

Physique Chimie

T S

Enseignement spécifique

Livre du professeur

Sous la direction de

Thierry DULAURANS
Lycée Fernand-Daguin à Mérignac

André DURUPHTY
Lycée Paul-Cézanne à Aix-en-Provence

Michel BARDE
Lycée Marcel-Pagnol à Marseille

Nathalie BARDE
Lycée Saint-Charles à Marseille

Jean-Philippe BELLIER
Lycée Michel-Montaigne à Bordeaux

Vincent BESNARD
Lycée Montesquieu à Bordeaux

Marc BIGORRE
Lycée des Graves à Gradignan

Julien CALAFELL
Lycée Bellevue à Toulouse

Éric DAINI
Lycée Paul-Cézanne à Aix-en-Provence

Maryline DAINI-D'INCAN
Lycée Maurice-Janetti
à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume

Marie des Neiges DE FLAUGERGUES
Lycée du Grésivaudan à Meylan

Magali GIACINO
Lycée Paul-Cézanne à Aix-en-Provence

Nicolas LESCURE
Lycée Michel-Montaigne à Bordeaux

Vanina MONNET
Lycée Michel-Montaigne à Bordeaux

Bruno POUDENS
Lycée des Graves à Gradignan

Isabelle TARRIDE
Lycée Val de Durance à Pertuis

Sommaire

Erratum.....	3
--------------	---

OBSERVER : Ondes et matière

1 Ondes et particules.....	5
2 Caractéristiques des ondes.....	10
3 Propriétés des ondes.....	18
4 Analyse spectrale.....	28
Pages Bac : exercices et TP.....	39

COMPRENDRE : Lois et modèles

5 Cinématique et dynamique newtoniennes.....	42
6 Application des lois de Newton et des lois de Kepler.....	56
7 Travail et énergie.....	70
8 Temps et relativité restreinte.....	82
9 Temps et évolution chimique : cinétique et catalyse.....	90
10 Représentation spatiale des molécules.....	100
11 Transformations en chimie organique : aspect macroscopique.....	109
12 Transformations en chimie organique : aspect microscopique.....	120
13 Réaction chimique par échange de proton.....	132
14 Transferts macroscopiques d'énergie.....	145
15 Transferts quantiques d'énergie et dualité onde-particule.....	154
Pages Bac : exercices et TP.....	162

AGIR : Défis du XXI^e siècle

16 Les enjeux énergétiques.....	168
17 Une chimie pour un développement durable.....	173
18 Contrôle de la qualité par dosage.....	182
19 Stratégie de synthèse et sélectivité en chimie organique.....	193
20 Numérisation de l'information.....	206
21 Transmission et stockage de l'information.....	214
22 Science et société.....	222
Pages Bac : exercices et TP.....	227

COMPLÉMENTS

Complément au chapitre 4 : Spectroscopie UV-visible, IR et de RMN	233
Complément au chapitre 8 : La relativité restreinte.....	240
Évaluation des incertitudes de mesure.....	253

Couverture : Pierre-Antoine Rambaud – Suivi éditorial : Annie Herschlikowitz
Maquette intérieure et composition : PCA/CMB Graphic
Schémas : Patrick Hanequand et Jean-Luc Maniouloux

Erratum

Lors de la réimpression de l'ouvrage, certaines erreurs ont été corrigées. Il est donc possible qu'il y ait différentes versions dans votre classe. Voici la liste des corrections qui nous semblent importantes.

Les éléments modifiés sont surlignés en jaune.

Chapitre 1

Page 24

Dans les consignes, il faut enregistrer la tension U_{CB} .

Chapitre 2

Page 57, exercice 33

Question 3 : « L'intensité sonore correspondant au seuil d'audibilité est de $1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. »

Chapitre 3

Page 78, exercice 20

Erreur de numérotation dans la question 3 :

« **c**. L'incertitude sur la mesure...

Calculer l'incertitude...

d. En déduire un encadrement... »

Chapitre 4

Page 102, solution rédigée

Question 1 : « Domaine des nombres d'ondes pour $C-H$: $3200-3650 \text{ cm}^{-1}$. »

Page 112, exercice 41

Dans le **B**, question 4 : pour le composé D, il faut inverser les mentions entre parenthèses : les triplets sont pour **3H** et les quadruplets pour **2H**.

Chapitre 5

Page 132, A. Étude expérimentale

Dans l'énoncé, il s'agit du référentiel « héliocentrique » et non « géocentrique ».

Page 147, exercice 15

Il manque la lettre « **e** » avant le dernier schéma (mouvement circulaire uniforme).

Page 148, exercice 16

Une aide au calcul indiquant que $\sqrt{2} \approx 1,4$ a été ajoutée.

Chapitre 6

Page 161

La question 5 doit être numérotée 4.

Page 169

Dans l'exercice 2, il faut inverser les questions 2 et 3 pour éviter une prise en compte de l'approximation d'une trajectoire circulaire dans la loi des aires. (Cela implique donc également une modification du corrigé, en page 606).

Page 174, exercice 16

Dans l'énoncé, il faut préciser que la route horizontale est rectiligne.

Page 174, exercice 17

Dans la formule de v_B (question 3.a), le d doit être

$$\text{sous la racine : } v_B = \sqrt{\frac{2e \cdot E}{m_e} \cdot d}$$

Page 177, exercice 23

Dans la question 5.a, il manque α en indice de la masse : m_α .

Chapitre 8

Pour déterminer $\Delta T'$, il faut disposer de deux horloges fixes dans le référentiel galiléen (R') et synchronisées entre elles, une horloge étant proche de l'un des événements, et l'autre horloge étant proche de l'autre événement.

Cela a nécessité plusieurs modifications dans le chapitre.

Page 220, exercice 14

Il faut préciser que $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Chapitre 9

Page 232

Dans la question 2, il faut préciser la masse volumique du benzaldéhyde : « Vérifier que le benzaldéhyde (de masse volumique $\rho = 1,042 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$) est le réactif limitant de cette synthèse. »

Page 251, exercice 27

Sur le graphe, en ordonnée, lire $[H^+(t)]$, qui est bien sûr identique à $[H_3O^+(t)]$.

Page 253, exercice 29

Dans le tableau, pour $t = 150 \text{ s}$, il faut lire $V(O_2) = 171 \text{ mL}$ et non 13 mL.

Chapitre 10

Page 275, exercice 29

Partie A, question 2 : restreindre la question aux molécules **A**, **B**, **C** et **D**.

Chapitre 11

Page 293, exercice 12

Dans la formule **D**, la liaison **C=O** doit être comme celle de **B**, au-dessus.

Page 295

Erreur de numérotation : l'exercice 24 a été numéroté 20 par erreur.

Page 298, exercice 33

Pour l'expérience 2, lire : « ...un volume V' = 60 mL d'une solution concentrée... ».

Chapitre 12

Page 320, exercice 25

Dans le mécanisme de la réaction de saponification, dans l'étape (2), par analogie avec l'étape (1) : dans le membre de gauche, lire « $R-C(O^-)(OH)-O-R'$ » ; dans le membre de droite, lire « $R'-O^-$ ».

De même, dans l'étape (3) : dans le membre de gauche, lire « $R'-O^-$ » ; dans le membre de droite, lire « $R'-O-H$ ».

Chapitre 13

Page 328

Dans la question 11.c, la valeur de K_A devrait être $1,58 \times 10^{-4}$.

Page 330, document 5

Remplacer la valeur 2,88 sur le 1^{er} écran par 3,40.

Page 333, document 10

Pour le sang, remplacer « 7,34-7,45 » par « 7,35-7,45 ».

Chapitre 16

Page 419

Les questions ont été numérotées de 1 à 13.

Chapitre 17

Page 454, exercice 13

Erreur de numérotation : remplacer « 4. » par « 3. », « 5. » par « 4. » et « 6. » par « 5. ».

Chapitre 18

Page 468

Document 6 : la concentration C_2 doit être $C_2 = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Question 8 : il faut déplacer la phrase « En déduire la masse... » avant la phrase « Comparer la masse... ».

Chapitre 19

Page 493

Dans l'étape 1, il faut préciser une donnée : « ...et y introduire 7,0 mL d'anhydride acétique ($d = 1,08$). »

Page 503, exercice 2

Dans la question 2, il manque un atome d'oxygène dans la molécule B. (Cela implique donc également une modification du corrigé, en page 606).

Chapitre 20

Page 526, paragraphe « Les images numériques »

Remplacer « une série de nombres » par « un nombre ».

Page 532, exercice 21

Remplacer « 1 mm » par « 4 mm » (deux occurrences : Niveau 2 et Niveau 1, question 4).

Page 536, exercice 29

Dans l'énoncé, remplacer « 18,0 Mio » par « 7,3 Mio ».

Corrigés

Page 606, corrigés des QCM

Chapitre 4, exercice 4 : il faut ajouter la réponse C à la question 4.3 : 4.3. B et C.

Chapitre 5, exercice 3 : il faut remplacer « B » par « C » dans la réponse 3.2 : 3.2. C.

Chapitre 6, exercice 2 : il faut inverser les réponses 2.2 et 2.3 : 2.2. A ; 2.3. B.

Chapitre 17, exercice 1 : il faut remplacer « C » par « B » dans la réponse 1.7 : 1.7. A et B ; exercice 2 : il faut supprimer « et C » dans la réponse 2.2. : 2.2. A.

Page 608, corrigés du chapitre 4

Exercice 13, réponse 1.f : supprimer « CH_2- ».

Page 618, corrigés du chapitre 17

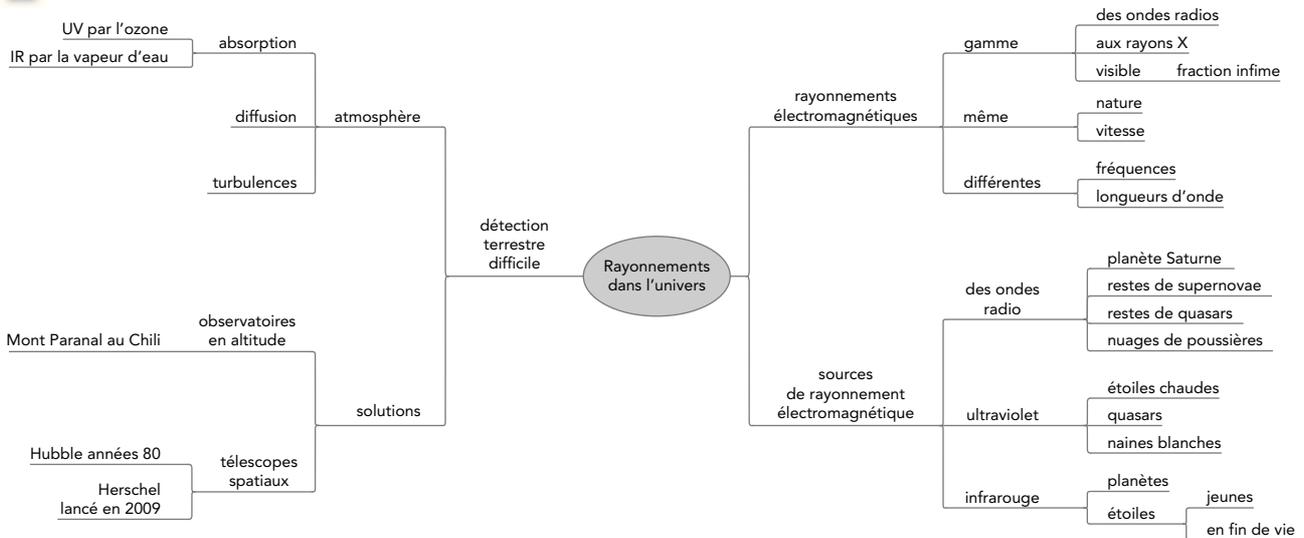
Exercice 3, remplacer « supérieur » par « inférieur ».

Ondes et particules

Activités

1 Ces rayonnements dans l'Univers (p. 20-21)

1 Exemple de carte mentale :



Il n'y a pas de carte type ni de carte universelle, chacun peut construire la sienne.

2 Le résumé peut être construit en lisant la carte. Par exemple :

« Les rayonnements électromagnétiques s'étendent des ondes radio aux rayons X, la lumière visible n'en est qu'une infime fraction. Ces rayonnements, qui sont de même nature et qui se propagent à la même vitesse, diffèrent par leur fréquence et leur longueur d'onde.

Ils sont émis par les corps célestes qui, selon leur température, émettent dans une gamme de fréquence déterminée.

Les rayonnements invisibles issus du cosmos ont été difficiles à détecter sur Terre à cause de l'atmosphère qui les absorbe ou les diffuse. Pour contourner ces difficultés, on a construit des observatoires en altitude et même disposé des télescopes au-delà de l'atmosphère. »

3 Les rayonnements difficilement observables depuis la surface de la Terre sont ceux absorbés par l'atmosphère. Il s'agit notamment des rayons X, des ultraviolets, des infrarouges lointains (rayons T), d'une partie des micro-ondes et des ondes radio.

4 a. La vapeur d'eau absorbe surtout les infrarouges. b. Le dioxygène et l'ozone absorbent surtout les ultraviolets.

5 Un radiotélescope capte les ondes radio, c'est-à-dire des ondes dont les longueurs d'onde sont supérieures à 10^{-1} m. Les ondes radio n'étant pas absorbées par l'atmosphère terrestre, on peut installer des radiotélescopes au niveau de la mer.

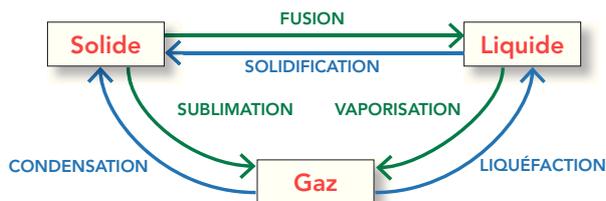
6 Un télescope spatial est un télescope placé au-delà de l'atmosphère. Le télescope spatial présente l'avantage, par rapport à son homologue terrestre, de ne pas être perturbé par l'atmosphère terrestre.

2 Des particules qui proviennent de l'Univers (p. 22-23)

1 Les muons observés à la surface de la Terre proviennent des collisions entre les particules cosmiques et les particules de la haute atmosphère.

2 La vapeur dans l'aquarium est formée de propan-2-ol.

3 a. Un corps pur peut exister sous trois états physiques : solide (compact et ordonné), liquide (compact et désordonné) et gazeux (dispersé et très désordonné).



b. Le propan-2-ol devrait se trouver à l'état liquide, car la température de la carboglace est autour de -80 °C alors que la température de fusion du propan-2-ol est de -88 °C et que sa température d'ébullition est de 83 °C .

4 a. Les traces blanches observées sont des gouttelettes de propan-2-ol liquide dans le gaz instable.

La vapeur d'alcool est dans un état instable en dessous de sa température d'ébullition, prête à se condenser sous l'action d'ions formés lorsqu'une particule chargée traverse la couche. Ainsi les traces que nous voyons sont des gouttelettes d'alcool formées le long des chemins des particules ionisées qui passent à travers la chambre à brouillard.

b. Les muons sont détectés par la formation de gouttelettes de « brouillard » de propan-2-ol.

5 Ce dispositif permet de visualiser le passage des muons et d'en faire un comptage.

Complément

Liens utiles :

<http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2003/publish/cloud%20chamber/Cloud%20chambers%20in%20the%20classroom.doc>

<http://www.masc.ulg.ac.be/fiches/FR/construirechbrouillard.pdf>

Vidéo MIT :

<http://techtv.mit.edu/videos/3141-cloud-chamber>

Pour se procurer de la carboglace :

<http://www.cryo-ice.fr/>

3 Des ondes sismiques (p. 24-25)

A Détection des ondes sismiques

1 a. Les ondes sismiques sont des ondes mécaniques progressives. Elles se propagent dans le globe terrestre et provoquent des vibrations temporaires. On distingue différents types d'ondes, notamment des ondes P et des ondes S.

b. L'épicentre d'un séisme est le lieu de la surface de la Terre situé à la verticale du foyer.

2 Le sismographe du document 5 capte les vibrations ; il délivre un signal mécanique dont l'amplitude est tracée sur le papier. Le sismographe du document 6 capte également les vibrations qu'il transforme en signal électrique.

3 a. Pour établir la relation entre la tension mesurée U_{CB} , la distance d et le champ électrostatique E , on mesure U_{CB} pour diverses valeurs de d .

b. Les mesures montrent que U_{CB} est proportionnelle à d , donc la relation est de la forme $U_{CB} = k \cdot d$.

De plus, quand $d = L$, alors $U_{CB} = U_{AB} = E$, donc $U_{AB} = k \cdot L$. On en déduit $k = \frac{U_{AB}}{L} = E$.

Finalement $U_{CB} = E \cdot d$.

4 Le montage réalisé est un capteur de mouvement, car il convertit le mouvement d'un mobile au cours du temps en tension au cours du temps.

B Exploitation d'enregistrements d'ondes sismiques

Complément

Dans cette partie de l'activité, on ne s'intéresse qu'aux ondes P pour exposer, de façon simplifiée, la méthode de détermination de la position de l'épicentre.

Pour cela, on utilise la date T_0 à laquelle s'est produit le séisme et une valeur moyenne de la vitesse V_p .

Lors d'un séisme, la démarche suivie par les spécialistes est plus complexe. En effet, la date T_0 n'est pas connue par chacune des stations qui détecte les ondes. De plus, la vitesse des ondes dépend de la nature du sol, de la profondeur à laquelle ces ondes se déplacent et de la distance séparant la station de l'épicentre. Les ondes P ne sont pas utilisées seules, la détermination de la distance séparant la station de l'épicentre utilise l'arrivée de nombreuses ondes, dont les ondes P et les ondes S. Cette détermination nécessite également de prendre en compte les particularités locales liées à la nature du sol.

Exemple : http://www.edusismo.org/docs/Acti_peda/071118_224109-1/epicentre.pdf

5 Sur la courbe, on observe de légères vibrations avant l'arrivée des ondes P (bruit de fond), puis des vibrations de grande amplitude correspondant à l'arrivée des ondes, d'abord les ondes P les plus rapides, puis les autres ondes (dont les ondes S).

6 a. La durée $\Delta t = T_P - T_0$ représente approximativement la durée de propagation des ondes P entre l'épicentre et la station qui capte ces ondes P.

b. Le pointage n'est pas très précis on peut évaluer la précision à 1 s.

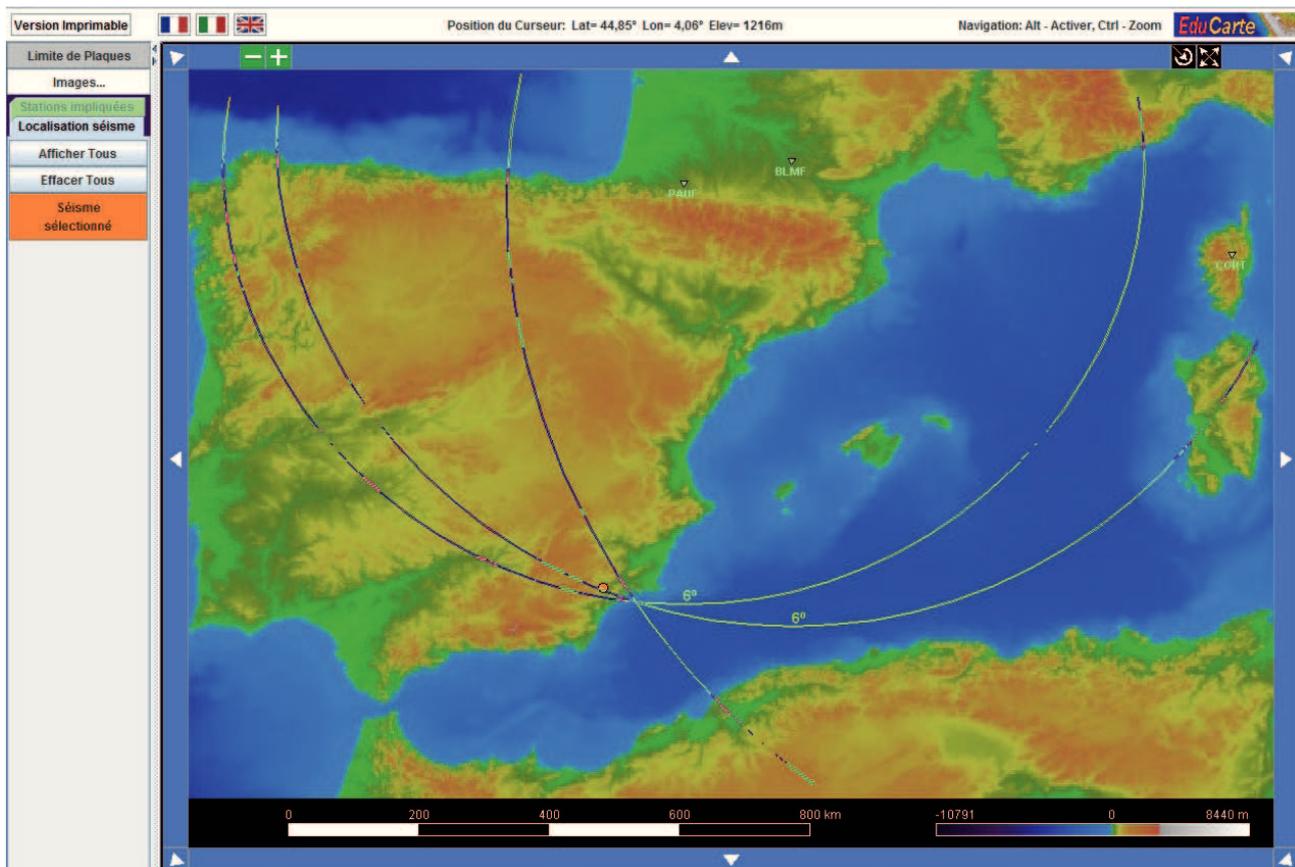
7 $T_P - T_0 = \frac{D}{V_P}$ d'où $D = (T_P - T_0) \times V_P$

On trace pour chacune des stations, un cercle de centre, la station et de rayon, D .

L'épicentre est à l'intersection des trois cercles. La position réelle de l'épicentre est à quelques dizaines de kilomètres de l'intersection des trois cercles.

Exemple de résultats

Station	$\Delta t = T_P - T_0$	Distance D
PAUF	85,5 s	686 km
BLMF	96 s	768 km
CORT	137 s	1027 km



8 a. La distance entre la position réelle et la position déterminée géométriquement est de 63 km.

