

Chapitre 1

Ondes et particules

Cours

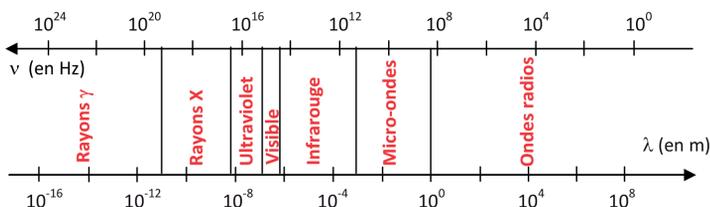
1 Rayonnements dans l'Univers Absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre

Au cours du XX^e siècle, l'étude des ondes s'est étendue de la lumière visible à l'ensemble du spectre électromagnétique : des ondes radio jusqu'aux rayons gamma.

1 Les rayonnements dans l'Univers

Une onde électromagnétique est caractérisée par sa longueur d'onde et sa fréquence.

Représentation du spectre des ondes électromagnétiques en fonction de la longueur d'onde λ et de la fréquence ν ou f :



Type de rayonnements	Exemples d'émetteurs
Gamma	Pulsars et réactions nucléaires dans les étoiles
X	Étoiles à neutrons et naines blanches
UV, visibles et IR	Étoiles chaudes
Micro-ondes	Gaz froids et nuages de poussières du milieu interstellaire
Ondes radio	Nuages de gaz froids, supernovae, galaxies

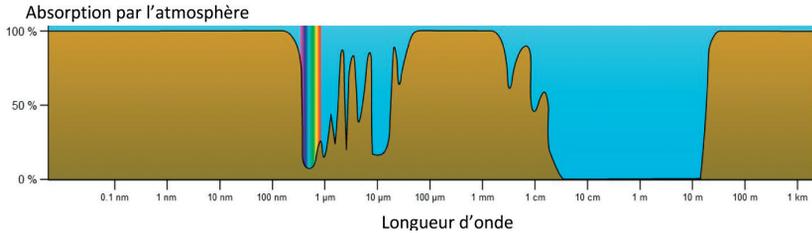
Ces rayonnements s'accompagnent de particules (appelés rayonnement cosmique) comme des protons, des électrons et des noyaux d'hélium (ou particules α) lors des éruptions solaires, des positons et des neutrons lors de réaction nucléaire, des neutrinos lors de l'explosion de supernovae...

Quelques formules à retenir

- Formule reliant la longueur d'onde λ , la période T ou la fréquence ν et célérité c (pour la retenir plus facilement : « c » est une vitesse donc le rapport d'une distance (qui peut être la longueur d'onde) par une durée (qui peut être la période temporelle)) : $c = \frac{\lambda}{T}$ de plus $T = \frac{1}{\nu}$ donc : $c = \lambda \cdot \nu$ (avec c en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, λ en m, T en s, ν en hertz (Hz)).
- Formule reliant l'énergie transportée par une onde E et sa fréquence ν : $E = h \cdot \nu$ (avec E en joule (J), h la constante de Planck qui vaut $6,63 \cdot 10^{-34}$ USI et ν en hertz (Hz)).

2 Ondes électromagnétiques et absorption atmosphérique

- Représentation de l'absorption des ondes électromagnétiques par l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde :



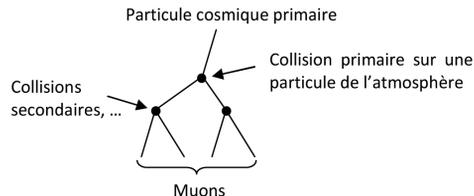
D'après des images de la NASA, reprise par wikipedia

Si toute l'énergie transportée par le rayonnement est absorbée par une matière alors elle est dite opaque. À l'inverse, la matière est transparente si elle n'absorbe pas la totalité de l'énergie transportée par le rayonnement.

On peut constater, sur ce graphique :

- que la plupart des ondes électromagnétiques sont absorbées par l'atmosphère terrestre (absorption de 100 %),
- et la présence de deux **fenêtres spectrales ou fenêtres d'observation**, une dans le visible (et infrarouge proche) et une dans les ondes radios, ce qui permet à ces ondes d'atteindre la surface de la Terre et de pouvoir être observées depuis le sol (absorption proche de 0 % voire nulle).

