

# BACCALAURÉAT BLANC

SESSION 2016

---

## PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

---

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30. – COEFFICIENT : 6

---

**L'usage des calculatrices est autorisé**

Ce sujet comporte trois exercices.

**Le candidat doit traiter les trois exercices, qui sont indépendants les uns des autres et qui seront traités sur trois copies doubles séparées :**

- I – La vitamine C : 9 points
- II- Collisions au LHC : 6 points
- III- Etude d'un sondeur : 5 points

## EXERCICE I : LA VITAMINE C

À la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, beaucoup de marins succombaient au scorbut. Cette mortalité était due à une carence en vitamine C aussi appelée « acide ascorbique ». Il s'agit d'un acide organique ayant entre autres des propriétés anti-oxydantes. 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. La vitamine C intervient dans de nombreuses réactions d'oxydo-réduction dans l'organisme, dans le métabolisme du fer et des acides aminés.

Nous allons dans une première partie nous intéresser à la molécule d'acide ascorbique et à ses caractéristiques spectroscopiques. Dans une deuxième partie, nous verrons une méthode de titrage par suivi pH-métrique d'un comprimé de vitamine C.

La troisième partie sera consacrée à d'autres méthodes de titrage.

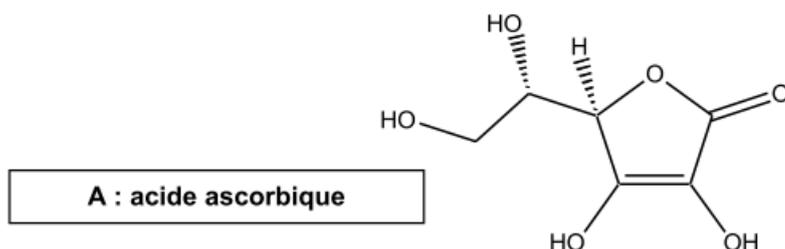


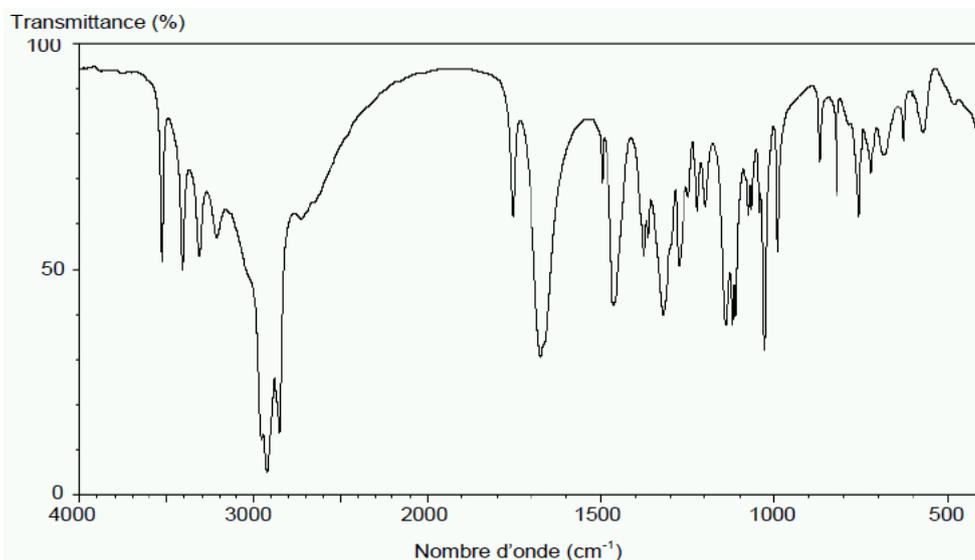
Table de données pour la spectroscopie IR :

Liaison	Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Liaison	Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Liaison	Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )
O-H (alcool)	3200 - 3700	C <sub>tri</sub> -H	3000 - 3100	C=O (ester)	1700 - 1740
O-H (acide carboxylique)	2500 - 3200	C <sub>tét</sub> -H	2800 - 3000	C=O (acide carboxylique)	1650 - 1740
		C-O	1050 - 1450	C-C	1000 - 1250

### 1. La molécule d'acide ascorbique.

1.1. Déterminer la formule brute de l'acide ascorbique.

1.2. Le spectre IR de l'acide ascorbique est reproduit ci-dessous. Vérifier que le domaine de longueurs d'onde de ce spectre se situe bien dans l'infrarouge.



