



COURS PI

☆ *L'école sur-mesure* ☆

de la Maternelle au Bac, Établissement d'enseignement
privé à distance, déclaré auprès du Rectorat de Paris

Première - Module 3 - Ondes et électricité

Physique-Chimie

v.5.1



- ✓ **Guide de méthodologie**
pour appréhender notre pédagogie
- ✓ **Leçons détaillées**
pour apprendre les notions en jeu
- ✓ **Exemples et illustrations**
pour comprendre par soi-même
- ✓ **Prolongement numérique**
pour être acteur et aller + loin
- ✓ **Exercices d'application**
pour s'entraîner encore et encore
- ✓ **Corrigés des exercices**
pour vérifier ses acquis

www.cours-pi.com

Paris & Montpellier



EN ROUTE VERS LE BACCALAURÉAT

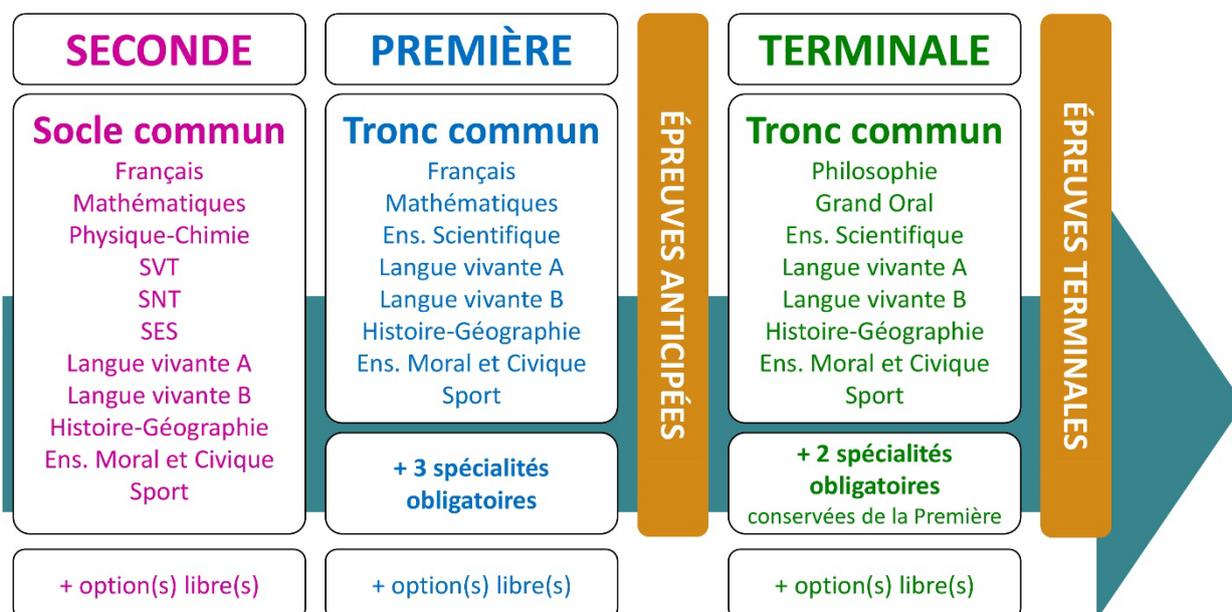
Comme vous le savez, la **réforme du Baccalauréat** est entrée en vigueur progressivement jusqu'à l'année 2021, date de délivrance des premiers diplômes de la nouvelle formule.

Dans le cadre de ce nouveau Baccalauréat, **notre Etablissement**, toujours attentif aux conséquences des réformes pour les élèves, s'est emparé de la question avec force **énergie** et **conviction** pendant plusieurs mois, animé par le souci constant de la réussite de nos lycéens dans leurs apprentissages d'une part, et par la **pérennité** de leur parcours d'autre part. Notre Etablissement a questionné la réforme, mobilisé l'ensemble de son atelier pédagogique, et déployé tout **son savoir-faire** afin de vous proposer un enseignement tourné continuellement vers **l'excellence**, ainsi qu'une scolarité tournée vers la **réussite**.

- Les **Cours Pi** s'engagent pour faire du parcours de chacun de ses élèves un **tremplin vers l'avenir**.
- Les **Cours Pi** s'engagent pour ne pas faire de ce nouveau Bac un diplôme au rabais.
- Les **Cours Pi** vous offrent **écoute** et **conseil** pour coconstruire une **scolarité sur-mesure**.

LE BAC DANS LES GRANDES LIGNES

Ce nouveau Lycée, c'est un enseignement à la carte organisé à partir d'un large tronc commun en classe de Seconde et évoluant vers un parcours des plus spécialisés année après année.



CE QUI A CHANGÉ

- Il n'y a plus de séries à proprement parler.
- Les élèves choisissent des spécialités : trois disciplines en classe de Première ; puis n'en conservent que deux en Terminale.
- Une nouvelle épreuve en fin de Terminale : le Grand Oral.
- Pour les lycéens en présentiel l'examen est un mix de contrôle continu et d'examen final laissant envisager un diplôme à plusieurs vitesses.
- Pour nos élèves, qui passeront les épreuves sur table, le Baccalauréat conserve sa valeur.

CE QUI N'A PAS CHANGÉ

- Le Bac reste un examen accessible aux candidats libres avec examen final.
- Le système actuel de mentions est maintenu.
- Les épreuves anticipées de français, écrit et oral, tout comme celle de spécialité abandonnée se dérouleront comme aujourd'hui en fin de Première.



A l'occasion de la réforme du Lycée, nos manuels ont été retravaillés dans notre atelier pédagogique pour un accompagnement optimal à la compréhension. Sur la base des programmes officiels, nous avons choisi de créer de nombreuses rubriques :

- **Suggestions de lecture** pour s'ouvrir à la découverte de livres de choix sur la matière ou le sujet
- **L'essentiel** et **le temps du bilan** pour souligner les points de cours à mémoriser au cours de l'année
- **À vous de jouer** pour mettre en pratique le raisonnement vu dans le cours et s'accaparer les ressorts de l'analyse, de la logique, de l'argumentation, et de la justification
- **Pour aller plus loin** pour visionner des sites ou des documentaires ludiques de qualité
- Et enfin ... la rubrique **Les Clés du Bac by Cours Pi** qui vise à vous donner, et ce dès la seconde, toutes les cartes pour réussir votre examen : notions essentielles, méthodologie pas à pas, exercices types et fiches étape de résolution !

PHYSIQUE-CHIMIE PREMIÈRE

Module 3 – Ondes et électricité

L'AUTEURE



Sylvie LAMY

Diplômée de l'Ecole Polytechnique et agrégée de Mathématiques, elle poursuit aujourd'hui son parcours professionnel à l'Institut Géographique National et au Ministère des Transports comme chargée de mission sur les projets spatiaux.

Passionnée par les sciences physiques, son approche pédagogique réside dans la transmission du raisonnement scientifique. Elle attend de ses élèves de comprendre et d'explicitier leur démarche dans la résolution des problèmes.

PRÉSENTATION

Ce **cours** est divisé en chapitres, chacun comprenant :

- Le **cours**, conforme aux programmes de l'Education Nationale
- Des **exercices d'application et d'entraînement**
- Les **corrigés** de ces exercices
- Des **devoirs** soumis à correction (et **se trouvant hors manuel**). Votre professeur vous renverra le corrigé-type de chaque devoir après correction de ce dernier.

Pour une manipulation plus facile, les corrigés-types des exercices d'application et d'entraînement sont regroupés en fin de manuel.

CONSEILS A L'ÉLÈVE

Vous disposez d'un support de Cours complet : **prenez le temps** de bien le lire, de le comprendre mais surtout de **l'assimiler**. Vous disposez pour cela d'exemples donnés dans le cours et d'exercices types corrigés. Vous pouvez rester un peu plus longtemps sur une unité mais travaillez régulièrement.

LES FOURNITURES

Vous devez posséder :

- une **calculatrice graphique pour l'enseignement scientifique au Lycée comportant un mode examen (requis pour l'épreuve du baccalauréat)**.
- un **tableur** comme Excel de Microsoft (payant) ou Calc d'Open Office (gratuit et à télécharger sur <http://fr.openoffice.org/>). En effet, certains exercices seront faits de préférence en utilisant un de ces logiciels, mais vous pourrez également utiliser la calculatrice).

LES DEVOIRS

Les devoirs constituent le moyen d'évaluer l'acquisition de **vos savoirs** (« Ai-je assimilé les notions correspondantes ? ») et de **vos savoir-faire** (« Est-ce que je sais expliquer, justifier, conclure ? »).

Placés à des endroits clés des apprentissages, ils permettent la vérification de la bonne assimilation des enseignements.

Aux *Cours Pi*, vous serez accompagnés par un **professeur selon chaque matière** tout au long de votre année d'étude. Référez-vous à votre « Carnet de Route » pour l'identifier et découvrir son parcours.

Avant de vous lancer dans un devoir, assurez-vous d'avoir **bien compris les consignes**.

Si vous repérez des difficultés lors de sa réalisation, n'hésitez pas à le mettre de côté et à revenir sur les leçons posant problème. **Le devoir n'est pas un examen**, il a pour objectif de s'assurer que, même quelques jours ou semaines après son étude, une notion est toujours comprise.

Aux Cours Pi, chaque élève travaille à son rythme, parce que chaque élève est différent et que ce mode d'enseignement permet le « sur-mesure ».

Nous vous engageons à respecter le moment indiqué pour faire les devoirs. Vous les identifierez par le bandeau suivant :



Vous pouvez maintenant
faire et envoyer le **devoir n°1**



Il est **important de tenir compte des remarques, appréciations et conseils du professeur-correcteur**. Pour cela, il est **très important d'envoyer les devoirs au fur et à mesure** et non groupés. **C'est ainsi que vous progresserez !**

Donc, dès qu'un devoir est rédigé, envoyez-le aux *Cours Pi* par le biais que vous avez choisi :

- 1) Par **soumission en ligne** via votre espace personnel sur **PoulPi**, pour un envoi **gratuit, sécurisé** et plus **rapide**.
- 2) Par **voie postale** à *Cours Pi*, 9 rue Rebuffy, 34 000 Montpellier
*Vous prendrez alors soin de joindre une **grande enveloppe libellée à vos nom et adresse**, et **affranchie au tarif en vigueur** pour qu'il vous soit retourné par votre professeur*

N.B. : *quel que soit le mode d'envoi choisi, vous veillerez à **toujours joindre l'énoncé du devoir** ; plusieurs énoncés étant disponibles pour le même devoir.*

N.B. : *si vous avez opté pour un envoi par voie postale et que vous avez à disposition un scanner, nous vous engageons à conserver une copie numérique du devoir envoyé. Les pertes de courrier par la Poste française sont très rares, mais sont toujours source de grand mécontentement pour l'élève voulant constater les fruits de son travail.*

VOTRE RESPONSABLE PÉDAGOGIQUE

Professeur des écoles, professeur de français, professeur de maths, professeur de langues : notre Direction Pédagogique est constituée de spécialistes capables de dissiper toute incompréhension.

Au-delà de cet accompagnement ponctuel, notre Etablissement a positionné ses Responsables pédagogiques comme des « super profs » capables de co-construire avec vous une scolarité sur-mesure. En somme, le Responsable pédagogique est votre premier point de contact identifié, à même de vous guider et de répondre à vos différents questionnements.

Votre Responsable pédagogique est la personne en charge du suivi de la scolarité des élèves. Il est tout naturellement votre premier référent : une question, un doute, une incompréhension ? Votre Responsable pédagogique est là pour vous écouter et vous orienter. Autant que nécessaire et sans aucun surcoût.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

QUEL
EST
SON
RÔLE ?

Orienter les parents et les élèves.
Proposer la mise en place d'un accompagnement individualisé de l'élève.
Faire évoluer les outils pédagogiques.
Encadrer et **coordonner** les différents professeurs.

VOS PROFESSEURS CORRECTEURS

Notre Etablissement a choisi de s'entourer de professeurs diplômés et expérimentés, parce qu'eux seuls ont une parfaite connaissance de ce qu'est un élève et parce qu'eux seuls maîtrisent les attendus de leur discipline. En lien direct avec votre Responsable pédagogique, ils prendront en compte les spécificités de l'élève dans leur correction. Volontairement bienveillants, leur correction sera néanmoins juste, pour mieux progresser.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Une question sur sa correction ?

- faites un mail ou téléphonez à votre correcteur et demandez-lui d'être recontacté en lui laissant **un message avec votre nom, celui de votre enfant et votre numéro.**
- autrement pour une réponse en temps réel, appelez votre Responsable pédagogique.

LE BUREAU DE LA SCOLARITÉ

Placé sous la direction d'Elena COZZANI, le Bureau de la Scolarité vous orientera et vous guidera dans vos démarches administratives. En connaissance parfaite du fonctionnement de l'Etablissement, ces référents administratifs sauront solutionner vos problématiques et, au besoin, vous rediriger vers le bon interlocuteur.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.
04.67.34.03.00
scolarite@cours-pi.com



LE SOMMAIRE

Physique-Chimie – Module 3 – Ondes et électricité

Introduction 1

CHAPITRE 1. Ondes mécaniques progressives 3

Q COMPÉTENCES VISEES

- Décrire, dans le cas d'une onde mécanique progressive, la propagation d'une perturbation mécanique d'un milieu dans l'espace et au cours du temps : houle, ondes sismiques, ondes sonores, etc.
- Expliquer, à l'aide d'un modèle qualitatif, la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel.
- Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées, par exemple : onde sonore, onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau.
- Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde.
- Déterminer, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un smartphone, une distance ou la célérité d'une onde.
- Illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde.
- Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle.
- Justifier et exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité.
- Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir de représentations spatiales ou temporelles.
- Déterminer la période, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale à l'aide d'une chaîne de mesure.

1. Propagation d'une onde mécanique..... 6

2. Ondes mécaniques périodiques 8

Le temps du bilan 14

Exercices..... 15

Les Clés du Bac : études de graphiques 19

CHAPITRE 2. Ondes sonores 21

Q COMPÉTENCES VISEES

- Décrire le principe de l'émission d'un signal sonore par la mise en vibration d'un objet et l'intérêt de la présence d'une caisse de résonance.
- Expliquer le rôle joué par le milieu matériel dans le phénomène de propagation d'un signal sonore.
- Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.
- Mesurer la vitesse d'un signal sonore.
- Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.
- Utiliser une chaîne de mesure pour obtenir des informations sur les vibrations d'un objet émettant un signal sonore.
- Mesurer la période d'un signal sonore périodique.
- Citer les domaines de fréquences des sons audibles, des infrasons et des ultrasons.
- Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible.
- Relier qualitativement intensité sonore et niveau d'intensité sonore.