La détermination de la position de l'épicentre n'est pas très précise.

Plusieurs sources d'erreurs peuvent être envisagées :

- la détermination de T_0 (fourni par le site Internet) ;
- la détermination de T_P lors du pointage ;
- la vitesse des ondes P qui n'est pas constante.

b. L'erreur relative est obtenue en comparant la distance mesurée entre la station et l'épicentre avec la distance calculée précédemment, ici 63 km.

Station	Erreur relative
PAUF	$\frac{63}{686} \times 100 = 9,2 \%$
BLMF	$\frac{63}{768} \times 100 = 8,2 \%$
CORT	$\frac{63}{1027} \times 100 = 6,1 \%$

Exercices (p. 29-35)

1 La mer sous haute surveillance

1. La houle cyclonique se situe dans la périphérie du cyclone. Elle correspond à la formation de vagues de grande hauteur qui transportent beaucoup d'énergie. Cette houle peut inonder les côtes et provoquer des dégâts.

2. Les bouées comme Antilles 1 et 2 mesurent diverses grandeurs qui permettent d'analyser les conditions météorologiques et de faire des prévisions.

3.

Grandeur	Unité	Unité SI	Capteur
Pression de l'air	Pa	Pa	Pressiomètre (baromètre)
Température	°C	K	Thermomètre
Vitesse du vent	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹	Anémomètre
Hauteur de la houle	m	m	
Direction de la houle	°	°	Boussole
Salinité	g·L ⁻¹	kg·m ⁻³	
Vitesse du courant	m·s ⁻¹	m·s ⁻¹	

4. Le graphique donne, pour la date du 24 janvier 2011, la hauteur et la direction de la houle dans l'Atlantique Nord.

Au point de coordonnées (20° W; 40° N), la hauteur de la houle était d'environ 3,5 m avec une direction est-sud-est.

2 Les séismes

1. L'échelle de Richter n'est pas limitée, ni d'un côté ni de l'autre, d'où l'expression d'échelle ouverte.

2. Le texte du document 1 indique qu'une augmentation d'une unité de magnitude correspond à la multiplication par 30 de l'énergie.

Sur le graphique du document 4, on observe qu'entre le séisme de Haïti (énergie proche de 8×10^{15} J) et le séisme de Sumatra (énergie proche de 7×10^{18} J) il y a un facteur proche de $900 \left(\frac{7 \times 10^{18}}{8 \times 10^{15}} = 875 \right)$.

Or, entre ces deux séismes la magnitude augmente de deux unités, l'énergie est donc multipliée par $30^2 = 900$. On retrouve l'ordre de grandeur du facteur obtenu à partir du graphique.

Une augmentation d'une unité de magnitude correspond donc bien à la multiplication par 30 de l'énergie libérée au niveau du foyer.

3. Le document 3 indique à tort qu'une augmentation d'une unité de la magnitude correspond à une multiplication par 10 de l'énergie. En fait, il s'agit d'une multiplication par 30.

4. L'échelle logarithmique est graduée en puissance de 10. Le passage d'une graduation à la suivante correspond à une multiplication par 10.

Sur le document 4, l'échelle choisie montre une multiplication par 10^2 .

5. Ce séisme a entraîné un tsunami ravageant une partie des côtes japonaises.

6. L'intensité d'un séisme mesure les effets et les dégâts de ce séisme. Elle dépend de l'énergie libérée, de la topologie des lieux et de l'éloignement par rapport à l'épicentre du séisme.

3 Ondes de choc et vitres brisées

1. a. Le son dans l'air est une propagation de compression et de dépression des molécules constituant l'air.

b. Contrairement à la schématisation, dans l'air, le son ne se propage pas dans une seule direction. De plus, les échelles ne sont pas respectées.

2. Le son se propage plus rapidement dans les milieux condensés (solides et liquides) que dans les gaz, car les vibrations se propagent mieux dans les milieux où il existe des liaisons entre les entités microscopiques.

3. Une onde de choc correspond à une « vague » de très haute pression.

Une onde de choc peut être produite lorsqu'un avion est en vol supersonique ou lors d'une détonation où le front d'onde dépasse la vitesse du son.

4. Une onde de choc peut briser une vitre.

Si les molécules qui constituent la vitre vibrent avec une amplitude très grande, la vitre peut se briser.

4 Les balises Criirad surveillent

1. a. Une particule alpha est un noyau d'hélium.

Une particule bêta moins est un électron; une particule bêta plus est un positron.

Le rayonnement gamma correspond à l'émission de photons.

b. La grandeur mesurée en becquerel (Bq) est l'activité radioactive.

$1 \text{ Bq} = 1$ désintégration par seconde.

2. Une balise atmosphérique détecte la radioactivité alpha ou bêta.

Une balise aquatique détecte la radioactivité gamma.

3. Les balises sont placées particulièrement dans la vallée du Rhône, car cette région comporte de nombreuses installations de l'industrie nucléaire.

4. La balise aquatique est située en aval des installations de la vallée du Rhône, elle pourra donc détecter la radioactivité provenant de l'une ou l'autre des installations positionnées le long du fleuve.

5. Le seuil de détection des balises atmosphériques est de $1,0 \text{ Bq par m}^3$ d'air.

Durant la période considérée, les mesures de la balise étaient inférieures au seuil de détection.

6. a. L'activité de l'iode 131 est mesurée, car cet isotope est très présent dans les installations nucléaires.

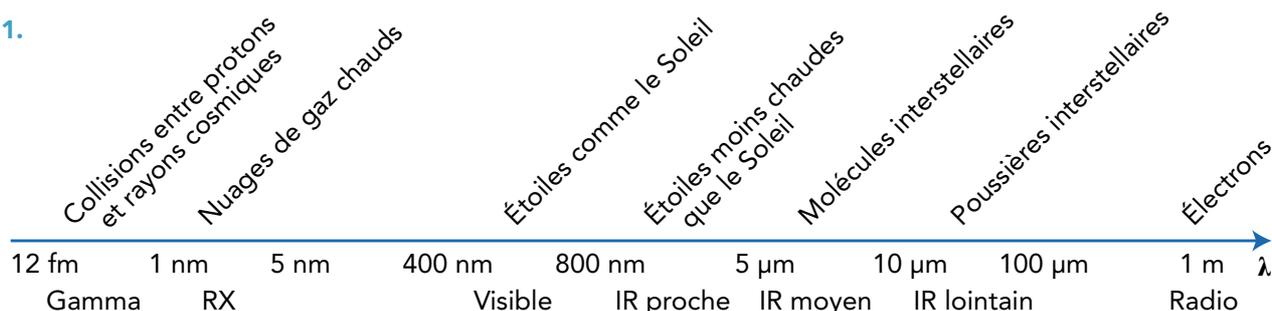
b. Le terme « particulaire » fait référence à des composés solides en suspension dans l'air.

7. La forte activité mesurée entre la fin mars 2011 et le début avril peut être due à l'accident de Fukushima. Le décalage de temps est lié au déplacement des gaz sur une très grande distance (distance de l'ordre de 15 000 km).

Retour sur l'ouverture du chapitre

5 Observations de la Voie lactée dans différents domaines

1.



2. a. $\lambda = \frac{c}{\nu}$ avec λ en m, c en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et ν en Hz.

b. Le rayonnement de plus grande fréquence est celui de plus petite longueur d'onde. Parmi les rayonnements cités, celui de plus grande fréquence est le rayonnement gamma.

3. a. $\mathcal{E} = h \cdot \nu$ avec \mathcal{E} en J, h en $\text{J} \cdot \text{s}$ et ν en Hz.

b. Le rayonnement de plus grande énergie est celui dont la fréquence est maximale, c'est donc celui dont

la longueur d'onde est minimale. Parmi les rayonnements cités, le plus énergétique est le rayonnement gamma.

4. Les divers « objets » de l'Univers n'émettent pas dans les mêmes domaines de longueur d'onde. Les diverses observations sont donc complémentaires. Par exemple, l'observation dans les RX permet de détecter les nuages de gaz chauds.

Comprendre un énoncé

6 La radiographie

1. a. Les électrons produits par la cathode sont à l'origine de la production des RX lors de leur interaction avec la matière présente à l'anode.

b.

Particule	Charge	Masse
Proton	$+e = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	De l'ordre de 10^{-27} kg
Neutron	Charge nulle	De l'ordre de 10^{-27} kg
Électron	$-e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	De l'ordre de 10^{-30} kg

2. a. Les zones absorbant beaucoup les rayons X, comme les os, paraissent blanches, celles absorbant peu les rayons X, comme la chair, paraissent plus sombres.

b. Les numéros atomiques des éléments chimiques constituant les os sont plus grands que ceux constituant la chair.

c. L'épaisseur traversée par les RX est plus importante quand l'os est plus gros.

3. Le radiologue peut jouer sur deux paramètres : la tension accélératrice des électrons et la durée d'exposition du patient.

4. Les étoiles froides qui émettent dans l'infrarouge et les nuages de poussière qui émettent dans le domaine des ondes radio.

Activités

1 Ondes progressives à une dimension (p. 38)

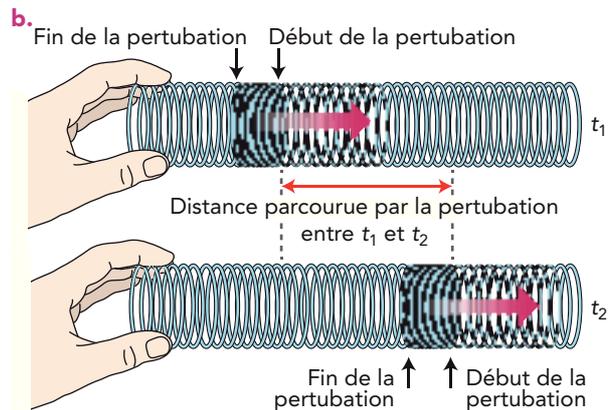
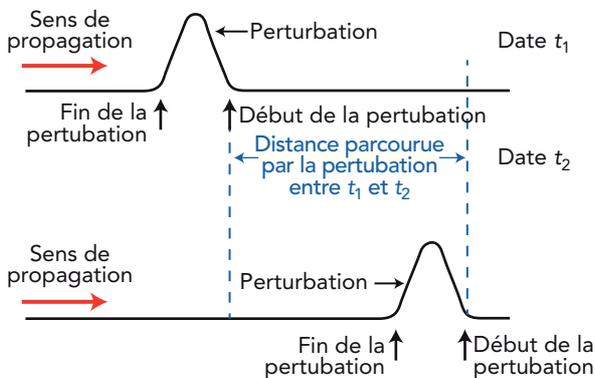
A Analyse qualitative d'une onde

1 L'onde est progressive puisque la perturbation se déplace le long de la corde ou du ressort. L'onde est à une dimension puisqu'elle se propage dans une seule direction (celle de la corde ou du ressort).

2 Pour la corde, la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (le long de la corde) : l'onde est donc transversale.

Pour le ressort, la direction de la perturbation (compression-détente) est la même que celle de propagation de l'onde (le long du ressort) : l'onde est donc longitudinale.

3 a.



B Analyse quantitative : mesure de la célérité de l'onde

4 Soit d la distance parcourue par la perturbation entre t_1 et t_2 . Soit $\Delta t = t_2 - t_1$ la durée de parcours de la perturbation.

$\Delta t = \text{nb d'images entre } t_1 \text{ et } t_2 \times$

$\frac{1}{\text{nb d'images par sec de la vidéo}}$

La célérité de l'onde (supposée constante) se calcule

$$\text{par } v = \frac{d}{\Delta t}.$$

5 La célérité v d'une onde se calcule par $v = \frac{d}{\Delta t}$.

v s'exprime en mètre par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), la distance d parcourue par l'onde s'exprime en mètre (m) et la durée Δt en seconde (s).

Complément

Voir la simulation à l'adresse suivante : http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_fr.html

2 Caractéristiques d'une onde progressive périodique (p. 39)

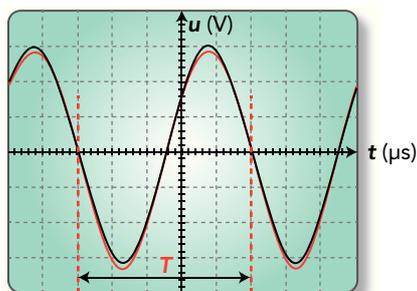
A Mesure de la période d'une onde ultrasonore

1 Les deux signaux ont la même période et des valeurs maximales (amplitudes) différentes. Ils sont en général décalés le long de l'axe des abscisses ; on

dit qu'ils sont déphasés. Quand on éloigne le récepteur de l'émetteur (en restant dans l'axe), l'amplitude du signal diminue.

2 L'onde ultrasonore est progressive puisqu'elle se propage depuis l'émetteur vers le récepteur. L'onde ultrasonore est périodique : elle se reproduit à l'identique à intervalles de temps égaux.

3 a.



On repère 5,0 divisions pour T sachant qu'une division correspond à $5,0 \mu\text{s}$.

$$T = 5,0 \times 5,0 = 25 \mu\text{s}$$

b. Incertitude de lecture : une demi-graduation ($0,1$ division) (voir le livre de Seconde), soit $U(T) = 0,5 \mu\text{s}$. Incertitude sur l'oscilloscope (base de temps) : voir la notice du constructeur.

4 La fréquence est l'inverse de la période :

$$f = \frac{1}{T} = 4,0 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$U(f) = f \times \frac{U(T)}{T} = 8,0 \times 10^2 \text{ Hz}$$

d'où : $39\,200 \text{ Hz} \leq f \leq 40\,800 \text{ Hz}$.

Cet encadrement est compatible avec la valeur indiquée par le constructeur si la valeur lue sur le GBF est contenue dans cet encadrement.

3 Acoustique musicale (p. 40-41)

A Modélisation d'une onde sinusoïdale

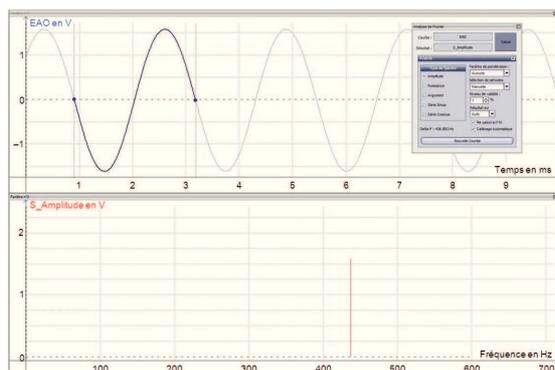
1 a. Le signal a l'allure d'une sinusoïde (voir la capture d'écran ci-dessous).

b. On lit graphiquement (à l'aide du réticule) une amplitude $U_{\text{max}} = 1,62 \text{ V}$ et une période $T = 2,28 \text{ s}$.

On en déduit la fréquence $f = \frac{1}{T} = 439 \text{ Hz}$ pour le son émis par le diapason.

c. Le spectre en fréquences (voir la capture d'écran ci-dessous) présente un pic pour la fréquence de 440 Hz .

On retrouve sur le spectre la fréquence du son émis par le diapason (abscisse du pic) et son amplitude (ordonnée du sommet du pic).



B Mesure de la longueur d'onde d'une onde ultrasonore

5 a. On repère les première et deuxième positions du récepteur mobile pour lesquelles les deux signaux sont en phase. La distance entre ces deux positions correspond à la longueur d'onde : $\lambda = 0,80 \text{ cm}$.

b. On constate que, sur une plage de quelques millimètres environ pour la position du récepteur, on peut observer des ondes en phase. En tenant compte de l'incertitude de lecture à la règle, on peut estimer l'incertitude $U(\lambda)$ de l'ordre de 3 mm .

c. $0,50 \text{ cm} \leq \lambda \leq 1,1 \text{ cm}$

d. Avec le protocole précédent, l'incertitude est grande par rapport à la longueur d'onde. On peut minimiser l'incertitude de lecture en mesurant 10 longueurs d'onde au lieu d'une. On trouve $\lambda = 0,85 \text{ cm}$, avec une incertitude de $0,03 \text{ cm}$.

6 a. En une période, l'onde parcourt la distance :
 $d = v \cdot T = 340 \times 25 \times 10^{-6} = 8,5 \text{ mm}$.

On retrouve la longueur d'onde de l'onde ultrasonore.

b. On en déduit la relation

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ avec } v \text{ en mètre par}$$

seconde, λ en mètre et T en seconde.

Manuel numérique

Animation : Ondes sonores (mesure de λ).

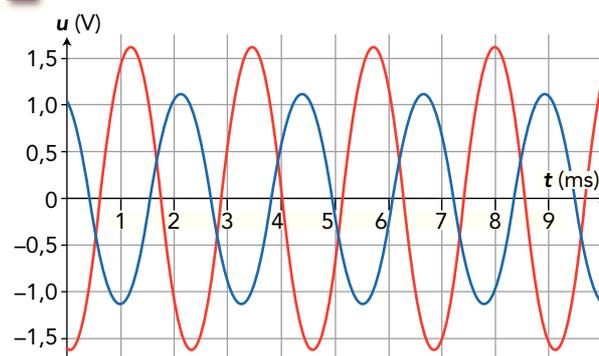
2 a. La modélisation donne :

$$A = 1,62 \text{ V}; \quad B = 2758 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}; \quad C = -3,28 \text{ rad.}$$

b. A s'identifie à l'amplitude U_{max} .

$$\frac{2\pi}{T} = 2755 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}; \text{ on retrouve } B.$$

3



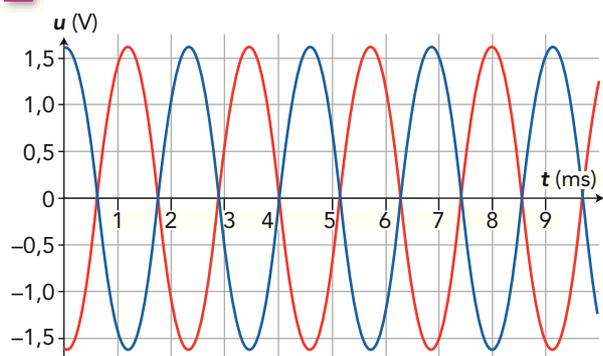
Les deux signaux ont même allure (sinusoïdale), même période et donc même fréquence. Leurs amplitudes sont différentes et ils sont décalés dans le temps.

La modélisation du second signal donne les résultats suivants :

$$A' = 1,12 \text{ V}; \quad B' = 2763 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}; \quad C' = 0,426 \text{ rad.}$$

$A \neq A'$ mais $B \approx B'$ (ce qui était prévisible, voir la question 2b).

4



Le paramètre C a une influence sur la valeur de départ (à l'origine) de la représentation graphique. De plus, si $C \neq C_1$, les courbes sont décalées dans le temps, même si les périodes et les amplitudes sont identiques.

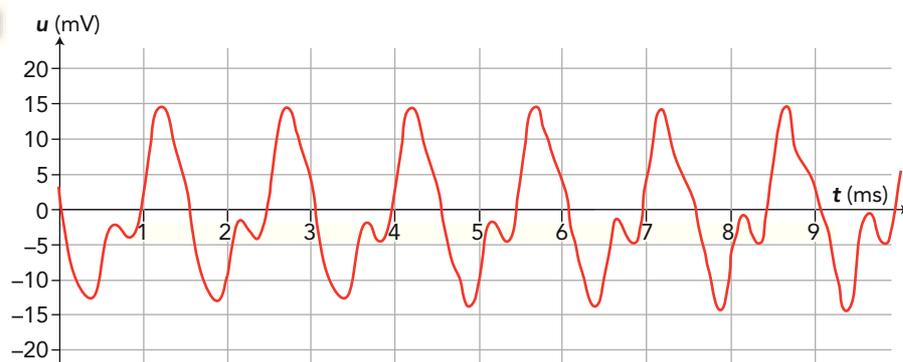
5 Une onde sinusoïdale peut être modélisée par l'expression :

$$x(t) = X_{\max} \cdot \cos\left(\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) + \Phi\right)$$

avec $x(t)$ l'élongation de l'onde à l'instant t , X_{\max} son amplitude, T sa période et Φ sa phase à l'origine.

B Hauteur d'un son et fréquence

6



Mi₄ piano

$T = 1,543$ ms
et $f = 648$ Hz



La₃ piano

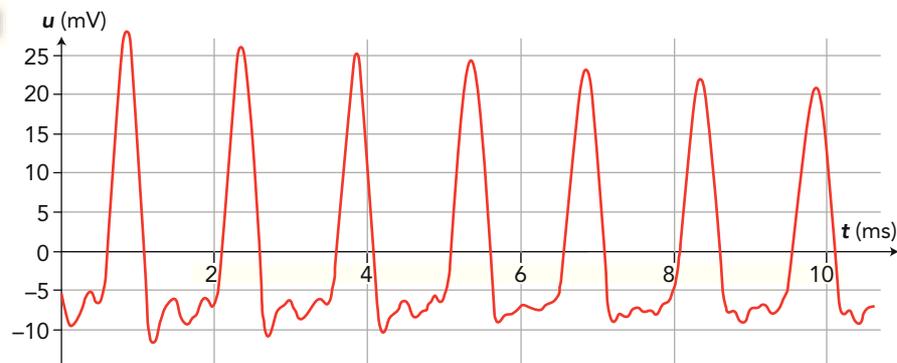
$T = 2,256$ ms
et $f = 444$ Hz

7 Le son le plus aigu est le Mi₄.

8 La hauteur d'un son est liée à sa fréquence : plus le son est aigu plus sa fréquence est élevée.

C Timbre d'un son et harmoniques

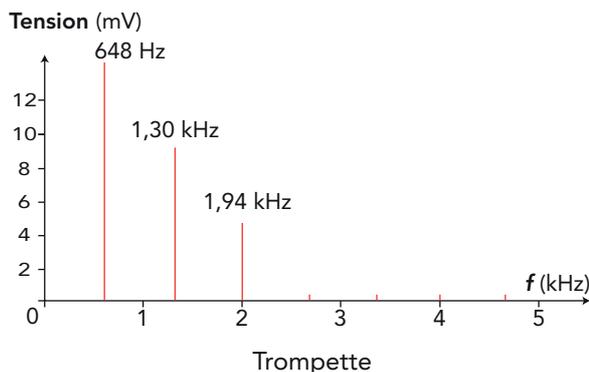
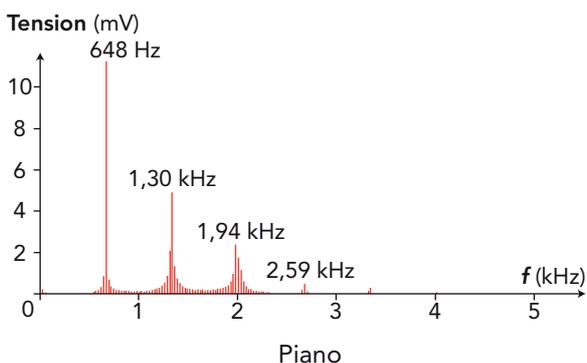
9



Mi₄ trompette

Pour les deux notes, on trouve $T = 1,543$ ms et $f = 648$ Hz.

