

Des ondes pour explorer le corps humain

L'imagerie médicale a révolutionné la médecine en donnant accès à des informations jusqu'alors « invisibles » au diagnostic clinique.

La radiographie

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de hautes fréquences, de l'ordre de 10^{17} à 10^{19} Hz. Comme l'énergie d'une onde augmente avec sa fréquence, ces rayons possèdent une énergie importante et pénètrent facilement la matière. On les utilise pour la radiographie.

Au cours de leur trajet dans la matière organique, les rayons X subissent une atténuation, qui dépend de la composition et de l'épaisseur des structures ren-

contrées. Quatre catégories de structures peuvent alors être distinguées par ordre croissant d'opacité : l'air, la graisse, l'eau (les tissus mous et les liquides) et les os.

Les rayons non absorbés sont recueillis sur une surface sensible aux rayons X : les zones les plus sombres sur l'image correspondent aux tissus transmettant le mieux les rayons.

L'échographie

L'image échographique est obtenue à l'aide d'un faisceau d'ultrasons, ondes sonores imperceptibles à l'oreille humaine. Les fréquences utilisées s'échelonnent de 1 à 20 MHz (10^6 à 20×10^6 Hz), en fonction de l'organe exploré.

Chaque fois qu'un faisceau d'ultrasons rencontre une interface, c'est-à-dire un changement de milieu de propagation, une partie des ultrasons

est réfléchi. La proportion d'ultrasons réfléchis est faible au niveau d'une interface entre deux tissus mous (6 % pour l'interface foie-rein), importante (40 %) au niveau d'une interface tissus mous-os, et quasi totale au niveau d'une interface tissus mous-air.

Une sonde, en contact avec la peau sur laquelle on a appliqué un gel, est déplacée sur la zone à étudier. Elle émet des salves (paquets d'ondes) brèves d'ultrasons et recueille les échos (sons réfléchis). La durée qui sépare l'émission de la réception de chaque écho est mesurée et interprétée informatiquement. On obtient finalement des images représentant des coupes de l'organe étudié, visualisé à différentes profondeurs.



◀ Radiographie d'une main.

Sonde et échographie. ▶



Démarche A

Recherche et exploitation d'informations



1. a. Quel type d'onde est utilisé pour réaliser une radiographie ?
- b. Utilise-t-on le même type d'onde pour une échographie ?
- c. Ces deux techniques permettent-elles d'observer les mêmes éléments du corps humain ? Argumenter la réponse.

APP rechercher et extraire l'information

2. a. Pour chacune des deux techniques, schématiser le trajet des ondes rencontrant un élément du corps humain.
- b. Compléter les schémas précédents en associant à chacune des deux techniques le mot « absorption » ou le mot « réflexion ». Expliquer le choix fait.

COM utiliser le vocabulaire adapté

COM s'appuyer sur des schémas

Démarche B

Commentaire argumenté



La radiographie et l'échographie sont deux méthodes d'imagerie médicale utilisant des ondes. À partir des documents et de connaissances personnelles, réaliser une étude comparative de ces deux techniques.

Vous pouvez pour cela :

1. a. Identifier les points communs et les différences des deux techniques.
- b. Décrire la nature physique des ondes utilisées pour chaque technique.

APP rechercher et extraire l'information

2. Présenter les informations sous la forme d'un tableau.

COM présenter les étapes de son travail

Vitesses de propagation des ondes

Au cours d'un orage, la foudre frappe souvent de façon spectaculaire. Ce phénomène atmosphérique produit généralement de la lumière, l'éclair, et un son, le tonnerre.

Doc. 1 | La vitesse de la lumière

Aujourd'hui, nous savons que la vitesse de la lumière est d'environ $300\,000\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Cependant, nos ancêtres se sont longtemps demandés si la lumière avait une vitesse. Pendant deux mille ans, l'idéologie dominante enseigne que la propagation de la lumière est instantanée. Ce n'est qu'au xvii^{e} siècle qu'un astronome danois, Ole Rømer, prouve que la lumière a une vitesse finie. La détermination de cette vitesse doit encore attendre les progrès de la mesure ; elle ne peut être réalisée qu'à partir des années 1950. En 1983, la 17^e Conférence générale des poids et mesures considère qu'étant donné les résultats expérimentaux existants, la vitesse de la lumière dans le vide peut être fixée à la valeur d'exactement $299\,792\,458$ mètres par seconde.