- 1.3. Identifier sur le spectre IR, deux bandes d'absorption caractéristiques de l'acide ascorbique.
- 1.4. Ecrire la formule développée de l'acide ascorbique et entourez les groupes d'hydrogènes équivalents en RMN du proton.
- 1.5. Pour chacun des groupes de protons équivalents repérés, indiquez en justifiant, la multiplicité de chaque signal que l'on obtiendrait sur le spectre RMN.

## 2. Titration de l'acide ascorbique par suivi pH-métrique.

On souhaite vérifier l'indication figurant sur une boîte de comprimés de vitamine C vendue en pharmacie : le fabricant annonce que la masse d'acide ascorbique est de 500 mg par comprimé.

Un comprimé de vitamine C est écrasé dans un mortier. La poudre est ensuite dissoute dans une fiole jaugée de 200,0 mL que l'on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge en homogénéisant le mélange. On obtient la solution S.

On prélève 10,0 mL de cette solution que l'on titre avec une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) de concentration molaire  $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

On suit le titrage par pH-métrie. Le graphique représentant l'évolution du pH en fonction du volume de solution d'hydroxyde de sodium versé est représenté en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

L'acide ascorbique sera noté AH dans la suite de l'exercice.

2.1. L'ion hydroxyde est une base forte en solution aqueuse.

Déterminer le pH de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée pour le titrage. En déduire les précautions qu'il convient d'adopter pour utiliser cette solution.

2.2. Réaliser un schéma annoté du montage expérimental nécessaire à la mise en œuvre du titrage.

2.3. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

2.4. À partir du protocole mis en œuvre et des résultats obtenus, déterminer la masse d'acide ascorbique contenue dans le comprimé. **L'ANNEXE EST À RENDRE AVEC LA COPIE.**

2.5. Préciser les sources d'erreurs possibles. Calculer l'écart relatif entre la masse théorique et la masse expérimentale. Commenter la valeur obtenue.

2.6. D'après les résultats obtenus, peut-on savoir si l'acide ascorbique est un acide fort ou un acide faible ? Justifier la réponse.

## 3. Autres méthodes de titrage.

Le titrage de l'acide ascorbique peut également se faire par d'autres techniques. Nous allons dans cette partie en étudier succinctement deux : l'utilisation d'un indicateur coloré et le suivi conductimétrique.

3.1. Utilisation d'un indicateur coloré.

Parmi les indicateurs colorés proposés, lequel utiliseriez-vous pour le titrage de l'acide ascorbique par la solution d'hydroxyde de sodium effectué dans la partie 2 ?

Justifier la réponse et préciser comment l'équivalence est repérée.

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	3,8 – 5,4	Bleu
Bleu de bromothymol	Jaune	6,0 – 7,6	Bleu
Rouge de crésol	Jaune	7,2 – 8,8	Rouge
Phénolphthaléine	Incolore	8,2 – 10,0	Rose
Rouge d'alizarine	Violet	10,0 – 12,0	Jaune
Carmin d'indigo	Bleu	11,6 – 14,0	Jaune

### 3.2. Titrage conductimétrique.

On envisage d'effectuer le titrage conductimétrique d'une solution S' d'acide ascorbique dont la concentration molaire est de l'ordre de  $6 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $c'_B = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ . On dispose de pipettes jaugées de 10,0 mL, 20,0 mL et 25,0 mL ainsi que de fioles jaugées de 50,0 mL, 100 mL, 200,0 mL et 250,0 mL.