10 a. La fréquence du fondamental est la même pour les deux notes et vaut 648 Hz.



b. Les autres fréquences sont des multiples de 648 Hz.

11 Le timbre est différent pour les deux notes, car les intensités des harmoniques ne sont pas les mêmes.

12 La hauteur d'un son est liée à la fréquence de son fondamental. Le timbre d'un son est lié au nombre d'harmoniques et à leurs intensités respectives.

13 La synthèse électronique consiste à créer un son en partant du postulat qu'il est la somme des sinusoïdes de fréquence f et $n \cdot f$ avec n entier.

Manuel numérique 2.0

Simulation : Acoustique musicale (timbre, hauteur, intensité sonore, analyse spectrale).

Exercices (p. 47-59)

QCM

- 1** 1. A et B ; 2. A ; **2** 1. C ; 2. A et B ; 3. A ; 4. C ;
3 1. B ; 2. A ; 3. A ; 4. C.

Application immédiate

4 Déterminer une longueur d'onde

$10 \lambda = 2,12 \text{ m}$, d'où $\lambda = 0,212 \text{ m}$.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,212} = 1,60 \times 10^3 \text{ Hz}$$

5 Analyser un son

$$1,21 \times 10^{-3} \text{ s} < T < 1,27 \times 10^{-3} \text{ s},$$

$$\text{donc } 7,87 \times 10^2 \text{ Hz} < f < 8,26 \times 10^2 \text{ Hz}$$

$$\text{et } 2,36 \times 10^3 \text{ Hz} < 3f < 2,48 \times 10^3 \text{ Hz},$$

donc la fréquence du 3^e harmonique ne peut pas être $2,31 \times 10^3 \text{ Hz}$.

Pour commencer

6 Connaître les ondes progressives

1. Une onde progressive est la propagation d'une perturbation dans un milieu.

2. Une onde transporte de l'énergie.

3. Cette durée est appelée le retard.

7 Déterminer une vitesse de propagation

1. La perturbation atteint le point A à la date $t_A = 0,20 \text{ s}$.

2. Le point A est en mouvement pendant $\Delta t = 0,05 \text{ s}$.

$$3. v = \frac{d}{t_A} = \frac{1,50}{0,20} = 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

8 Reconnaître l'allure d'une onde

L'allure de la corde à la date $t = 0,20 \text{ s}$ est la **c**, car la perturbation a atteint A situé à 1,5 m ; l'allure de la perturbation est « inversée » par rapport à la représentation temporelle.

9 Calculer des durées de propagation

$$1. \Delta t_A = \frac{d}{v_{\text{acier}}} = \frac{1000}{5000} = 0,2000 \text{ s}$$

$$2. \Delta t_J = \frac{d}{v_{\text{air}}} = \frac{1000}{340} = 2,94 \text{ s}$$

$$3. \Delta t = \Delta t_J - \Delta t_A$$

$$\Delta t = 2,94 - 0,20 = 2,74 \text{ s}$$

10 Exploiter un oscillogramme

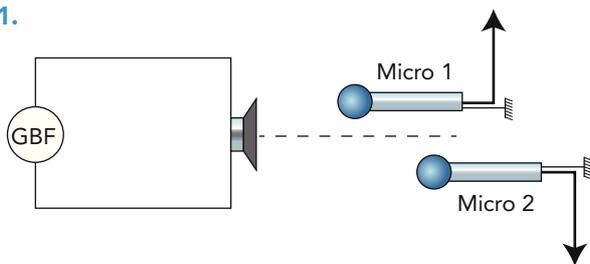
$$1. T = 2,0 \text{ div} \times 10 \mu\text{s/div} = 20 \mu\text{s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 50 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$2. \lambda = \frac{v}{f} = \frac{333}{50 \times 10^3} = 0,0067 \text{ m} = 6,7 \text{ mm}$$

11 Exploiter une expérience

1.



2. Les signaux sont en phase et n'ont pas la même amplitude. Ils ont la même période et donc la même fréquence.

3. Les microphones ne sont pas à la même distance du haut-parleur, car les signaux ont des amplitudes différentes.

12 Connaître la double périodicité

1. a. $\lambda = v \cdot T$

b. λ s'exprime en mètre, v en mètre par seconde et T en seconde.

2. On obtient le tableau suivant :

v	T	λ
$335 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$3,6 \times 10^{-5} \text{ s}$	1,2 cm
$225 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	1,14 ms	25,7 cm
$1,48 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	25 μs	3,7 cm

13 Reconnaître une représentation graphique

1. a. $T = 4 \text{ ms}$; b. $U_{\text{max}} = 200 \text{ mV}$; c. $\Phi = 0 \text{ rad}$.

2. La représentation a correspond à l'équation.

14 Reconnaître une équation

1. a. $T = 2,0 \text{ ms}$; b. $U_{\text{max}} = 200 \text{ mV}$.

2. L'équation 3 correspond à la représentation graphique; d'après le graphique, il faut avoir $u(0) = 0$.

15 Différencier hauteur et timbre

1. La hauteur d'un son est liée à la fréquence de son fondamental.

2. Le timbre d'un son est lié au nombre d'harmoniques et à leurs amplitudes.

16 Exploiter des spectres sonores

1. La fréquence du fondamental, $f_1 = 440 \text{ Hz}$, étant la même pour les deux notes, elles ont la même hauteur.

2. Le timbre est caractérisé par les harmoniques. Les harmoniques sont différents, donc les timbres seront différents.

17 Calculer un niveau d'intensité sonore

$$1. I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}} = 10^{-12} \times 10^{\frac{100}{10}}$$

$$I = 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$2. I_{\text{total}} = 2 \times I = 2 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{2,0 \times 10^{-2}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = 103 \text{ dB}$$

Pour s'entraîner

18 Qui perçoit le son en premier ?

1. Le son se propage plus vite dans l'eau que dans l'air; il est perçu en premier par la nageuse N.

2. Soit Δt_{air} la durée au bout de laquelle S perçoit le son. Le son a parcouru la distance d à la vitesse

$$v_{\text{air}} \text{ en } \Delta t_{\text{air}} = \frac{d}{v_{\text{air}}}.$$

De même Δt_{eau} est la durée au bout de laquelle N perçoit le son. Le son a parcouru la distance d à la

$$\text{vitesse } v_{\text{eau}} \text{ en } \Delta t_{\text{eau}} = \frac{d}{v_{\text{eau}}}.$$

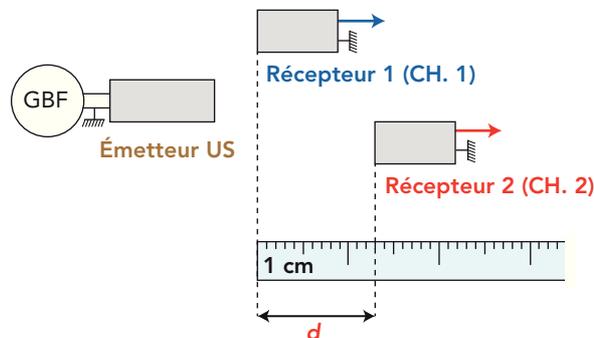
La durée Δt séparant les deux détections est :

$$\Delta t = \Delta t_{\text{air}} - \Delta t_{\text{eau}} = \frac{d}{v_{\text{air}}} - \frac{d}{v_{\text{eau}}}$$

3. On trouve une durée de 22,7 ms.

19 Incertitudes sur la mesure

1.



Deux récepteurs à ultrasons sont placés devant un émetteur. On repère une position pour laquelle les signaux sont en phase, puis l'on déplace progressivement l'un des deux récepteurs par rapport à l'autre de manière à mesurer 10 longueurs d'onde.

La mesure de la longueur d'onde et de la fréquence permet de calculer la célérité des ultrasons.

2. Valeur moyenne de la célérité : $339,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Écart type : $\sigma_{n-1} = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$U(v) = k \times \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \text{ avec } k = 2,09 \text{ car il y a 20 mesures,}$$

$$\text{d'où : } U(v) = 2,09 \times \frac{2,1}{\sqrt{20}} = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = (339 \pm 1) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3. La célérité du son dans l'air dépend essentiellement de la température et ne dépend pas de la fréquence.

20 Où se trouve la baleine ?

Le temps mis par le son pour atteindre le capteur sous-marin est t_1 . On a $d = v_1 \cdot t_1$.

Le temps mis par le son pour atteindre le capteur dans l'air est t_2 . On a $d = v_2 \cdot t_2$.

On en déduit : $v_1 \cdot t_1 = v_2 \cdot t_2$.

De plus, $t_2 - t_1 = \Delta t$.

Il vient donc :

$$t_1 = \frac{v_2 \cdot \Delta t}{v_1 - v_2} = \frac{340 \times 6,71}{1140} = 2,00 \text{ s,}$$

d'où $t_1 = 2,00 \text{ s}$ et $d = 2,00 \times 1480 = 2,96 \times 10^3 \text{ m}$.

21 Le son du diapason

1. La longueur d'onde et la fréquence sont liées par la relation :

$$\lambda_{\text{air}} = \frac{v}{f} = \frac{340}{880} = 0,386 \text{ m.}$$

2. Soit Δt_{air} la durée au bout de laquelle une personne située à 10 m perçoit le son. Le son a parcouru la distance d à la vitesse v_{air} en :

$$\Delta t_{\text{air}} = \frac{d}{v_{\text{air}}} = \frac{10}{340} = 2,9 \times 10^{-2} \text{ s.}$$

La personne reçoit le son quasiment au moment de son émission.

3. L'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore sont liés par la relation $L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

$$\text{Donc : } L = 10 \cdot \log\left(\frac{1,0 \times 10^{-10}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = 20 \text{ dB.}$$

4. L'intensité sonore reçue par cette personne sera $I = 3,0 \times 10^{-10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$\text{On aura alors } L = 10 \cdot \log\left(\frac{3,0 \times 10^{-10}}{1,0 \times 10^{-12}}\right) = 25 \text{ dB.}$$

22 Télémètre à ultrasons ou télémètre à infrarouges ?

1. Les ultrasons sont des ondes mécaniques, les infrarouges des ondes électromagnétiques. Elles ne sont pas de même nature.

2. La plus petite longueur d'onde (900 nm) est celle de l'onde utilisée dans le télémètre à IR, celle à 9,00 mm est utilisée dans le télémètre à US.

3.

Télémètre à IR	Ondes électromagnétiques	Très directif	Mesure un angle
Télémètre à US	Ondes mécaniques	Évasif	Mesure une durée

$$4. \text{ a. } \Delta t = \frac{d}{v} = \frac{6,00}{340} = 1,76 \times 10^{-2} \text{ s.}$$

La durée entre l'émission et la réception des US pour un objet situé à 3,00 m est de $1,76 \times 10^{-2} \text{ s}$.

$$\text{b. } \Delta t = \frac{d}{c} = \frac{6,00}{2,00 \times 10^8} = 2,00 \times 10^{-8} \text{ s.}$$

La durée mesurée avec un télémètre à IR serait de $2,00 \times 10^{-8} \text{ s}$.

5. L'horloge pour mesurer une telle durée devrait être extrêmement précise. Il est donc plus pratique, et plus économique, de mesurer un angle.

23 La propagation d'une onde

1. En mesurant la distance entre un grand nombre de lignes de crêtes consécutives, on limite les imprécisions de mesure.

2. La distance entre neuf lignes de crêtes consécutives est de 8,1 cm, la longueur d'onde est donc de 1,0 cm, soit 0,010 m.

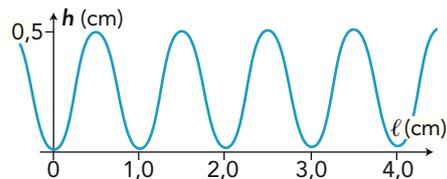
$$3. \quad v = \lambda \cdot f \\ v = 0,010 \times 25 = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

4. a. La longueur d'onde est la distance entre deux maxima ; on retrouve 1 cm.

b. L'amplitude est de 0,5 cm.

5. a. Au bout de $t = 0,04 \text{ s}$ (soit une période), on retrouve la même allure de la surface de l'eau.

b. Au bout de $t = 0,06 \text{ s}$, la surface de l'eau a l'allure suivante :



24 La ola au stade

1. L'onde est caractérisée par le passage d'une perturbation parmi des *particules* (spectateurs ou molécules d'eau dans ces exemples).

Comme cette perturbation passe « à travers » les particules sans les emporter, on dit qu'une onde se propage plutôt qu'elle se déplace.

2. Si l'on reprend l'exemple des tribunes du stade, la perturbation se propage grâce aux spectateurs : il ne peut pas y avoir de ola dans un stade vide.

De même, si on jette une pierre sur une surface solide plutôt que liquide, notre œil ne perçoit pas d'onde qui se propage.

Ces ondes nécessitent donc la présence d'un milieu matériel (l'ensemble des spectateurs ou de l'eau, par exemple) pour se propager.

3. Si l'on place un bouchon de liège à la surface d'un lac, le bouchon reste immobile.

Si on jette une pierre dans l'eau à proximité du bouchon, on voit les vagues se propager en cercles concentriques, et le bouchon se déplacer lorsque les vagues le soulèvent. Quand la surface du lac redevient immobile, le bouchon se trouve dans la position qu'il occupait avant que l'on jette la pierre. Il y a propagation d'une onde sans déplacement de matière.

4. Il s'agit d'une onde progressive à deux dimensions, car elle se propage sur une surface.

25 Quel son ?

1. La fréquence minimale lue est de 180 Hz, les autres sont de 360 et 540 Hz.

2. Ces fréquences sont des multiples de 180 Hz.

3. a. Le signal sinusoïdal associé à la plus basse fréquence est appelé fondamental.

b. Les autres signaux, avec le fondamental, constituent les harmoniques.

4. Ces sons n'ont pas le même timbre, car ils ne contiennent pas les mêmes harmoniques.

26 À chacun son rythme

$$1. \text{ a. } T = 5,1 \text{ div} \times 5,0 \mu\text{s/div} = 25,5 \mu\text{s}$$

La période de l'onde est de 25,5 μs .

$$\text{b. } U(T) = 0,1 \text{ div} \times 5,0 \mu\text{s/div} = 1,0 \mu\text{s}$$

On peut donc écrire $T = (25,5 \pm 1,0) \mu\text{s}$.

$$2. \text{ a. } \lambda = \frac{d}{10} = \frac{8,5}{10} = 0,85 \text{ cm}$$

$$\text{b. } U(\lambda) = \frac{U(d)}{10} = \frac{0,1}{10} = 0,01 \text{ cm}$$

On peut donc écrire que $\lambda = (0,85 \pm 0,01) \text{ cm}$.

$$3. \text{ a. } v = \frac{\lambda}{T}$$

$$\text{b. } v = \frac{0,85 \times 10^{-2}}{25,5 \times 10^{-6}}$$

$$v = 3,3 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La vitesse des ultrasons est de $3,3 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$U(v) = v \cdot \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(T)}{T}\right)^2}$$

$$U(v) = 340 \times \sqrt{\left(\frac{0,01}{0,85}\right)^2 + \left(\frac{1,0}{25,5}\right)^2} = 1 \times 10^1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On peut donc écrire $v = (3,3 \pm 0,1) \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Pour aller plus loin

27 Mesure d'une vitesse d'écoulement

1. Lorsque l'émetteur est en amont, la valeur de la vitesse de l'onde ultrasonore est :

$$v_1 = v_0 + v_f$$

Lorsqu'il est en aval :

$$v_2 = v_0 - v_f$$

2. La distance parcourue et la durée de parcours sont liées par :

$$\Delta t_1 = \frac{D}{v_1} = \frac{D}{v_0 + v_f}$$

De même :

$$\Delta t_2 = \frac{D}{v_2} = \frac{D}{v_0 - v_f}$$

La valeur de la vitesse v_1 est plus grande que la valeur de la vitesse v_2 , donc la durée Δt_1 , lorsque l'émetteur est en amont, sera plus faible ; l'onde est « portée » par le fluide.

3. On calcule :

$$\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1 = \frac{D}{v_0 - v_f} - \frac{D}{v_0 + v_f}$$

$$\Delta t = \frac{D \cdot (v_0 + v_f) - D \cdot (v_0 - v_f)}{(v_0 - v_f)(v_0 + v_f)} = \frac{2D \cdot v_f}{v_0^2 - v_f^2}$$

4. On obtient l'équation du second degré :

$$\Delta t \cdot v_f^2 + 2D \cdot v_f - v_0^2 \cdot \Delta t = 0$$

soit :

$$2,32 \times 10^{-6} \times v_f^2 + 3,96 \times v_f - 1480^2 \times 2,32 \times 10^{-6} = 0.$$

Par application numérique, on trouve $v_f = 1,28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

5. Il faut connaître la valeur de la distance D , entre l'émetteur et le récepteur, le plus précisément possible. La mesure des deux durées est aussi source d'erreur, tout comme la valeur de v_0 .

28 Accorder ses violons

1. Le microphone va capter les sons ambiants et l'appareil ne pourra pas analyser la fréquence de la note jouée.

2. Les « vibrations » sont les ondes qui se sont propagées dans le matériau du violon.

3. Ces « vibrations » doivent avoir la même hauteur que le son musical.

29 Accorder une guitare avec un diapason

1. Pour la note émise par la guitare, le fondamental a une fréquence de 107 Hz et les autres harmoniques ont pour fréquences 214 Hz, 321 Hz et 428 Hz.

2. Le son du diapason a une fréquence de 440 Hz.

3. L'amplitude de la tension enregistrée n'est pas constante, on observe des variations à l'origine des battements que l'on peut entendre.

4. La fréquence de la note émise par la guitare est de 100 Hz alors qu'elle devrait être de 110 Hz. La corde n'est pas accordée.

5. La fréquence du fondamental est de 110 Hz, les autres harmoniques ont pour fréquences 220 Hz, 330 Hz et 440 Hz. L'harmonique à 440 Hz se superpose avec le signal du diapason.

6. La corde est accordée, car elle émet un son à 110 Hz.

Complément

La fréquence initiale de la note émise par la guitare (107 Hz avec un autre harmonique à 428 Hz) et celle émise par le diapason (440 Hz) sont trop éloignées pour que les battements soient facilement audibles. Ils le sont davantage si les fréquences sont bien plus proches (109,5 Hz avec un autre harmonique à 438 Hz et 440 Hz, par exemple).

30 Les ondes sismiques

1. Les ondes P sont des ondes longitudinales : les zones de compressions/dilatations se déplacent dans la même direction que celle de l'onde.

Les ondes S sont des ondes transversales : le cisaillement des roches se fait dans une direction perpendiculaire à la direction de l'onde.

Les ondes L sont des ondes transversales : la perturbation se propage dans un plan horizontal perpendiculairement à la direction de l'onde.

2. Les ondes qui se propagent à la surface de l'eau sont des ondes transversales.

$$3. v = \frac{d}{\Delta t}$$

donc $\Delta t = \frac{d}{v}$ avec d en km, v en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, donc Δt en s,

$$\text{soit : } \Delta t = \frac{d}{v_p} = \frac{833}{6,0} = 139 \text{ s} \approx 1,4 \times 10^2 \text{ s}.$$

4. À partir du graphique, on lit :

$$x_{\text{max}} = 3,0 \text{ cm}, T = 0,10 \text{ s} \text{ et } \Phi = 0 \text{ rad}.$$

$$5. x(t) = 3,0 \times \cos\left(\frac{2\pi}{0,10} \times t\right), \text{ avec } x \text{ en cm et } t \text{ en s}.$$

$$6. v_s = \frac{\lambda}{T}$$

$$d'où \lambda = v_s \cdot T = 4,0 \times 10^3 \times 0,10 = 4,0 \times 10^2 \text{ m}.$$

31 Three sounds

Traduction du texte et des questions :

« Un microphone est connecté à un oscilloscope. Trois sons sont enregistrés par le micro avec les mêmes réglages. Les tracés **A**, **B** et **C** sont produits durant cette expérience.

1. Quel tracé correspond au son le plus fort ? Justifier.

2. Quel tracé correspond au son le plus bas ? Justifier. »

1. Le son le plus fort correspond au signal **C**, car l'amplitude est la plus grande.

2. La hauteur d'un son musical est liée à sa fréquence. Plus la fréquence est petite, plus la hauteur du son est faible.

Le signal de plus bas (de plus faible fréquence) est celui qui a la plus grande période, car la fréquence et la période sont inverses l'une de l'autre.
Le signal **A** correspond au son le plus bas.

32 La piscine

1. A est l'amplitude de l'onde, T_0 sa période temporelle et Φ la phase à l'origine.

La période est l'inverse de la fréquence, soit ici $T_0 = 0,40$ s.

2. On prend $x = 5,8$ m et $t = 10$ s et on calcule la valeur de z correspondante :

$$z(10) = 1,5 \times \cos\left(\frac{2\pi}{0,40} \times 10 + \frac{\pi}{2}\right) = 0 \text{ cm.}$$

3. Pour que le ballon soit au niveau zéro, il faut que :

$$z(t) = 1,5 \times \cos\left(\frac{2\pi}{0,40} \times t + \frac{\pi}{2}\right) = 0$$

soit :

$$\cos\left(\frac{2\pi}{0,40} \times t + \frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$\frac{2\pi}{0,40} \times t + \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2} + k\pi$$

d'où $t = \frac{0,40 \times k}{2}$ avec k un entier.

Par exemple, $t = 0,2$ s ; $0,4$ s ; $0,6$ s ; $0,8$ s ; $1,0$ s ; $1,2$ s ; $1,4$ s.

33 QCM sur les ondes sonores

1. A. 2. A. 3. A et B. 4. A.

Retour sur l'ouverture du chapitre

34 L'oreille humaine en concert

1. La hauteur du son est la sensation liée à la fréquence du fondamental de ce son.

2. $T = 2,0$ ms, donc $f = 500$ Hz.

3. L'amplitude de la tension a doublé. L'ingénieur a modifié l'intensité sonore du son. Le son a toujours la même période, donc la même fréquence.