▲ La foudre s'abat sur Marseille.

Doc. 2 | Exemples de vitesses de déplacement

Exemple	Vitesse	
	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$
Limace	0,000 33	0,001 2
Escargot	0,001 3	0,004 7
Tortue	0,008 5	0,031
Hérisson	0,051	0,18
Vipère	0,36	1,3
Nageur	1,7	6,1
Voiture	25	90
TGV	64	230
Airbus A310	236	850

Doc. 3 | La vitesse du son

« Question 59. Pris de vitesse

Les avions de chasse vont parfois très vite. Que signifie l'expression "aller à Mach 2" ?

Réponse : Le nombre de Mach correspond au rapport de la vitesse d'un objet sur la vitesse du son dans les mêmes conditions. Dans l'air, à la température habituelle, la vitesse du son vaut environ 340 m/s , c'est-à-dire environ $1\,200\text{ km/h}$. Mach 2 signifie donc environ $2\,400\text{ km/h}$.

© Frédéric Borel, *Comprendre la physique*, éditions Eyrolles, avril 2007.

Doc. 4 | Extrait d'une revue

Où est tombée la foudre ?

Un petit calcul permet de connaître la distance à laquelle la foudre est tombée lors d'un orage. Il suffit de compter le nombre de secondes qui séparent l'apparition de l'éclair du moment où tu entends le tonnerre. Cette durée doit ensuite être multipliée par 340 pour connaître à quelle distance tu te trouves du point d'impact de la foudre.

Démarche A

Démarche d'appropriation



1. a. Rechercher dans les documents les valeurs de la vitesse du son et de la lumière dans l'air.

b. Écrire ces valeurs en notation scientifique en conservant trois chiffres significatifs.

APP extraire l'information

Procédons à une analogie en supposant que la lumière se déplace à la vitesse d'un avion de ligne.

2. Quel exemple pourrait-on choisir pour représenter la vitesse de déplacement du son ?

ANA formuler une hypothèse

3. Quel calcul pourrait-on réaliser pour valider l'hypothèse ?

ANA élaborer une stratégie

4. Réaliser le calcul. Le résultat confirme-t-il l'hypothèse ?

VAL confirmer ou infirmer une hypothèse

Démarche B

Résolution de problème



Le document 4 propose une méthode pour évaluer la distance entre un observateur et le lieu d'impact de la foudre. On cherche à répondre à la question : « Cette méthode est-elle scientifiquement correcte ? »

Pour cela :

1. Schématiser la situation en faisant apparaître les grandeurs physiques utiles.

COM s'appuyer sur des schémas

2. En utilisant la définition de la vitesse, calculer la durée du trajet de la lumière et du son pour arriver jusqu'à l'observateur. Comparer ces deux durées.

VAL avoir un regard critique

3. Confronter les résultats aux indications du doc. 4.

VAL confirmer ou infirmer une information

Pour voir à l'intérieur du corps

Le fibroscope est un tuyau souple permettant d'explorer l'intérieur du corps.
Il contient des fibres optiques qui ont la propriété de conduire la lumière.

Une fibre optique est un fin tuyau constitué d'un cœur entouré d'une gaine (Fig. 1). Le cœur et la gaine sont fabriqués avec des matériaux transparents choisis de telle sorte que la lumière a une vitesse plus faible dans le cœur que dans la gaine. Lorsque la fibre est éclairée à une extrémité, la lumière est transmise à l'autre extrémité en restant confinée dans le cœur de la fibre, quelle que soit la courbure de celle-ci (Fig. 2).

Dans un fibroscope, les fibres optiques permettent d'éclairer la zone à explorer et d'en transmettre une image.

Alors que la fibre optique est constituée de matériaux transparents, comment la lumière y reste-t-elle piégée ?

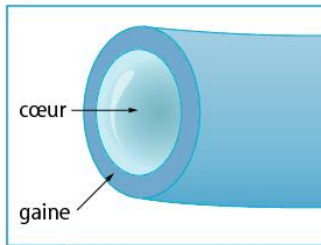


Fig. 1 Structure d'une fibre optique.



Fig. 2 Fibre optique éclairée.



Démarche d'appropriation ANA

Proposer une autre hypothèse.