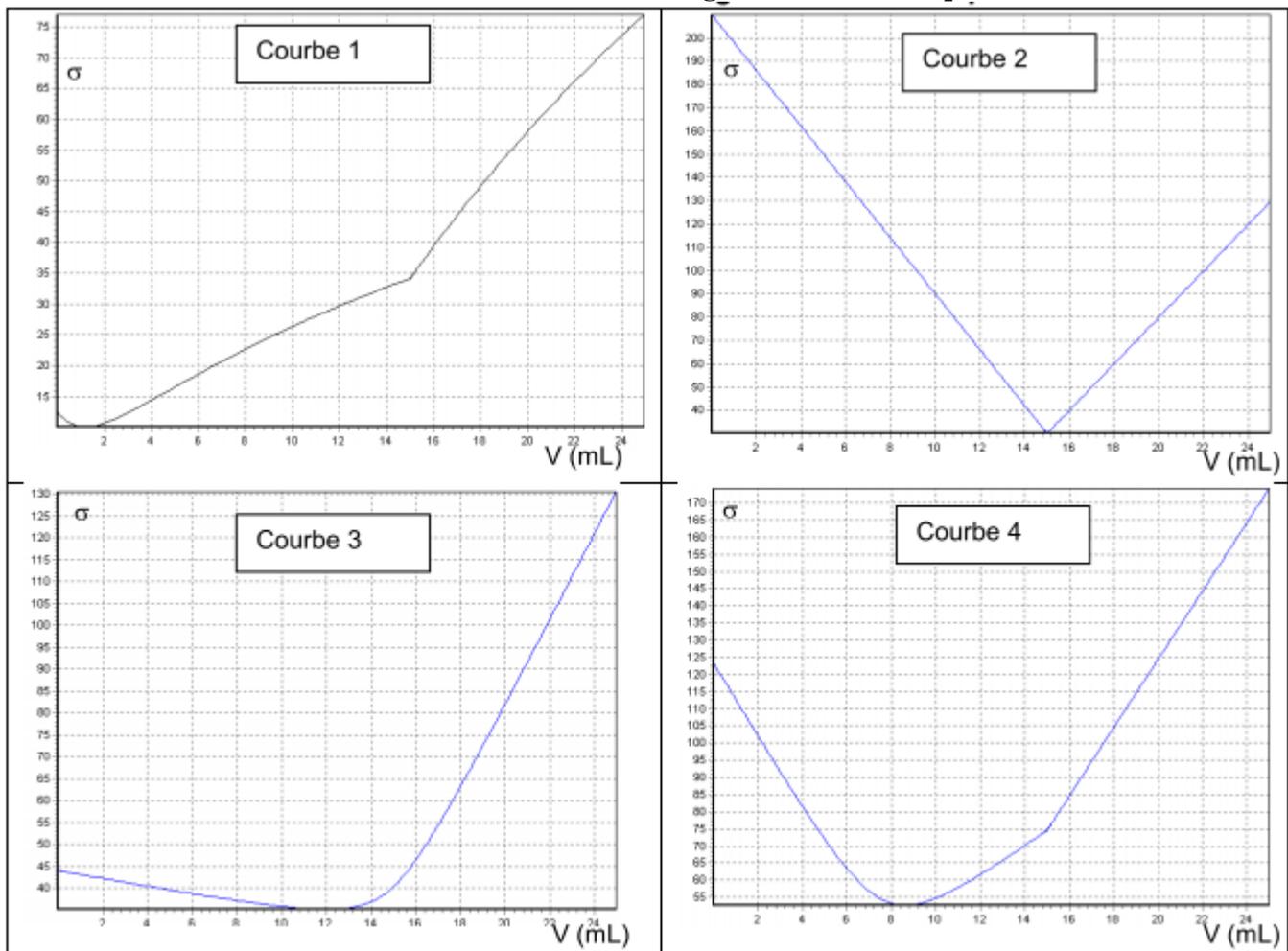
**3.2.1.** Expliquer pourquoi il n'est pas pertinent de titrer la solution d'acide ascorbique S' par la solution d'hydroxyde de sodium de concentration molaire  $c'_B$ .