4. Le fondamental sur l'enregistrement 3 a une fréquence de 500 Hz, donc la même fréquence que les sons des enregistrements 1 et 2.

5. C'est le timbre du son qui a été modifié. En effet, il s'agit, sur l'enregistrement 3, d'un son ayant beaucoup d'harmoniques, alors que les signaux des enregistrements 1 et 2 sont des sinusoides, donc des sons purs avec un seul harmonique.

6. À 16 mètres, $I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$
 $I = 10^{-12} \times 10^{\frac{98}{10}} = 6,3 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

7. $I_2 = 10 \times I = 6,3 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$L_2 = 10 \times \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right)$$

$$L_2 = 10 \times \log\left(\frac{6,3 \times 10^{-2}}{10^{-12}}\right) = 108 \text{ dB}$$

8. À 16 mètres, $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

À 8 mètres, $I' = 4 \times I$.

$$L' = 10 \times \log\left(\frac{4 \times I}{I_0}\right)$$

$$L' = 10 \times \log 4 + 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 6 + L$$

Le niveau d'intensité sonore augmente de 6 dB lorsque la distance est divisée par 2.

Le son devient douloureux à écouter à partir de 120 dB, c'est-à-dire à partir de 4 mètres.

En effet, $120 \text{ dB} = (108 + 6 + 6) \text{ dB}$; la distance a été divisée par 4.

9. Près des enceintes, le niveau sonore peut dépasser le seuil de risques. Cette exposition à un niveau sonore trop élevé peut provoquer des acouphènes, voire engendrer une perte d'audition.

Comprendre un énoncé

35 Propagation d'une onde le long d'une corde

1. La valeur de la vitesse de propagation d'une onde est le rapport de la distance d qu'elle parcourt par la durée Δt mise par l'onde pour parcourir cette distance.

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

Entre la photo n° 2 et la photo n° 4, il s'est écoulé $2 \times 0,25 = 0,50$ s et la perturbation a parcouru 1,00 m :

$$v = \frac{1,00}{0,50} = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

2. Le premier schéma montre que la perturbation a une longueur de 0,50 m (lue sur l'axe des abscisses). La durée est déterminée par :

$$\Delta t_{\text{perturbation}} = \frac{\ell}{v} = \frac{0,50}{2,0} = 0,25 \text{ s.}$$

3. Le point A est atteint le premier par la perturbation, car il est atteint à la date 1,50 s alors que le point B l'est à la date 2,00 s.

4. Le point A est le plus proche de la source, car la perturbation l'atteint en premier.

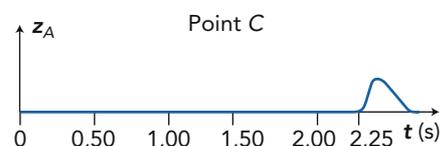
5. Le retard du point B par rapport au point A est déterminé par la lecture des graphiques.

On obtient : $\Delta t = 2,00 - 1,50 = 0,50$ s.

6. $d_{AB} = v \cdot \Delta t = 2,0 \times 0,50 = 1,0$ m.

7. L'allure de la perturbation est inversée, car sur la chronophotographie le front de la perturbation atteint le point le plus proche avant d'atteindre le point le plus éloigné.

8.



Propriétés des ondes

Activités

1 Approche historique du caractère ondulatoire de la lumière (p. 62)

- 1** I. NEWTON observe que la lumière est constituée de radiations colorées.
C. HUYGENS interprète les observations faites par I. NEWTON et en déduit le caractère ondulatoire de la lumière.
T. YOUNG met en évidence les phénomènes de diffraction et d'interférences confirmant le caractère ondulatoire de la lumière.
J. VON FRAUNHOFER met au point le spectroscopie et observe des spectres.
C. DOPPLER prévoit le décalage des ondes lorsque qu'il y a un mouvement relatif de l'émetteur par rapport au récepteur.
C. BUYS-BALLOT vérifie expérimentalement la théorie de C. DOPPLER pour le son.
H. FIZEAU prévoit que la théorie de C. DOPPLER peut s'étendre à la lumière des étoiles.

2 Listes des phénomènes physiques étudiés :

Scientifique	Phénomène physique
I. NEWTON	Dispersion de la lumière
C. HUYGENS	Caractère ondulatoire de la lumière
T. YOUNG	Diffraction et interférences de la lumière
J. VON FRAUNHOFER	Spectroscopie de la lumière
C. DOPPLER, C. BUYS-BALLOT, H. FIZEAU	Effet Doppler

3 Les appareils d'observation n'étaient pas suffisamment précis pour pouvoir vérifier l'effet Doppler-Fizeau.

2 Diffraction de la lumière (p. 63)

A Étude qualitative

- 1** Sur l'écran, on observe une alternance de zones lumineuses et de zones sombres dans une direction perpendiculaire à celle de la fente. C'est une « figure de diffraction ».
- 2** En l'absence de fente, on observe une tache lumineuse. Il y a donc des zones éclairées par la figure de diffraction qui ne le sont pas en l'absence de fente.
- ▶ Avec un fil, on observe la même figure de diffraction que celle obtenue avec une fente.
 - ▶ Avec un trou circulaire, on observe une tache centrale très lumineuse entourée d'anneaux concentriques alternativement sombres et lumineux.

B Étude quantitative

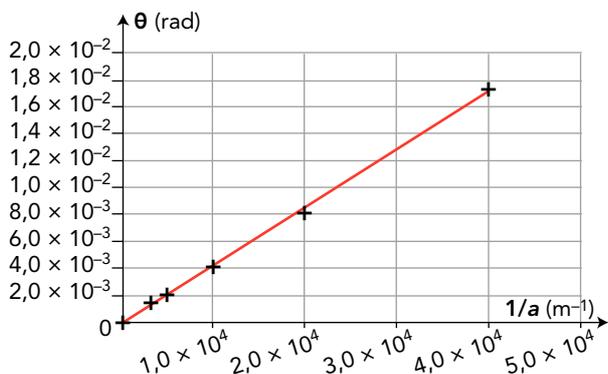
3 $\tan \theta = \frac{\ell}{2D} \approx \theta$

4 a. Le résultat des mesures est regroupé dans le tableau ci-dessous :

a ($\times 10^{-3}$ m)	0,300	0,200	0,100	0,0500	0,0250
ℓ ($\times 10^{-3}$ m)	13	19	37	73	156

Avec un tableur, on obtient les résultats suivants :

a (m)	ℓ (m)	D (m)	θ (rad)	$1/a$ (m^{-1})
3,00E-04	1,30E-02	4,50	1,4E-03	3,33E+03
2,00E-04	1,90E-02	4,50	2,1E-03	5,00E+03
1,00E-04	3,70E-02	4,50	4,1E-03	1,00E+04
5,00E-05	7,30E-02	4,50	8,1E-03	2,00E+04
2,50E-05	1,56E-01	4,50	1,7E-02	4,00E+04



La courbe obtenue est une droite qui passe par l'origine. θ est donc proportionnel à $\frac{1}{a}$: $\theta = k \cdot \frac{1}{a}$.

b. La modélisation donne $\theta = 4,2 \times 10^{-7} \times \frac{1}{a}$.

Le coefficient directeur k est homogène à une longueur.

Sa valeur correspond à la longueur d'onde λ du laser utilisé.

5 On trouve $\theta = \frac{\lambda}{a}$; θ est l'écart angulaire entre le milieu de la tache centrale et le milieu de la première extinction, en radian, λ la longueur d'onde en m et a la largeur de la fente en m.

6 On réalise la même expérience que précédemment en utilisant un laser dont on ne connaît pas la longueur d'onde et une fente dont on connaît la largeur a .
Exemple : $a = 1,00 \times 10^{-4}$ m.

On mesure la distance fente-écran, ainsi que la largeur de la tache centrale :

- distance fente-écran : $D = 4,50$ m ;
- largeur de la tache centrale : $\ell = 57$ mm.

On en déduit : $\lambda' = \frac{a \cdot \ell}{2D} = 6,33 \times 10^2$ nm.

7 a. D'après la notice :

$$U(a) = 1,5 \% \text{ de la valeur annoncée} = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m, soit } 0,002 \text{ mm.}$$

$$U(\ell) = \sqrt{2} \times \frac{2 \times 1}{\sqrt{12}} = 0,8 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

$$U(D) = \sqrt{2} \times \frac{2 \times 1}{\sqrt{12}} = 0,8 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

$$\text{b. } U(\lambda') = \lambda' \cdot \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2}$$

$$U(\lambda') = 6,33 \times 10^2 \times \sqrt{\left(\frac{0,002}{0,100}\right)^2 + \left(\frac{1}{57}\right)^2 + \left(\frac{1}{450}\right)^2}$$

$$U(\lambda') = 17 \text{ nm}$$

c. $\lambda' \in [616 \text{ nm}; 650 \text{ nm}]$. Cela est conforme à la valeur indiquée par le fabricant : 632,8 nm.

3 Interférences lumineuses (p. 64)

A Étude quantitative

Complément

Pour les fentes d'Young, on utilise du matériel Ovio pour lequel les valeurs de b sont 0,200 mm, 0,300 mm et 0,500 mm, avec une précision de 1 μm . L'écran est placé à une distance de 4,00 m.

1 On observe des franges d'interférences, alternativement sombres et brillantes sur l'écran. Ces franges sont parallèles entre elles et parallèles aux deux fentes d'Young.

2 a. Avec un tableur, on obtient :

$b \text{ (m)}$	$i \text{ (m)}$	$\frac{1}{b} \text{ (m}^{-1}\text{)}$
2,00E-04	1,2E-02	5,00E+03
3,00E-04	8,4E-03	3,33E+03
5,00E-04	5,0E-03	2,00E+03

On trace la courbe donnant les variations de i en fonction de $\frac{1}{b}$. On obtient une droite qui passe par l'origine (voir ci-contre); i est donc proportionnel à $\frac{1}{b}$.

b. Les deux premières expressions sont à exclure, car il n'y a pas de proportionnalité entre i et $\frac{1}{b}$.

La dernière relation est également à exclure, car i n'est pas homogène à une longueur.

Seule la troisième relation est conforme : $i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$.

3 On n'observe pas de figure d'interférences à partir de deux lasers identiques éclairant une même zone de l'écran.

$$\text{4 } i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$$

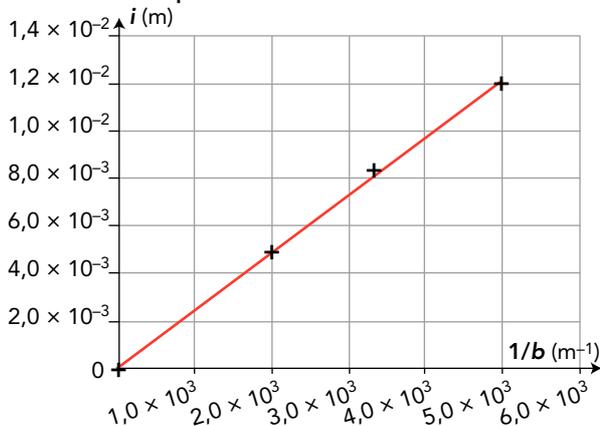
i : interfrange en m.

λ : longueur d'onde de la source en m.

b : largeur de l'interfente en m.

D : distance écran-fentes en m.

Courbe de la réponse 2a



B Application à la détermination du pas d'un réseau

5 On remplace les fentes d'Young par un réseau 100 traits/mm.

On utilise un laser $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ avec une précision de $0,2 \text{ nm}$.

On se place à une distance $D = 2,00 \text{ m}$ de l'écran.

On mesure l'interfrange $i = 12,5 \text{ cm}$.

$$b = \frac{\lambda \cdot D}{i} = \frac{632,8 \times 10^{-9} \times 2,00}{12,5 \times 10^{-2}} = 1,01 \times 10^{-5} \text{ m}$$

6 a. $U(\lambda) = 0,2 \text{ nm}$

$$U(i) = \sqrt{2} \times \frac{2 \times 1}{\sqrt{12}} = 0,8 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

$$U(D) = \sqrt{2} \times \frac{2 \times 1}{\sqrt{12}} = 0,8 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

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

$$U(b) = 1,00 \times 10^{-5} \times \sqrt{\left(\frac{0,2}{632,8}\right)^2 + \left(\frac{1}{125}\right)^2 + \left(\frac{1}{200}\right)^2}$$

$$U(b) = 1 \times 10^{-7} \text{ m} = 1 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

c. $b = (1,01 \times 10^{-2} \pm 0,01 \times 10^{-2}) \text{ mm}$

ou $b \in [1,00 \times 10^{-2}; 1,02 \times 10^{-2}]$

b est conforme à l'indication du fabricant :

$1,01 \times 10^{-2} \text{ mm}$.

4 Effet Doppler (p. 65)

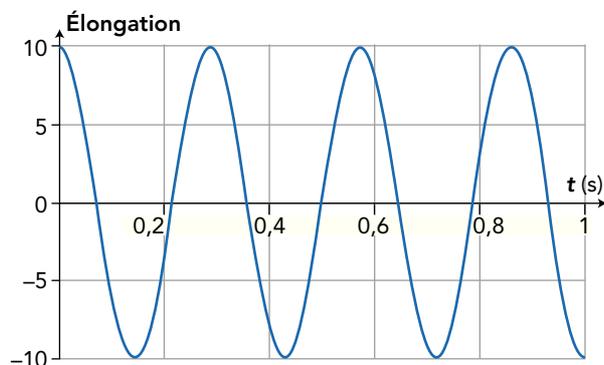
1 Il fait référence à la longueur d'onde du son.

2 a. $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

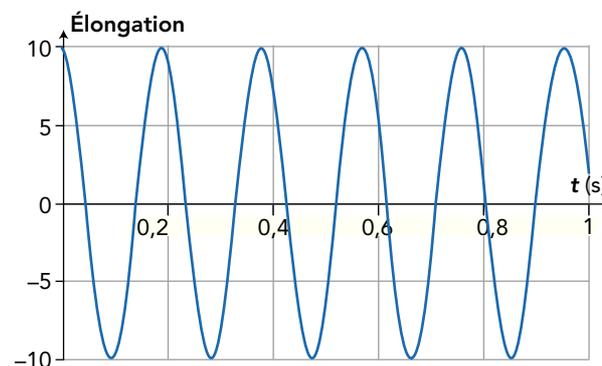
b. Un son aigu a une fréquence plus élevée qu'un son grave.

c. D'après la relation 2a, pour une même vitesse de propagation, si la longueur d'onde est plus faible, la fréquence est plus élevée, donc le son est plus aigu.

3 a. Élongation du niveau de l'eau vue par la grenouille immobile :



b. Élongation du niveau de l'eau vue par le cygne se rapprochant de la source :



4 Une onde émise avec une fréquence f_E est perçue avec une fréquence f_R différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif : c'est l'effet Doppler.

Par exemple, le son de la sirène d'une ambulance est perçu plus aigu lorsque celle-ci se rapproche.

5 Mesure de la valeur d'une vitesse par effet Doppler (p. 66)

A Étude expérimentale

Complément

Le matériel utilisé a été développé par JCL électronique (<http://www.electrome.fr/>).

1 Pour déterminer la valeur de la vitesse du véhicule, il faut mesurer le décalage de fréquence du son émis par un émetteur lorsqu'il est immobile et lorsqu'il est en mouvement.

On dispose d'un émetteur à ultrason, jouant le rôle du véhicule, pouvant se déplacer sur un rail.

Au milieu du rail se trouve une fourche optique pouvant déclencher une acquisition (ordinateur ou oscilloscope numérique).

On réalise une première acquisition avec l'émetteur immobile afin de déterminer la fréquence f_E des ultrasons émis. Ensuite, on réalise différentes acquisitions avec l'émetteur s'approchant ou s'éloignant du récepteur afin de déterminer la fréquence f_R perçue.

2

Mesures Automatiques		Mesures Automatiques		Mesures Automatiques	
EA0		EA0		EA0	
Valeur Mini :	-0.432 V	Valeur Mini :	-0.427 V	Valeur Mini :	-0.238 V
Valeur Maxi :	0.427 V	Valeur Maxi :	0.417 V	Valeur Maxi :	0.228 V
Valeur Maxi - Mini :	0.858 V	Valeur Maxi - Mini :	0.843 V	Valeur Maxi - Mini :	0.466 V
Valeur Moyenne :	-2.217 mV	Valeur Moyenne :	-1.855 mV	Valeur Moyenne :	-3.5 mV
Décalage signal :	-2.193 mV	Décalage signal :	-2.111 mV	Décalage signal :	-2.674 mV
Période :	25 μs	Période :	25.115 μs	Période :	24.885 μs
Fréquence (Hz) :	40 kHz	Fréquence (Hz) :	39.816 kHz	Fréquence (Hz) :	40.185 kHz
Valeur Efficace :	0.303 V	Valeur Efficace :	0.294 V	Valeur Efficace :	0.161 V

Mobile à l'arrêt : $f_E = 40,000$ kHz.

Mobile s'approchant du récepteur à la vitesse v_1 :

$$f_{R1} = 40,185 \text{ kHz.}$$

Mobile s'éloignant du récepteur à la vitesse v_2 :

$$f_{R2} = 39,816 \text{ kHz.}$$

On trouve :

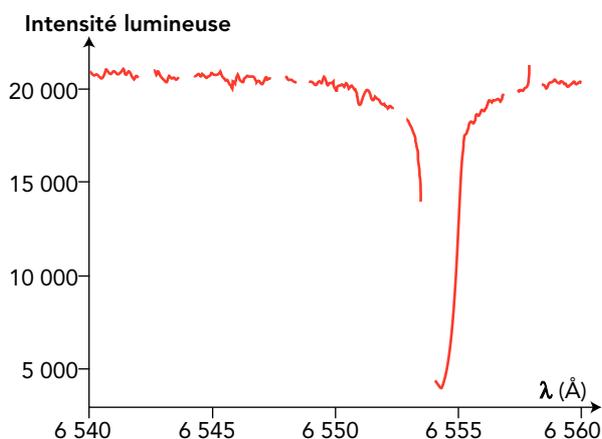
$$v_1 = 340 \times \frac{185}{40185} = 1,57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{et } v_2 = 340 \times \frac{184}{39816} = 1,57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Manuel numérique 2.0
Simulation : Effet Doppler.

B Application à l'astrophysique

3 Profil spectral de l'étoile HD 2665 :
J003044.7 + 570357 S 19961003/0017 OBJO 105
Entre 6540 Å et 6560 Å :



L'extremum du pic correspondant à H_α se situe à une longueur d'onde de 6554,2 Å. Ce décalage s'explique par le fait que l'étoile se rapproche de la Terre.

4 On en déduit la vitesse radiale de l'étoile :

$$v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{|6554,2 - 6562,6|}{6562,6}$$

$$v = 384 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 384 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Cette étoile se rapproche de la Terre avec une vitesse de 384 km·s⁻¹.

5 On peut améliorer cette précision en identifiant plusieurs raies et en effectuant une moyenne à partir des valeurs calculées.

6 L'effet Doppler permet de déterminer les vitesses radiales des étoiles.

Manuel numérique 2.0
Simulation : Effet Doppler-Fizeau.

Exercices (p. 73-85)

QCM

- 1 1. A, B et C; 2. A et B; 3. B; 2 1. C; 2. B;
3. A et C; 3 1. B; 2. B.

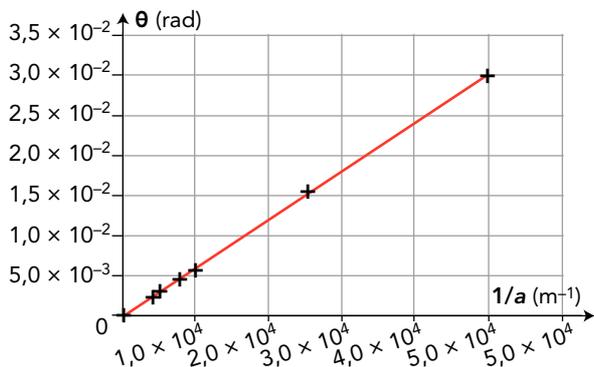
Application immédiate

4 Déterminer une longueur d'onde par interférence

- $\lambda = 635$ nm
- $U(\lambda) = 9$ nm, donc $626 \text{ nm} < \lambda < 644 \text{ nm}$.
- La valeur fournie par le constructeur est compatible avec l'encadrement obtenu.

5 Étudier expérimentalement le phénomène de diffraction

1. La représentation graphique de θ en fonction de $\frac{1}{a}$ est une droite passant par l'origine dont le coefficient directeur est 605×10^{-9} m.



2. $\lambda = 605$ nm

Pour commencer

6 Connaître le phénomène de diffraction

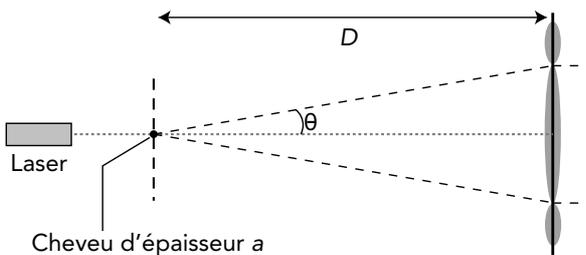
On observe une tache centrale très lumineuse entourée d'anneaux concentriques alternativement sombres et brillants.

7 Associer figure de diffraction et objet diffractant

La figure 1 est obtenue avec une fente verticale, la figure 2 avec un trou circulaire.

8 Calculer un demi-angle de diffraction

1.



$$2. \theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{632,8 \times 10^{-9}}{50 \times 10^{-6}} = 1,3 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

9 Connaître le phénomène d'interférences

On observe des franges d'interférences, alternativement sombres et brillantes, sur l'écran. Ces franges sont parallèles entre elles et parallèles aux deux fentes d'Young.

10 Connaître les conditions d'interférences

1. Les sources doivent être cohérentes.
2. a. $\delta = k \cdot \lambda$, avec k un nombre entier relatif.
b. $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$, avec k un nombre entier relatif.

11 Illustrer le phénomène d'interférences

Dans la vie courante, on observe les phénomènes d'interférences en lumière blanche : irisation sur les bulles de savon ou sur les ailes de papillon. Ce phénomène peut s'entendre avec deux haut-parleurs identiques.

12 Illustrer l'effet Doppler

Le cinémomètre routier (radar) utilise l'effet Doppler des ondes électromagnétiques pour mesurer la valeur de la vitesse des véhicules.

L'échographie Doppler permet de mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les veines et les artères.

