/ou est-elle sujette au phénomène d'eutrophisation concernant les ions nitrate ?

Les qualités rédactionnelles, la clarté de l'expression et de la présentation des calculs, le regard critique des résultats rentreront pour une part très importante dans l'appréciation et la notation du devoir écrit.

(page vierge)

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

C O L L E

NOM :
Prénom :
Classe :

COLLE

Exercice II

Question 1.1.1

Figure 1.a : signal en fonction de t (en ms)

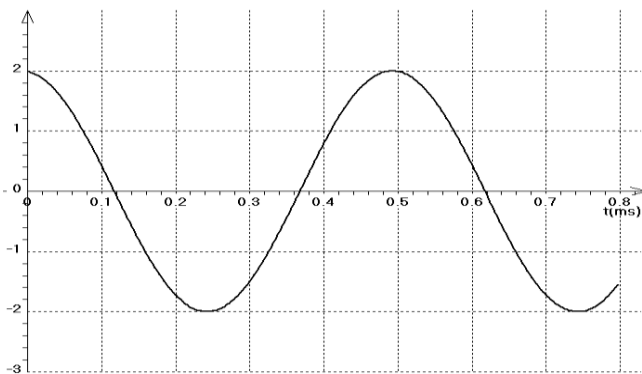
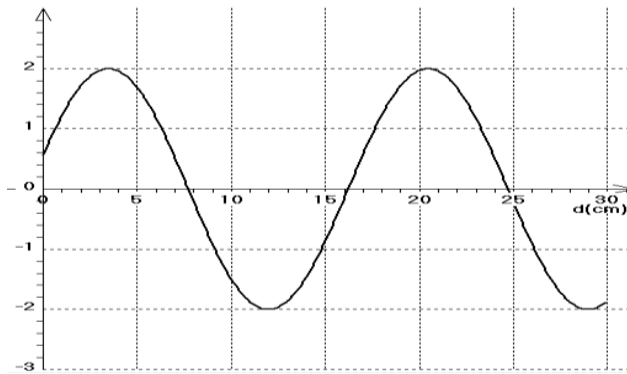
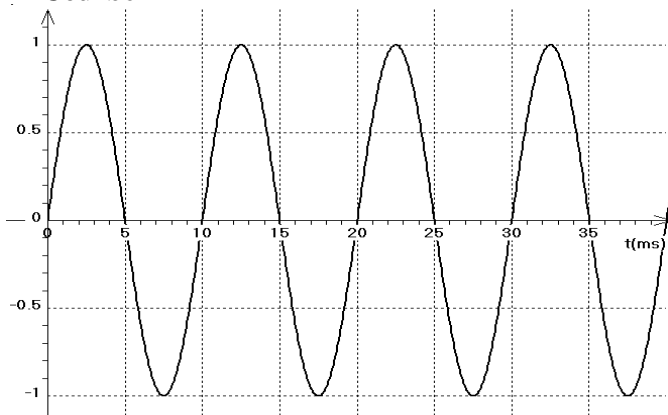


Figure 1.b : signal en fonction de d (en cm)

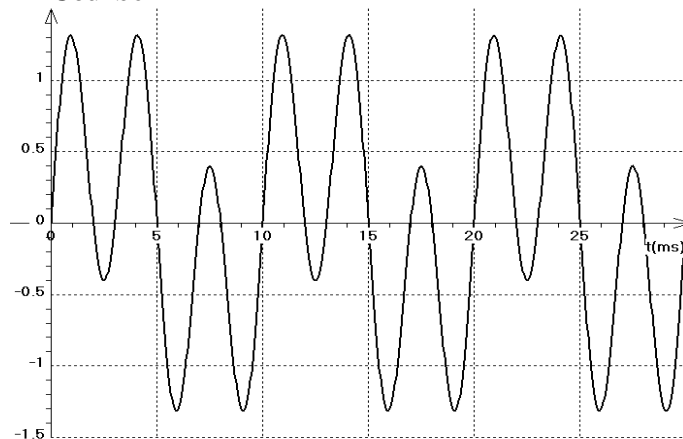


Question 1.2. Les courbes 1 à 4 représentent le signal en fonction du temps (en ms)