1. Émission et propagation d'un son	26
2. Perception d'un son	27
Le temps du bilan	32
Exercices.....	33
Les Clés du Bac	38

CHAPITRE 3. Circuits électriques et capteurs 41

Q COMPÉTENCES VISEES

- Exploiter la loi des mailles et la loi des nœuds dans un circuit électrique comportant au plus deux mailles.
- Exploiter la caractéristique d'un dipôle électrique : point de fonctionnement, modélisation par une relation : $U = f(I)$ ou $I = g(U)$.
- Utiliser la loi d'Ohm.
- Citer des exemples de capteurs présents dans les objets de la vie quotidienne.

1. Rappels.....	44
2. Nœud, branche et maille	45
3. Intensité et tension (rappels)	46
4. Les lois sur les intensités et les tensions.....	48
5. Caractéristique d'un dipôle, loi d'Ohm.....	51
6. Les capteurs électriques	54
Le temps du bilan	55
Exercices.....	56

CHAPITRE 4. Aspects énergétiques des phénomènes électriques 61

Q COMPÉTENCES VISEES

- Relier intensité d'un courant continu et débit de charges.
- Expliquer quelques conséquences pratiques de la présence d'une résistance dans le modèle d'une source réelle de tension continue.
- Citer quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou consommées par des dispositifs courants.
- Définir le rendement d'un convertisseur.

1. Porteurs de charges, courant et débit de charge	63
2. Courant et débit	65
3. Source idéale, source réelle de tension.....	65
4. Puissance et énergie	67
5. Rendement d'un convertisseur.....	68
Le temps du bilan	70
Exercices.....	71

CORRIGÉS à vous de jouer et exercices 77



ESSAIS

- **Une histoire de la physique et de la chimie** *Jean Rosmorduc*
- **Les forces de la nature** *Paul Davies*
- **Des chimistes de A à Z** *Eric Brown*
- **Une histoire de tout, ou presque...** *Bill Bryson*
- **Les secrets de la matière** *Etienne Klein*

BANDES-DESSINÉES

- **La physique en BD** *Larry Gonick*
- **La chimie en BD** *Larry Gonick*

PODCASTS

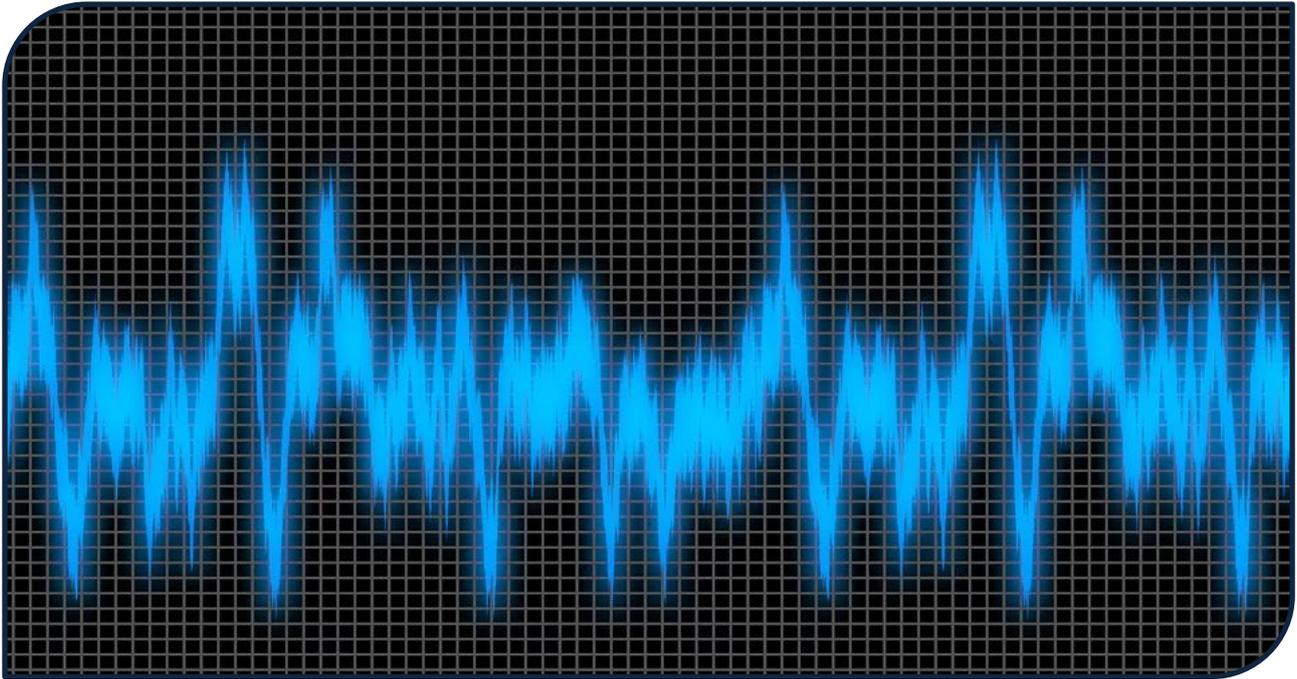
- **La tête au carré** *France Inter*
- **Podcastscience.fm** *www.podcastscience.fr*
- **De cause à effet** *France Culture*

DOCUMENTAIRES AUDIOVISUELS

- **La magie du cosmos (3 épisodes)** *Brian Greene*
- **Le mystère de la gravité (2 épisodes)** *Jim Al-Khalili*
- **Les secrets de la matière (3 épisodes)** *Jim Al-Khalili*
- **L'histoire de l'électricité (3 épisodes)** *Jim Al-Khalili*
- **Cosmos : une odyssée à travers l'univers (13 épisodes)** *Neil deGrasse Tyson*
- **La fabuleuse histoire de la science (6 épisodes)**



INTRODUCTION



Quel est le point commun entre le Soleil, une note de musique ou l'agitation de l'eau sur un étang ?

Il s'agit tout simplement du phénomène physique qui les régit : l'onde. Une onde est un déplacement d'énergie sans déplacement de matière.

Mais derrière cette définition, que se cache-t-il ?

Comment peut-on l'expliquer ?

Quels sont ses caractéristiques, ses différences, ses applications ?

C'est ce que nous allons découvrir dans ce module.

CHAPITRE 1

ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES



Les ondes électromagnétiques comme la lumière sont étudiées dans le module optique et lumière. Ce chapitre est consacré aux ondes mécaniques, qui nécessitent un milieu matériel pour se propager.

Au cours de chapitre, nous allons voir tout d'abord la propagation d'une onde mécanique puis nous nous intéresserons plus précisément aux ondes périodiques.

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Décrire, dans le cas d'une onde mécanique progressive, la propagation d'une perturbation mécanique d'un milieu dans l'espace et au cours du temps : houle, ondes sismiques, ondes sonores, etc.
- Expliquer, à l'aide d'un modèle qualitatif, la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel.
- Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées, par exemple : onde sonore, onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau.
- Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde.
- Déterminer, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un smartphone, une distance ou la célérité d'une onde.
- Illustrer l'influence du milieu sur la célérité d'une onde.
- Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle.
- Justifier et exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité.
- Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir de représentations spatiales ou temporelles.
- Déterminer la période, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale à l'aide d'une chaîne de mesure.

Q PRÉREQUIS

- Fonctions trigonométriques.



Première approche

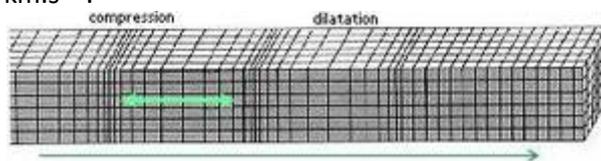
ACTIVITÉ 1

Le 23 février 2004, un séisme de magnitude 5,1 selon le Réseau National de Surveillance Sismique s'est produit à Roulans (dans le département du Doubs), à 20 km au nord-est de Besançon. Ce séisme a été ressenti très largement en dehors du Doubs dans tout l'est de la France, en Suisse et dans le nord-ouest de l'Allemagne, sans faire de victimes ni de dégâts significatifs.

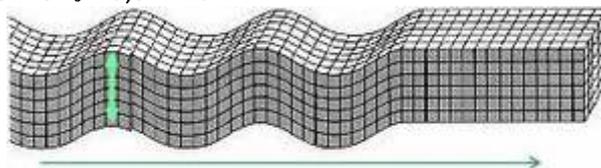
Lors d'un séisme, des ondes traversent la Terre. Elles se succèdent et se superposent sur les enregistrements des sismomètres. Leur vitesse de propagation et leur amplitude sont modifiées par les structures géologiques traversées. C'est pourquoi les signaux enregistrés sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure.

Parmi les ondes sismiques, on distingue :

- les ondes P ou ondes primaires, qui sont des ondes de compression ou ondes longitudinales ; leur célérité v_p vaut en moyenne $v_p = 6,0 \text{ km.s}^{-1}$.



- les ondes S ou ondes secondaires, appelées également ondes de cisaillement ou ondes transversales ; leur célérité v_s vaut en moyenne $v_s = 3,5 \text{ km.s}^{-1}$.



1) Dans quel milieu se propagent les ondes sismiques ?

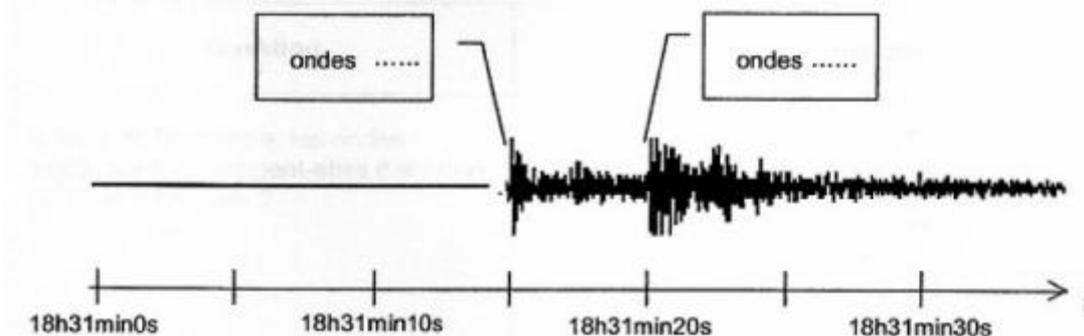
.....

2) En quelle unité sont données les célérités des ondes ? Qu'est, d'après vous, la célérité d'une onde ?

.....

.....

3) Quelle onde est détectée en premier ? Complétez le graphique ci-dessous.



Extrait de sismogramme relevé après le séisme du 23 février de Roulans

- 4) Relevez sur ce document les dates d'arrivée des ondes S et P à la station d'enregistrement notées respectivement t_s et t_p .

Soit d la distance qui sépare la station d'enregistrement du lieu où le séisme s'est produit.

- 5) Exprimez la célérité notée v_s des ondes S en fonction de la distance d parcourue et des dates t_s et t_0 .

- 6) Faites de même pour les ondes P avec les dates t_p et t_0 .

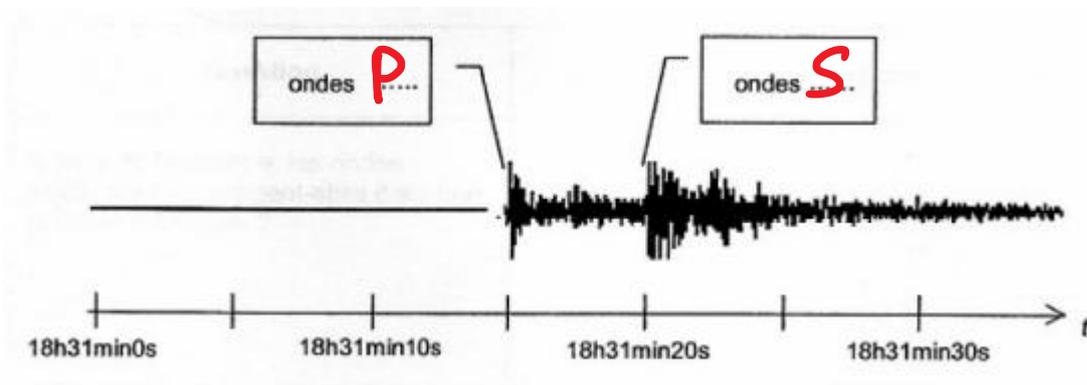
- 7) Retrouvez l'expression de la distance d :

$$d = \frac{v_s \cdot v_p}{v_p - v_s} (t_s - t_p)$$

- 8) Déduisez la valeur numérique de cette distance d .

SOLUTION DE L'ACTIVITÉ 1

- 1) Elles se propagent dans la croûte terrestre.
- 2) Les célérités sont données en km/s ; les célérités ont donc des unités correspondant à des vitesses. La célérité d'une onde est sa vitesse de propagation.
- 3) Les ondes P se propagent plus rapidement. Elles arrivent donc en premier.



- 4) Ondes P : $t_p=18h31min15s$ Ondes S : $t_s=18h31min20s$

5) $d = v_s (t_s - t_0)$

6) $d = v_p (t_p - t_0)$

$$7) \begin{cases} (1)d = v_s t_s - v_s t_0 \\ (2)d = v_p t_p - v_p t_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (1)v_p d = v_p v_s t_s - v_p v_s t_0 \\ (2)v_s d = v_s v_p t_p - v_s v_p t_0 \end{cases} \Rightarrow (v_p - v_s)d = v_p v_s (t_s - t_p)$$

$$d = \frac{v_s \cdot v_p}{v_p - v_s} (t_s - t_p)$$

$$8) d = \frac{3,5 \times 6,0}{6,0 - 3,5} \times 5 = 42 \text{ km} \quad \text{Le séisme s'est produit à 42 km.}$$

01

ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES

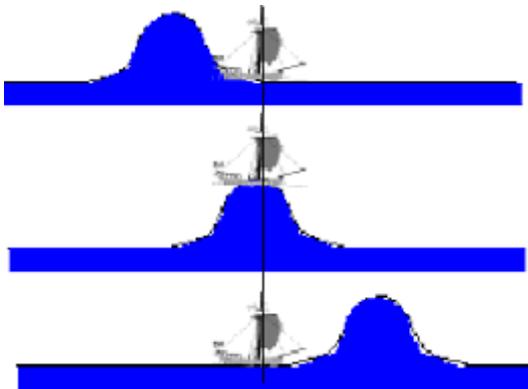
Propagation d'une onde mécanique



L'ESSENTIEL

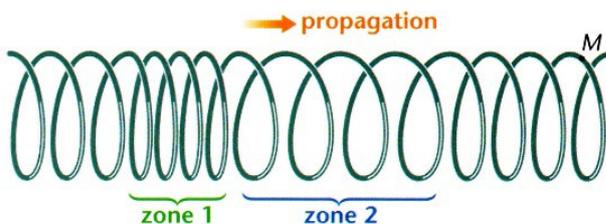
Une onde mécanique progressive est une perturbation qui se propage sans transport de matière mais avec un transport d'énergie dans un milieu matériel.

Exemple 1 : bateau subissant une vague



Après le passage de la perturbation, le bateau retrouve sa position.

Exemple 2 : onde dans un ressort



- Une onde mécanique ne peut se propager que dans un milieu matériel. Une onde électromagnétique peut se propager dans le vide.