- Les particules cosmiques n'atteignent pas le sol mais interagissent avec les particules constituant l'atmosphère pour former de nouvelles particules comme des muons.



2 Les ondes dans la matière Houle, ondes sismiques, ondes sonores

Les ondes dans la matière peuvent être des ondes électromagnétiques mais aussi des ondes mécaniques.

La différence entre une **onde électromagnétique** et une **onde mécanique** est que la première peut se propager dans le vide. La deuxième a impérativement besoin d'un milieu matériel pour se propager.

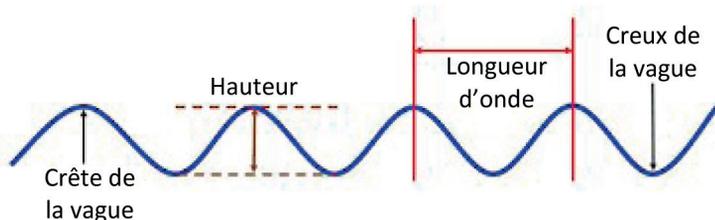
Définition

Une **onde mécanique** est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, sans déplacement de matière mais avec transport d'énergie.

Exemples d'ondes mécaniques : Les vagues, le son, une onde sismique...

1 La houle

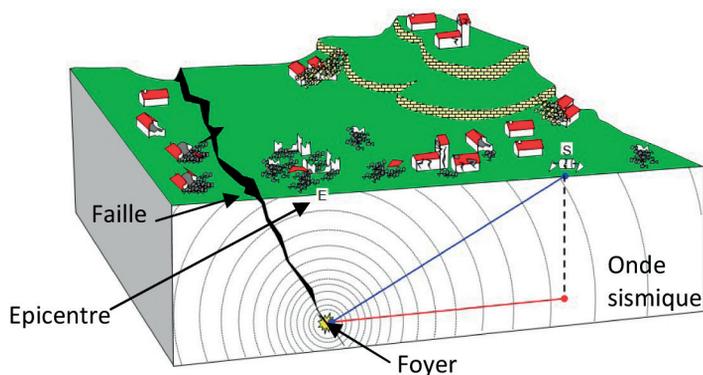
La houle est un ensemble de vagues (non déferlantes) régulières, créées par le vent. C'est un phénomène périodique caractérisé par sa longueur d'onde et sa hauteur.



D'après : Culture maritime

2 Une onde sismique

Une onde sismique est une déformation de la croûte terrestre qui va se propager dans toutes les directions suite à un séisme ou à un tremblement de Terre.



D'après : Académie de Dijon

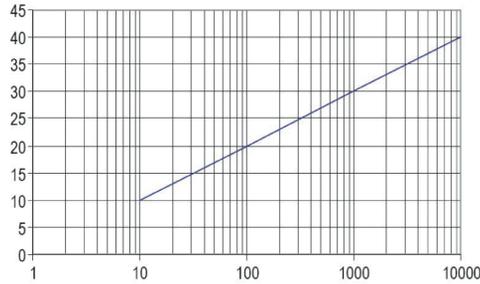
Elle est caractérisée par sa magnitude qui traduit l'énergie libérée par le séisme. La magnitude de Richter est la plus connue. C'est une échelle ouverte (sans limite supérieure) allant de 0 à 10 (actuellement).

De plus, c'est une échelle logarithmique car une augmentation de la magnitude d'une unité correspond à une énergie multipliée par 30 ainsi qu'à une amplitude du mouvement multipliée par 10.

► Comparaison d'une échelle linéaire et d'une échelle logarithmique :

Le graphique ci-dessous permet de visualiser les deux types d'échelles :

- ➔ Une échelle linéaire (en ordonnée) : pour passer d'une graduation à une autre (séparées d'une même distance), on ajoute 5 (ou une constante).
- ➔ Une échelle logarithmique (en abscisse) : pour passer d'une graduation à une autre (séparées d'une même distance), on multiplie par 10 (ou une constante).