**3.2.2.** À partir des réactifs proposés, établir un protocole expérimental permettant d'effectuer le titrage conductimétrique en précisant :

- les éventuelles adaptations effectués au niveau des concentrations ;
- le volume de solution d'acide ascorbique prélevé.

**3.2.3.** Plusieurs allures de courbes modélisant ce titrage sont proposées ci-dessous. En argumentant, identifier la courbe qui peut correspondre au titrage conductimétrique de l'acide ascorbique par la solution d'hydroxyde de sodium.

**Allures de courbes de titrages conductimétriques.**



#### Données :

- $pK_e = 14,0$  à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Masses molaires atomiques :  $M(H) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(C) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M(O) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$ .
- Conductivités molaires ioniques à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  :  
 $\lambda(\text{HO}^-) = 19,8 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$  ;  $\lambda(\text{Na}^+) = 5,01 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$  ;  $\lambda(\text{ion ascorbate } \text{A}^-) = 2,5 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ .

## EXERCICE II : COLLISIONS AU LHC

### Document 1. Le boson de Higgs

« La découverte du boson de Higgs est aussi importante pour l'histoire de la pensée humaine que la loi de la gravitation universelle de Newton » s'enthousiasme Carlo Rovelli, du Centre de Physique Théorique de Marseille-Lumini. La théorie de Newton, en son temps, avait prédit l'emplacement de Neptune avant même que les astronomes ne l'observent directement. La découverte du boson de Higgs signe le triomphe de ce qu'on appelle le « modèle standard » de la physique, qui a prédit depuis quelques décennies les détails les plus infimes du monde et qui a été élaboré avec passion par les plus grands scientifiques ces cent dernières années. Grâce au Higgs (comme l'appellent familièrement les physiciens), des voies s'ouvrent, permettant d'explorer la texture de l'espace-temps ou de plonger dans les premiers moments de l'Univers. [...] Le boson de Higgs est une particule qui était présente dans un passé extrêmement lointain de l'Univers, autour de  $10^{-10}$  s après le Big Bang, à une époque où la température frisait les  $10^{15}$  °C. Si elle a été « vue » au CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), c'est parce que de telles énergies ont été atteintes au cœur du LHC (Large Hadron Collider ou Grand Collisionneur de Hadrons), recréant les conditions qui régnaient alors.

D'après un extrait de Sciences et Avenir N°786, août 2012

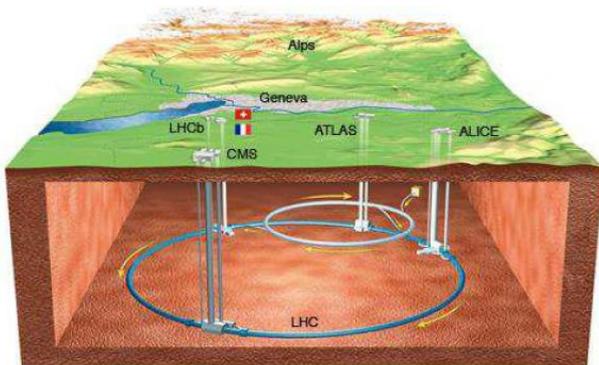
Le modèle standard arrive à décrire toutes les particules élémentaires connues et la façon dont elles interagissent les unes avec les autres. Mais notre compréhension de la nature est incomplète. En particulier, le modèle standard ne répond pas à une question simple : pourquoi la plupart des particules élémentaires ont-elles une masse ?