13 Comparer des fréquences

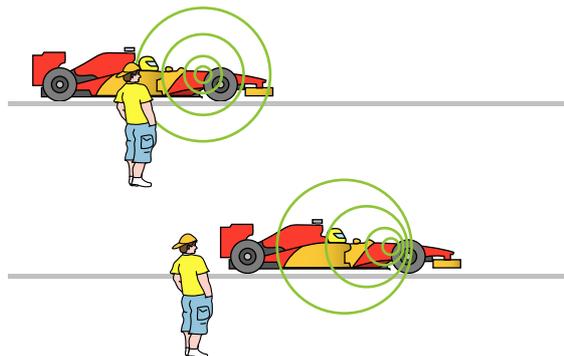
1.

Grandeur	Unité SI
f_E	s^{-1}
c et v_E	$m \cdot s^{-1}$
$\frac{c \cdot f_E}{c + v_E}$	$\frac{m \cdot s^{-1} \cdot s^{-1}}{m \cdot s^{-1}} = s^{-1}$

L'analyse dimensionnelle montre l'homogénéité de l'expression.

2. $\frac{c}{c + v_E}$ est inférieur à 1, donc la fréquence f_B est inférieure à la fréquence f_E .

14 Schématiser l'effet Doppler

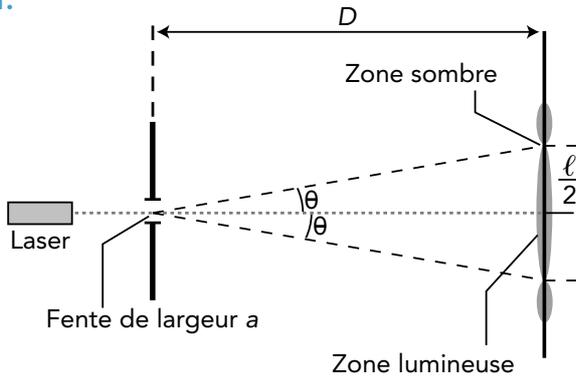


La longueur de l'onde sonore perçue par l'observateur après le passage de la voiture est plus grande, donc le son perçu sera plus grave.

Pour s'entraîner

15 Largeur d'une tache centrale

1.



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

3. a. $\tan \theta = \frac{l}{2D} \approx \theta$

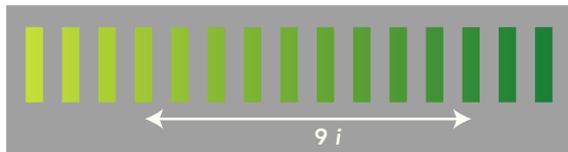
b. $\frac{l}{2D} \approx \frac{\lambda}{a}$, soit $l \approx \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{a}$

4. a. Si la largeur de la fente double, la largeur de la tache centrale est deux fois plus petite.
Si la largeur de la fente est divisée par 2, la largeur de la tache centrale double.

b. Si la distance entre la fente et l'écran double, la largeur de la tache centrale double.

16 À chacun son rythme

1. a.



La figure d'interférences est composée d'une succession de franges lumineuses équidistantes.
De la frange centrale à la dixième frange, il y a 9 interfranges :

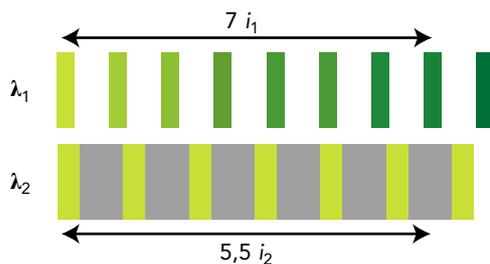
$$i_1 = \frac{9,9}{9} = 1,1 \text{ mm.}$$

b. $\lambda_1 = \frac{i \cdot b}{D} = \frac{1,1 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 10^{-3}}{2,00} = 5,5 \times 10^{-7} \text{ m}$

2. a. De la frange centrale à la huitième frange, il y a 7 interfranges i_1 , soit 7,7 mm.

b. De la frange centrale à la sixième frange sombre, il y a 5,5 interfranges i_2 , soit :

$$i_2 = \frac{7,7}{5,5} = 1,4 \text{ mm.}$$



c. $\lambda_2 = \frac{1,4 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 10^{-3}}{2,00} = 7,0 \times 10^{-7} \text{ m}$

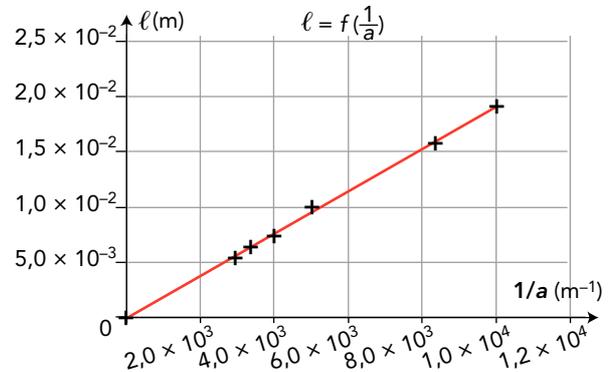
17 Mailles du voileage

1. Ce sont les interférences constructives.
2. i est l'interfrange.
3. $a = (281,3 \pm 6,5) \mu\text{m}$

18 Détermination expérimentale d'une longueur d'onde

1. On observe un phénomène de diffraction.

2. a.



b. On obtient une droite qui passe par l'origine ; l est donc proportionnel à $\frac{1}{a}$; on peut écrire :

$$l = k \cdot \frac{1}{a}$$

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

b. L'angle étant petit, on peut écrire $\tan \theta \approx \theta \approx \frac{l}{2D}$.

On en déduit :

$$\frac{\lambda}{a} \approx \frac{l}{2D}$$

c. $\lambda \approx a \cdot \frac{l}{2D} \approx \frac{k}{2D}$

Graphiquement, on détermine que $k = 1,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

$$\lambda \approx \frac{1,9 \times 10^{-6}}{2 \times 1,50} \approx 6,34 \times 10^{-7} \text{ m}$$

19 Est-ce que ça diffracte ?

1. Le phénomène de diffraction sera d'autant plus important que $\frac{\lambda}{a}$ sera grand : la diffraction sera donc plus importante pour $\lambda_1 = 1850 \text{ m}$.
2. C'est un phénomène d'interférences destructives, les ondes émises par le casque étant en opposition de phase avec celles du bruit.
3. C'est le phénomène de diffraction de la houle par l'ouverture du port.
4. Elle a une longueur d'onde inférieure à λ_1 .

20 Caractère ondulatoire de la lumière

1. On observe un phénomène de diffraction.

2. $\tan \theta = \frac{l}{2D} = 3,15 \times 10^{-3}$

$$\theta \approx \tan \theta, \text{ donc } \theta \approx 3,15 \times 10^{-3} \text{ rad.}$$

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

b. $\lambda = a \cdot \theta$

$$\lambda = 0,200 \times 10^{-3} \times 3,15 \times 10^{-3} = 6,30 \times 10^{-7} \text{ m}$$

c. $U(\lambda) = \lambda \cdot \sqrt{\left(\frac{U(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{U(l)}{l}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2}$

$$U(\lambda) = 630 \times \sqrt{\left(\frac{0,005}{0,2}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{12,6}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{2}\right)^2}$$

$$U(\lambda) = 17 \text{ nm}$$

d. $613 \text{ nm} < \lambda < 647 \text{ nm}$

4. $\lambda = \frac{c}{\nu}$, avec λ en m, c en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et ν en Hz.

5. a. $\frac{\ell}{2D} \approx \frac{\lambda}{a}$, soit $\ell \approx \frac{2 \cdot \lambda \cdot D}{a}$

b. Longueurs d'onde dans le vide :

– des radiations bleues : $\lambda_B \approx 400 \text{ nm}$;

– des radiations rouges : $\lambda_R \approx 800 \text{ nm}$.

c. En lumière bleue, la longueur d'onde diminue, θ aussi, donc ℓ également.

Si on diminue la largeur de la fente, θ augmente et ℓ aussi.

21 Contrôle de vitesse

1. a. L'émetteur d'ondes ultrasonores et le récepteur sont fixes.

b. On utilise la réflexion des ondes ultrasonores.

c. La mesure est faite lorsque le véhicule s'approche.

d. La fréquence f_R de l'onde reçue sera supérieure à la fréquence f_E de l'onde émise.

2. $f_R = 40,280 \text{ kHz}$ et $f_E = 40,000 \text{ kHz}$.

3. a. (A) $f_E = f_R \cdot \left(2V - \frac{V}{V_S}\right)$, ce qui revient à écrire :

$$\text{Hz} = \text{Hz} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} - \text{Hz} ;$$

cette relation ne convient pas.

(B) $f_R = V \cdot \left(f_E - \frac{2V}{V_S}\right)$, ce qui revient à écrire :

$$\text{Hz} = \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz} - \text{m} \cdot \text{s}^{-1} ;$$

cette relation ne convient pas.

(C) $f_E = f_R \cdot \left(1 - \frac{2V}{V_S}\right)$, ce qui revient à écrire :

$$\text{Hz} = \text{Hz} - \text{Hz} ;$$

cette relation peut convenir.

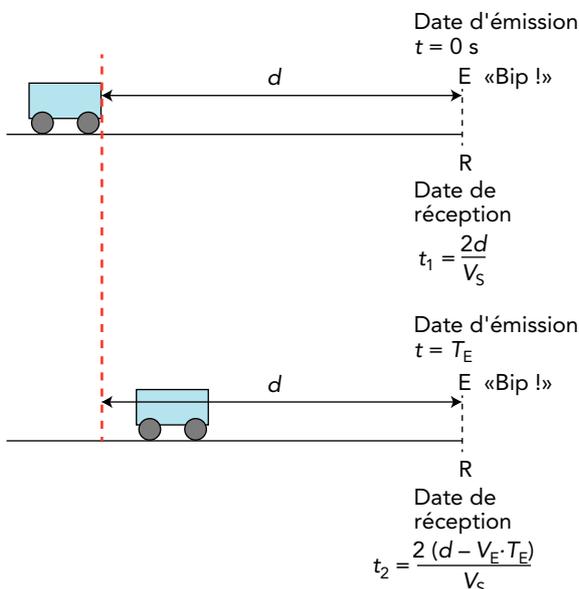
(D) $f_E = f_R \cdot \left(1 + \frac{2V}{V_S}\right)$, ce qui revient à écrire :

$$\text{Hz} = \text{Hz} + \text{Hz} ;$$

cette relation peut convenir.

La question 1d a montré que $f_R > f_E$; c'est donc la relation (C) qui convient.

b.



Deux signaux consécutifs sont reçus avec un intervalle de temps T_R tel que :

$$T_R = t_2 - t_1 = T_E + \frac{2(d - V \cdot T_E)}{V_S} - \frac{2d}{V_S} = T_E - \frac{2V \cdot T_E}{V_S}$$

$$T_R = T_E \cdot \left(1 - \frac{2V}{V_S}\right)$$

$$\frac{T_R}{T_E} = \frac{f_E}{f_R} = \left(1 - \frac{2V}{V_S}\right), \text{ soit } f_E = f_R \cdot \left(1 - \frac{2V}{V_S}\right)$$

Le nombre 2 vient du fait que la mesure se fait par réflexion.

$$c. f_E = f_R \cdot \left(1 - \frac{2V}{V_S}\right), \text{ soit } V = \frac{V_S}{2} \cdot \left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right)$$

$$V = \frac{340}{2} \times \left(1 - \frac{40,000}{40,280}\right) = 1,18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

4. a. La vitesse ayant une valeur constante, il suffit de déterminer la pente de la droite $x = f(\text{temps})$.

Choix de deux points de la droite :

$$(2,89 ; 0) \text{ et } (3,11 ; 0,24).$$

$$V_{\text{vidéo}} = \frac{0,24 - 0}{3,11 - 2,89} = 1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

b. Calcul de l'erreur relative en pourcentage :

$$\left| \frac{V_{\text{vidéo}} - V}{V} \right| \times 100 = \left| \frac{1,1 - 1,18}{1,18} \right| \times 100 = 6,7 \%$$

Aux imprécisions de mesure près, les deux valeurs sont les mêmes.

22 « niiaiiian »

1. Une onde électromagnétique ou mécanique émise avec une fréquence f_E est perçue avec une fréquence f_R différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en déplacement relatif : c'est l'effet Doppler.

2. Les rayures verticales peuvent évoquer la propagation d'une onde plane. Les couleurs peuvent évoquer un état vibratoire. Ainsi les points des lignes d'une même couleur sont supposés être dans le même état vibratoire (comme sur une cuve à ondes) :

– les lignes noires peuvent évoquer des minima de vibration ;

– les lignes blanches des maxima.

L'écart entre les lignes d'une même couleur évoque donc la longueur d'onde.

Celle-ci diminue de gauche vers le centre, puis augmente du centre vers la droite.

Ceci évoque l'effet Doppler dans lequel une onde émise par une source en mouvement a une fréquence apparente plus grande (donc une longueur d'onde plus faible) lorsqu'elle s'approche d'un observateur fixe et une fréquence apparente plus petite (donc une longueur d'onde plus grande) lorsqu'elle s'éloigne d'un observateur fixe.

Le point blanc au centre peut suggérer l'observateur.

23 Différence de marche

1. a. En O, la différence de marche est nulle.

b. On observe une frange brillante sur l'écran.

$$2. a. \delta = \frac{0,20 \times 10^{-3} \times 6,1 \times 10^{-3}}{1,00} = 1,2 \times 10^{-6} \text{ m}$$

b. $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda = 1,2 \times 10^{-6} \text{ m}$, avec $k = 2$;
on observe donc une frange sombre en P.

24 Calcul d'une longueur d'onde

1. À l'aide du schéma, on compte 10 interfranges pour la distance d .

Ainsi, $i = \frac{d}{10} = \frac{30}{10} = 3,0 \text{ mm}$.

2. a. Seule la relation (B) convient :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{b}, \text{ car } m = \frac{m \cdot m}{m}$$

b. On en déduit que $\lambda = \frac{i \cdot b}{D}$.

$$\lambda = \left(\frac{3,0 \times 10^{-3} \times 0,20 \times 10^{-3}}{1,00}\right) = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m},$$

soit 600 nm.

3. i est très petit, donc on mesure d plutôt que i , car cela réduit l'erreur systématique due à la méthode de mesure.

25 The Speed of Galaxy Q2125-431

Traduction du texte :

« L'effet Doppler est un phénomène physique important que les astronomes utilisent pour mesurer les vitesses de déplacement des étoiles et des galaxies. La formule de base pour des mouvements de faible vitesse (ce qui signifie des vitesses beaucoup plus faibles que celle de la lumière) est :

$$\text{vitesse} = 299\,792 \times \frac{\lambda_0 - \lambda_r}{\lambda_r}$$

La vitesse d'un objet en km/s s'obtient à partir de la mesure de la longueur d'onde du signal que vous observez (λ_0) et à partir de la longueur d'onde au repos du signal (λ_r), les longueurs d'onde étant mesurées en angström.

Le spectre ci-dessous est une petite partie du spectre de la galaxie Seyfert Q2125-431 dans la constellation Microscopium. Un astronome a identifié les raies spectrales de l'hydrogène alpha et bêta. »

$$1. \lambda_{0\alpha} = 7\,345 \text{ \AA}; \lambda_{0\beta} = 5\,435 \text{ \AA}.$$

$$2. V_\alpha = 299\,792 \times \frac{7\,345 - 6\,563}{6\,563} = 3,572 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{et } V_\beta = 299\,792 \times \frac{5\,435 - 5\,007}{5\,007} = 2,563 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1},$$

soit en moyenne $3,067 \times 10^4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. La vitesse radiale étant positive, cette galaxie s'éloigne de la Terre (ce qui confirme l'expansion de l'Univers).

26 Expérience historique

1. a. Il s'agit de l'effet Doppler.

$$b. f_R = f_{\text{La dièse}} = 466 \text{ Hz}$$

$$2. f_E = f_{\text{La3}} = 440 \text{ Hz}$$

$$V_{\text{train}} = V_S \cdot \left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right) = 340 \times \left(1 - \frac{440}{466}\right) = 19,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

soit $68,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pour aller plus loin

27 Détermination par effet Doppler de la vitesse d'un émetteur sonore qui s'approche

$$1. t_1 = \frac{d}{V}$$

$$2. a. d_E = V_E \cdot T_E$$

$$b. EA = d - V_E \cdot T_E$$

$$c. t_2 = T_E + \frac{d - V_E \cdot T_E}{V}$$

$$3. T_A = t_2 - t_1 = T_E + \frac{d - V_E \cdot T_E}{V} - \frac{d}{V}$$

$$T_A = T_E - \frac{V_E \cdot T_E}{V} = T_E \cdot \left(1 - \frac{V_E}{V}\right)$$

T_A est la durée entre deux signaux consécutifs captés par le récepteur; c'est donc la période de l'onde captée par le récepteur.

$$4. a. f_A = \frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_E \cdot \left(1 - \frac{V_E}{V}\right)} = f_E \cdot \frac{V}{V - V_E}$$

$$b. V_E = V \cdot \frac{f_A - f_E}{f_A}$$

28 Détermination par effet Doppler de la vitesse d'un émetteur sonore qui s'éloigne

$$1. t_1 = \frac{d}{V}$$

$$2. a. d_E = V_E \cdot T_E$$

$$b. EB = d + V_E \cdot T_E$$

$$c. t_2 = T_E + \frac{d + V_E \cdot T_E}{V}$$

$$3. T_B = t_2 - t_1 = T_E + \frac{d + V_E \cdot T_E}{V} - \frac{d}{V}$$

$$T_B = T_E + \frac{V_E \cdot T_E}{V} = T_E \cdot \left(1 + \frac{V_E}{V}\right)$$

T_B est la durée entre deux signaux consécutifs; c'est la période de l'onde captée par le récepteur.

$$4. a. f = \frac{1}{T}$$

$$\frac{T_B}{T_E} = \frac{f_E}{f_B} = \left(1 + \frac{V_E}{V}\right)$$

$$b. V_E = V \cdot \left(\frac{f_E}{f_B} - 1\right)$$

29 L'Univers et l'effet Doppler-Fizeau

1. f_E est la fréquence d'une radiation émise par la galaxie.

f_R est la fréquence de la radiation reçue sur Terre.

V_E est la vitesse radiale de la galaxie.

V est la vitesse de la lumière.

2. Si l'émetteur s'éloigne, $\frac{f_E}{f_R} > 1$, la fréquence perçue est inférieure à celle émise.

Si l'émetteur se rapproche, $\frac{f_E}{f_R} < 1$, la fréquence perçue est supérieure à celle émise.

3. La mesure dans le spectre d'émission de la galaxie de la longueur d'onde de la radiation d'un élément connu, par exemple l'hydrogène, permet en la

comparant à la longueur d'onde de la radiation de ce même élément dans le spectre du Soleil de déterminer le mouvement de la galaxie.

La relation $\lambda = \frac{c}{f}$ permet d'écrire :

$$\frac{\lambda_R}{\lambda_E} = 1 + \frac{V_E}{V} \quad \text{ou} \quad \frac{\lambda_R}{\lambda_E} = 1 - \frac{V_E}{V}$$

Si $\frac{\lambda_R}{\lambda_E} > 1$, la galaxie s'éloigne de la Terre.

Si $\frac{\lambda_R}{\lambda_E} < 1$, la galaxie s'approche de la Terre.

4. Si les galaxies s'éloignent les unes des autres, elles doivent initialement provenir d'un même point. L'effet Doppler-Fizeau est en accord avec le Big Bang.

30 Couleurs interférentielles des colibris

1. Les interférences sont constructives si $\delta = k \cdot \lambda$, avec k un nombre entier relatif.

Elles sont destructives si $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$, avec k un nombre entier relatif.

2. • Pour la radiation rouge :

$$\delta_R = 2 n_R \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda_R}{2}$$

$$\delta_R = 2 \times 1,33 \times 0,15 \times 10^{-6} \times \cos 20 + \frac{750 \times 10^{-9}}{2}$$

$$\delta_R = 7,5 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\delta_R = k \cdot \lambda_R, \text{ avec } k = 1,$$

donc les interférences sont constructives.

• Pour la radiation violette :

$$\delta_V = 2 n_V \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda_V}{2}$$

$$\delta_V = 2 \times 1,34 \times 0,15 \times 10^{-6} \times \cos 20 + \frac{380 \times 10^{-9}}{2}$$

$$\delta_V = 5,7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\delta_V = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda_V, \text{ avec } k = 1,$$

donc les interférences sont destructives.

3. $\delta_V = 2 n_V \cdot e \cdot \cos r + \frac{\lambda_V}{2} = k \cdot \lambda_V$

$$\cos r = \frac{1}{2 n_V \cdot e} \cdot \left[\lambda_V \cdot \left(k - \frac{1}{2}\right) \right]$$

$$\cos r = \frac{1}{2 \times 1,34 \times 0,15 \times 10^{-6}} \times \left[380 \times 10^{-9} \times \frac{1}{2} \right]$$

$$\cos r = 0,473,$$

soit $r \approx 62^\circ$.

Remarque : pour $k = 2$, le rapport est supérieur à 1.

4. Lorsque l'angle d'incidence augmente, d'après la loi de Descartes, l'angle de réfraction augmente, donc la différence de marche change et la longueur d'onde pour laquelle les interférences sont constructives aussi. La couleur observée change donc quand l'angle d'incidence est modifié.

Une couleur interférentielle change lorsque l'on change l'angle d'observation. Une couleur pigmentaire est toujours identique quel que soit l'angle d'observation.

31 Exoplanètes

1. Les astrophysiciens mesurent la longueur d'onde de certaines raies d'absorption sur le spectre de la lumière émise par l'étoile.

2. La vitesse radiale moyenne est de $33,11 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Elle représente la vitesse radiale de l'étoile par rapport à la Terre.

3. a. On mesure 7 périodes en 30 jours, soit :

$$T = 4,3 \text{ j.}$$

b. Cette période semble très faible par rapport à celle de la Terre qui est de 365 jours. Cette planète est donc très proche de son étoile.

32 Spectre d'une étoile lointaine

1. Ils correspondent aux pics d'absorption des différents éléments présents dans l'atmosphère de l'étoile.

2. $\lambda = 4344,9 \text{ \AA}$

$$3. v = 3,00 \times 10^8 \times \frac{4344,9 - 4340,47}{4340,47}$$

$$v = 3,06 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 306 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

4. a. On observe un *redshift*, décalage vers le rouge.

b. L'étoile s'éloigne de la Terre.