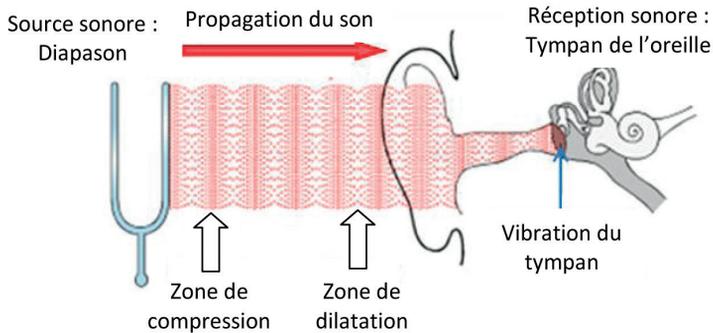


D'après : L'île des mathématiques

- **Utilisation** : Une échelle logarithmique est un système de graduation adapté pour rendre compte des ordres de grandeur de l'infiniment petit à l'infiniment grand.

3 L'onde sonore

Le son est une onde mécanique de compression et de dilatation des molécules constituant l'air qui se déplacent autour de leurs positions d'équilibre sans être transportées sur de grandes distances.



D'après Guy Chaumeton

Si les molécules se rapprochent, la pression augmente : il y a une zone de compression. Et inversement pour les zones de dilatation.

Lorsque la variation de pression est très rapide et de grande amplitude, l'onde sonore est qualifiée d'onde de choc (coup de foudre, avion qui passe le mur du son...).

Une onde sonore est caractérisée par son niveau d'intensité sonore L et son intensité sonore I (voir chapitre 2).

► Vitesse de propagation ou célérité d'une onde

La vitesse de propagation d'une onde ou célérité de l'onde est le rapport de la distance parcourue par l'onde pendant la durée du parcours : $v_{(\text{onde})} = c = \frac{d_{(\text{parcourue par l'onde})}}{\Delta t}$

Conseil

Avant d'utiliser cette formule, il est impératif de faire un schéma de la situation en positionnant la distance parcourue par l'onde et la distance entre l'émetteur et le récepteur.

3 Détecteurs d'ondes et de particules**1 Détection d'ondes électromagnétiques et de particules**

La détection des ondes électromagnétiques provenant de l'Univers doit tenir compte des phénomènes d'absorption par l'atmosphère. En effet, seuls le visible et les ondes radios sont observables depuis le sol. Pour les autres ondes électromagnétiques, il faut les observer en altitude afin de diminuer les effets de l'atmosphère (observatoire en altitude, télescope Sofia embarqué dans un Boieng 747...) ou depuis l'espace.

■ **Quelques exemples de détecteurs d'ondes électromagnétiques :**

Type de rayonnements	Détecteurs
Gamma	Télescope spatial Agile, compteur Geiger, plaque photographique
X	Télescope spatial Agile, plaque photographique
Ultraviolets	Télescope spatial Hubble
Visibles	Œil, lunettes astronomiques, télescopes, capteur CCD, télescope spatial Hubble
Infrarouges	Capteur CCD, pyromètre, télescope spatial Darwin
Micro-ondes	Radar, antenne de télévision
Ondes radio	Radiotélescopes, antenne radio

- **Détection des particules :** Elles sont détectées par des chambres à brouillard ou des compteurs Geiger et permettent, par l'analyse de leur trajectoire, d'obtenir des informations sur leur charge et leur masse.

2 Détection d'ondes mécaniques■ **Quelques exemples de détecteurs d'ondes mécaniques :**

Ondes mécaniques	Détecteurs
Houle	Bouées météorologiques qui enregistrent la hauteur et la direction de la houle.
Onde sismique	Sismomètre qui enregistre l'amplitude des vibrations du sol en fonction du temps.
Onde sonore	Oreille, microphone qui transforme la vibration de sa membrane à un signal électrique, sonomètre qui mesure le niveau d'intensité sonore.