Les physiciens Peter Higgs, Robert Brout et François Englert ont proposé une solution à cette énigme. Leur théorie est que, juste après le Big Bang, aucune particule n'avait de masse. Lorsque l'Univers a refroidi et que la température est tombée en-dessous d'un seuil critique, un champ de force invisible appelé "champ de Higgs" s'est formé en même temps que le boson de Higgs, particule qui lui est associée. L'interaction avec ce champ répandu partout dans le cosmos permet aux particules d'acquérir une masse par l'intermédiaire du boson de Higgs. Plus les particules interagissent avec le champ de Higgs, plus elles deviennent lourdes. Au contraire, les particules qui n'interagissent pas avec ce champ ne possèdent aucune masse.

D'après un texte de Michel Spiro, chercheur au CNRS et président du conseil du CERN

### Document 2. Le LHC

Le LHC est une boucle souterraine accélératrice de particules. Sa circonférence est de 26 659 m. Il y règne un intense champ électromagnétique accélérant des paquets de particules chargées positivement, par exemple des protons ou des ions plomb.



Le LHC sous la frontière franco-suisse



Vue intérieure du LHC

On fait circuler des paquets d'ions dans les deux sens. Ils entrent en collision frontale à une vitesse proche de celle de la lumière dans le vide : cette collision produit des bosons de Higgs. Leur durée de vie étant très brève, ils se désintègrent immédiatement en une multitude de particules. Ce sont ces particules qu'on détecte par l'expérience. Entre 2008 et 2011, 400 000 milliards de collisions ont été enregistrées. Une particule d'énergie de masse au repos d'environ 125 GeV a été détectée, avec un degré de confiance de 99,999 97 % : le boson de Higgs !

D'après le Guide du LHC édité par le CERN

### Document 3. Vitesse et énergie dans le LHC

Les protons pénètrent dans le LHC à une vitesse  $v_0$  égale à 0,999 997 828 fois la célérité de la lumière dans le vide, notée  $c$ . Ils ont alors une énergie cinétique de 450 GeV. Au maximum, les protons pourront atteindre la vitesse  $v_1$ , égale à  $0,999\,999\,991 \times c$ . Leur énergie cinétique sera environ multipliée par 15. En permanence, il circule simultanément 2 808 paquets contenant chacun 110 milliards de protons, générant jusqu'à 600 millions de collisions par seconde.

D'après le Guide du LHC édité par le CERN

Dans cet exercice, on se propose d'étudier des modèles théoriques de la physique contemporaine qui ont été utilisés au LHC.

### Données :

- Masse d'un proton  $m_p = 1,672\,621 \times 10^{-27}$  kg ;
- Célérité de la lumière dans le vide  $c = 299\,792\,458$  m.s<sup>-1</sup> ;
- $1$  eV =  $1,60 \times 10^{-19}$  J ;
- $1$  TeV =  $10^3$  GeV =  $10^{12}$  eV ;
- Énergie de masse au repos d'une particule de masse  $m$  :  $E_m = m \cdot c^2$  ;
- Masse d'une rame de TGV :  $m_{TGV} = 444$  tonnes ;
- Facteur de Lorentz  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  avec  $v$  vitesse de la particule dans le référentiel du laboratoire ;
- La durée de vie  $\Delta T$  d'une particule animée d'une vitesse  $v$ , mesurée dans le référentiel du laboratoire, est liée à sa durée de vie propre  $\Delta T_0$  :  $\Delta T = \gamma \cdot \Delta T_0$ .

## 1. À propos du boson de Higgs

1.1. En quoi l'observation du boson de Higgs permet-elle de compléter la théorie du modèle standard ?

1.2. À quelle période de l'Univers l'observation du boson de Higgs nous ramène-t-elle ?

## 2. Apport de la relativité restreinte

Dans le cadre de la mécanique dite relativiste, l'énergie cinétique d'un proton vaut :  $E_c = (\gamma - 1)m_p \cdot c^2$ .

2.1. Si la vitesse  $v$  d'un proton tend vers la célérité de la lumière, vers quelle limite tend son énergie cinétique ?