ANA formuler une hypothèse

Recherche et exploitation d'informations VAL

Le tableau suivant donne la vitesse de la lumière dans différents milieux transparents.

Milieu transparent	air	eau	verre
Vitesse de la lumière ($m \cdot s^{-1}$)	$3,0 \times 10^8$	$2,2 \times 10^8$	$2,0 \times 10^8$

Quelle proposition des élèves ci-dessus peut-on facilement rejeter en s'appuyant sur des observations de la vie quotidienne et sur les données du tableau ?

VAL confirmer ou infirmer une hypothèse

Démarche expérimentale REA VAL

Matériel • une source de lumière laser • un disque gradué avec un demi-cylindre de verre

- a. Avec le faisceau laser, viser le demi-cylindre de verre sur sa face plane, en dirigeant le faisceau incident perpendiculairement à la face plane et en son centre.
- b. Faire varier de 0 à 90° l'angle d'incidence i défini sur la figure 3. Noter les phénomènes qui se produisent au niveau de la surface de séparation entre l'air et le verre.

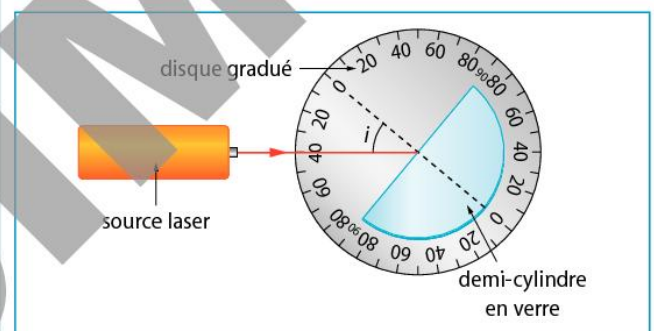


Fig. 3 Dispositif expérimental.

REA mettre en œuvre un protocole

- Existe-t-il un faisceau réfléchi ? un faisceau réfracté ? Décrire leur position.

VAL exploiter des observations

- Placer le demi-cylindre de verre de façon à ce que le faisceau laser arrive sur sa face plane après avoir traversé le verre (Fig. 4).

REA mettre en œuvre un protocole

- Reprendre la question 1 avec ce nouveau dispositif.

VAL exploiter des observations

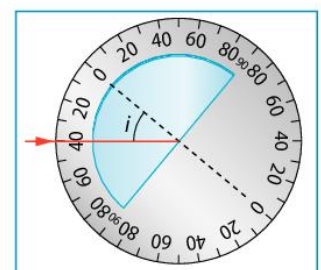


Fig. 4 Nouveau dispositif.

Synthèse argumentée COM

Rédiger un bref paragraphe expliquant comment la lumière peut rester confinée dans le cœur d'une fibre optique.

Détailler en particulier les conditions nécessaires pour qu'un faisceau réfracté ne soit plus observé lorsque la lumière change de milieu.

COM utiliser un vocabulaire scientifique adapté

Exploration par échographie

Les propriétés des milieux de propagation ont une grande influence lors de l'acquisition d'une image échographique.

L'échographie (Fig. 1) utilisée en imagerie médicale est fondée sur l'émission d'une onde ultrasonore et la réception de son écho renvoyé par les tissus mous.

L'eau favorise la transmission des ultrasons, contrairement à l'air. Les os et les poumons, qui contiennent de l'air, absorbent les ultrasons et « cachent » les organes situés en dessous.



Fig. 1 Acquisition d'une image échographique.

Démarche expérimentale

REA COM VAL ANA

Matériel • un émetteur et un récepteur d'ultrasons • un oscilloscope • des plaques en carton, en tissu et en laine de verre • un mètre

1. a. Placer l'émetteur et le récepteur d'ultrasons face à face, à une dizaine de centimètres l'un de l'autre.

b. Alimenter l'émetteur d'ultrasons et positionner le commutateur sur « Salve ».

c. Relier l'émetteur et le récepteur à l'oscilloscope et le régler pour visualiser les signaux qui traduisent l'émission et la réception des salves (paquets d'ondes) ultrasonores (Fig. 2).