Exercices

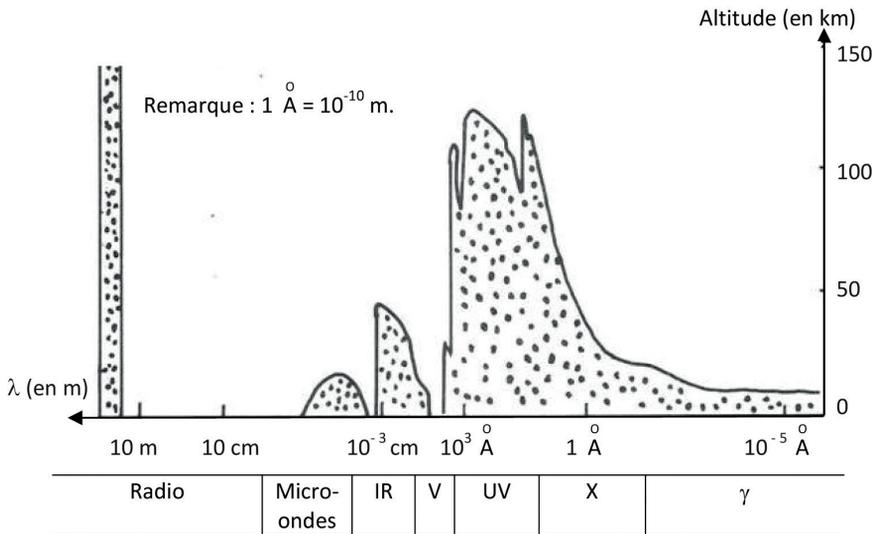
Compétences attendues

- Extraire et exploiter des informations sur l'absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre et ses conséquences sur l'observation des sources de rayonnements dans l'Univers.

Exercice 1.1

Rayonnement et atmosphère (S'approprier)

Le graphique ci-dessous représente les zones pour lesquelles l'atmosphère est opaque (en pointillé) ou transparente en fonction de l'altitude et de la longueur d'onde.



D'après Le Clea

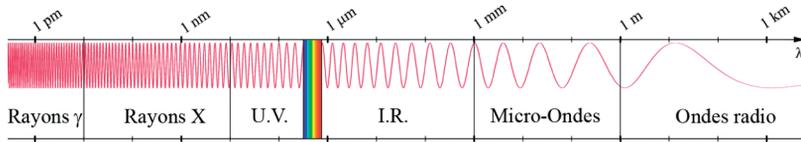
Aide

Cet exercice ne demande pas de connaissances scientifiques spécifiques, c'est une interprétation du graphique.

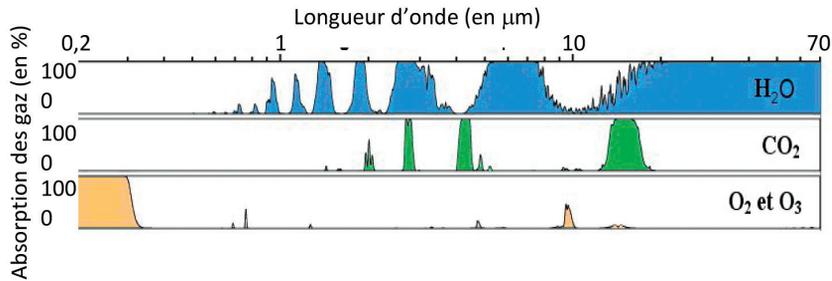
- Quelles sont les zones où les rayonnements peuvent atteindre la surface de la Terre ? (APP)
- L'atmosphère est-elle totalement opaque dans le domaine des ultraviolets ? (APP)
- Un satellite, à une altitude de 800 km, pourra-t-il détecter les rayonnements ultraviolets ? (APP)
- Le radiotélescope de Nançay est spécialisé en radioastronomie dans le domaine des ondes centimétriques. Justifier son implantation au sol. (APP)

Exercice 1.2Observer dans le domaine des infrarouges
(S'approprier, Analyser et réaliser)

► À l'aide des documents suivants, répondre aux questions.

Document 1 Spectre des ondes électromagnétiques :

D'après : sbarbati

Document 2 Radiations absorbées par certains gaz de l'atmosphère.

D'après : Harold Clenet

1. Quel est l'ordre de grandeur (en μ m) des radiations limites de l'infrarouge ? (APP et REA)
2. Peut-on observer facilement le rayonnement IR depuis la surface de la Terre ? Justifier. (ANA)
3. Justifier l'emplacement de l'observatoire d'Hawaï à 4 200 m, où règne une atmosphère sèche, pour observer dans le domaine de l'IR (de 1 à 25 μ m) ? (APP)

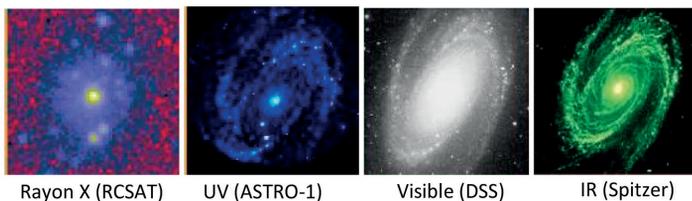
Compétences attendues

- Connaître des sources de rayonnement radio, infrarouge et ultraviolet.