2.2. Vérifier que l'énergie cinétique  $E_c$  d'un proton a été multipliée dans les proportions indiquées dans le Guide du LHC.

2.3. L'énergie totale d'un proton  $E_{totale}$  est égale à la somme de son énergie cinétique et de son énergie de masse au repos. Donner l'expression de l'énergie totale d'un proton. Vérifier numériquement que l'énergie totale d'un proton du LHC est pratiquement égale à son énergie cinétique.

## 3. Une manipulation à haute énergie

On peut assimiler l'énergie de collision entre deux protons,  $E_{collision}$ , à la somme des énergies cinétiques des deux protons lancés à pleine vitesse en sens inverse. On doit obtenir au LHC une énergie de collision de 14,0 TeV, considérée comme phénoménale.

3.1. Vérifier que l'énergie de collision entre deux protons lancés à pleine énergie en sens opposés vaut  $E_{collision} = 14,0$  TeV.

3.2. Chaque proton, lancé à vitesse maximale, possède une énergie totale de 7,00 TeV. Comparer l'énergie de l'ensemble des protons circulant simultanément dans le LHC avec l'énergie cinétique d'une rame de TGV lancée à pleine vitesse. *Le candidat sera amené à proposer un ordre de grandeur de la vitesse d'un TGV.* Commenter le résultat obtenu.

## 4. Quelle durée de vie au LHC ?

Une des particules émises lors des collisions entre les protons est le méson B. Sa durée de vie propre est  $\Delta T_0 = 1,5 \times 10^{-12}$  s. Un détecteur, le VELO (VERTex LOcator), repère les mésons B produits.

4.1. Dans quel référentiel la durée de vie propre du méson B est-elle définie ?

4.2. On se place dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. Le détecteur VELO mesure une distance moyenne de parcours du méson B :  $d = 1,0$  cm avant sa disparition.

On fait l'hypothèse que le méson B se déplace à une vitesse pratiquement égale à  $c$ . Calculer la valeur de la durée de vie  $\Delta T$  du méson B mesurée dans le référentiel du laboratoire. Montrer alors que l'hypothèse faite est justifiée.

### EXERCICE III : ETUDE D'UN SONDEUR

Les sondeurs sont des appareils de détection sous-marine utilisés au quotidien par les plaisanciers et les pêcheurs. Ils permettent par exemple de localiser un poisson en représentant sur un écran sa profondeur sous l'eau.

L'appareil est relié à une sonde supposée placée à la surface de l'eau qui envoie des impulsions ultrasonores dans l'eau en forme de cône avec une intensité maximale à la verticale de la sonde. Le signal réfléchi par le poisson appelé écho est capté par la sonde puis analysé par l'appareil en mesurant par exemple la durée entre l'émission et la réception ainsi que l'intensité de l'écho.

Le sondeur étudié dans cet exercice est embarqué dans un bateau immobile par rapport au fond marin.

#### Données :

- salinité de l'eau :  $S = 35$  ‰ (pour mille) ;
- température de l'eau :  $\theta = 10^\circ\text{C}$  ;
- fréquence de l'onde ultrasonore du sondeur :  $f = 83$  kHz ;
- ordre de grandeur de la taille d'une sardine adulte : 10 cm ;
- ordre de grandeur de la taille d'un thon adulte : 1 m.

Le candidat est invité à se référer aux informations données à la fin de l'exercice.

1. Après avoir justifié l'importance d'un capteur de température dans un sondeur, déterminer la valeur de la vitesse de propagation du son dans l'eau pour le sondeur parmi les valeurs suivantes :

1470 m.s<sup>-1</sup>                      1525 m.s<sup>-1</sup>                      1490 m.s<sup>-1</sup>

2. En utilisant le document relatif à la réflexion des ondes acoustiques, déduire, en justifiant la réponse, si le sondeur étudié sera plus performant pour détecter un thon ou pour détecter une sardine, tous deux supposés à la même distance et perpendiculaires à la verticale de la sonde.