Coup de pouce

Fiche p. 332 - « Utiliser un oscilloscope »

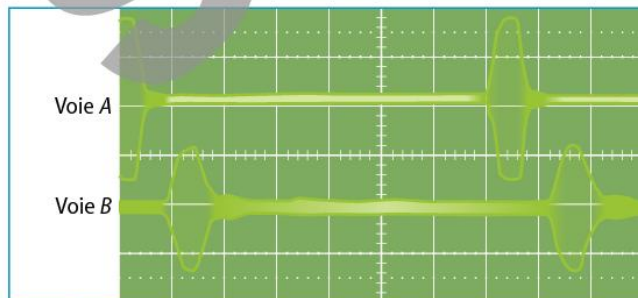


Fig. 2 Allure de l'oscillogramme.

REA mettre en œuvre un protocole

2. Schématiser l'expérience.

COM s'appuyer sur des schémas

3. Réaliser les expérimentations suivantes.

Expérience A : intercaler successivement trois plaques de différents matériaux entre l'émetteur *E* et le récepteur *R* d'ultrasons (Fig. 3).

Expérience B : placer l'émetteur *E* et le récepteur *R* d'ultrasons côte à côte, dans le même sens, et face à une des trois plaques (Fig. 4).

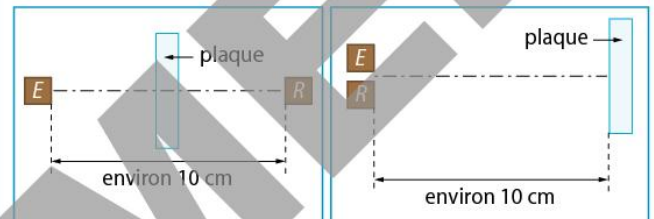


Fig. 3 Expérience A.

Fig. 4 Expérience B.

REA mettre en œuvre un protocole

4. a. Pour chaque situation, noter comment évolue le signal observé sur l'oscilloscope.

b. Pour chaque matériau testé, indiquer s'il transmet les ondes ultrasonores, s'il les réfléchit et s'il les absorbe.

VAL exploiter des observations

5. Pour modéliser le fonctionnement d'un échographe, on utilise un dispositif constitué d'une boîte recouverte d'un tissu. La boîte contient une forme en carton déposée sur une plaque de laine de verre (Fig. 5).

Dans ce modèle, quel élément joue le rôle d'un tissu mou ? celui de la peau ? celui d'un os ?

ANA justifier un dispositif expérimental

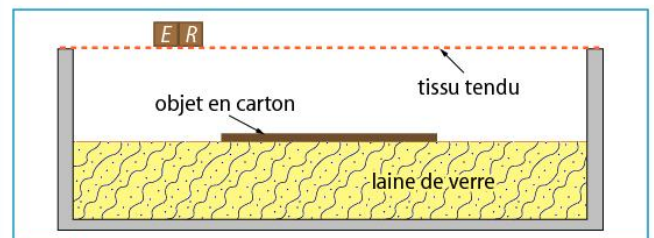


Fig. 5 La boîte contenant l'objet à explorer.

6. À l'aide de ce dispositif et en exploitant les résultats précédents, proposer une stratégie expérimentale permettant de déterminer la forme de l'objet en carton caché derrière le tissu.

ANA élaborer une stratégie

7. Après discussion avec le professeur, mettre en œuvre l'expérimentation proposée.

REA réaliser la stratégie

8. Comparer l'allure de la forme obtenue par échographie et celle de l'objet dans la boîte.

VAL exploiter des observations

1 Les ondes et l'imagerie médicale

OBJECTIF 1

Des ondes à l'imagerie médicale

La première radiographie a été réalisée en 1895 par Wilhelm Röntgen, un physicien allemand, lorsqu'il découvrit fortuitement les **rayons X**.

L'échographie **ultrasonore** est apparue en 1955, grâce à la technologie du sonar, développée par les marins dès 1915.

En 1973, le chimiste américain Paul Lauterbur obtint le premier cliché d'imagerie par résonance magnétique (IRM) en utilisant un champ magnétique (issu d'un aimant) et des **ondes radio**.

La découverte de la radioactivité artificielle, en 1934, a permis le développement de la médecine nucléaire, comme la scintigraphie (Fig. 1), qui analyse les **rayons gamma** émis par des éléments radioactifs introduits dans le corps humain.