33 Diffraction par un fil

$$1. \theta \approx \tan \theta = \frac{L}{2D}$$

2. $\theta = \frac{\lambda}{a}$, avec θ en radian, et λ et a en mètre.

3. La courbe $\theta = f\left(\frac{1}{a}\right)$ est une droite passant par l'origine. Or l'expression précédente montre que θ et $\frac{1}{a}$ sont proportionnels (coefficient de proportionnalité λ). La figure 2 est donc bien en accord avec la relation.

4. Le coefficient directeur de la droite représentative de $\theta = f\left(\frac{1}{a}\right)$ est égal à la longueur d'onde λ .

5. Soit le point de la droite de coordonnées $(5,0 \times 10^4 \text{ m}^{-1}; 2,8 \times 10^{-2} \text{ rad})$.

Le coefficient directeur de la droite est :

$$\lambda = \frac{2,8 \times 10^{-2}}{5,0 \times 10^4} = 5,6 \times 10^{-7} \text{ m.}$$

La valeur à retenir est $\lambda = 560 \text{ nm}$.

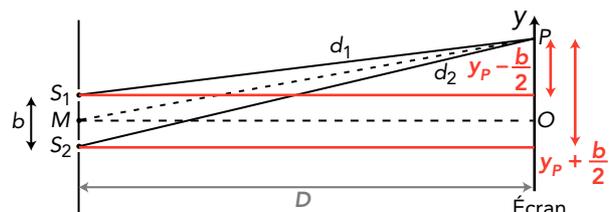
6. La lumière blanche est polychromatique, donc elle contient des radiations de longueurs d'onde différentes qui donneront des taches de largeurs et de positions différentes sur l'écran.

Au centre de l'écran, juste en face du fil, toutes les radiations colorées se superposent; on obtient du blanc.

À l'extérieur de cette tache blanche, seules certaines radiations se superposent; cela crée des zones colorées : des irisations.

34 Les lambdamètres

1. a. On note $\delta = d_2 - d_1$ la différence de marche entre les deux rayons lumineux.



d_1 et d_2 exprimés à l'aide du théorème de Pythagore dans les triangles rectangles correspondants donnent :

$$d_1 = \sqrt{D^2 + \left(y_P - \frac{b}{2}\right)^2}$$

$$d_2 = \sqrt{D^2 + \left(y_P + \frac{b}{2}\right)^2}$$

$$\text{d'où } d_2 - d_1 = \sqrt{D^2 + \left(y_P + \frac{b}{2}\right)^2} - \sqrt{D^2 + \left(y_P - \frac{b}{2}\right)^2}$$

b. On obtient :

$$\delta = D \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{y_P + \frac{b}{2}}{D}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{y_P - \frac{b}{2}}{D}\right)^2} \right)$$

avec $y_P \pm \frac{b}{2} \ll D$, donc $\varepsilon = \left(\frac{y_P + \frac{b}{2}}{D}\right)$ et $\varepsilon' = \left(\frac{y_P - \frac{b}{2}}{D}\right)$ très petits.

c. En appliquant l'approximation, on obtient :

$$\delta = D \cdot \left[1 + \left(\frac{y_P + \frac{b}{2}}{D}\right)^2 - 1 - \left(\frac{y_P - \frac{b}{2}}{D}\right)^2 \right]$$

$$\delta = \frac{1}{D} \cdot \left(y_P + \frac{b}{2} - y_P + \frac{b}{2}\right) \cdot \left(y_P + \frac{b}{2} + y_P - \frac{b}{2}\right)$$

$$\delta = \frac{b \cdot y_P}{D}$$

2. Il y a interférences constructives si δ est égal à un nombre entier de longueurs d'onde λ .

On observe donc des franges brillantes pour $y_P = 0$, c'est-à-dire sur l'axe optique du système, puis pour :

$$y_1 = \frac{\lambda \cdot D}{b}; \quad y_2 = 2 \frac{\lambda \cdot D}{b}; \quad y_3 = 3 \frac{\lambda \cdot D}{b}; \quad \text{etc.}$$

Il y a interférences destructives si δ est égal à un nombre impair de demi-longueurs d'onde. On observe alors des franges sombres pour :

$$y_1' = \frac{\lambda \cdot D}{2b}; \quad y_2' = 3 \frac{\lambda \cdot D}{2b}; \quad y_3' = 5 \frac{\lambda \cdot D}{2b}; \quad \text{etc.}$$

D'après ce qui précède, la distance entre deux franges brillantes ou entre deux franges sombres consécutives, appelée interfrange i , s'écrit :

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$$

La mesure de i à partir de D et b permet de déterminer expérimentalement la longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée :

$$\lambda = \frac{i \cdot b}{D}$$

Retour sur l'ouverture du chapitre

35 Bulles de savon et iridescence

1. Les ondes sont cohérentes, car elles sont issues de la même source.

2. Pour qu'il y ait interférences constructives, la différence de marche δ doit être un nombre entier de longueurs d'onde :

$$\delta = 2n \cdot e + \frac{\lambda}{2} = k \cdot \lambda,$$

soit : avec $k = 1, \quad e = \frac{\lambda}{4n}$

3. a. $e = \frac{1}{2} \times \frac{633 \times 10^{-9}}{2 \times 1,35} = 1,17 \times 10^{-7} \text{ m} = 117 \text{ nm}$

b. $e = \frac{1}{2} \times \frac{488 \times 10^{-9}}{2 \times 1,35} = 9,04 \times 10^{-8} \text{ m} = 90,4 \text{ nm}$

4. Les couleurs dépendent de l'épaisseur du film.

5. À cause de la pesanteur, l'épaisseur est plus fine au-dessus de la bulle que sur le bas de la bulle.

Comprendre un énoncé

36 Radar... et effet Doppler

1. $\lambda' = \lambda - v \cdot T$ et $\lambda = \frac{c}{f}$

Par suite :

$$\frac{c}{f'} = \frac{c}{f} - \frac{v}{f'} \quad \text{soit } f' = f \cdot \frac{c}{c - v}$$

2. $\frac{c}{c - v} > 1$, donc $f' > f$:

le son perçu est donc plus aigu que le son émis.

3. D'après la relation de la question 1 :

$$f' \cdot (c - v) = f \cdot c$$

$$f' \cdot c - f \cdot c = f' \cdot v$$

$$v = \frac{c \cdot (f' - f)}{f'}$$

$$v = \frac{340 \times (716 - 680)}{716} = 17,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 61,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

4. a. $\lambda'' = \lambda + v \cdot T$ et $f'' = f \cdot \frac{c}{c + v}$

b. $\frac{c}{c + v} < 1$, donc $f'' < f$:

le son perçu est donc plus grave que le son émis.

Analyse spectrale

Activités

1 Tracé et analyse de spectres UV-visible (p. 88)

A Analyse de quelques spectres

1 et 2

Numéro de la courbe	1	2	3	4	5
Couleur de la solution	Jaune	Orangé	Rouge	Violet	Bleu vert
λ_{\max} (nm)	400	430	520	550	720
Couleur de la radiation absorbée	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Rouge

3 Lorsqu'une espèce chimique n'absorbe que dans un seul domaine de longueurs d'onde du visible, sa couleur est la couleur complémentaire de celle des radiations absorbées.

B Étude de solutions colorées

4 et 5 Il suffit de tracer le spectre $A = f(\lambda)$ pour les diverses solutions proposées en faisant le blanc du spectrophotomètre avec le solvant utilisé pour préparer les solutions. En cas de saturation de l'appareil, les élèves devront diluer les solutions étudiées.

Pour cela, il faudra utiliser :

- un spectrophotomètre et ses cuves ;
- une solution de vert de malachite ;
- une solution de chlorure de chrome (III) ;

- une solution de jus de chou rouge à pH = 5 ;
- une solution d'hélianthine à pH = 4 ;
- les solvants utilisés pour préparer ces solutions ;
- cinq pipettes Pasteur ;
- des tubes à essais dans leur portoir.

6 Lorsqu'une espèce chimique absorbe dans plusieurs domaines de longueurs d'onde, sa couleur résulte de la synthèse additive des couleurs complémentaires des radiations absorbées.

C Recherches d'espèces colorées

7 et 8 Si le laboratoire ne dispose pas de β -carotène, il suffit, pour tracer son spectre, de l'extraire de carottes fraîches.

Pour cela, après les avoir nettoyées et épluchées, broyer le plus finement possible deux ou trois carottes coupées en dés et additionnées d'un peu d'eau avec un presse-légumes ou un mixer.

Ajouter alors 15 mL de cyclohexane, agiter vigoureusement quelques instants, laisser décanter, verser la phase liquide dans une ampoule à décanter, récupérer la phase supérieure et la filtrer afin d'obtenir une solution limpide. On peut aussi partir de jus de carottes biologique (sans additif) du commerce.

Tracer le spectre $A = f(\lambda)$ de la solution obtenue, en faisant le blanc avec du cyclohexane (le β -carotène a deux maxima d'absorption pour $\lambda_{\max} = 445$ nm et $\lambda_{\max} = 475$ nm).

Choisir un produit « solaire » dont l'étiquette annonce

qu'il contient du β -carotène, en écraser très finement plusieurs comprimés ou récupérer la poudre contenue dans les gélules, ajouter 15 mL de cyclohexane, agiter vigoureusement quelques instants, laisser décanter et filtrer la phase liquide afin d'obtenir une solution limpide.

Tracer, dans le même repère que précédemment, le spectre $A' = f(\lambda)$ de la solution obtenue, en faisant le blanc avec du cyclohexane.

Comparer les tracés obtenus et conclure.

La même étude peut être conduite avec le lycopène présent dans les tomates et dans certains produits destinés à favoriser le bronzage.

Pour cela il faudra utiliser :

- un spectrophotomètre et ses cuves ;
- un mixer ou un presse-légumes ;
- des carottes et/ou des tomates fraîches ou du jus de carottes et/ou du jus de tomate naturels ;

- 9** • Amines à deux atomes de carbone :
- éthanamine : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--NH}_2$
 - N-méthyl-méthanamine : $\text{CH}_3\text{--NH--CH}_3$
- Amines à trois atomes de carbone :
- propan-1-amine $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--NH}_2$
 - propan-2-amine $\text{CH}_3\text{--CH}(\text{NH}_2)\text{--CH}_3$
 - N-méthyl-éthanamine $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--NH--CH}_3$
 - N,N-diméthyl-méthanamine ou triméthylamine $(\text{CH}_3)_3\text{N}$.

- Amines à quatre atomes de carbone :
- butan-1-amine : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--NH}_2$
- butan-2-amine : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}(\text{NH}_2)\text{--CH}_3$
- 2-méthylpropan-1-amine : $(\text{CH}_3)_2\text{CH--CH}_2\text{--NH}_2$
- 2-méthylpropan-2-amine : $(\text{CH}_3)_3\text{C--NH}_2$
- N-méthyl-propan-1-amine : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--NH}(\text{CH}_3)$
- N-méthyl-propan-2-amine. $(\text{CH}_3)_2\text{CH--NH}(\text{CH}_3)$
- N-éthyl-éthanamine. $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--NH}(\text{CH}_2\text{--CH}_3)$
- N,N-diméthyl-éthanamine : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--N}(\text{CH}_3)_2$

D Amides

10 Un amide est caractérisé par le groupe $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{--C--N--} \\ | \end{array}$

11 Un amide est un composé de formule générale $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{R}' \\ || \quad | \\ \text{R--C--N--R}'' \end{array}$, où R' et R'' peuvent être des atomes d'hydrogène, des groupes alkyle, etc.

Le nom d'un amide de formule $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{R--C--NH}_2 \end{array}$ dérive de celui de l'alcane de même chaîne carbonée en remplaçant la terminaison **-ane** par la terminaison **-amide**. La chaîne carbonée est numérotée à partir de l'atome de carbone C. Lorsque l'atome d'azote est lié à des groupes alkyle, le nom de l'amide est précédé de la mention N-alkyl.

- 12** • Amines à deux atomes de carbone :
- éthanamide : $\text{CH}_3\text{--CO--NH}_2$
 - N-méthyl-méthanamide : $\text{H--CO--NH}(\text{CH}_3)$

- Amines à trois atomes de carbone :
- propanamide : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CO--NH}_2$
- N-méthyl-éthanamide : $\text{CH}_3\text{--CO--NH--CH}_3$
- N,N-diméthyl-méthanamide : $\text{H--CO--N}(\text{CH}_3)_2$
- Amines à quatre atomes de carbone :
- butanamide : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CO--NH}_2$
- 2-méthylpropanamide : $(\text{CH}_3)_2\text{CH--CO--NH}_2$
- N-méthyl-propanamide : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CO--NH}(\text{CH}_3)$
- N-éthyl-éthanamide : $\text{CH}_3\text{--CO--NH}(\text{CH}_2\text{--CH}_3)$
- N-propyl-méthanamide : $\text{H--CO--NH}(\text{CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_3)$
- N-(1-méthyléthyl)-méthanamide : $\text{H--CO--NH}(\text{CH}(\text{CH}_3)_2)$
- N,N-diméthyl-éthanamide : $\text{CH}_3\text{--CO--N}(\text{CH}_3)_2$
- N-éthyl-N-méthyl-méthanamide : $\text{H--CO--N}(\text{CH}_3)(\text{CH}_2\text{--CH}_3)$

3 Exploitation de spectres infrarouge (IR) (p. 90-91)

Remarque : dans l'animation du livre numérique consacrée aux spectres infrarouge, les molécules étudiées sont celles de cette activité; il y a deux exemples d'application au lieu d'un.

Manuel numérique 2

Animation : Exploiter un spectre IR pour déterminer des groupes caractéristiques.

A Analyse de quelques spectres

1 Une transmittance de 100 % signifie que toute la lumière infrarouge a été transmise et que rien n'a été absorbé. Au contraire, une transmittance de 0 % signifie que rien n'a été transmis et que toute la lumière a été absorbée.

L'axe des transmittances étant gradué de 0 à 100 % de bas en haut, il est logique que les spectres IR pointent vers le bas : plus l'extremum du pic est proche de l'axe des abscisses plus l'absorption est forte.

2 En spectroscopie infrarouge, avec $\lambda = 1/\sigma$: $2,5 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 16,7 \mu\text{m}$, soit :

$$2500 \text{ nm} \leq \lambda \leq 16700 \text{ nm}$$

(pour le visible : $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$).

3 La bande C–C ($1000 \text{ cm}^{-1} \leq \sigma \leq 1250 \text{ cm}^{-1}$) a une très faible intensité, elle est donc difficilement repérable dans un spectre.

4 Le groupe caractéristique est en couleur :

- pent-1-ène (B) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--HC=CH}_2$ groupe **alcène** ;
- pentan-1-ol (C) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--OH}$ groupe **hydroxyle** ;
- pentanal (D) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--HC=O}$ groupe **carbonyle** (aldéhyde) ;
- pentan-3-one (E) : $\text{CH}_3\text{--H}_2\text{C--CO--CH}_2\text{--CH}_3$, groupe **carbonyle** (cétone) ;
- acide pentanoïque (F) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CO}_2\text{H}$ groupe **carboxyle** ;
- pentan-1-amine (G) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--NH}_2$ groupe **amine** ;
- propanoate d'éthyle (H) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CO--O--CH}_2\text{--CH}_3$ groupe **ester** ;
- pentanamide (I) : $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CO--NH}_2$ groupe **amide**.

5 Toutes les molécules étudiées possèdent des liaisons C_{tét}-H (2800-3000 cm⁻¹ et 1415-1470 cm⁻¹) et C-C (1000-1250 cm⁻¹) ; seules les autres liaisons remarquables sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

B Identification d'un composé

6 On repère les bandes relatives aux liaisons :
C=C (σ ≈ 1640 cm⁻¹), C_{tri}-H (σ ≈ 3100 cm⁻¹),

O-H (σ ≈ 3350 cm⁻¹) et C-O (σ ≈ 1100 cm⁻¹).
Y correspond à la molécule M, soit le pent-2-èn-2-ol.

7 Les bandes d'absorption associées à chacune des liaisons rencontrées en chimie organique (C-C, C-H, O-H, N-H, C-O, C=C, C=O, etc.) correspondent à un domaine de nombre d'ondes σ bien précis.

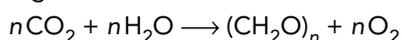
Un spectre infrarouge renseigne ainsi sur la nature des liaisons présentes dans une molécule et donc sur ses groupes caractéristiques.

Molécules	Fonction chimique	Bandes d'absorption des principales liaisons	
B	Alcène	C=C (σ ≈ 1640 cm ⁻¹)	C _{tri} -H (σ ≈ 3100 cm ⁻¹)
C	Alcool	O-H (σ ≈ 3350 cm ⁻¹)	C-O (σ ≈ 1100 cm ⁻¹)
D	Aldéhyde	C=O (σ ≈ 1750 cm ⁻¹)	
E	Cétone	C=O (σ ≈ 1720 cm ⁻¹)	
F	Acide carboxylique	C=O (σ ≈ 1710 cm ⁻¹)	O-H (σ ≈ 3200 cm ⁻¹)
G	Amine	N-H (σ ≈ 3250 à 3350 cm ⁻¹)	
H	Ester	C=O (σ ≈ 1730 cm ⁻¹)	C-O (σ ≈ 1220 cm ⁻¹)
I	Amide	C=O (σ ≈ 1620 à 1670 cm ⁻¹)	N-H (σ ≈ 3200 à 3350 cm ⁻¹)

4 Utilisations des spectres UV-visible et de RMN (p. 92)

1 *Monomères* : espèces chimiques dont l'enchaînement conduit à un polymère. L'éthylène (ou éthène) CH₂=CH₂, le styrène C₆H₅-CH=CH₂, le chlorure de vinyle CHCl=CH₂ sont des monomères.

Photosynthèse : synthèse de la matière végétale à partir d'eau et de dioxyde de carbone, en présence de chlorophylle sous l'action de l'énergie lumineuse. La photosynthèse est une réaction photochimique d'équation générale :



Isotopes : atomes ou ions monoatomiques dont les noyaux possèdent le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents : ³⁵Cl et ³⁷Cl sont isotopes.

Chaptalisé : se dit d'un vin dont le degré alcoolique a été augmenté par ajout de sucre lors de la fermentation du moût de raisin. Ce procédé a été mis au point par le chimiste français Jean CHAPTAL (1756-1832).

Métabolisme : ensemble des processus de transformations de matière et d'énergie par l'organisme.

Protéines : macromolécules naturelles constituées par l'enchaînement d'acides α-aminés naturels, reliés entre eux par des liaisons peptidiques ; les enzymes sont des protéines.

Principes actifs : espèces chimiques possédant un effet thérapeutique : l'aspirine et le paracétamol sont des principes actifs.

2 Le DDL absorbe dans l'UV (λ ≈ 260 nm) mais aussi dans le visible, plus précisément dans le violet (λ ≈ 420 nm) ; il peut donc être jaune.

3 L'arôme d'un produit alimentaire est dû à la présence de molécules particulières ; celles-ci peuvent

être naturelles ou synthétiques. Généralement, les molécules synthétiques coûtent beaucoup moins chères que celles extraites d'espèces naturelles, végétales ou animales. C'est pour cette raison que l'on cherche à identifier l'origine de ces molécules afin qu'il n'y ait pas de fraudes ou de publicités mensongères.

La détermination par RMN du rapport $R = \frac{\%(^2\text{H})}{\%(^1\text{H})}$ des molécules d'arômes présentes dans le produit analysé permet, grâce aux données cartographiques disponibles, de localiser dans quelles régions ont été produites les molécules constituant ce produit et de vérifier si l'espèce naturelle, source de ce produit, est cultivée dans cette région.

4 L'hydrogène, le carbone, l'azote et l'oxygène sont les principaux éléments présents dans les molécules de protéines, de glucides et de lipides, constituants essentiels de l'organisme. L'étude en RMN des résonances de ces éléments est donc essentielle en médecine.

5 L'existence de liaisons hydrogène affaiblit les liaisons covalentes O-H ou N-H ; la présence de telles liaisons se traduit par une diminution du nombre d'ondes de la radiation absorbée et peut donc être détectée en infrarouge.

Le déplacement chimique d'un proton dépend de l'environnement électronique de ce proton ; la présence de liaisons hydrogène modifie cet environnement et donc le déplacement chimique correspondant.

Exercices (p. 101-115)

QCM

1. 1. B et C; 2. B; 2. 1. B; 2. A et C; 3. 1. A et C; 2. A et C; 3. B et C; 4. 1. C; 2. C; 3. B et C; 4. B; 5. A.

Application immédiate

5 Associer une molécule à son spectre infrarouge

1. Le spectre IR présente une bande d'absorption vers 3400 cm^{-1} (liaison O-H) et une vers 1700 cm^{-1} (liaison C=O). B peut avoir la formule a.
2. La bande large vers 3400 cm^{-1} est caractéristique de la présence de liaisons hydrogène.

6 Relier un spectre de RMN à une molécule

Le 1,1-dichloroéthane a pour formule $\text{Cl}_2\text{CH}-\text{CH}_3$. Son spectre de RMN présente deux signaux : un doublet pour CH_3 et un quadruplet pour CH, ce qui est le cas de celui proposé.

Les hauteurs d'intégration sont telles que $h(\text{CH}_3) = 3 h(\text{CH})$, ce qui est compatible.

Les valeurs des déplacements chimiques du spectre sont supérieures à celles lues dans la table : ($\delta(\text{CH}_3-\text{C}-\text{Cl}) = 2\text{ ppm}$ au lieu de $1,5\text{ ppm}$ et $\delta(\text{CH}-\text{Cl}) = 6\text{ ppm}$ au lieu de 4 ppm).

Cela provient de la présence de deux atomes de chlore et non d'un seul.

Pour commencer

7 Savoir lire et exploiter un spectre UV-visible

- a. On lit l'absorbance en ordonnée et la longueur d'onde en abscisse.
b. Pour les radiations UV : $200\text{ nm} \leq \lambda \leq 400\text{ nm}$.
c. C'est un spectre d'absorption.
d. On applique la loi de Beer-Lambert.
e. Il y a absorption dans l'ultraviolet.
f. L'espèce est jaune.

8 Utiliser un spectre pour déterminer une couleur

$\lambda_{\text{max}} = 450\text{ nm}$, soit une absorption dans le domaine du violet-bleu, couleur complémentaire du jaune-orangé.

9 Justifier une couleur à partir d'un spectre

Le vert de bromocrésol absorbe dans le bleu ($\lambda = 450\text{ nm}$), couleur complémentaire du jaune, et

dans l'orangé ($\lambda = 610\text{ nm}$), couleur complémentaire du vert-bleu, d'où sa couleur à $\text{pH} = 4,6$.