3. Déterminer la valeur de la profondeur  $d$  à laquelle est situé le poisson si la durée  $\Delta t$  mesurée par le sondeur entre l'émission du signal et la réception de l'écho après réflexion sur un poisson est égale à 32 ms.

4. Justifier la forme en « accent circonflexe » du signal observé sur l'écran du sondeur quand le poisson traverse horizontalement à vitesse constante le cône de détection du sondeur.

5. Quelle plage de mesure permet de déterminer la position du poisson avec la meilleure précision ? Justifier la réponse.

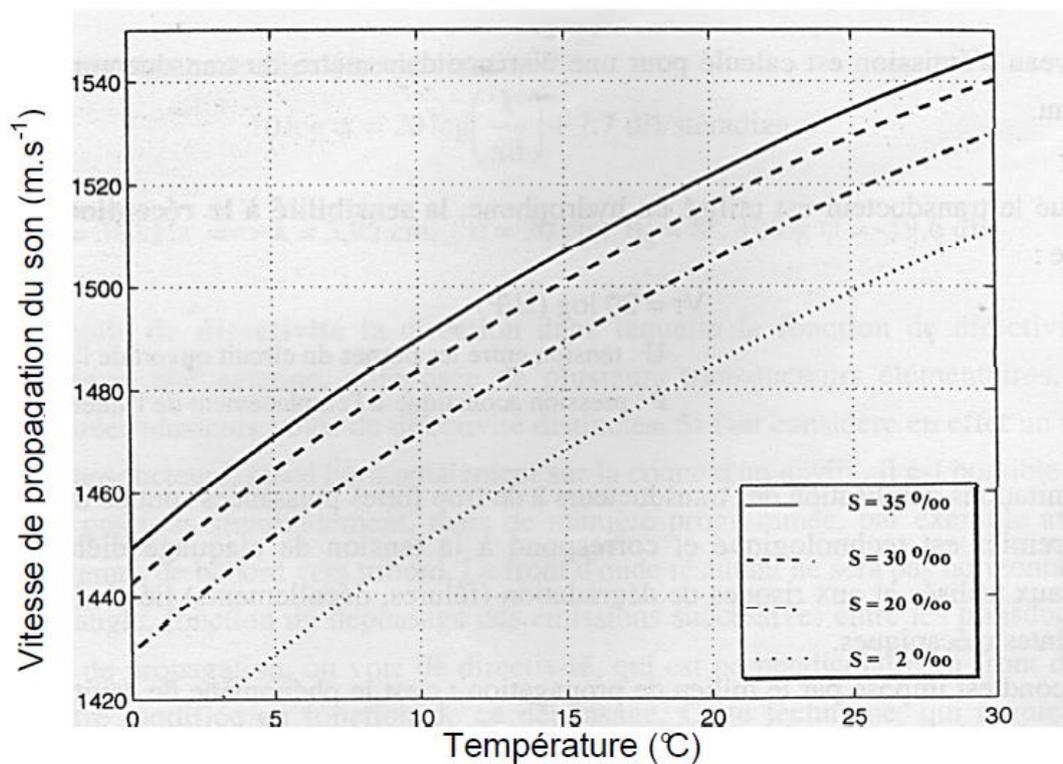
6. À quel(s) instant(s) une mesure basée sur l'effet Doppler permettra-t-elle d'évaluer la vitesse de déplacement du poisson ? Justifier la réponse.

## Documents :

### Vitesse de propagation du son dans l'eau

La vitesse de propagation  $v_{\text{son}}$  du son dans l'eau varie en fonction de plusieurs paramètres du milieu : température, salinité  $S$  (masse de sels dissous dans un kilogramme d'eau, exprimée ici en ‰) et pression c'est-à-dire la profondeur.