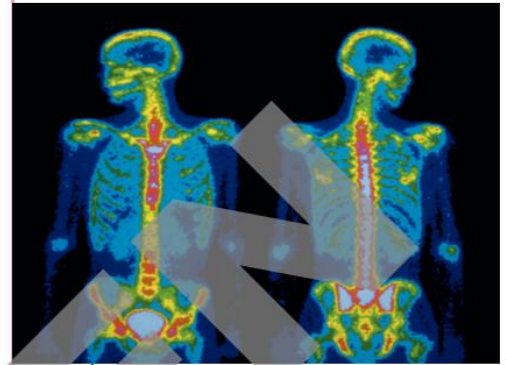


Fig. 1 | Image scintigraphique du corps humain.

L'imagerie médicale utilise deux types d'ondes : les **ondes électromagnétiques**, qui peuvent se propager dans le vide, et les **ondes sonores**, qui ont besoin d'un milieu matériel pour se propager.

Les rayons X, les ondes radio et les rayons gamma sont des ondes électromagnétiques ; les ultrasons sont des ondes sonores.

Les ondes et leurs domaines de fréquences

L'oreille humaine ne perçoit les **sons** que dans une certaine plage de fréquences, qui, selon les individus et leur âge, se situe environ entre 20 Hz et 20 kHz. Au-delà de 20 kHz, ce sont les **ultrasons**. Les sons de fréquences inférieures à 20 Hz sont appelés **infrasons** (Fig. 2).

Les ondes électromagnétiques s'étendent sur une très large gamme de fréquences. La **lumière visible** n'y occupe qu'une bande très étroite, de 4×10^{14} à 8×10^{14} Hz (Fig. 3).

Dans les fréquences supérieures, on trouve notamment les **ultraviolets** et les **rayons X**. Les **ondes radio** ou les **infrarouges** sont des ondes de plus faibles fréquences que la lumière visible.

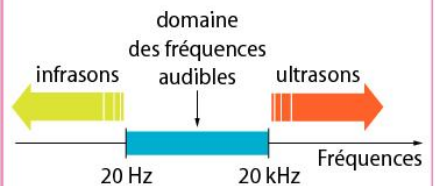


Fig. 2 | Domaines de fréquences des ondes sonores.

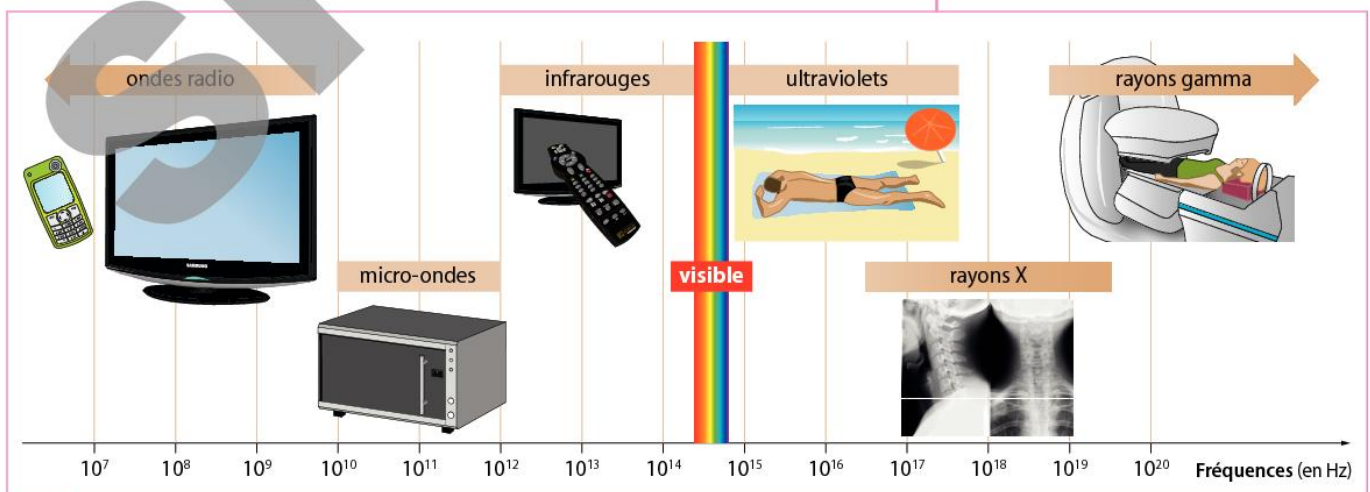


Fig. 3 | Domaines de fréquences des ondes électromagnétiques.