10 Reconnaître un groupe caractéristique

- a. Groupes amine $-\text{NH}_2$ et carboxyle $-\text{COOH}$ (fonctions amine et acide carboxylique);
b. groupe hydroxyle $-\text{OH}$, groupes amine $-\text{NH}_2$ et carboxyle $-\text{COOH}$ (fonctions alcool, amine et acide carboxylique);
c. groupes amine $-\text{NH}_2$, carboxyle $-\text{COOH}$ et amide $-\text{CO}-\text{NH}_2$ (fonctions amine, acide carboxylique et amide);
d. groupes carbonyle $\text{C}=\text{O}$, alcène $\text{C}=\text{C}$ et carboxyle $-\text{COOH}$ (fonctions cétone, alcène et acide carboxylique);
e. groupes carbonyle $\text{C}=\text{O}$ et alcène $\text{C}=\text{C}$ (fonctions aldéhyde et alcène).

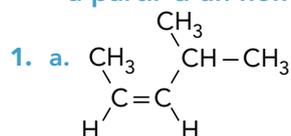
11 Nommer des composés organiques

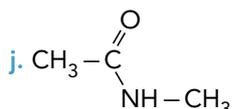
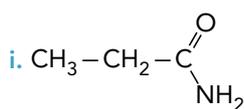
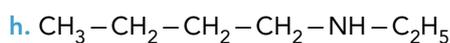
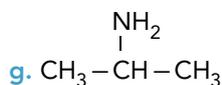
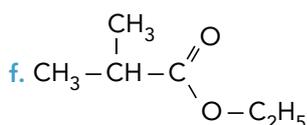
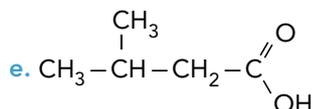
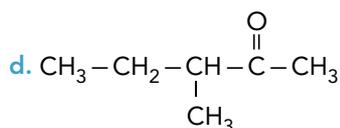
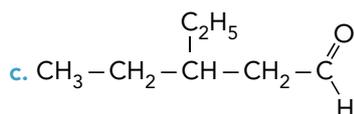
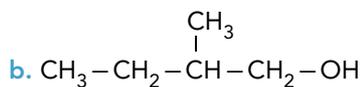
1. a. Groupe alcène $\text{C}=\text{C}$ (alcène);
b. groupe hydroxyle $-\text{OH}$ (alcool);
c. groupe amine $-\text{NH}_2$ (amine);
d. groupe carbonyle $\text{C}=\text{O}$ (cétone);
e. groupe carbonyle $\text{C}=\text{O}$ (aldéhyde);
f. groupe amine $-\text{NH}-$ (amine);
g. groupe ester $-\text{CO}-\text{O}-\text{C}$ (ester);
h. groupe amide $-\text{CO}-\text{NH}-$ (amide).
2. a. 2-méthylbut-2-ène; b. 5-méthylhexan-2-ol;
c. pentan-2-amine; d. 4-éthylhexan-2-one;
e. butanal; f. N-éthylbutan-2-amine;
g. 2-méthylbutanoate d'éthyle;
h. N-méthylbutanamide.

12 Utiliser des formules topologiques

1. a. Groupe et fonction alcène;
b. groupe hydroxyle, fonction alcool;
c. groupe carbonyle, fonction aldéhyde;
d. groupe carbonyle, fonction cétone;
e. groupe carboxyle, fonction acide carboxylique;
f. groupe et fonction ester;
g. groupe et fonction amine;
h. groupe et fonction amine;
i. groupe et fonction amide.
2. a. (E)-4-méthylpent-2-ène;
b. 2,3-diméthylpentan-2-ol; c. 3-méthylpentanal;
d. 5-éthyl-2,4-diméthylheptan-3-one;
e. acide 2-éthylpentanoïque;
f. 2-méthylbutanoate d'éthyle;
g. N-méthylpentan-2-amine;
h. N-éthyl-N-méthylbutan-1-amine;
i. N-méthyl-3-méthylhexanamide.

13 Écrire une formule semi-développée à partir d'un nom

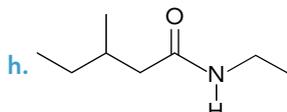
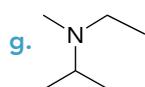
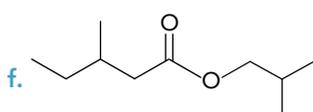
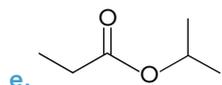
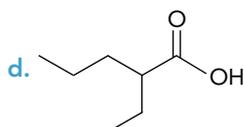
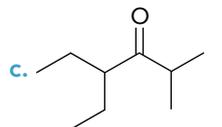
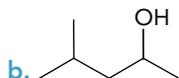
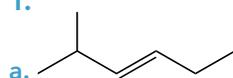




2. a. Groupe alcène (alcène);
 b. groupe hydroxyle (alcool);
 c. groupe carbonyle (aldéhyde);
 d. groupe carbonyle (cétone);
 e. groupe carboxyle (acide carboxylique);
 f. groupe ester (ester);
 g. et h. groupe amine (amine);
 i. et j. groupe amide (amide).

14 Écrire une formule topologique à partir d'un nom

1.



2. a. Groupe et fonction alcène;
 b. groupe hydroxyle, fonction alcool;
 c. groupe carbonyle, fonction cétone;
 d. groupe carboxyle, fonction acide carboxylique;
 e. groupe et fonction ester;

- f. groupe et fonction ester;
 g. groupe et fonction amine;
 h. groupe et fonction amide.

15 Savoir lire et exploiter un spectre infrarouge

a. La transmittance en ordonnée et le nombre d'ondes en abscisse.

b. Pour les spectres infrarouge :

$$600 \text{ cm}^{-1} \leq \sigma \leq 4000 \text{ cm}^{-1}.$$

c. Un spectre infrarouge est un spectre d'absorption.

d. Un spectre infrarouge renseigne sur la nature des liaisons présentes.

16 Reconnaître des bandes d'absorption

1. $\text{CH}_3-\overset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$;

groupe hydroxyle (alcool).

2. (a) liaison O-H; (b) liaison C-H;
 (c) liaison C-H; (d) liaison C-O.

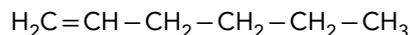
17 Utiliser un spectre pour déterminer une fonction

1. Les molécules du composé A peuvent, a priori, posséder :

- a. une liaison C-H; b. une liaison C-H;
 c. une liaison C^{tét}-C; d. une liaison C^{tri}=C.

Le composé A possède une fonction alcène

2. La formule de l'hex-1-ène est :



d'où les bandes observées.

18 Utiliser un spectre pour identifier une fonction

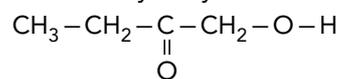
1. Les molécules du composé B peuvent, a priori, posséder :

- a. une liaison C-H; b. une liaison C-C;
 d. une liaison O^{tét}-H; e. une liaison C=O;
 f. une liaison C-O.

2. Le composé B peut, a priori, présenter :

- a. une fonction alcool; b. une fonction cétone;
 c. une fonction acide carboxylique.

3. La formule de la 1-hydroxybutanone est :



d'où les bandes observées.

19 Savoir lire et exploiter un spectre de RMN

a. Dans un spectre de RMN on lit le déplacement chimique en abscisse.

b. La courbe d'intégration permet de déterminer le nombre de protons qui résonnent.

c. La multiplicité d'un signal indique le nombre de protons équivalents voisins.

d. Une molécule qui présente un doublet et un quadruplet peut être $\text{CH}_3-\text{CHCl}_2$.

20 Lire une table de données de RMN

- a. 1,4 ppm; b. 3,0; c. 2,3; d. 3,3; e. 2,2; f. 2,0.
- a. 1,3; b. 3,6; c. 3,3; d. 1,7; e. 4,1; f. 4,3; g. 2,5.
- a. 1,5; b. 3,9; c. 1,6; d. 2,7.

21 Attribuer des déplacements chimiques

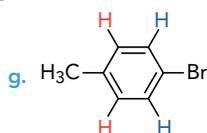
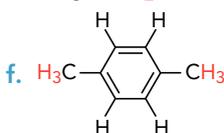
Les protons et les déplacements chimiques liés sont de même couleur.

- $\text{CH}_3\text{-CO-O-CH}_3$:
 $\delta_1 = 2,0$ ppm, $\delta_2 = 3,7$ ppm.
- $\text{CH}_3\text{-Br}$ et $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-Br}$:
 $\delta_1 = 1,7$ ppm, $\delta_2 = 2,7$ ppm.
- $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$ et $\text{C}_6\text{H}_5\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$:
 $\delta_1 = 3,4$ ppm, $\delta_2 = 4,3$ ppm.
- $(\text{CH}_3)_2\text{CH-O-H}$ et $(\text{CH}_3)_2\text{CH-NH}_2$:
 $\delta_1 = 2,8$ ppm, $\delta_2 = 3,9$ ppm.

22 Identifier des protons équivalents

1. Les protons équivalents sont de la même couleur :

- $\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$
- $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$
- $\text{Br-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-O-CO-CH}_2\text{-CH}_3$
- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-O-CH}_2\text{-CH}_3$



- 3 signaux; d. 1 signal; g. 3 signaux;
- 2 signaux; e. 4 signaux; h. 4 signaux;
- 2 signaux; f. 3 signaux; i. 6 signaux.

23 Relier la multiplicité du signal au nombre de voisins

1. Multiplicité des signaux correspondant aux groupes méthyle CH_3 :

- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-}$: triplet; b. $(\text{CH}_3)_3\text{C-}$: singulet;
- $(\text{CH}_3)_2\text{CH-}$: doublet.

2. Multiplicité des signaux correspondant aux groupes méthylène $\text{-CH}_2\text{-}$:

- $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$: quadruplet;
- $(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_2\text{-Br}$: doublet;
- $\text{H}_2\text{N-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$: singulet;
- $\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-Cl}$: triplet et triplet.

3. Multiplicité des signaux correspondant aux groupes méthyne CH- :

- $(\text{CH}_3)_2\text{CH-Cl}$: heptuplet; b. $(\text{CH}_3)_3\text{CH}$: décuplet;
- HCCl_3 : singulet; d. $(\text{CH}_3)\text{CHCl}_2$: quadruplet.

24 Reconnaître des signaux par leur multiplicité

(I) est le spectre de c (2 protons voisins de 3, et réciproquement).

(II) est le spectre de a (1 proton voisin de 6, et réciproquement).

Pour s'entraîner

25 Couleurs et radiations absorbées

1. Une solution aqueuse de chlorure de titane (III) est rouge-violacée (pourpre)

2. a. L'unique maximum se situerait vers $\lambda = 450$ nm (dans le bleu).

b. La couleur perçue est la superposition du jaune, couleur complémentaire du violet ($\lambda = 430$ nm) et de l'orange, couleur complémentaire du bleu ($\lambda = 500$ nm).

26 Spectre UV-visible et réactions chimiques

La solution de sulfate de nickel absorbe dans le violet ($\lambda = 400$ nm), couleur complémentaire du jaune-vert, et dans le rouge ($\lambda = 730$ nm), couleur complémentaire du bleu-vert; elle est donc verte.

La solution contenant le complexe absorbe dans le jaune-vert (570 nm); elle est donc violette.

27 Chimie et santé

Pour chaque molécule, les réponses sont données de gauche à droite :

a. Lidocaïne : groupe et fonction amide; groupe et fonction amine.

b. Captotril : groupe et fonction amide; groupe carboxyle, fonction acide carboxylique.

c. Misoprostol : groupe et fonction ester; groupe hydroxyle et fonction alcool; groupe carbonyle et fonction cétone.

d. Aspirine : groupe carboxyle, fonction acide carboxylique; groupe et fonction ester.

e. Bupivacaïne : groupe et fonction amine; groupe et fonction amide.

f. Péthidine : groupe et fonction amine; groupe et fonction ester.

28 Composés azotés

1. On repère des liaisons :

C-H (2900 cm^{-1} et 1400 cm^{-1}),

$\text{C}=\text{O}$ (1700 cm^{-1}),

N-H (3200 cm^{-1} et 3400 cm^{-1}).

2. a. Amides isomères du composé A :

(I) : propanamide : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO-NH}_2$;

(II) : N-méthyl-éthanamide : $\text{CH}_3\text{-CO-NH(CH}_3\text{)}$;

(III) : N,N-diméthyl-métanamide $\text{H-CO-N(CH}_3\text{)}_2$.

b. (III) ne peut avoir le spectre proposé, car elle ne présente pas de liaison N-H .

c. A est la propanamide, car le spectre présente deux bandes pour N-H (3200 cm^{-1} et 3400 cm^{-1}).

29 Spectres infrarouge et oxydation

1. Butan-1-ol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$;

A : butanal : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C=O}$;



B : acide butanoïque : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C=O}$.



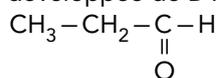
2. Butan-1-ol : fonction alcool; A : fonction aldéhyde; B : fonction acide carboxylique.

3. Les spectres de ces trois espèces présentent, entre autres, pour le butan-1-ol une bande due à O–H (3300 cm^{-1}), pour A une bande due à C=O (1720 cm^{-1}) et pour B une bande due à O–H (3100 cm^{-1}) et une due à C=O (1720 cm^{-1}).

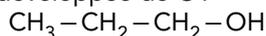
4. Le butanal est pur si son spectre IR ne présente pas de bande vers 3100 cm^{-1} - 3300 cm^{-1} .

30 Spectres infrarouge et hydrogénation

1. Formule semi-développée de B :



Formule semi-développée de C :



Fonctions chimiques :

A : alcène et aldéhyde, B : aldéhyde et C : alcool.

2. Bandes caractéristiques :

– A : bandes C=C (1650 cm^{-1}) ; C_{tri}-H (3100 cm^{-1}) ; C=O (1700 cm^{-1}) ;

– B : bande C=O (1700 cm^{-1}) ;

– C : bande O–H (3300 cm^{-1}).

3. L'hydrogénation est totale si le spectre du produit obtenu ne présente pas de bande vers :

– 1650 cm^{-1} : liaison C=C ;

– 1700 cm^{-1} : liaison C=O.

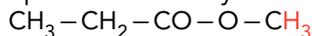
31 Spectre infrarouge d'acides carboxyliques

En phase vapeur, les molécules d'acide butanoïque ne sont pas liées et sont toutes identiques, d'où une bande très étroite. En revanche, à l'état liquide, des liaisons hydrogène relient les molécules, les liaisons O–H sont plus ou moins affaiblies, le nombre d'ondes d'absorption est alors diminué et les bandes sont plus larges.

32 Du spectre à la molécule

1. Le composé A ne peut pas être l'acide butanoïque, car il n'y a pas de signal pour $\delta \approx 11\text{ ppm}$.

2. C'est le propanoate de méthyle :



car $\delta(\text{H}) = 3,7\text{ ppm}$ dans les tables (fiche n° 11C, p. 595 du manuel) alors que $\delta(\text{H}) = 2,0\text{ ppm}$ pour $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$, ces deux groupes méthyle donnant nécessairement un signal singulet.

33 Classe d'un alcool et RMN

1. Propan-1-ol : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$

Propan-2-ol : $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$

2. a. Le spectre de RMN ne présentant que trois signaux est nécessairement celui du propan-2-ol.

Il présente également un singulet (OH), un doublet (CH_3)₂ et un septuplet –CH(OH)–

b. C'est un alcool de classe secondaire.

34 À chacun son rythme

1. Propan-1-amine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$

Propan-2-amine : $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{CH}_3$

N-méthyl-éthanamine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{CH}_3$

N,N-diméthyl-méthanamine ou triméthylamine : $(\text{CH}_3)_3\text{N}$

2. Pour $\delta = 3\text{ ppm}$: un proton ; pour $\delta = 1,4\text{ ppm}$: deux protons ; pour $\delta = 0,9\text{ ppm}$: six protons.

3. Pour $\delta = 3\text{ ppm}$: septuplet donc six protons voisins ; pour $\delta = 1,4\text{ ppm}$: singulet pas de proton voisin ou proton(s) porté(s) par un hétéroatome (N, O, S, etc.) ; pour $\delta = 0,9\text{ ppm}$: doublet donc un proton voisin.

4. Seule la propan-2-amine $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{CH}_3$ peut avoir ce spectre de RMN.

35 Structure et couleurs

1. Formules brutes :

a. $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}_2$;

b. $\text{C}_7\text{H}_8\text{N}_2$;

c. $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{N}_2$.

2. Plus un composé a de liaisons conjuguées, plus il absorbe des radiations de grandes longueurs d'onde, aussi :

a. doit absorber dans le violet, il est jaune ;

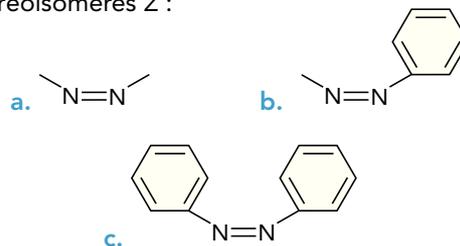
b. doit absorber dans le bleu, il est orangé ;

c. doit absorber dans le vert, il est rouge.

3. Domaines de longueurs d'onde du maximum :

a. 420-435 nm ; b. 435-480 nm ; c. 490-500 nm.

4. Stéréoisomères Z :



Pour aller plus loin

36 Vérifier une formule par RMN

1. a. Le spectre de RMN du composé A présente un signal pour $\delta \approx 7\text{ ppm}$; A peut être un dérivé du benzène.

b. Le signal à $\delta \approx 7\text{ ppm}$ est un singulet ; les protons aromatiques sont équivalents.

2. Le composé A peut être le 2-phénylpropane ou cumène, $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ car il présente, outre le singulet à $\delta \approx 7\text{ ppm}$, un doublet à $\delta \approx 1,2\text{ ppm}$ correspondant aux deux groupes méthyle couplés avec le proton de CH, et un septuplet à $\delta \approx 2,8\text{ ppm}$ correspondant au proton du groupe méthyne CH couplé avec les six protons des groupes méthyle $(\text{CH}_3)_2$.

37 Spectroscopy analysis of amines

Traduction du texte :

« Les bandes d'absorption intéressantes des amines en infrarouge sont celles associées aux vibrations des liaisons N–H. Les alkylamines et arylamines primaires présentent deux pics dans le domaine allant de 3000 cm^{-1} à 3500 cm^{-1} ; ces pics sont dus aux modes de vibration d'élongations symétriques et antisymétriques des liaisons N–H. Ces deux vibrations sont clairement visibles à 3270 cm^{-1} et 3380 cm^{-1} dans le spectre infrarouge de la butan-1-amine, présenté dans la figure 1. Le spectre des amines secondaires telles que celui de la N-éthyl-éthanamine, proposé à la figure 2, ne présente qu'un seul pic dû à la vibration d'élongation de la liaison N–H pour 3280 cm^{-1} .

Les amines tertiaires sont bien sûr transparentes dans ce domaine puisqu'elles ne possèdent pas de liaisons N–H. »

1. Butan-1-amine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$
 N-éthyl-éthanamine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NH}(\text{CH}_2-\text{CH}_3)$
 La formule d'une amine primaire est du type $\text{R}-\text{NH}_2$, celle d'une amine secondaire du type $\text{RR}'\text{NH}$ et celle d'une amine tertiaire du type $\text{RR}'\text{R}''\text{N}$, avec R , R' et R'' différents de H .

2. Amines primaires :

Butan-1-amine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$

Butan-2-amine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{CH}_3$

2-méthylpropan-1-amine : $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CH}_2-\text{NH}_2$

2-méthylpropan-2-amine : $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{NH}_2$.

Amines secondaires :

N-méthyl-propan-1-amine :

$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}(\text{CH}_3)$;

N-méthyl-propan-2-amine : $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{NH}(\text{CH}_3)$

N-éthyl-éthanamine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{NH}(\text{CH}_2-\text{CH}_3)$

Amine tertiaire :

N,N-diméthyl-éthanamine : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{N}(\text{CH}_3)_2$

3. Les amines tertiaires sont transparentes dans le domaine allant de 3000 cm^{-1} à 3500 cm^{-1} , car, n'ayant pas de liaisons $\text{N}-\text{H}$, elles n'absorbent pas dans ce domaine.

4. La propanamide de formule $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}_2$, ayant deux liaisons $\text{N}-\text{H}$, donne deux pics d'absorption dans le domaine allant de 3000 cm^{-1} à 3500 cm^{-1} , alors que la N-méthyl-éthanamide de formule $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{NH}(\text{CH}_3)$, n'ayant qu'une liaison $\text{N}-\text{H}$, ne donne qu'un seul pic d'absorption dans ce domaine.

5. Le benzile de formule $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_5$ possède deux liaisons $\text{C}=\text{O}$. Celles-ci peuvent vibrer de façon symétrique et antisymétrique, d'où les deux bandes d'absorption observées pour 1662 cm^{-1} et 1677 cm^{-1} .

38 Identification d'un composé

Le composé A donne un signal vers $\delta \approx 7\text{ ppm}$, pour cinq protons. Ceux-ci peuvent être ceux d'un groupe phényle C_6H_5-

Le doublet pour 3H vers $\delta \approx 1,4\text{ ppm}$ correspond à des protons couplés avec un atome d'hydrogène, celui-ci donnant alors un quadruplet vers $\delta \approx 4,1\text{ ppm}$. On peut envisager l'existence d'un groupe $-\text{CH}-\text{CH}_3$.

Les huit atomes de carbone étant attribués, les deux protons donnant un singulet vers $\delta \approx 1,7\text{ ppm}$ peuvent être ceux d'un groupe amine $-\text{NH}_2$.

La formule semi-développée de A peut être $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{CH}_3$, soit la 1-phényléthan-1-amine.

39 Analyse élémentaire et spectres

$$1. n(\text{C}) = 136,0 \times \frac{0,706}{12} = 8;$$

$$n(\text{H}) = 136,0 \times \frac{0,059}{1} = 8;$$

$$n(\text{O}) = 136,0 \times \frac{0,235}{16} = 2,$$

soit A : $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$.

2. Vu $\delta = 12\text{ ppm}$, A peut présenter une fonction acide carboxylique $-\text{CO}-\text{OH}$, ce que confirme le spectre infrarouge avec une bande d'absorption vers 3500 cm^{-1} (liaison $\text{O}-\text{H}$) et une vers 1800 cm^{-1} (liaison $\text{C}=\text{O}$).