L'ESSENTIEL

Une onde mécanique est longitudinale si la perturbation se fait dans le sens de la propagation. Elle est transversale si la perturbation se fait perpendiculairement à la propagation.

Exemples :

Dans le cas de la vague, l'onde est transversale. Dans le cas du ressort, elle est longitudinale.

- Pour un séisme, les ondes longitudinales sont les ondes de compression. Les ondes transversales sont les ondes de cisaillement.



À VOUS DE JOUER 1

1) Si la perturbation se fait dans le sens de la propagation, l'onde est

2) Il s'agit d'une onde transversale car



À VOUS DE JOUER 2

Au laboratoire, on dispose d'une cuve à ondes contenant de l'eau immobile à la surface de laquelle flotte un petit morceau de polystyrène. On laisse tomber une goutte d'eau au-dessus de la cuve, à l'écart du morceau de polystyrène. Une onde se propage à la surface de l'eau.

Indiquez pour chaque réponse si elle est vraie ou fausse.

1) Ceci correspond :

A. à une onde mécanique :

B. à une onde longitudinale :

C. à une onde transversale :

2) L'onde atteint le morceau de polystyrène.

A. Celui-ci se déplace parallèlement à la direction de propagation de l'onde :

B. Celui-ci se déplace perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde :

C. Celui-ci monte et descend verticalement :

D. Celui-ci reste immobile :



L'ESSENTIEL

La vitesse de propagation v est la célérité.

Si la perturbation en M à l'instant t se retrouve en M' à l'instant t' , la différence $t' - t$ est le retard.

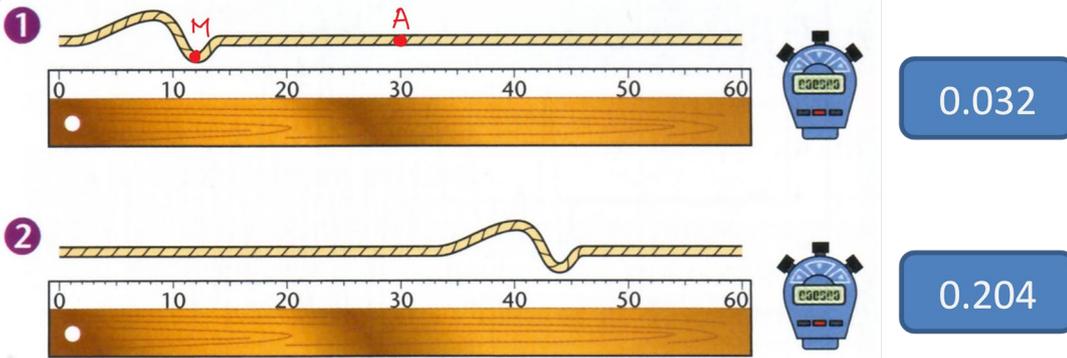
C'est le temps mis par la perturbation pour se propager de M à M' .

$$\text{Calcul du retard : } \Delta t = t' - t = \frac{MM'}{v}$$

➤ On parle de célérité et non de vitesse car la vitesse concerne un déplacement de matière.



À VOUS DE JOUER 3



La règle est graduée en centimètres ; le chronomètre affiche en secondes.

- Tracez le sens de propagation de l'onde.
- Placez le point M' dans la figure 2 correspondant au point M de la figure 1.
- Complétez.

L'abscisse de M est : L'abscisse de M' est :

Donc $MM' = 0,44 - \dots = \dots$ m

$\Delta t = \dots - \dots = \dots$ s

La célérité de l'onde est : $v = \frac{\dots}{\Delta t} = \frac{\dots}{\dots} \approx \dots$ m/s

Le retard au point A par rapport à M est : $\Delta t = \frac{\dots}{v} = \frac{\dots}{1,9} = \dots$ s

02

ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES

Ondes mécaniques périodiques



L'ESSENTIEL

Une onde mécanique progressive est périodique si la perturbation qu'elle génère en tout point du milieu est périodique (fonction périodique du temps).

La période est le plus petit intervalle de temps au bout duquel le phénomène se répète.

La fréquence est l'inverse de la période :

$$f = \frac{1}{T} \text{ avec } f \text{ en hertz (Hz) et } T \text{ en secondes (s)}$$

- Une onde mécanique ne peut se propager que dans un milieu matériel. Une onde électromagnétique peut se propager dans le vide. La perturbation créée a la même période que la perturbation initiale.



L'ESSENTIEL

Une onde mécanique progressive est sinusoïdale si la perturbation qu'elle génère en tout point du milieu est sinusoïdale (fonction sinusoïdale du temps).

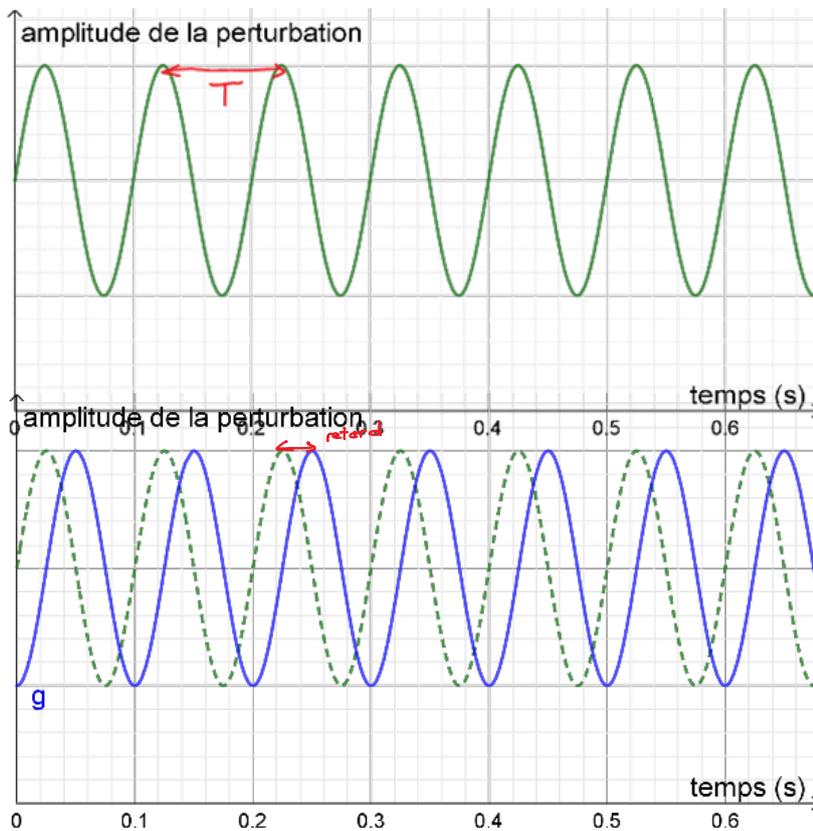
- La perturbation créée a la même période que la perturbation initiale.

Exemple :

On peut créer des ondes sinusoïdales par exemple avec une cuve à ondes.



Le vibreur a une vibration sinusoïdale de fréquence 10 Hz, donc avec une période de : $T = \frac{1}{f} = 0,1 \text{ s}$



Vibration du vibreur

Vibration d'un point avec un retard de 0,05 s

Reprenons l'exemple précédent. On considère un point M qui vibre avec un retard de 0,1 s. Ce point va vibrer de la même manière et en même temps que la source. On dira qu'il vibre **en phase** avec la source.



L'ESSENTIEL

2 points vibrent en phase s'ils vibrent avec la même amplitude au même moment.
La longueur d'onde est la plus petite distance séparant 2 points vibrant en phase.

Si M' vibre avec un retard de la période T par rapport à M, alors M et M' vont vibrer en phase. Donc : $T = \frac{\lambda}{v}$



L'ESSENTIEL

Pour une onde sinusoïdale de période T et de célérité v , la longueur d'onde vaut :

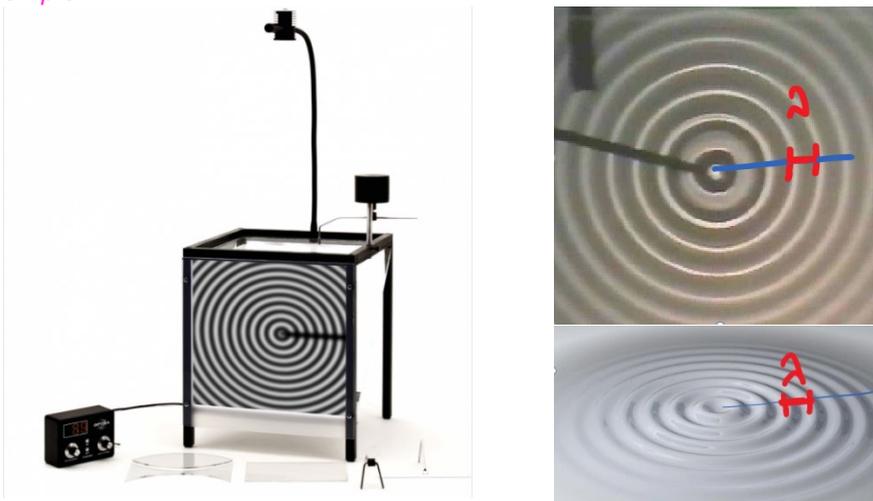
$$\lambda = vT$$

La longueur d'onde peut donc se définir :

- comme la plus petite distance séparant 2 points qui vibrent en phase ;
- comme la distance parcourue par l'onde pendant une période.

Si on photographie une onde sinusoïdale à un instant donné, on obtient une sinusoïde de période λ .
On qualifie également la longueur d'onde de **période spatiale**.

Exemple :

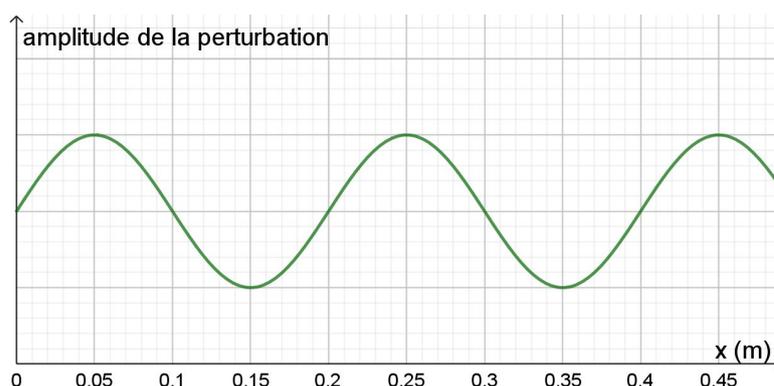


L'écart entre 2 crêtes (ou 2 creux) correspond à la **longueur d'onde** de l'onde.

Le vibreur a une vibration sinusoïdale de fréquence 10 Hz, donc avec une période de : $T = \frac{1}{f} = 0,1 \text{ s}$.

On suppose que la célérité vaut 2m/s.

La longueur d'onde vaut alors : $\lambda = 2 \times 0,1 = 0,2 \text{ m}$



Conclusion : une onde sinusoïdale engendre une double périodicité :

- Périodicité temporelle (période de vibration)
- Périodicité spatiale (longueur d'onde).

En un point donné, la perturbation subie par ce point est sinusoïdale de période T .

A une date donnée, pour une onde transversale, le profil est une sinusoïde de période λ .



À VOUS DE JOUER 4

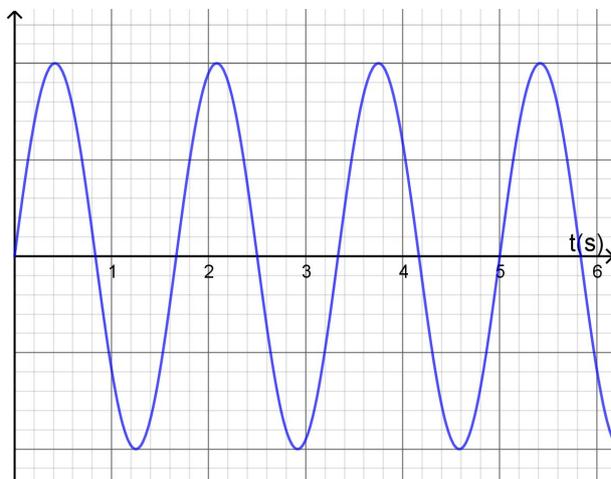
Complétez.

Une cuve à ondes génère une onde de 5 Hz se propageant à la vitesse de 0,4 m/s.

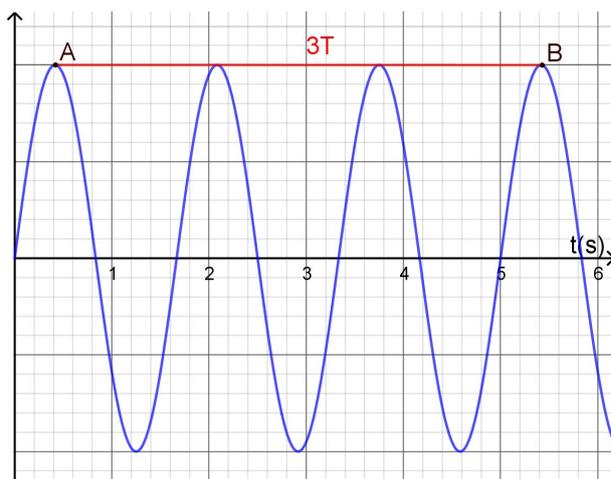
La période de l'onde vaut : $T = \frac{1}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$

La longueur d'onde vaut. $\lambda = v \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$ m

DÉTERMINATION GRAPHIQUE D'UNE PÉRIODE



On repère 2 maximums, les plus éloignés possibles (points A et B).



On regarde le nombre de périodes séparant les 2 points (ici 3 périodes).

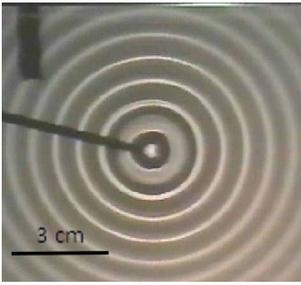
On détermine le temps séparant les 2 points (ici : $5,5 - 0,4 = 5,1$ s)

Donc : $T = \frac{5,1}{3} = 1,7$ s La période est de 1,7 s.

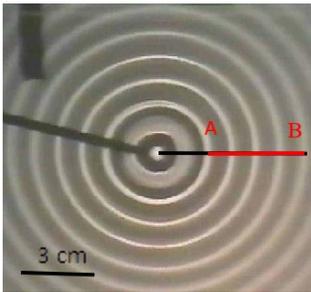
➤ Prendre des points éloignés permet d'améliorer la précision.

DÉTERMINATION GRAPHIQUE D'UNE LONGUEUR D'ONDE

Un exemple classique de détermination d'une longueur d'onde à partir d'un cliché d'une cuve à eau.



Comme précédemment, on marque 2 points (ici A et B) les plus éloignés possible, et alignés avec la source correspondant à des maximums (zones brillantes).



On mesure le segment donnant l'échelle et le segment [AB] pour avoir la distance réelle entre les points.