Exercice 1.3

Observation d'une galaxie (S'approprier et analyser)

Voici l'observation de la galaxie M81 dans différents domaines de longueurs d'onde :



En ultraviolet, on va voir essentiellement les étoiles jeunes et chaudes, tandis que dans le rouge on verra les étoiles plus vieilles. En infrarouge, on détectera l'émission des poussières, qui peuvent, dans certains cas, être chauffées par le rayonnement d'étoiles récemment formées.

Aux très hautes énergies, on verra des composantes complètement différentes : en rayons X, on détectera les étoiles binaires [...] Enfin, les régions centrales de certaines galaxies à noyau actif peuvent aussi émettre en rayons gamma.

D'après : OBSPM

1. Pourquoi est-il intéressant d'observer l'univers dans différents domaines de longueurs d'ondes ? (APP)
2. Où se forment les jeunes étoiles ? Justifier. (ANA)
3. Quelles sont les zones de hautes énergies dans cette galaxie ? Justifier. (ANA)

Exercice 1.4

Comparaison de deux sources d'ondes électromagnétiques (Savoir, réaliser et valider)

Voici des informations concernant deux sources d'ondes électromagnétiques :

- La télécommande de votre téléviseur utilise des radiations de longueur d'onde d'environ 950 nm.
 - La lampe à décharge à vapeur de mercure, de longueur d'onde 254 nm, est utilisée pour stériliser des zones de travail et des outils utilisés dans le domaine médical.
1. Dans quels domaines d'ondes se situent ces deux sources ? (S)
 2. Calculer la fréquence de ces ondes ? (REA)
 3. En déduire l'énergie transportée par ces ondes ? (REA)
 4. Expliquer pourquoi la lampe à décharge permet de stériliser du matériel ? (VAL)

Compétences attendues

- Extraire et exploiter des informations sur les manifestations des ondes mécaniques dans la matière.

Exercice 1.5

Un séisme dans le Jura (Savoir, s'appropriier, analyser, réaliser et valider)

Le 23 février 2004, un séisme de magnitude 5,1 selon le Réseau National de Surveillance Sismique s'est produit à Roulans (dans le Doubs), à 20 km au nord-est de Besançon. Ce séisme a été ressenti très largement en dehors du Doubs...

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

Parmi les ondes sismiques, on distingue les ondes P qui sont des ondes de compression ; leur célérité v_p vaut en moyenne $v_p = 6,0 \text{ km.s}^{-1}$ et les ondes S, appelées également ondes de cisaillement ; leur célérité v_s vaut en moyenne $v_s = 3,5 \text{ km.s}^{-1}$.

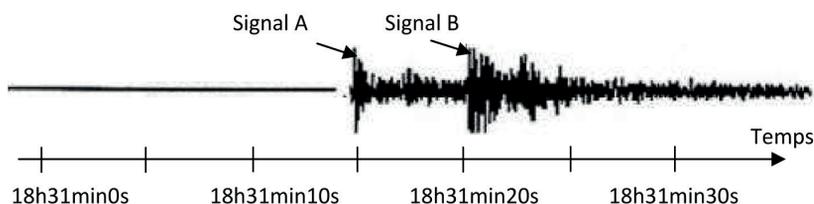
Réseau National de Surveillance Sismique et de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre.

Étude d'un sismogramme :

L'écart entre les dates d'arrivée des ondes P et S renseigne, connaissant la célérité des ondes, sur l'éloignement du lieu où le séisme s'est produit.

Le document suivant présente un extrait de sismogramme relevé dans une station d'enregistrement après le séisme du 23 février de Roulans.

On notera t_0 la date correspondant au début du séisme, date à laquelle les ondes P et S sont générées simultanément.



1. En utilisant des informations du texte, associer à chaque signal observé sur le sismographe, le type d'ondes détectées (ondes S ou ondes P) sur le document 1. Justifier. (ANA et VAL).
2. Relever, sur ce document, les dates d'arrivée des ondes S et P à la station d'enregistrement notées respectivement t_s et t_p . (ANA)
3. Soit d la distance entre la station d'enregistrement et le lieu où le séisme s'est produit. Exprimer la célérité notée v_s des ondes S en fonction de la distance d et des dates t_s et t_0 . Faire de même pour les ondes P avec les dates t_p et t_0 . (REA).
4. Retrouver l'expression de la distance d : $d = \frac{v_s \cdot v_p}{v_p - v_s} (t_s - t_p)$. (REA)
5. En déduire la valeur numérique de cette distance d . (REA)

À propos des séismes : Répondre aux questions suivantes en justifiant.