3. Les hauteurs d'intégration donnent 2, 5 et 1 protons. La multiplicité des signaux (singulet) et les valeurs de δ permettent de proposer pour A :



4. En phase vapeur, les molécules de A ne sont pas liées et sont toutes identiques, d'où une bande très étroite.

40 Éthylotest, éthylomètre

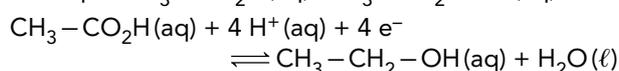
1. a. La couleur jaune-orangé des solutions d'ion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})$ résulte de la superposition du jaune complémentaire du violet ($\lambda = 430\text{ nm}$) et de l'orange couleur complémentaire du bleu ($\lambda = 500\text{ nm}$).

La couleur verte des solutions d'ions $\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$ résulte de la superposition du jaune couleur complémentaire du violet ($\lambda = 430\text{ nm}$) et du bleu couleur complémentaire de l'orange ($\lambda = 640\text{ nm}$).

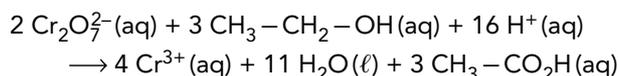
b. • Couple $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq})/\text{Cr}^{3+}(\text{aq})$:



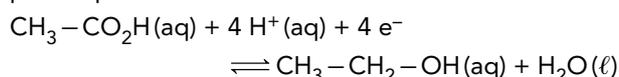
• Couple $\text{CH}_3-\text{CO}_2\text{H}(\text{aq})/\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}(\text{aq})$:



d'où :



2. L'oxydation de l'éthanol en acide éthanoïque a pour équation :



Elle met en jeu des électrons.

3. a. Les éthylomètres utilisent la loi de Beer-Lambert.

b. $\sigma_1 = 1/\lambda_1 = 2950\text{ cm}^{-1}$ et $\sigma_2 = 1/\lambda_2 = 2874\text{ cm}^{-1}$ nombres d'ondes correspondant aux liaisons $\text{C}-\text{H}$ des groupes méthyle CH_3 et méthylène CH_2 .

c. La plupart des hydrocarbures comportent des liaisons $\text{C}-\text{H}$. Leur présence perturbe donc les mesures.

4. a. $\sigma_3 = 1/\lambda_3 = 1057\text{ cm}^{-1}$, correspondant à la liaison $\text{C}-\text{O}$.

b. L'éthanal a pour formule $\text{CH}_3-\text{C}=\text{O}$. Sa présence ne fausse donc pas la mesure.

En revanche, l'éthanoate d'éthyle de formule $\text{CH}_3-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ présente des liaisons $\text{C}-\text{O}$. Sa présence perturbe donc la mesure.

5. L'air expiré contient de la vapeur d'eau H_2O . La bande d'absorption relative au groupe hydroxyle traduirait non seulement la présence du groupe hydroxyle $\text{O}-\text{H}$ de l'éthanol, mais aussi ceux des molécules d'eau.

6. a. La précision de ces trois appareils est une précision relative; elle est définie par rapport à la valeur réelle d'alcool dans le sang telle que la déterminerait un dosage.

b. Il serait nécessaire de faire une prise de sang et de doser l'alcool effectivement présent dans le sang.

c. L'éthylomètre à infrarouge est le plus précis, c'est aussi le plus cher.

41 Identifier une molécule

A. Utilisation des spectres

1. a. Dans le spectre infrarouge, on observe une bande étroite vers 3050 cm^{-1} que l'on peut attribuer à la liaison $\text{C}-\text{H}$, qui permet d'envisager que le composé A présente un cycle aromatique.

b. Ceci est confirmé par le spectre de RMN, car celui-ci présente un signal pour $\delta \approx 7\text{ ppm}$.

2. Une fonction alcool ($\sigma \approx 3300\text{ cm}^{-1}$) pourrait être la fonction oxygénée du composé A.

3. La courbe d'intégration du spectre de RMN permet de déterminer le nombre de protons associés à chaque signal. Ainsi de gauche à droite on trouve 5 H, 1 H, 1 H et 3 H.

L'étude des multiplicités conduit à envisager la présence d'un groupe $\text{CH}-\text{CH}_3$, aussi peut-on proposer pour A : $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$, soit le 1-phényléthanol-1-ol.

4. a. B est la 1-phényléthanone ou acétophénone $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{CH}_3$.

Le spectre infrarouge de A présente une bande vers $\sigma \approx 3300\text{ cm}^{-1}$ due à la présence d'un groupe hydroxyle, alors que celui de B présenterait une bande vers $\sigma \approx 1720\text{ cm}^{-1}$ due à la présence du groupe carbonyle.

b. B ne contient pas A comme impuretés si son spectre ne présente pas de bande vers $\sigma \approx 3300\text{ cm}^{-1}$.

B. Utilisation de données spectrales

Les identifications sont faites à l'aide de la multiplicité et du déplacement des signaux.

Composé A : $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$

Composé B : $(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\text{CO}-\text{CH}_3$

Composé C : $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{OH})-\text{CO}-\text{CH}_3$

Composé D : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Remarque : voir erratum, p. 2.

Retour sur l'ouverture du chapitre

42 Vieillesse des œuvres d'art et spectroscopie infrarouge

1. Sens des mots ou expressions en italique :

Élastomère : polymère qui se déforme réversiblement sous l'action d'une contrainte mécanique : le caoutchouc est un élastomère.

Hydroperoxyde : composé contenant le groupe fonctionnel hydroperoxyde $\text{H}-\text{O}-\text{O}-$

Photo-oxydation : oxydation d'une espèce chimique sous l'action de la lumière.

Polymère : substance composée de macromolécules, c'est-à-dire des molécules de masse molaire élevée.

Ponts hydrogène : expression synonyme de liaison hydrogène. Une liaison hydrogène s'établit, par exemple, entre les doublets non liants de l'atome

d'oxygène d'un groupe carbonyle $\text{C}=\text{O}$ et l'atome d'hydrogène d'un groupe hydroxyle $-\text{O}-\text{H}$.

Ozonolyse : réaction de l'ozone O_3 avec un alcène ou un dérivé éthylénique. Cette réaction conduit, après hydrolyse de l'ozonide intermédiaire formé, à la rupture de la liaison $\text{C}=\text{C}$ avec formation, suivant le cas d'aldéhydes, de cétones ou d'acides carboxyliques.

2. La spectroscopie infrarouge suivant la loi de Beer-Lambert, plus il y a de groupes carbonyles, plus il y a de liaisons $\text{C}=\text{O}$ et plus l'intensité de la bande d'absorption correspondante est importante.

3. La formation des hydroperoxydes se traduit par l'apparition de liaisons $\text{O}-\text{H}$, dont la présence se traduit en infrarouge par une bande d'absorption vers $\sigma \approx 3300\text{ cm}^{-1}$.

4. Les doublets non liants des atomes d'azote et d'oxygène sont des sites pouvant participer à des ponts hydrogène. Plus il y a de groupes carbonyle, plus il se forme de liaisons et plus la rigidité du matériau est élevée, ce qui restreint les possibilités de mouvement.

5. Dans un spectre infrarouge la réaction d'ozonolyse suivie d'une hydrolyse se traduit par :

– la disparition ou l'atténuation de la bande d'absorption de la liaison $\text{C}=\text{C}$ ($\sigma \approx 1650\text{ cm}^{-1}$) ;

– l'apparition de la bande d'absorption de la liaison $\text{C}=\text{O}$ ($\sigma \approx 1720\text{ cm}^{-1}$) ou l'augmentation de son intensité.

6. *Foot Soldier (Godzilla)* est une œuvre réalisée en 1991 par l'artiste japonais Kenji Yanobe. Elle représente la partie inférieure (bassin et membres inférieurs) d'un « monstre » articulé qu'il est possible de manœuvrer à partir d'un siège constituant la partie supérieure de l'œuvre. La « peau » de ce « monstre » est composée d'une mousse polyuréthane souple recouverte d'une peinture acrylique bleue mélangée à du latex.

Kenji Yanobe, né en 1965 à Osaka, est célèbre pour ses sculptures modernes, souvent cauchemardesques, représentant des monstres ou des robots. De couleurs vives, elles sont faites de plastiques, de métaux et de matériaux composites

Comprendre un énoncé

43 Identification d'espèces par spectroscopie

1. a. Composés de formule brute $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$:

(I) : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$; (II) : $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$; (III) : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$.

b. (I) et (II) sont des alcools :

(I) : propan-1-ol : $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$: alcool primaire ;

(II) : propan-2-ol : $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$: alcool secondaire.

2. a. L'oxydation d'un alcool primaire donne un aldéhyde si l'oxydant est en défaut, et un acide carboxylique si l'oxydant est en défaut. Celle d'un alcool secondaire donne une cétone.

b. L'oxydation du propan-1-ol peut donner le propanal $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$ et l'acide propanoïque $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$. Celle du propan-2-ol donne de la propanone $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$.

3. a. Le composé B présente des liaisons :

$\text{C}=\text{O}$ ($\sigma \approx 1720 \text{ cm}^{-1}$), $\text{C}-\text{H}$ ($\sigma \approx 2950 \text{ cm}^{-1}$),
tét

$\text{O}-\text{H}$ ($\sigma \approx 3200 \text{ cm}^{-1}$).

B est donc l'acide propanoïque

b. A est donc un alcool primaire.

c. B a pour formule $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$.

4. Le spectre de RMN de B est compatible avec la formule fournie, en effet avec $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CO}_2\text{H}$:

– les protons de CH_3 couplés avec les protons CH_2 donnent un triplet pour $\delta \approx 1,2 \text{ ppm}$, valeur proche de celle donnée dans les tables pour $\text{CH}_3\text{-C-}$;

– les protons de CH_2 couplés avec les protons CH_3 donnent un quadruplet pour $\delta \approx 2,4 \text{ ppm}$, valeur proche de celle donnée dans les tables pour $\text{C-CH}_2\text{-CO-O-}$;

– le proton de OH , qui ne peut être couplé, donne un singulet pour $\delta \approx 11,7 \text{ ppm}$, valeur caractéristique du proton d'un groupe carboxyle.

5. A est donc le propan-1-ol, de formule $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$.

Exercices Bac

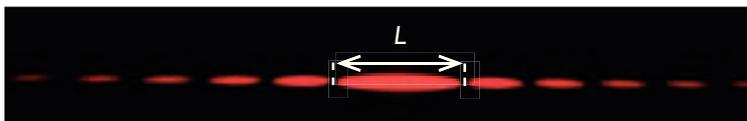
1 La lumière pour le contrôle de qualité (p. 116-117)

1. Le contrôle de qualité est l'ensemble des opérations permettant de vérifier que l'objet fabriqué possède bien les dimensions ou les performances correspondant au cahier des charges.

2. a. Le phénomène physique utilisé pour le contrôle du diamètre d'un fil est la diffraction de la lumière.

La diffraction est observée lorsqu'on éclaire des objets (fentes ou trous, par exemple) de petites dimensions. Plus le rapport $\frac{\lambda}{a}$ est grand, plus le phénomène de diffraction est important.

b. La largeur de la tache centrale est mesurée entre les centres des deux zones noires qui l'encadrent :

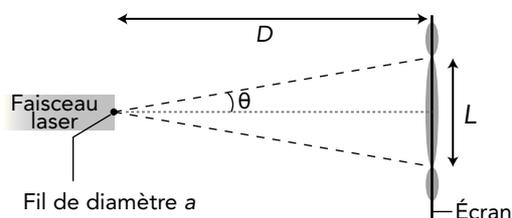


La précision de la mesure peut être améliorée en mesurant plusieurs largeurs :



En notant θ le demi-angle de diffraction, on a :

$$\tan \theta = \frac{L}{2D}$$



De plus, θ est petit, on a donc $\tan \theta \approx \theta$, avec θ en radian, d'où $\theta \approx \frac{L}{2D}$.

L'importance du phénomène de diffraction est liée à la longueur d'onde λ et à la dimension a du fil. Cela se traduit par $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

En combinant les deux équations, on obtient :

$$a \approx \frac{2\lambda \cdot D}{L} \approx \frac{2 \times 632,8 \times 10^{-9} \times 2,345}{6,98 \times 10^{-2}} \approx 42,519 \times 10^{-6} \text{ m.}$$

L'incertitude est donnée par :

$$U(a) = \frac{632,8 \times 10^{-9} \times 2 \times 2,345}{6,98 \times 10^{-2}} \times \sqrt{\left(\frac{0,1}{632,8}\right)^2 + \left(\frac{0,002}{2,345}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{6,98}\right)^2} = 0,186 \times 10^{-6} \text{ m.}$$

On a donc $a = (42,52 \pm 0,19) \times 10^{-6} \text{ m.}$

3. a. Des sources sont cohérentes si elles émettent des ondes de même fréquence et de déphasage constant.

b. Les faisceaux lumineux issus des deux images holographiques sont cohérents, car ils sont issus du même faisceau laser. Ils permettent d'observer une figure d'interférences stable dans le temps.

c. Les zones noires correspondent à des interférences destructives entre les ondes lumineuses issues de chacune des images. Elles témoignent de différences entre les deux états du haut-parleur : lorsqu'il a fonctionné, le haut-parleur a vibré, ces vibrations l'ont déformé.

4. a. Le phénomène utilisé pour vérifier la planéité d'un miroir plan est le phénomène d'interférences.

b. La lame de verre et le miroir étant inclinés l'un par rapport à l'autre, les rayons qui interfèrent (par exemple, R et R' sur le document 3a, p. 117 du manuel) parcourent des distances différentes. Lorsque la différence de marche augmente (ou diminue), les interférences sont alternativement destructives et constructives. Cela se produit régulièrement depuis la ligne de contact entre la lame de verre et le miroir. On observe donc des franges alternativement sombres (interférences destructives) et claires (interférences constructives).

c. On observe des interférences destructives quand la différence de marche est de :

$$k \cdot \lambda + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

avec k un entier et des interférences constructives lorsque la différence de marche est de $k \cdot \lambda$.

d. Si le miroir n'est pas parfaitement plan, les franges ne seront ni parfaitement rectilignes ni équidistantes.

2 Identification spectrale de molécules organiques (p. 118-119)

1. a. **A** et **B** ont la même formule brute, $C_8H_{10}O$; ce sont des isomères.

b. **B** est un alcool, car le groupe hydroxyle est lié à un carbone tétragonal et non trigonal comme celui de l'espèce **A**.

c. Groupes caractéristiques et fonctions des composés :
 – **C** : groupe carbonyle, fonction aldéhyde;
 – **D** : groupe carboxyle, fonction acide carboxylique;
 – **E** : groupe ester, fonction ester.

2. a. Bandes d'absorption :

a : liaison O–H; b : liaison $C_{\text{tri}}-H_{\text{aromat}}$;

c : liaison $C_{\text{tét}}-H$; d : liaison $C_{\text{tét}}-H$;

g : liaison O–H; h : liaison $C_{\text{tri}}-H_{\text{aromat}}$;

i : liaison $C_{\text{tét}}-H$; j : liaison $C_{\text{tét}}-H$.

b. Le signal **a** est fin et se situe vers 3600 cm^{-1} . C'est celui d'une liaison O–H pour un alcool dilué dans le tétrachlorométhane, c'est-à-dire ne présentant pas de liaison hydrogène ($O-H_{\text{libre}}$).

Le signal **g** est large et se situe vers 3300 cm^{-1} . C'est celui d'une liaison O–H pour un alcool à l'état liquide, c'est-à-dire présentant des liaisons hydrogène ($O-H_{\text{lié}}$).

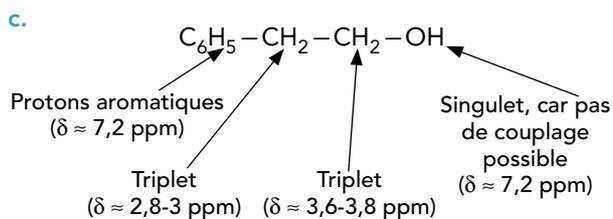
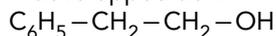
3. a. Les bandes d'absorption caractéristiques des constituants majoritaires du vin sont les bandes O–H (eau et éthanol) et $C_{\text{tét}}-H$ (éthanol).

b. Le spectre infrarouge de ce vin ne permettrait pas de vérifier la présence des composés **A** et **B** dans un vin, car les bandes d'absorption des constituants majoritaires sont aussi les bandes d'absorption des composés **A** et **B**.

La spectroscopie infrarouge suit la loi de Beer-Lambert. Vu l'intensité des bandes O–H et $C_{\text{tét}}-H$ des espèces majoritaires, l'intensité des bandes $C_{\text{tri}}-H_{\text{aromat}}$ serait très faible et inutilisable.

4. a. Le spectre de RMN du document 3 est celui du composé **B**, car les deux triplets présents correspondent aux deux groupes méthylène $-CH_2-CH_2-$, alors que le spectre du document 4 est celui du composé **A**, car le triplet et le quadruplet présents authentifient la présence du radical éthyle CH_3-CH_2- .

b. Formule semi-développée de **B** :



5. a. L'oxydation du composé **B** à l'aide d'un oxydant en défaut donne le phényléthanal **C**.

b. Le produit obtenu sera pur s'il ne présente pas de bande O–H (vers 3300 cm^{-1} - 3600 cm^{-1}) qui traduirait soit des restes d'alcool **B** (oxydation incomplète), soit des traces d'acide **D** (oxydation excessive).

6. a. L'oxydation du composé **B**, à l'aide d'un oxydant introduit en excès, donne l'acide phényléthanoïque **D**.

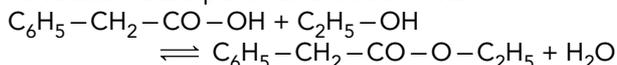
b. Un spectre infrarouge de **C** mettrait en évidence, entre autres, une bande O–H, que l'on peut aussi observer dans le spectre de l'alcool **B**, et une bande $C=O$, également présente dans le spectre de l'aldéhyde **C**.

Dans le spectre de RMN de **D**, on verra le signal (singulet) du proton du groupe carboxyle $-CO-OH$ pour $\delta \approx 11\text{ ppm}$.

Si le produit obtenu contient encore de l'aldéhyde **C**, on aura aussi un signal (triplet) pour $-CO-H$ pour $\delta \approx 9,9\text{ ppm}$.

Si le produit contient encore de l'alcool **B**, le spectre de RMN présentera un signal (singulet) pour $-CH_2-OH$ pour $\delta \approx 0,5-5\text{ ppm}$.

7. a. **G** est l'eau H_2O , d'où l'équation de la réaction conduisant à **E** à partir de **D** et de l'éthanol :



b. La spectroscopie de RMN paraît la technique spectroscopique la plus indiquée pour vérifier la pureté du produit et les fonctions présentes dans l'impureté. En effet, il sera facile de vérifier, dans le spectre de RMN, l'absence des signaux relatifs aux protons du groupe carboxyle $-CO-OH$ et du groupe hydroxyle $-OH$.

Ce spectre présentera deux singulets, l'un intégrant pour $5H(C_6H_5-)$, l'autre pour $2H(-CH_2-)$, un triplet pour $3H(CH_3-)$ et un quadruplet pour $2H(-CH_2-)$.

1 L'échographie : comment ça « marche » ? (p. 120-121)

1. Les documents 2 et 3 montrent que l'amplitude des ultrasons réfléchis dépend de la nature des milieux qui encadrent la surface sur laquelle se produit la réflexion.

Pour un matériau placé dans l'air, l'amplitude des ultrasons réfléchis doit donc dépendre de la nature du matériau sur lequel se produit la réflexion.

2. a. Pour déterminer la fréquence des ultrasons émis, on doit réaliser un montage permettant de visualiser les signaux correspondants. Pour cela, il faut émettre des ultrasons et relier un récepteur d'ultrasons à un oscilloscope (ou un système d'acquisition informatisé). Avec l'oscilloscope (ou le système informatisé), on peut déterminer la période des ultrasons, puis calculer leur fréquence.

La fréquence doit être supérieure à 20 kHz pour que ce soient des ultrasons.

b. Pour déterminer la longueur d'onde, il faut observer simultanément le signal issu de l'émetteur et celui issu du récepteur.

On positionne le récepteur de façon à ce que les signaux soient en phase. Ensuite, on éloigne lentement le récepteur de l'émetteur, en le déplaçant

suivant la droite qui les joint, jusqu'à ce que les signaux soient de nouveau en phase. La distance dont on a éloigné le récepteur est égale à la longueur d'onde.

Pour augmenter la précision, on éloigne d'au moins 10 longueurs d'onde (distance correspondant à la dixième position pour laquelle les signaux sont de nouveau en phase).

c. La valeur de la vitesse v de propagation se déduit de la fréquence f et de la longueur d'onde λ :

$$v = \lambda \cdot f,$$

avec λ en m et f en Hz, v est en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. a. Pour vérifier que l'amplitude des ultrasons réfléchis dépend de la nature du matériau sur lequel se produit la réflexion, on positionne le récepteur et l'émetteur côte à côte et on place en face d'eux différents matériaux, toujours à la même distance et orientés de façon identique.

Pour une même amplitude des ultrasons émis, on mesure tour à tour l'amplitude des ultrasons reçus après réflexion sur chacun des matériaux étudiés.

b. Les observations montrent que l'amplitude des ultrasons réfléchis dépend de la nature du matériau sur lequel se produit la réflexion.

2 Interpréter la couleur d'une solution (p. 122-123)

1. Le facteur de dilution est égal à $F = \frac{C_0}{C_1} = 5$.

Il suffit de prélever, avec une pipette jaugée de 10,0 mL munie d'un pipeteur ou d'une propipette, un volume $V = 10,0$ mL de solution mère et de l'introduire dans la fiole jaugée de 50,0 mL, puis de compléter jusqu'au trait et d'homogénéiser (voir fiche n° 9, p. 592 du manuel).

2. a. Le graphe présente deux maxima d'absorption pour $\lambda_1 = 425$ nm et $\lambda_2 = 620$ nm.

b. La solution étant verte, le maximum d'absorption, si le spectre n'en présentait qu'un, devrait se trouver dans le rouge, c'est-à-dire vers $\lambda \approx 700-800$ nm.

c. La solution absorbe dans le violet ($\lambda_1 = 425$ nm), couleur complémentaire du jaune, et dans l'orange ($\lambda_2 = 620$ nm), couleur complémentaire du bleu. L'œil reçoit des radiations bleues et jaunes dont la superposition donne le vert.

d. Le vert malachite est coloré en raison de la présence d'un grand nombre de liaisons conjuguées.