Echelle : 1,6 cm figure correspondent à 3 cm réels.

[AB] mesure 2,1 cm sur la figure.

Donc la distance réelle entre les 2 points vaut : $2,1 \times \frac{3}{1,6} = 3,9$ cm.

Comme il y a 4 longueurs d'onde entre les points A et B : $\lambda = \frac{3,9}{4} \approx 1$ cm .

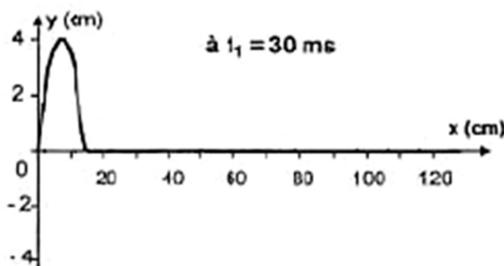
La longueur d'onde est d'environ 1 cm.



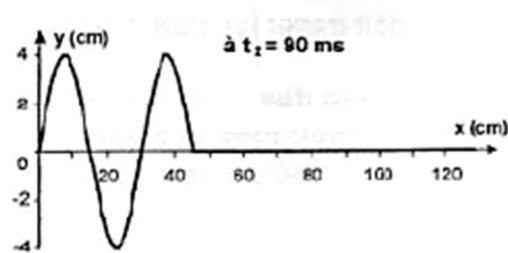
À VOUS DE JOUER 5

L'extrémité gauche d'une corde est reliée à un vibreur effectuant des oscillations sinusoïdales entretenues à partir d'un instant de date $t_0 = 0$ s. Les graphiques 1 et 2 représentent l'état de la corde à une date donnée. Les élongations y et les abscisses x sont graduées en cm. On néglige tout amortissement dans la totalité des questions.

Graphique 1



Graphique 2



1) Le graphique 2 ci-dessus permet de déterminer la valeur numérique de la longueur d'onde λ .

On trouve que λ vaut :

- a) 20 cm ;
- b) 30 cm ;
- c) 46 cm.

Réponse correcte et justification :

2) À partir des graphiques 1 et 2, déterminer la valeur de la période temporelle T :

- a) $T = 30 \text{ ms}$
- b) $T = 60 \text{ ms}$;
- c) $T = 18 \text{ ms}$

Réponse correcte et justification :

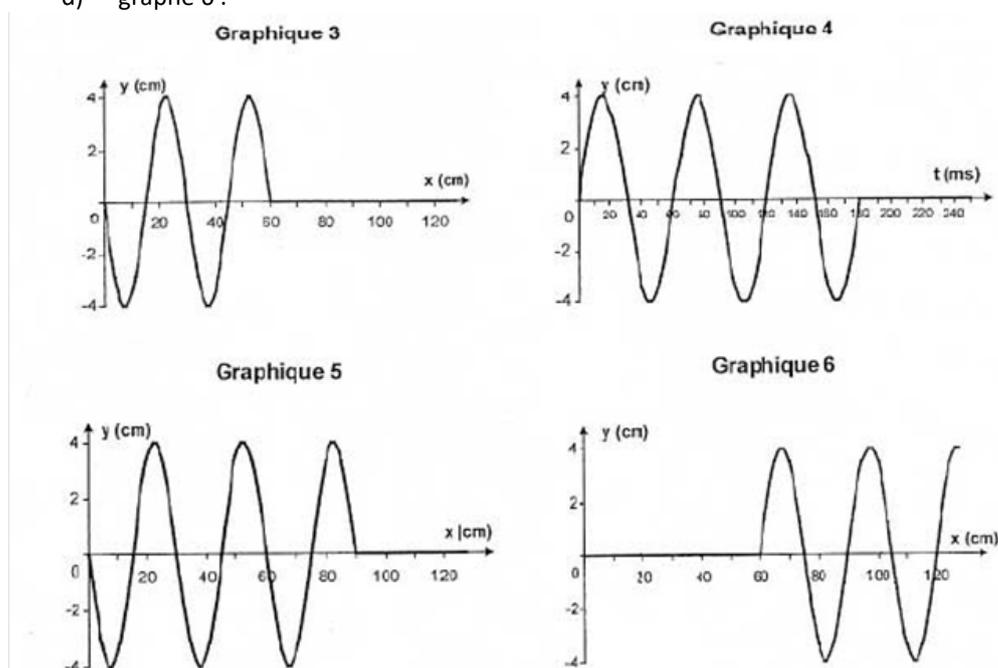
3) La célérité de l'onde dans la corde est :

- a) $v = 5,0 \text{ m.s}^{-1}$;
- b) $v = 10,0 \text{ m.s}^{-1}$;
- c) $v = 15,0 \text{ m.s}^{-1}$.

Réponse correcte et justification :

4) Dans la même expérience, parmi les graphes 3, 4, 5 et 6 ci-dessous, celui représentant l'aspect de la corde à l'instant de date $t = 180 \text{ ms}$ est le :

- a) graphe 3 ;
- b) graphe 4 ;
- c) graphe 5 ;
- d) graphe 6 .



Réponse correcte et justification :

- Dans certains milieux, la célérité dépend de la fréquence.
Par exemple, dans l'eau les longueurs d'onde élevées se propagent plus rapidement que les longueurs d'onde courtes. Ces milieux sont dits dispersifs.

On peut faire le lien avec la dispersion de la lumière par un prisme (milieu dispersif).

Dans des milieux non dispersifs pour une plage de fréquence, la célérité ne dépend pas de la fréquence. C'est le cas des ondes sonores dans l'air (voir le chapitre suivant).

LE TEMPS DU BILAN

- Une onde **mécanique progressive** est une perturbation qui se propage sans transport de matière mais avec un transport d'énergie dans un milieu matériel.
Une onde mécanique est longitudinale si la perturbation se fait dans le sens de la propagation. Elle est transversale si la perturbation se fait perpendiculairement à la propagation.

Calcul du retard : $\Delta t = t' - t = \frac{MM'}{v}$.

- Une onde mécanique progressive est **périodique** si la perturbation qu'elle génère en tout point du milieu est périodique (fonction périodique du temps).
Une onde mécanique progressive est **sinusoïdale** si la perturbation qu'elle génère en tout point du milieu est sinusoïdale.
- La **période** est le plus petit intervalle de temps au bout duquel le phénomène se répète.
- La **fréquence** est l'inverse de la période :
 $f = \frac{1}{T}$ avec f en **hertz** (Hz) et T en secondes (s)
- 2 points vibrent **en phase** s'ils vibrent avec la même amplitude au même moment.
- La **longueur d'onde** est la plus petite distance séparant 2 points vibrant en phase. C'est également la distance parcourue par l'onde pendant une période.

$$\lambda = vT$$

Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances.
Les exercices ont été classés dans un ordre d'approfondissement croissant.
Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

EXERCICE

01

Répondez aux questions suivantes en justifiant toutes vos réponses.

1) On excite l'extrémité d'une corde à une fréquence de 50 Hz. Les vibrations se propagent le long de la corde avec une célérité de 10 m.s⁻¹. Quelle est la longueur d'onde ?

2) Un pêcheur à la ligne est au bord d'un lac tranquille. Soudain un enfant vient perturber la surface de l'eau en jetant un caillou à quelques mètres du flotteur. Le flotteur se déplace-t-il à la célérité v de l'onde ?

EXERCICE

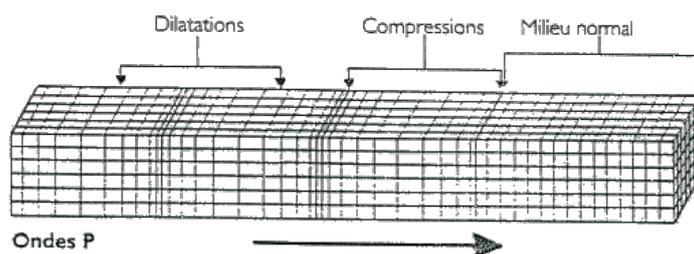
02

D'après sujet de Bac.

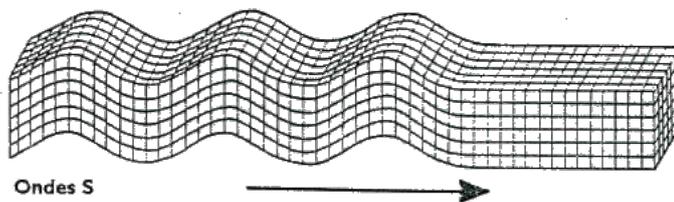
« Les ondes sismiques naturelles produites par les tremblements de Terre sont des ondes élastiques se propageant dans la croûte terrestre. (...) On distingue deux types d'ondes : les ondes de volume qui traversent la Terre et les ondes de surface qui se propagent parallèlement à sa surface. Leur vitesse de propagation et leur amplitude sont différentes du fait des diverses structures géologiques traversées. C'est pourquoi, les signaux enregistrés par les capteurs appelés sismomètres sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure. »

Les ondes de volume :

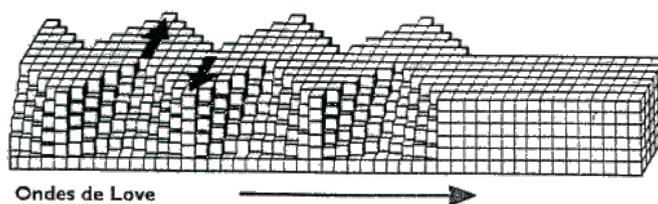
- L'onde P comprime et étire alternativement les roches.



- L'onde S se propage en cisillant les roches latéralement à angle droit par rapport à sa direction de propagation.

**Une onde de surface :**

- L'onde de Love L : elle déplace le sol d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation.



- 1) Pour chacune des trois ondes citées dans le texte, précisez en justifiant s'il s'agit d'une onde transversale ou d'une onde longitudinale.

.....

.....

.....

- 2) Citez un autre exemple d'onde mécanique transversale.

.....

.....

- 3) La Terre a tremblé en France le 24 août 2006 à 20 h 01 min 00 s TU (temps universel). L'épicentre du séisme était proche de la ville de Rouillac en Charente. Un sismomètre du Bureau Central Sismologique Français situé à Strasbourg, a enregistré le tremblement. Les ondes les plus rapides se sont propagées en surface avec la célérité de $6,0 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. La distance Rouillac-Strasbourg est $d = 833 \text{ km}$, calculez la durée mise par les ondes les plus rapides pour parcourir cette distance d .

.....

.....

EXERCICE

03

D'après sujet de Bac.

Pour étudier les ondes progressives sinusoïdales à la surface de l'eau, on utilise une cuve à ondes. Un vibreur permet de générer des ondes planes circulaires de fréquence N à la surface de l'eau. Les crêtes des vagues donnent des rides brillantes et les creux des rides sombres sur un écran que l'on photographie.

Afin d'apprécier l'échelle, 2 marques A et B ont été faites sur l'écran qui correspondent à une distance $AB = 7,0 \text{ cm}$ dans la cuve.

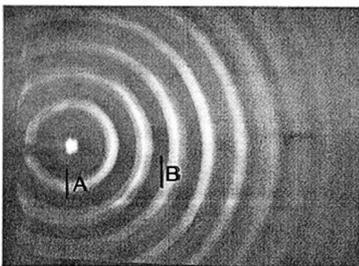


Photo 1

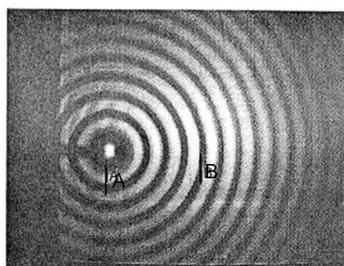


Photo 2

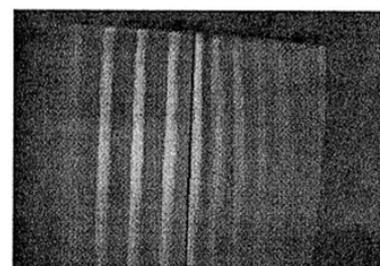


Photo 3

1. Mesure de la célérité des ondes.

1.1. A l'aide du vibreur, on crée des ondes progressives sinusoïdales de fréquence N à la surface de l'eau. Le phénomène observé possède une longueur d'onde λ .

- a) Définissez la longueur d'onde λ .

.....

.....

- b) Quelle relation existe-t-il entre la longueur d'onde λ , la fréquence N et la célérité v des ondes observées ?

.....

.....

1.2. A l'aide de la photo 1, déterminez le plus précisément possible la longueur d'onde λ_1 et calculez la célérité v_1 des ondes sachant que pour cette expérience 1 la fréquence des vibrations est $N_1 = 8,0$ Hz.

.....

.....

.....

.....

1.3. Une expérience 2 est réalisée à une fréquence différente $N_2 = 17$ Hz.

a) A l'aide de la photo 2, montrez que la célérité des ondes varie avec leur fréquence.

.....

.....

.....

.....

b) Comment appelle-t-on ce phénomène ?

.....

.....

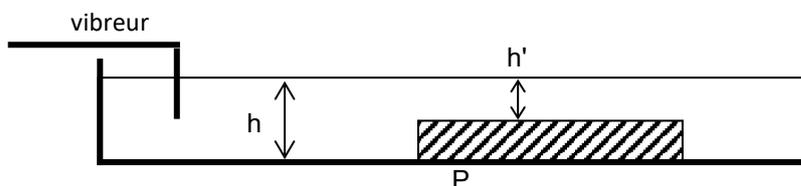
c) Décrivez une expérience permettant d'observer ce phénomène avec des ondes lumineuses.

.....

.....

2. Influence de la profondeur de l'eau sur la célérité des ondes.

2.1. Pour étudier l'influence de la profondeur h de l'eau sur la célérité des ondes, on place sur le fond de la cuve une plaque (P) de plexiglas transparent. On délimite ainsi des zones de profondeur h et h' ($h' < h$). On génère des ondes incidentes planes sinusoïdales de fréquence $N = 11$ Hz. Montrez, en utilisant la photo 3 que la célérité des ondes dépend de la profondeur de l'eau.



.....

.....

.....

2.2. En eau très profonde, pour des vagues de basse fréquence, on peut démontrer que la célérité v des ondes ne dépend pratiquement plus de h . Elle varie alors proportionnellement à la période T suivant la loi :

$v = \frac{gT}{2\pi}$, où g est l'intensité de la pesanteur ($g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$). Calculez v_1 et v_2 pour les fréquences $N_1 = 5,0 \text{ Hz}$

et $N_2 = 10 \text{ Hz}$, ainsi que les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 correspondantes.

.....

.....

.....

.....



QUESTIONS DE COURS ET ÉTUDES DE GRAPHIQUES

Les sujets de Bac comportent souvent des questions de cours et des études de graphiques.