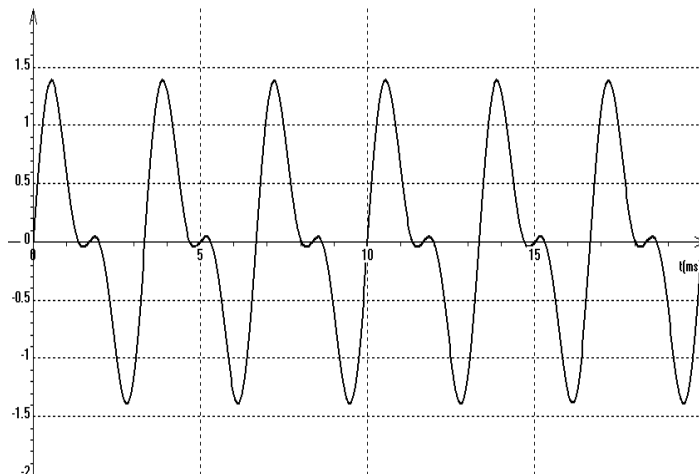
Courbe 1



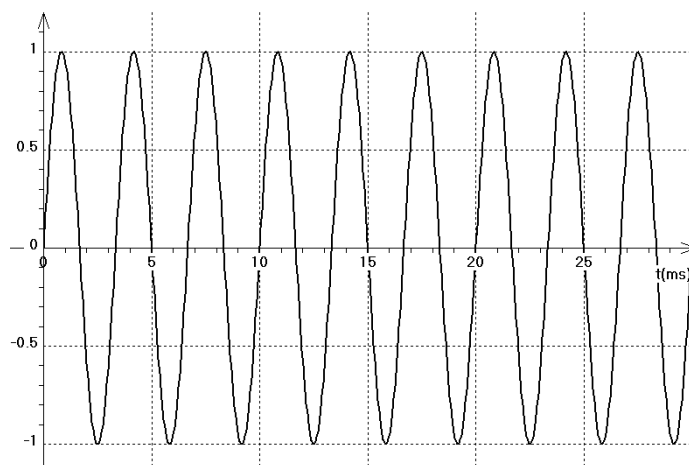
Courbe 2



Courbe 3



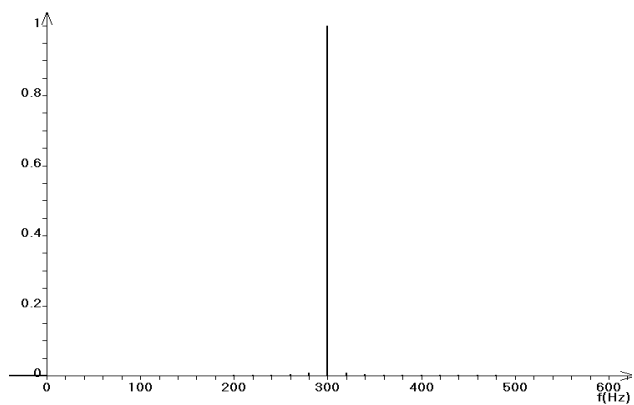
Courbe 4



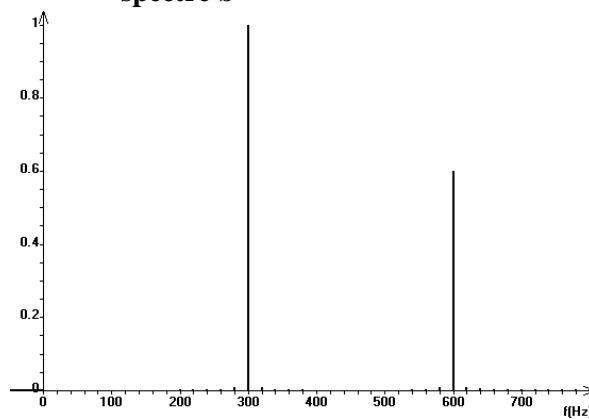


Les spectres ci-dessous sont en fonction de la fréquence f en Hz

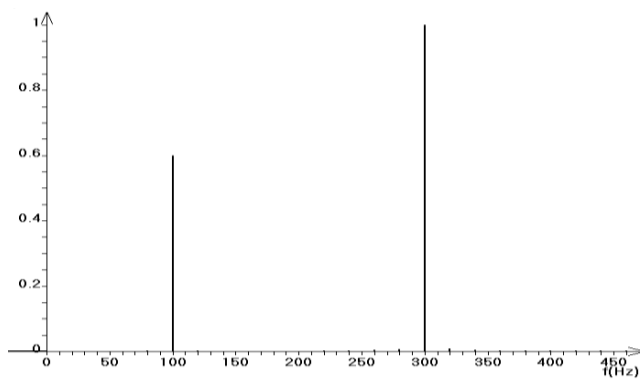
spectre a



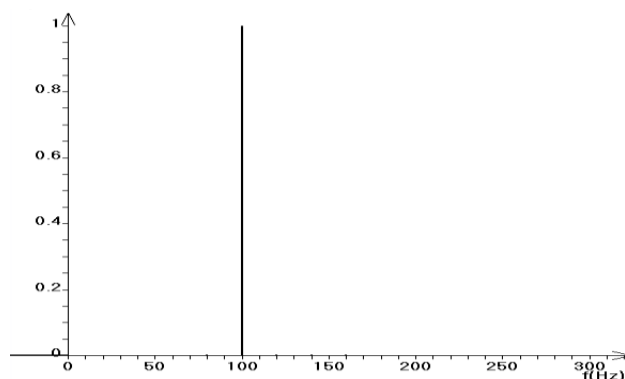
spectre b



spectre c



spectre d



Tableau

courbe n°	1	2	3	4
spectre				
fréquence du fondamental (en Hz)				