Pour de faibles profondeurs, nous pouvons utiliser le modèle de Lovett suivant :



D'après « Acoustique et pêche maritime » de Diner et Marchand, Ifremer

## Réflexion des ondes acoustiques

L'écho reçu après la réflexion d'une onde acoustique sur un poisson nécessite un traitement spécifique pour être interprété. En effet de nombreux facteurs influent sur l'intensité et la direction de propagation du signal. Avant tout, la géométrie du système influe sur le signal, aussi bien celui émis par le sondeur que celui réfléchi par le poisson. Le poisson qui sert de réflecteur modifie l'onde de différentes façons. Si l'organisme marin est petit par rapport à la longueur d'onde, l'onde est réfléchi de façon très peu directionnelle, il se comporte comme un point diffusant et sa forme réelle a peu d'influence. Si sa taille est plus grande que la longueur d'onde alors la réflexion est directionnelle. Selon l'orientation du poisson, son anatomie et sa position par rapport à l'axe du signal émis, l'écho est plus ou moins déformé.

*Pour la science, n°436, Février 2014*

## Image donnée par le sondeur

Plage de mesure verticale du sondeur (profondeur) : de 0 à  $p_{\max} = -50$  m ou de 0 à  $p_{\max} = -100$  m.

Définition de l'image : 160 pixels verticaux.

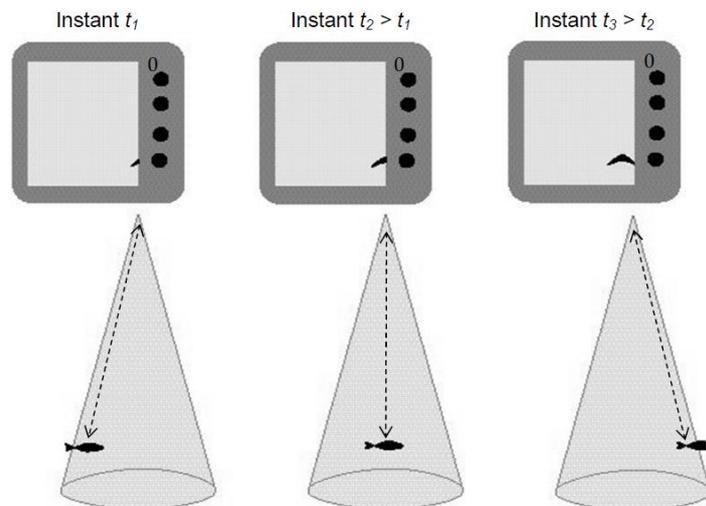
Incertitude sur la définition de l'image : 1 pixel.

Le schéma ci-dessous transcrit l'image donnée à l'écran du sondeur pour trois dates successives lorsque le poisson étudié traverse à vitesse horizontale constante le cône de détection.

Chaque fois qu'une nouvelle mesure est effectuée par le sondeur, les anciennes se déplacent horizontalement vers la gauche sur l'écran, ce qui donne une impression de défilement.

Les dimensions mesurées verticalement sur l'écran sont proportionnelles aux distances réelles. Le niveau 0 (surface de l'eau) correspond au haut de l'écran.

On considèrera que la taille du poisson est négligeable devant la profondeur mesurée.



*D'après le site [www.carnassiers.com](http://www.carnassiers.com)*

## Effet Doppler lors d'une réflexion sur une cible mobile

Lors de la réflexion sur un obstacle en mouvement, la fréquence de l'onde réfléchi est différente de celle de l'onde incidente de fréquence  $f$ .

La valeur absolue de la variation de fréquence  $|\Delta f|$  est donnée par :  $|\Delta f| = \frac{2v \cos \alpha}{c} \times f$

- avec :
- $v$ , la vitesse de déplacement de l'obstacle par rapport à la source ;
  - $c$ , la vitesse de propagation de l'onde ;
  - $\alpha$ , angle entre la direction de déplacement de l'obstacle et celle de propagation de l'onde entre l'obstacle et l'observateur.

ANNEXE DE L'EXERCICE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