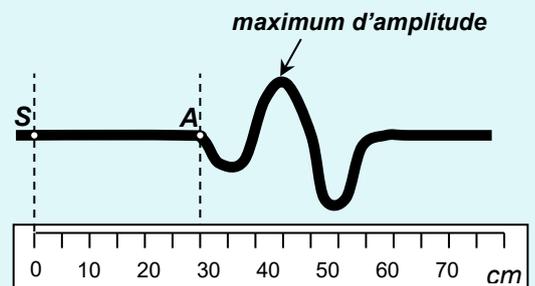
Exemple 1 sur les ondes progressives non sinusoïdales

Une perturbation se propage de gauche à droite le long d'une corde avec une célérité $v = 5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- 1) Cette onde est-elle longitudinale ou transversale ? Justifier.

Une question de cours classique. Il faut revenir à la définition des ondes longitudinales ou transversales.

Comme la direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à la perturbation, l'onde est transversale.



- 2) Déterminer la valeur du retard τ du point A par rapport à la source de l'onde S ?

Calcul simple d'un retard connaissant la distance (à mesurer graphiquement) et la célérité. Dans d'autres exercices, on pourra vous demander de déterminer graphiquement la célérité à partir de photographies prises à différent instants, ou connaissant le retard et la distance entre 2 points.

$$\tau = \frac{AS}{v} = \frac{0,3}{5} = 0,06 \text{ s} \quad \text{Le retard est de } 0,06\text{s}.$$

- 3) La photo de la corde ci-contre a été prise à une date choisie comme origine du temps ($t_0 = 0$). A quelle distance de la source S se trouvera le maximum d'amplitude de l'onde à la date $t_1 = 0,20 \text{ s}$?

Une autre exploitation du retard.

Soit M le point correspondant au maximum d'amplitude à t_0 et M' le point correspondant au maximum d'amplitude à t_1 .

$$\Delta t = \frac{MM'}{v} \quad \text{soit} \quad MM' = v(t_1 - t_0) = 5 \times 0,2 = 1 \text{ m}.$$

Comme M se trouve à 0,45m de S, M' se trouve à 1,45m de S.

Exemple 2 sur les ondes progressives sinusoïdales

On considère une houle d'amplitude 2,0 m, assimilée à une onde sinusoïdale à la surface de la mer, avec une période $T = 9,1 \text{ s}$.

Deux bateaux A et B séparés d'une distance $d = 51 \text{ m}$ vibrent en phase alors qu'aucun bateau intercalé entre A et B ne vibre en phase avec A.

A la date $t = 0$, le bateau A est au sommet d'une vague.

- 1) A $t=0$, B est-il en haut d'une vague ou au creux d'une vague ?

Une exploitation de l'expression "vibrer en phase".

Le bateau B vibre en phase avec le bateau A ; B est en haut d'une vague.

- 2) Quelle est la longueur d'onde λ de cette houle ?

Il faut revenir à l'une des définitions de la longueur d'onde.

La longueur d'onde est la plus petite distance qui sépare 2 points vibrant en phase.

Donc $\lambda = 51$ m

- 3) A quelles dates, le bateau A sera-t-il en haut d'une vague ? au creux d'une vague ?

Il faut utiliser la période temporelle T .

Comme A est en haut de la vague à $t=0$, il va se trouver en haut tous les multiples de T , donc aux dates : $t = n \times T = 9,1 \times k$ s où k est un entier naturel.

- 4) Exprimer en fonction de la période T et d'un entier naturel n l'expression des dates pour lesquelles le bateau A se trouve au creux d'une vague.

A est au creux de la vague $\frac{1}{2}$ période après avoir été en haut de la vague.

$$t = k \times T + \frac{1}{2}T = (k + \frac{1}{2})T \text{ où } k \text{ est un entier naturel.}$$

- 5) Déterminer la célérité v de la houle.

Il faut utiliser la relation entre la longueur d'onde, période et célérité (2^{ème} définition de la longueur d'onde).

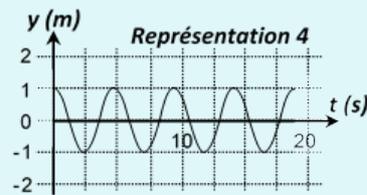
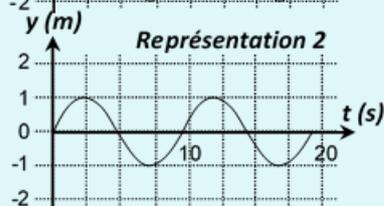
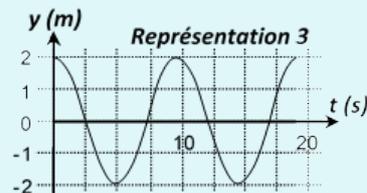
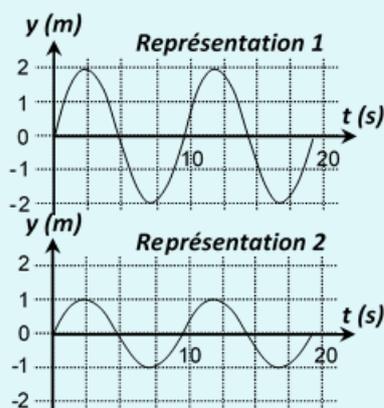
$$\lambda = vT \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} = \frac{51}{9,1} \approx 5,6 \text{ m/s}$$

- 6) Un bateau C se trouve à une distance $D = 383$ m de A. Dans quel état se trouve C à la date $t = 0$ s. Justifier.

$$\frac{383}{51} \approx 7,5$$

Donc 7,5 longueurs d'onde séparent les 2 bateaux. Donc si A est en haut de la vague, C est au creux de la vague. Les 2 bateaux sont en opposition de phase.

- 7) Choisir parmi les quatre représentations ci-contre celle qui correspond au mouvement du bateau A en fonction du temps.



A $t=0$, A est en haut de la vague. Donc seules les représentations 3 et 4 peuvent convenir.

On regarde la période :

Schéma 3 : 2 périodes en environ 18 s soit une période d'environ 9 s.

Schéma 4 : 4 périodes en environ 18 s soit une période d'environ 4,5 s.

Il s'agit donc de la représentation 3.



Au cours de ce deuxième chapitre, nous nous arrêterons d'abord sur l'émission et la propagation d'un son puis nous étudierons les caractéristiques de la perception d'un son.

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Décrire le principe de l'émission d'un signal sonore par la mise en vibration d'un objet et l'intérêt de la présence d'une caisse de résonance.
- Expliquer le rôle joué par le milieu matériel dans le phénomène de propagation d'un signal sonore.
- Citer une valeur approchée de la vitesse de propagation d'un signal sonore dans l'air et la comparer à d'autres valeurs de vitesses couramment rencontrées.
- Mesurer la vitesse d'un signal sonore.
- Définir et déterminer la période et la fréquence d'un signal sonore notamment à partir de sa représentation temporelle.
- Utiliser une chaîne de mesure pour obtenir des informations sur les vibrations d'un objet émettant un signal sonore.
- Mesurer la période d'un signal sonore périodique.
- Citer les domaines de fréquences des sons audibles, des infrasons et des ultrasons.
- Relier qualitativement la fréquence à la hauteur d'un son audible.
- Relier qualitativement intensité sonore et niveau d'intensité sonore.

Q PRÉREQUIS

- ondes mécaniques progressives.
- (optionnel) fonction logarithme.



Première approche

ACTIVITÉ 2

Caractériser un son.

On dispose de divers instruments et d'un analyseur de son constitué d'un micro placé devant l'instrument et relié à un oscilloscope.

Les paramètres de l'oscilloscope ne sont modifiés au cours des différentes expériences.

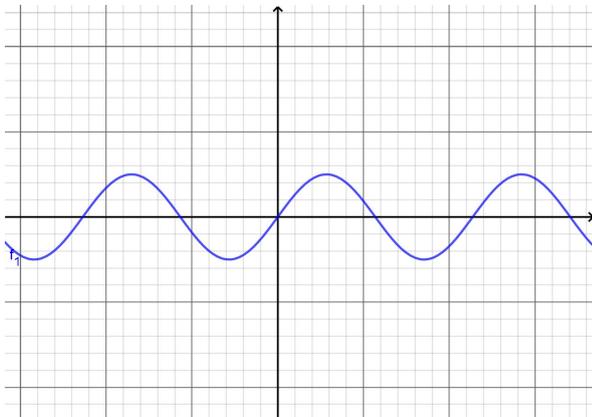


Expérience 1 :

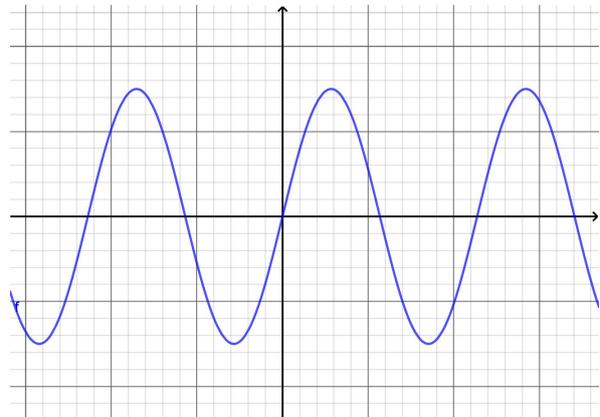
Courbe 1-a : un diapason La3 (440Hz) frappé doucement.

Courbe 1-b : un diapason La3 frappé vivement.

Voilà les courbes obtenues :



Courbe 1-a :



Courbe 1-b

1) Quelles sont les allures des 2 courbes ?

.....

2) Les 2 courbes correspondent à un signal périodique. Les périodes sont-elles identiques ?

.....

3) Quelle est la différence entre les 2 courbes ?

.....

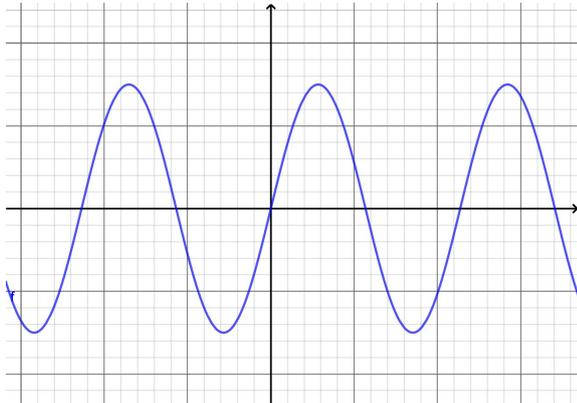
4) Concluez.

Expérience 2 :

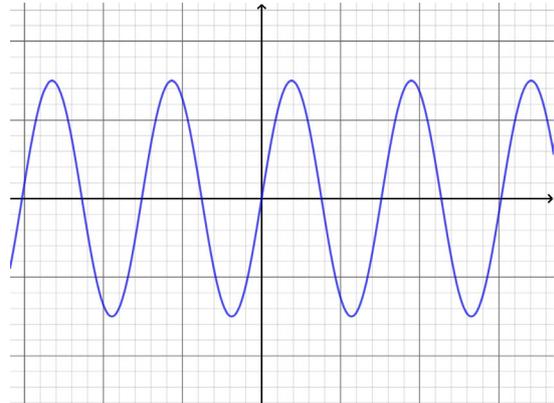
Courbe 2-a : un diapason La₃

Courbe 2-b : un diapason Mi₄ frappé avec la même force.

Voilà les courbes obtenues :



Courbe 2-a :



Courbe 2-b

5) Quelles sont les allures des 2 courbes ?

6) Les 2 courbes correspondent à un signal périodique. Les périodes sont-elles identiques ?

7) Quelle est la différence entre les 2 courbes ?

8) Concluez

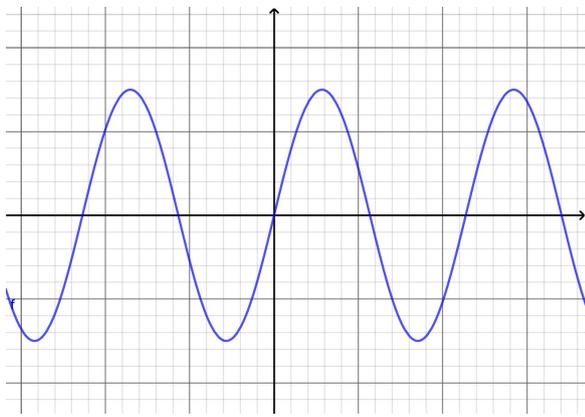
Expérience 3 :

Courbe 3-a : un diapason La₃

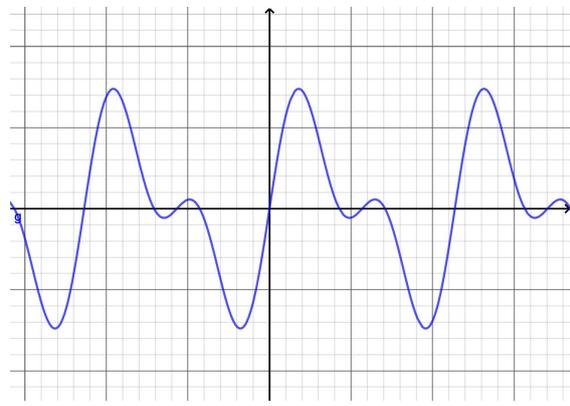
Courbe 3-b : un La₃ joué par une guitare.

Courbe 3-c : un La₃ joué par un violon.

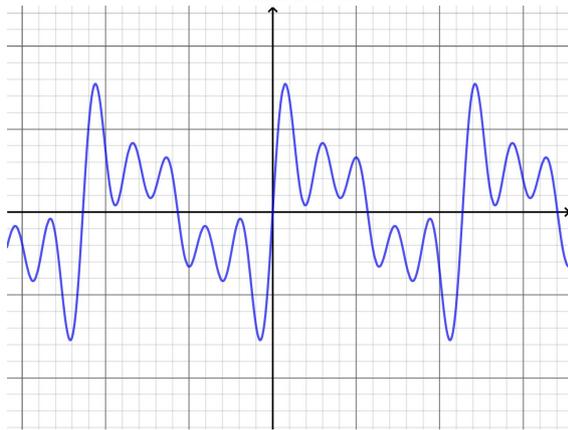
Voilà les courbes obtenues :



courbe 3-a



courbe 3-b



courbe 3-c :

9) Quelles sont les allures des courbes ?

.....

10) Sont-elles périodiques ?

.....

11) Si oui, les périodes sont-elles identiques ?

.....

.....

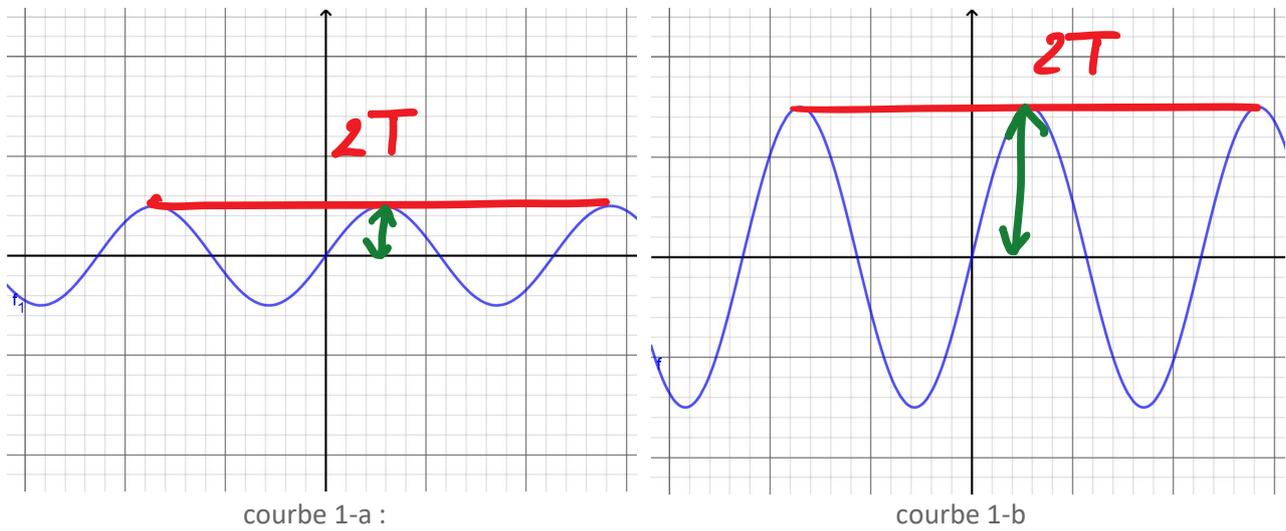
SOLUTIONS DE L'ACTIVITÉ 2

Expérience 1 :

Courbe 1-a : un diapason La3 (440Hz) frappé doucement

Courbe 1-b : un diapason La3 frappé vivement

Voilà les courbes obtenues :



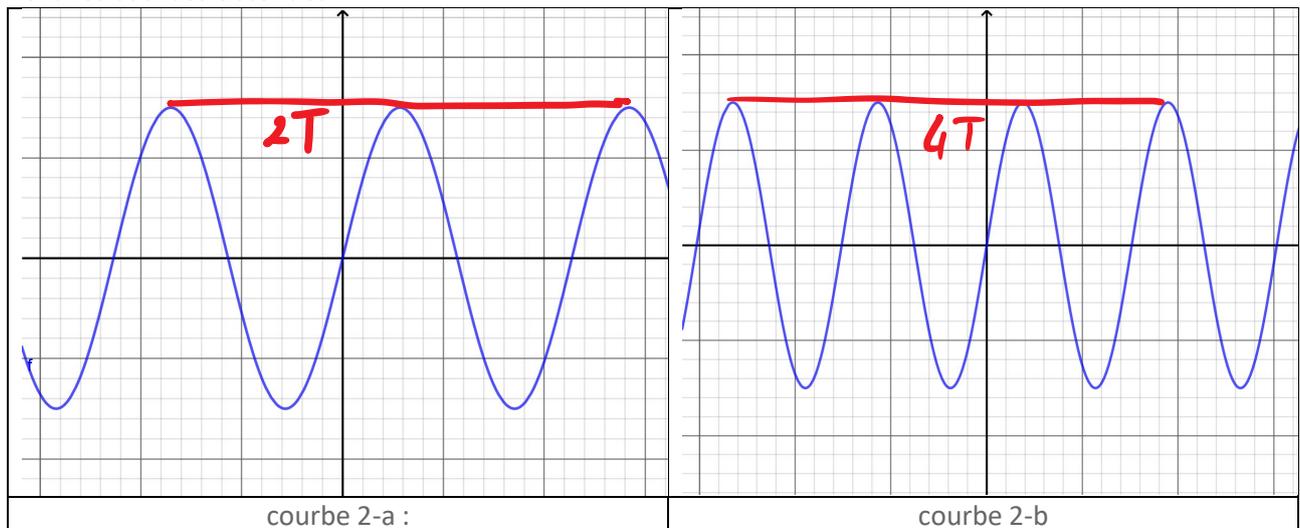
- 1) Les 2 courbes sont des sinusoïdes.
- 2) Les périodes sont identiques : 4,6 divisions pour 2 périodes, soit 2,3 divisions par période.
- 3) Les 2 courbes n'ont pas la même amplitude.
- 4) Le fait de frapper la même note plus fort ne change pas la période, mais cela augmente l'amplitude du signal.

Expérience 2 :

Courbe 2-a : un diapason La₃

Courbe 2-b : un diapason Mi₄ (plus aigu) frappé avec la même force.

Voilà les courbes obtenues :



- 5) Les 2 courbes sont des sinusoïdes.
- 6) Les périodes ne sont pas identiques :
4,6 divisions pour 2 périodes pour la courbe 2.a, soit 2,3 divisions par période.
4,6 divisions pour 4 périodes pour la courbe 2.b, soit 1,2 divisions par période.
- 7) Les courbes ont des amplitudes égales, mais des périodes différentes.
- 8) Plus une note est aiguë, plus sa période est petite, donc sa fréquence élevée.

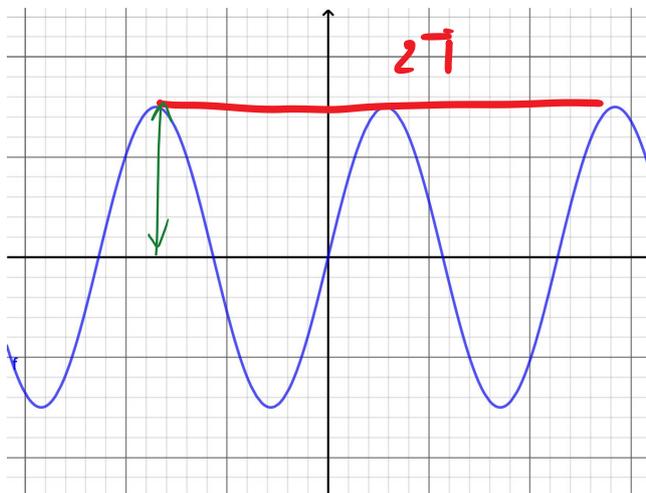
Expérience 3 :

Courbe 3-a : un diapason La₃

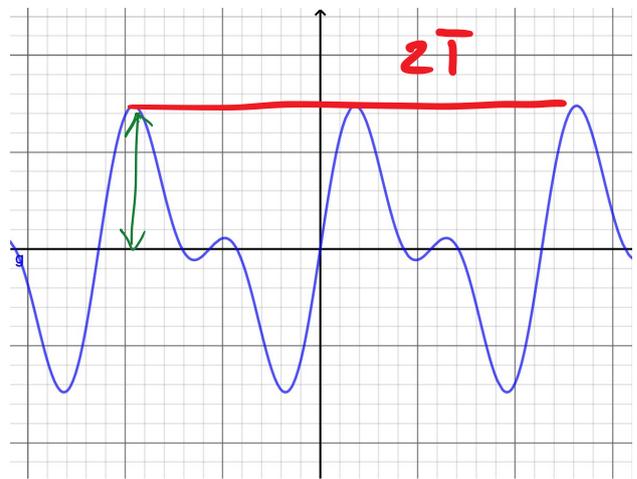
Courbe 3-b : un La₃ joué par une guitare.

Courbe 3-c : un La₃ joué par un violon.

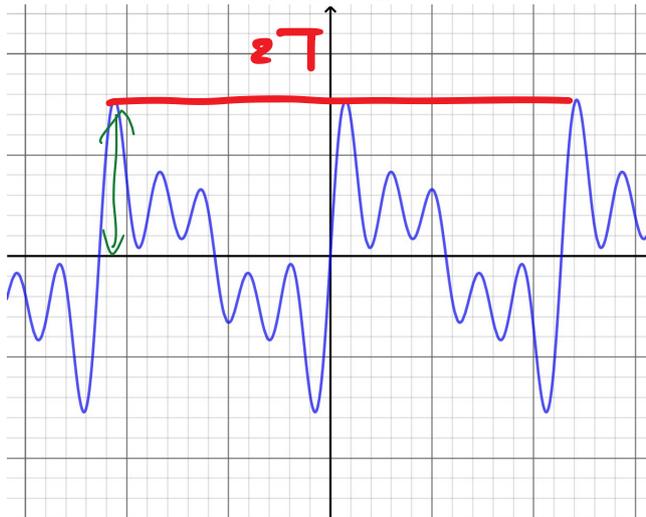
Voilà les courbes obtenues :



Courbe 3-a



Courbe 3-b



Courbe 3-c :

- 9) La courbe 3.a est une sinusoïde. Les courbes 3-b et 3-c ne sont pas des sinusoïdes.
 10) Les périodes sont identiques : 4,6 divisions pour 2 périodes, soit 2,3 divisions par période.
 11) La même note jouée par différents instruments donne des courbes périodiques d'allures différentes.



ONDES SONORES

Émission et propagation d'un son



L'ESSENTIEL

Un signal sonore est produit par la vibration d'un objet.

Exemple :

Si on pince une corde de guitare elle se met en vibration. De même, si on frappe un diapason, ses branches se mettent en vibration.

- Les vibrations sont parfois très faibles. Il est éventuellement nécessaire de l'amplifier à l'aide d'une **caisse de résonance**.

Exemple :

La caisse d'une guitare permet d'amplifier la vibration d'une corde.





L'ESSENTIEL

La vibration va se propager dans un milieu matériel (fluide ou solide) : air, eau...

- Un signal sonore se propage dans l'air en comprimant-dilatant des tranches d'air. Ne pas confondre les ondes sonores (ondes mécaniques) et les ondes radio (ondes électromagnétiques).



L'ESSENTIEL

Les ondes sonores sont des ondes mécaniques longitudinales périodiques de fréquence comprise entre 20 Hz et 20000 Hz. Au-delà de 20000 Hz, on parle d'ondes ultrasonores.

On peut donc appliquer ce qui a été vu au chapitre précédent aux ondes sonores.



L'ESSENTIEL

La célérité d'une onde sonore (célérité) dépend généralement du milieu matériel et de sa température. Dans l'air à 20°C, on considère que la célérité indépendante de la fréquence et qu'elle vaut 340 m/s.

- On considère donc que l'air est un milieu non dispersif pour les ondes sonores.

Plus un milieu est dense, plus la célérité est grande.

Le son se propage donc plus vite dans l'eau que dans l'air, et encore plus vite dans du fer.

Exemples :

La célérité du son dans l'eau est d'environ 1500 m/s, et dans du fer elle vaut environ 5000 m/s.



À VOUS DE JOUER 6

Complétez.

- 1) Un son peut être amplifié par une
- 2) Un son (*peut/ne peut pas*) se propager dans le vide, car il s'agit d'une onde
- 3) Les ondes sonores sont des ondes (*longitudinales/transversales*)
- 4) La célérité du son dans l'air à 20° est d'environ
- 5) Un vibreur produit une onde de période 50000 Hz. Il s'agit d'un
On (*peut/ne peut pas*) l'entendre.



ONDES SONORES

Perception d'un son

HAUTEUR ET TIMBRE D'UN SON

Les ondes sonores sont en fait une **addition d'ondes sinusoïdales**. Pour les analyser, on fait une **analyse spectrale** en déterminant l'amplitude de ces ondes sinusoïdales suivant leur fréquence.



L'ESSENTIEL

Un son pur est un son composé d'une seule fréquence. Sa courbe est une sinusoïde.
Un son composé de plusieurs fréquences est un son complexe. Sa courbe est périodique mais non sinusoïdale.

Une note est une onde sonore composée d'une onde de fréquences f appelées fondamentales, et d'ondes de fréquences multiples de f appelé harmoniques.
La hauteur du son est la fréquence du son fondamental (fréquence la plus petite).

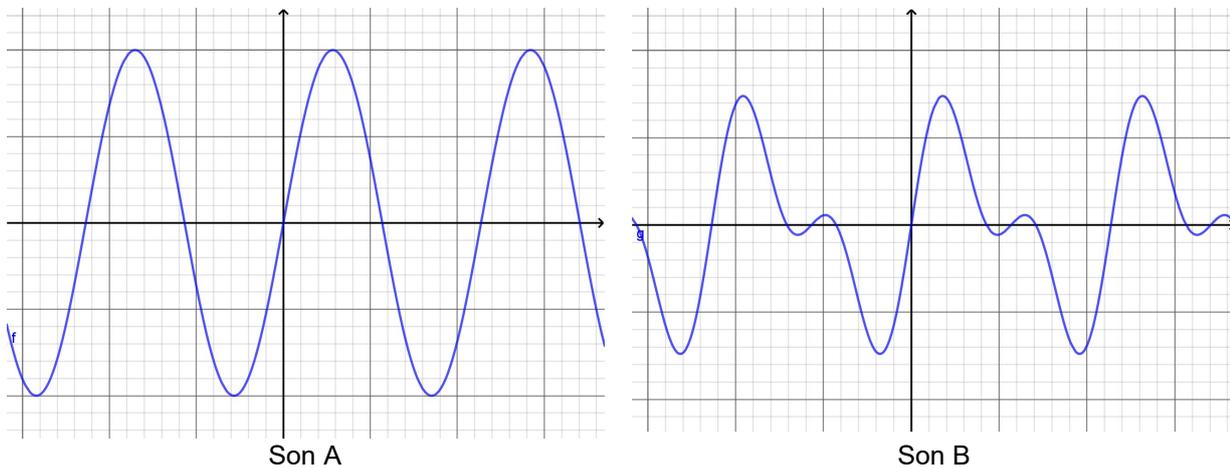
Le timbre d'un son dépend des différentes harmoniques et de leurs amplitudes relatives (donc du spectre).

Les sons graves (basses fréquences) ont des fréquences plus courtes que les sons aigus (hautes fréquences)

Un bruit est une superposition d'ondes sinusoïdales dont certaines fréquences ne sont pas multiples de la fréquence la plus basse.

Dans la suite, on s'intéressera aux ondes correspondant à des notes.

Exemples :



Ces 2 sons ont la même **période**. Ils correspondent à des sons de même **hauteur**.

Le son A est pur (sinusoïde) ; le son B est **complexe** : il correspond à la superposition de plusieurs sinusoïdes.



POUR ALLER PLUS LOIN

LA MAGIE DU SON – Un documentaire de Jerry Thompson

Ce film étonnant se penche sur les multiples études menées aujourd'hui sur le son, dans des domaines comme la santé, l'urbanisme ou la psychologie... Nous nous initions à la cymatique, l'étude de la visualisation des vibrations du son avec du sable ou avec de l'eau. Nous découvrons les toutes dernières recherches en écologie acoustique ou étude des paysages sonores, aussi bien naturels que produits par l'Homme. Nous rencontrons un expert en écholocalisation humaine, qui aveugle à l'âge de 13 mois a appris à "voir" le monde de la même manière que les chauve-souris

[A voir sur YouTube et Dailymotion](#)

Fréquences des notes (en hertz) dans la gamme tempérée

Note/octave	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
do ou si \sharp	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01	8 372,02	16 744,04
do \sharp ou ré \flat	17,33	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92	8 869,84	17 739,68
ré	18,36	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64	9 397,28	18 794,56
ré \sharp ou mi \flat	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03	9 956,06	19 912,12
mi ou fa \flat	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04	10 548,08	21 096,16
fa ou mi \sharp	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65	11 175,30	22 350,60
fa \sharp ou sol \flat	23,13	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91	11 839,82	23 679,64
sol	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93	12 543,86	25 087,72
sol \sharp ou la \flat	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44	6644,88	13 289,76	26 579,52
la	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00	14 080,00	28 160,00
la \sharp ou si \flat	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62	14 917,24	29 834,48
si ou do \flat	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13	15 804,26	31 608,52

- La hauteur est donc liée à la période (donc à la fréquence) de l'onde, qu'il soit pur ou complexe.
- Les fréquences des harmoniques sont des multiples de la fréquence du fondamental.

Exemple :

Si on joue un Do₃ à 261 Hz au violon, on va également produire des sons de fréquences 522 Hz, 783 Hz, soit un Do₄, un Sol₄.



À VOUS DE JOUER 7

Complétez.

Un son est un son composé d'une seule fréquence qui est appelée la du son.

La hauteur d'un son complexe est la fréquence du son

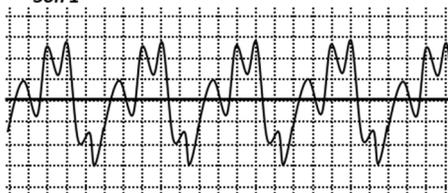
Un son complexe est composé de son et de ses



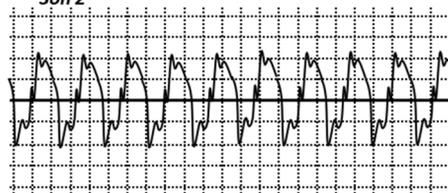
À VOUS DE JOUER 8

Différents sons sont enregistrés à l'aide d'un microphone. La tension obtenue pour chacun d'eux est visualisée sur l'écran d'un oscilloscope dont les sensibilités sont : Horizontale : 1,0 ms/div – Verticale : 50 mV/div

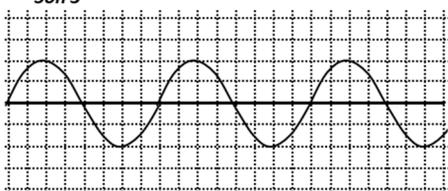
Son 1



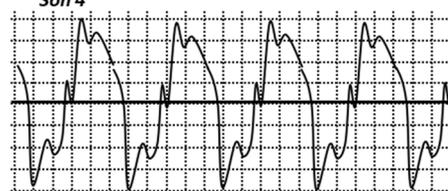
Son 2



Son 3



Son 4



1) Quel est parmi ces sons celui qui est le plus fort ? Pourquoi ?

.....

2) Quel est parmi ces sons celui qui est le plus aigu ? Pourquoi ?

.....

3) Existe-t-il dans ces enregistrements des sons de même hauteur ? Si oui, lesquels.

.....

4) Existe-t-il dans ces enregistrements des sons de même timbre ? Si oui, lesquels.

.....

5) Quelle est la particularité du son 3 ? Déterminer sa période et en déduire sa fréquence.

.....

.....

INTENSITÉ ET NIVEAU SONORE

L'intensité et le niveau sonore permettent de distinguer un son fort d'un son faible reçu par un récepteur.



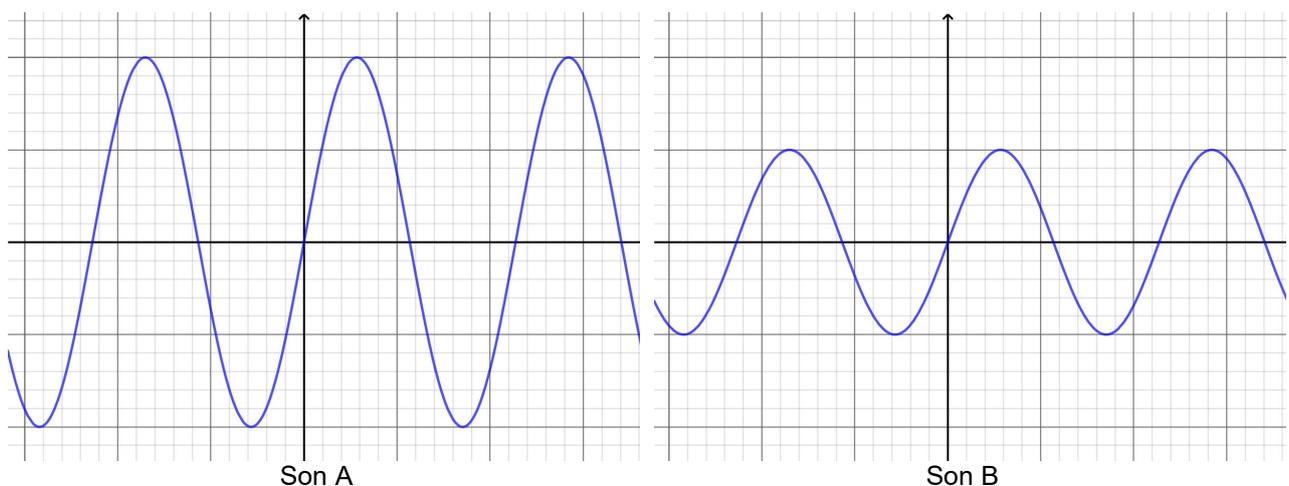
L'ESSENTIEL

L'intensité sonore I (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) est l'énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface (donc la puissance par unité de surface).

L'intensité est reliée à l'amplitude du signal sonore et généralement de la distance à la source.

Exemple :

La célérité du son dans l'eau est d'environ 1500 m/s, et dans du fer elle vaut environ 5000 m/s.



L'intensité sonore du son A est supérieure à celle du son B.

Si on fait avec 2 violons la même note, on ne percevra pas un son 2 fois plus fort. On a donc été amené à définir la notion de niveau d'intensité sonore.



L'ESSENTIEL

Le niveau sonore (en décibels dB) est lié à l'intensité sonore et à la distance à la source. Il se mesure avec un sonomètre.

L'échelle de niveau sonore est adaptée à la perception du son par l'oreille humaine. 0 dB correspond au **seuil d'audibilité**.

Exemple :

Si on fait jouer 2 violons au lieu d'un seul, le niveau d'intensité sonore augmente de 3 db.

➤ Pour aller plus loin : le niveau sonore est une fonction logarithmique.

Expression du niveau sonore :
$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

où I_0 est une intensité de référence (valeur usuelle : $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)

A partir de **85 dB**, on estime qu'un son prolongé peut engendrer une perte d'audition. Il s'agit du seuil de risque. A ce titre vous ici l'échelle de décibels proposée par la Journée Nationale de l'Audition.

Echelle de décibels (dB) perçus par l'oreille

	dB	OBJETS OU SITUATIONS GÉNÉRANT UN BRUIT			
DANGEREUX	190	FUSÉE AU DÉCOLLAGE	7		
	170	TIR DE FUSIL D'ASSAUT / DE CHASSE			
	160	EXPLOSION DE PÉTARDS / PISTOLET			
NOCIF	150	AVION AU DÉCOLLAGE / MARTEAU PIQUEUR		6	
	140	DÉTONATION / EXPLOSION / ARME À FEU			
	130	ENCEINTES À FOND DANS UNE VOITURE			
RISQUÉ	110	CONCERT / DISCOTHÈQUE / RAVE PARTY		5	
	100	BALADEUR ÉCOUTÉ À PLEINE PUISSANCE			
	90	TRAFIC ROUTIER / MOTO / TRACTEUR			
FATIGANT / PÉNIBLE	80	CIRCULATION AUTOMOBILE / KLAXON	4		
	70	ASPIRATEUR / TONDEUSE / SOUFFLEUR			
	65	BRUIT DANS UNE VOITURE QUI ROULE			
SUPPORTABLE	60	CONVERSATION NORMALE / FENÊTRE SUR RUE	3		
	50	RESTAURANT CALME / GRANDS MAGASINS			
	45	LAVE-VAISSELLE / LAVE-LINGE			
AGRÉABLE	40	BUREAU OU APPARTEMENT TRANQUILLE	2		
	30	CHAMBRE À COUCHER / BRISE LÉGÈRE			
	25	CAMPAGNE SANS VENT DANS LES ARBRES			
TRÈS CALME	20	CONVERSATION À VOIX BASSE / JARDIN	1		
	10	DÉSERT / FORÊT / STUDIO D'ENREGISTREMENT			
	0	SEUIL D'AUDIBILITÉ, IMPERCEPTIBLE À L'OREILLE			

LE TEMPS DU BILAN

- Un signal sonore est produit par la **vibration** d'un objet.
- Un **son pur** est un son composé d'une seule fréquence. Sa courbe est une sinusoïde.
- Un son composé de plusieurs fréquences est un **son complexe**. Sa courbe est périodique mais non sinusoïdale.
- Une **note** est une onde sonore composée d'une onde de fréquences f appelées **fondamentales**, et d'ondes de fréquences multiples de f appelées **harmoniques**.
- La **hauteur** du son est la fréquence du son fondamental (fréquence la plus petite).
- Le **timbre** d'un son dépend des différentes harmoniques et de leurs amplitudes relatives (donc du spectre).
- L'**intensité sonore** (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) est l'énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface (donc la puissance par unité de surface).
- Célérité du son dans l'air : **340 m/s**
- Seuil de risque en niveau sonore : **85 dB**

Déterminez pour chacune des propositions si elle est vraie ou fausse.

Question 1

La célérité du son dans l'air est $v = \sqrt{\frac{kT}{M}}$ où T est la température absolue (en kelvin) et M la masse molaire du gaz ; k est une constante.

- A. La célérité du son diminue quand la température augmente.
- B. La célérité du son varie avec la fréquence.
- C. La célérité du son dans l'air est de l'ordre de 1000 km.h⁻¹.

Question 2

Les éléphants émettent des infrasons (dont la fréquence est inférieure à 20 Hz). Cela leur permet de communiquer sur de longues distances et de se rassembler. Un éléphant est sur le bord d'une étendue d'eau et désire indiquer à d'autres éléphants sa présence. Pour cela, il émet un infrason. Un autre éléphant, situé à une distance $L = 24,0$ km, reçoit l'onde au bout d'une durée $\Delta t = 70,6$ s.

La valeur de la célérité de l'infrason dans l'air v est :

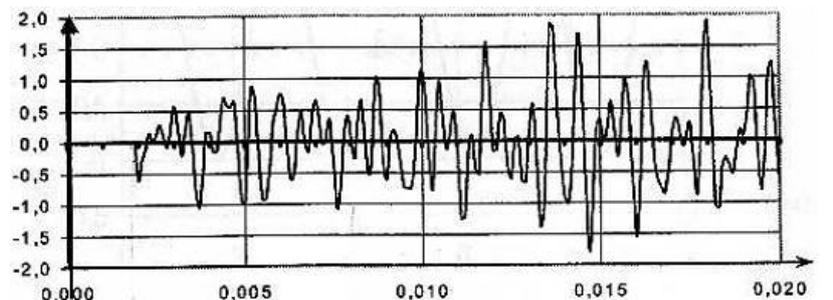
- A. $v = 34,0$ km.s⁻¹ ;
- B. $v = 340$ km.s⁻¹ ;
- C. $v = 340$ m.s⁻¹.

Célérité de l'onde sonore : première méthode.

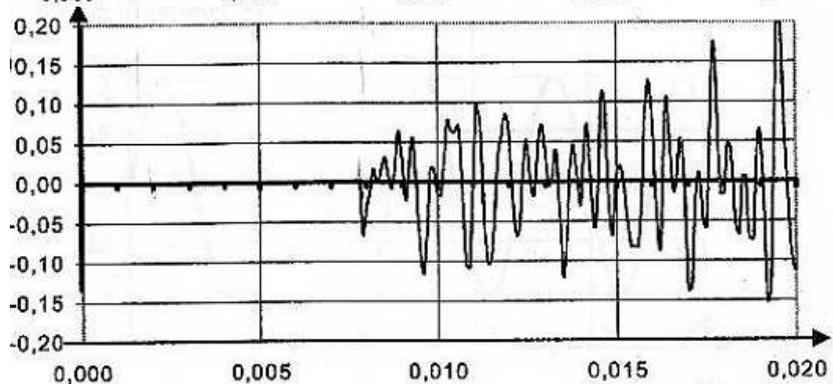
Trois microphones M_1 , M_2 et M_3 sont alignés de telle manière que les distances M_1M_2 et M_2M_3 valent respectivement 2,00 m et 3,00 m. Les signaux électriques correspondant aux sons reçus par les microphones sont enregistrés grâce à un ordinateur. Julien donne un coup de cymbale devant le premier micro M_1 puis lance immédiatement l'enregistrement. La température de la pièce est de 18°C.

Les courbes obtenues sont représentées ci-après. L'axe des abscisses donne le temps en seconde, et l'axe des ordonnées la tension en volt.

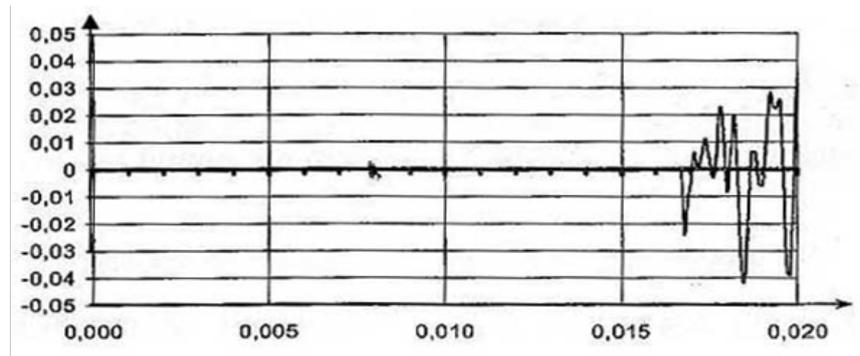
Microphone 1



Microphone 2



Microphone 3



- 1) Effectuez le calcul de la célérité de l'onde sonore pour la distance M1M2 puis pour la distance M2M3.

.....

.....

Les résultats obtenus sont-ils cohérents ?

.....

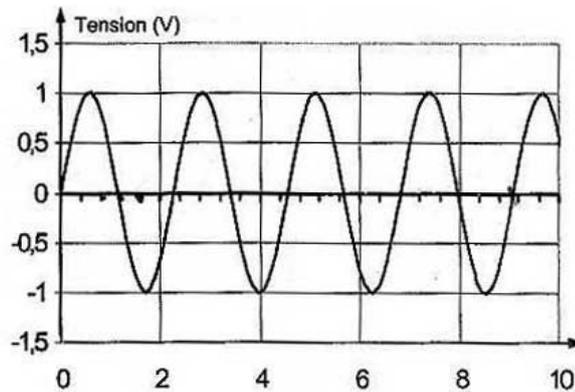
.....

.....

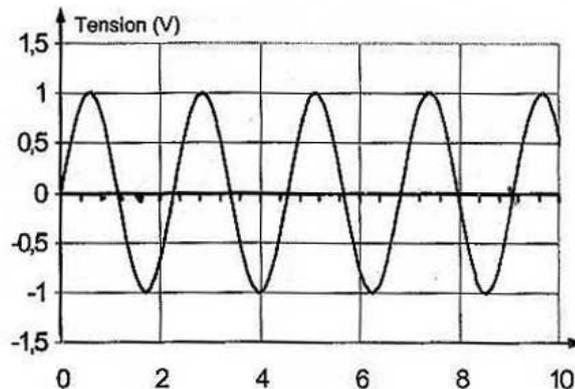
Célérité de l'onde : deuxième méthode.

Julien dispose maintenant les deux microphones M_1 et M_2 à la même distance d d'un diapason. Il obtient les courbes représentées ci-dessous. On remarque que les signaux sont en phase. L'axe des abscisses représente le temps en ms.

Microphone M1



Microphone M2



2) Déterminez la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Julien éloigne le microphone M2 peu à peu jusqu'à ce que les courbes soient de nouveau en phase. Il réitère l'opération jusqu'à compter cinq positions pour lesquelles les courbes sont à nouveau en phase. La distance D entre les deux microphones est alors égale à 3,86 m.

3) Quelle est la longueur d'onde ?

4) Calculez alors la célérité de l'onde.

5) D'après les résultats expérimentaux obtenus aux questions précédentes, le milieu de propagation des ondes sonores est-il dispersif ?

EXERCICE

06

Lors d'un concert le niveau sonore à 3 m d'une enceinte est de 103 dB.

1) Est-il risqué de rester à 3 m de l'enceinte pendant le concert ?

2) Quand on double la distance avec l'enceinte, le niveau sonore diminue de 6 dB.
A quelle distance minimale faut-il se placer pour ne pas prendre de risques ?

EXERCICE

07

D'après sujet Bac.

Jeux, ruts, combats ou fuites, les baleines communiquent par leurs "chants". Sans cordes vocales, elles émettent des sons par leur larynx et leur évent. Ces messages peuvent pour les grandes espèces, être perçus à plusieurs centaines de kilomètres.

Pour communiquer entre elles, deux baleines doivent non seulement se trouver à une certaine profondeur dans un couloir d'une hauteur de quelques centaines de mètres, mais aussi à une certaine distance l'une de l'autre.

Pour communiquer entre elles, deux baleines doivent non seulement se trouver à une certaine profondeur dans un couloir d'une hauteur de quelques centaines de mètres, mais aussi à une certaine distance l'une de l'autre.

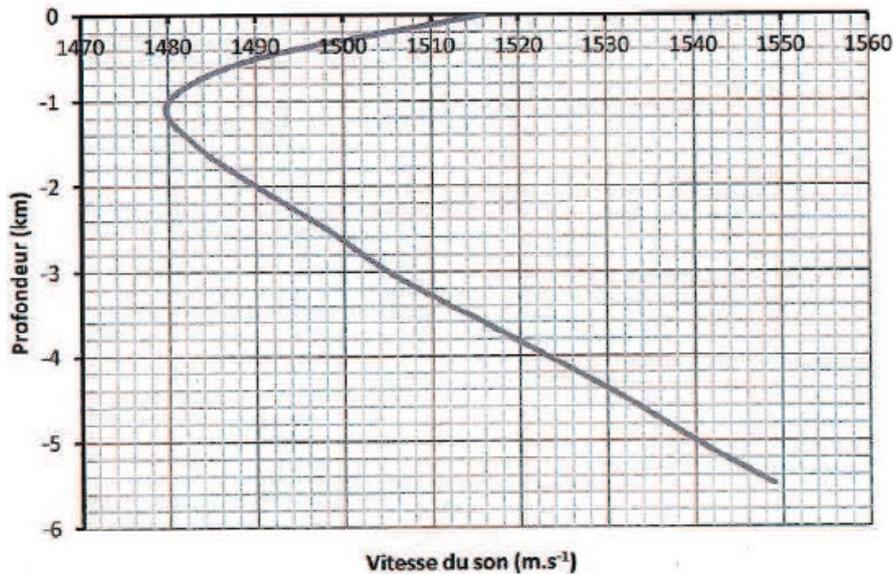
Document 1. LE SOFAR (SOund Fixing And Ranging), un guide d'ondes sonores

Dans les océans et dans certaines conditions, une onde sonore qui se dirige vers le haut est ramenée vers le bas dès qu'elle parvient dans les couches supérieures où la vitesse du son est plus grande ; à l'inverse, elle est ramenée vers le haut quand elle se dirige vers le bas dès qu'elle y rencontre des couches inférieures où la vitesse du son est supérieure. Quand une zone respecte ces critères, on parle de SOFAR.

Ce couloir SOFAR agit comme un guide d'ondes sonores comme illustré ci-dessous.



Document 2. Cartographie de la vitesse du son en fonction de la profondeur dans l'océan



Document 3. "La voix et l'oreille" des mammifères marins

Les cétacés produisent des émissions sonores dans une très large bande de fréquence, entre 10 Hz et 150 kHz environ. Les sons produits peuvent être de type bref (clics, tics, bourdons,...) ou continu (sifflements, chants, mugissements).

Quelques émissions sonores de cétacés :

	Fréquence moyenne d'émission	Niveau d'intensité sonore moyen à l'émission	Seuil d'audibilité*
Baleine (chant)	4000 Hz	170 dB	50 dB
Grand dauphin (clics)	120 kHz	222 dB	40 dB

*Le seuil d'audibilité correspond au niveau d'intensité sonore minimal perceptible par l'animal.

D'après un extrait de Richardson et al, 1995, Marine mammals and noise.



CALCULS DE LONGUEUR D'ONDE

Comme dans le chapitre précédent, il faut savoir également calculer des longueurs d'onde, des périodes ou des célérités à partir de graphiques.

Quand le milieu est l'air, on peut tester la cohérence de résultats sur la célérité (environ 340 m/s).

Exemple 1

Membre d'un groupe de rock et très intéressé par la nature et la propagation du son, Julien réalise les observations suivantes :

- Observation 1 : Aucun signal sonore ne nous parvient du Soleil alors qu'il s'y déroule en permanence de gigantesques explosions.
- Observation 2 : Une bougie est placée devant un haut-parleur qui émet un son très grave. On constate que la flamme se rapproche et s'éloigne alternativement de la membrane du haut-parleur mais qu'elle n'oscille pas dans la direction perpendiculaire.

Que montrent ces observations ?

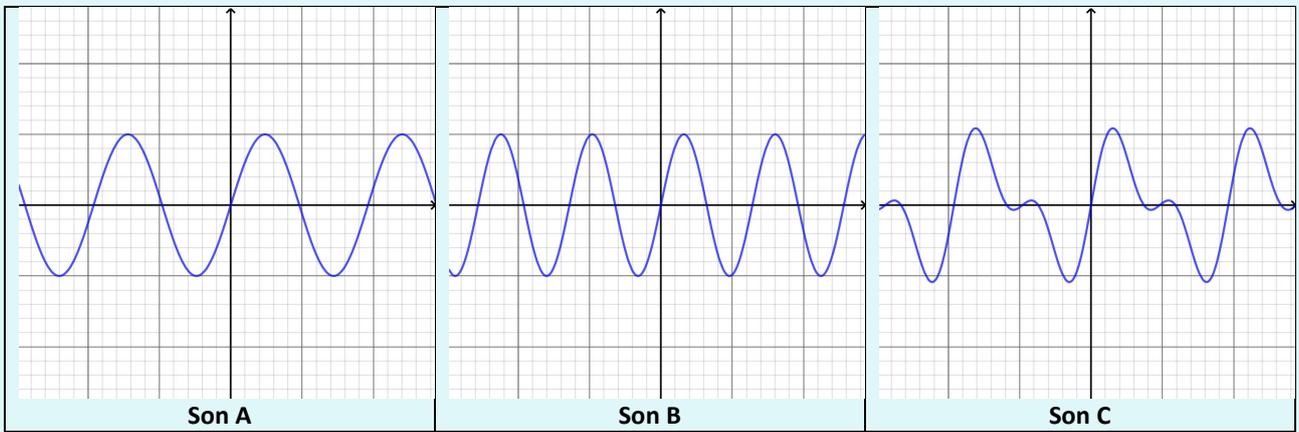
Une question de cours un peu originale vue au bac.

L'observation 1 montre que le son a besoin d'un milieu matériel pour se propager. Il s'agit d'une onde mécanique. L'observation 2 montre que le son est une onde longitudinale.

Exemple 2

Fréquences des notes (en hertz) dans la gamme tempérée

Note/octave	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>do</i> ou <i>si</i> \sharp	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,00	4186,01	8 372,02	16 744,04
<i>do</i> \sharp ou <i>réb</i>	17,33	34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1108,73	2217,46	4434,92	8 869,84	17 739,68
<i>ré</i>	18,36	36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,66	2349,32	4698,64	9 397,28	18 794,56
<i>ré</i> \sharp ou <i>mi</i> b	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1244,51	2489,02	4978,03	9 956,06	19 912,12
<i>mi</i> ou <i>fa</i> b	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,02	5274,04	10 548,08	21 096,16
<i>fa</i> ou <i>mi</i> \sharp	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	5587,65	11 175,30	22 350,60
<i>fa</i> \sharp ou <i>sol</i> b	23,13	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1479,98	2959,96	5919,91	11 839,82	23 679,64
<i>sol</i>	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1567,98	3135,96	6271,93	12 543,86	25 087,72
<i>sol</i> \sharp ou <i>la</i> b	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,22	3322,44	6644,88	13 289,76	26 579,52
<i>la</i>	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1760,00	3520,00	7040,00	14 080,00	28 160,00
<i>la</i> \sharp ou <i>si</i> b	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	7458,62	14 917,24	29 834,48
<i>si</i> ou <i>do</i> b	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	7902,13	15 804,26	31 608,52



1) Quels sont les sons purs ?

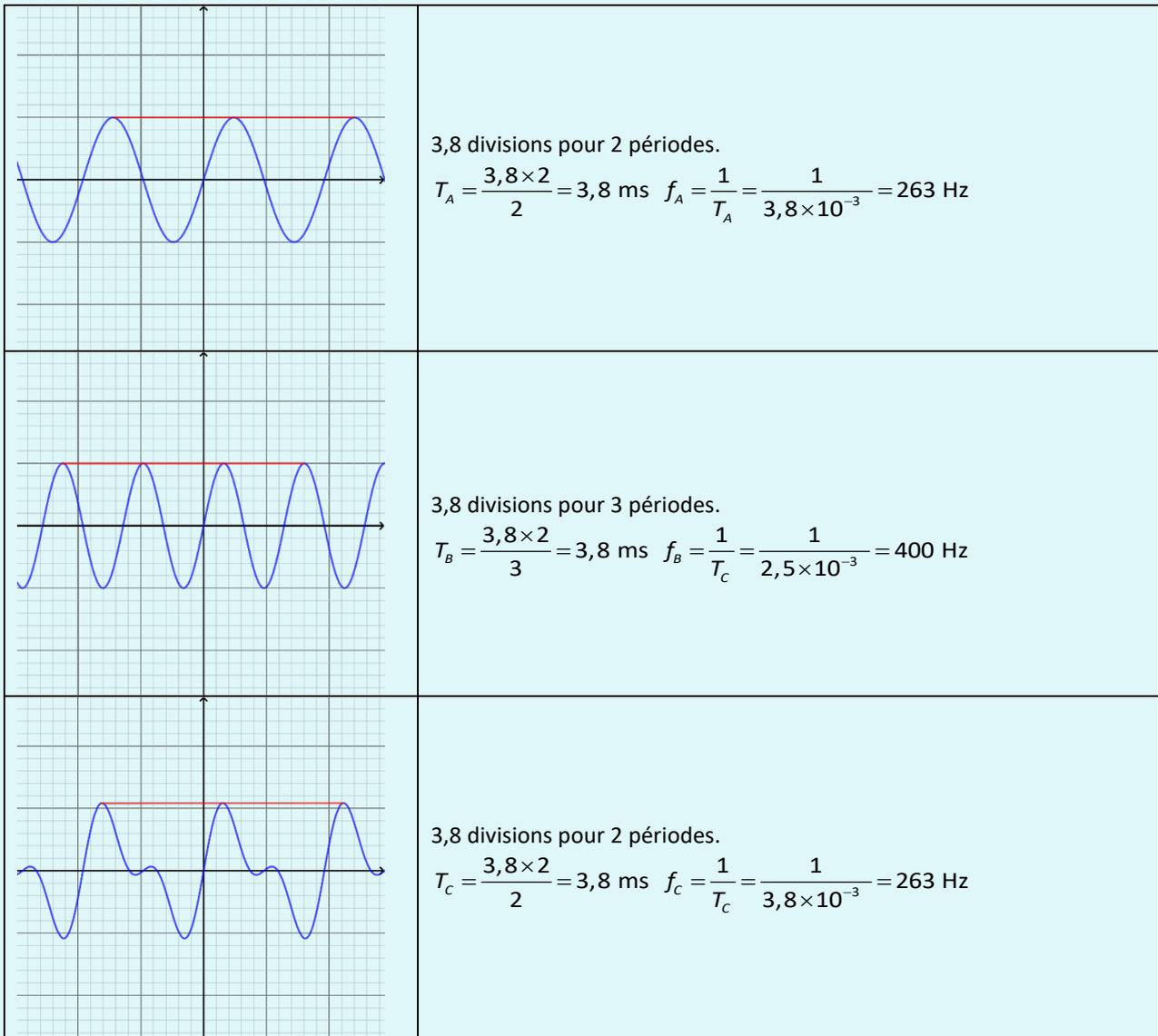
Il est préférable de rappeler la définition d'un son pur.

Les signaux des sons purs sont sinusoïdaux.

Les sons A et B sont des sons purs.

2) Déterminer les périodes des différents sons (1 division correspond à 2 ms).

Une utilisation de graphique pour déterminer une période. Penser à utiliser le maximum de périodes pour augmenter la précision.



- 3) 2 sons correspondent à la même note. Lesquels ? Qu'est ce qui les distingue ?

Les sons A et C ont la même période. Ils correspondent à la même note.

- 4) Quel est le son correspondant à la note la plus aigüe ? Justifier.

La période la plus courte donc la fréquence la plus élevée correspondent au son B.
B correspond à la note la plus aigüe.

- 5) Quelles sont les notes jouées ? Commenter.

Les sons A et C correspondent au do₃, et le B au sol₃.

Il y a des différences avec les fréquences du tableau dues soit à la précision des mesures, soit à des notes jouées pas très justes.

- 6) Quelle est la longueur d'onde du son A dans l'air à 20°C ?

Il faut connaître la célérité du son dans l'air.

$$\lambda_A = vT_A = 340 \times 3,8 \times 10^{-3} = 1,3 \text{ m.}$$



Vous pouvez maintenant
faire et envoyer le **devoir n°1**