1. À partir de l'épicentre, les ondes sismiques se propagent-elles dans une direction privilégiée ? (S)
2. Les ondes sismiques se propagent-elles avec transport de matière ? (S)
3. Pourquoi le texte donne-t-il les valeurs moyennes pour les célérités des ondes sismiques ? (APP)

Source : Bac Nouvelle Calédonie 2006

Compétences attendues

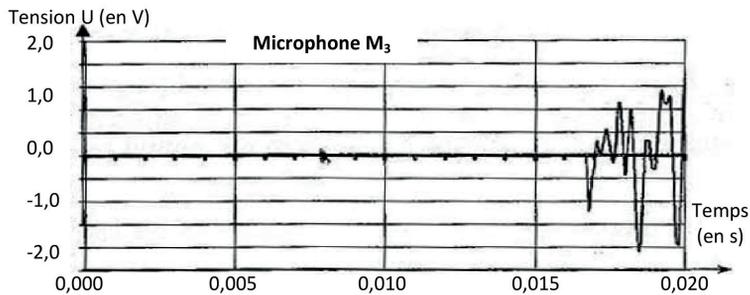
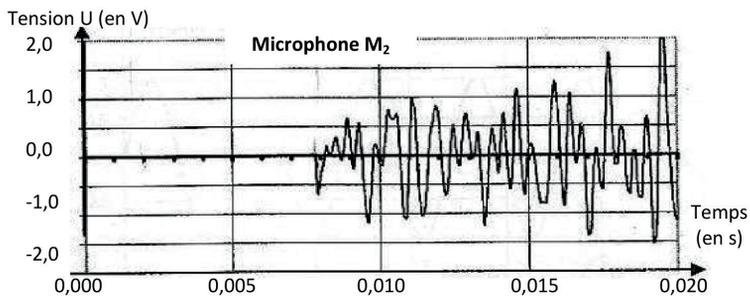
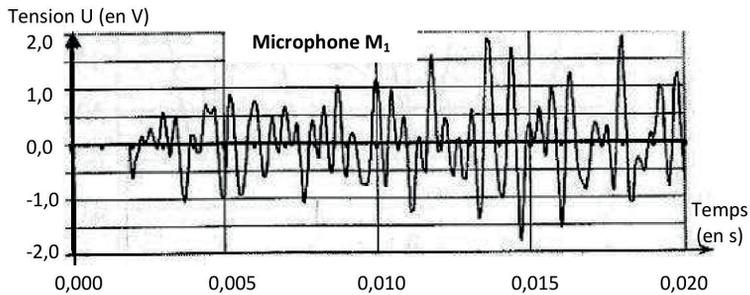
- Extraire et exploiter des informations sur des sources d'ondes et de particules et leurs utilisations ou un dispositif de détection.

Exercice 1.6

Détermination de la célérité de l'onde sonore (Analyser, réaliser et valider)

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

Les courbes obtenues sont représentées ci-après.



1. Comment peut-on déterminer la célérité de l'onde sonore à l'aide des courbes obtenues ? (ANA)
2. Effectuer le calcul de la célérité de l'onde sonore pour la distance M_1M_2 puis pour la distance M_2M_3 . (REA)
3. Les résultats obtenus sont-ils cohérents ? (VAL)

Source : Bac Liban 2010

Exercice 1.7

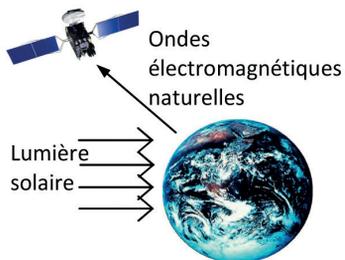
Satellites de télédétection passive (Analyser, réaliser et valider)

La télédétection par satellite permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, l'atmosphère et les océans à des fins météorologique, militaire... Le processus de la télédétection repose sur le recueil, l'enregistrement et l'analyse d'ondes électromagnétiques diffusées par la zone observée.

Si les ondes électromagnétiques mises en jeu dans le processus sont émises par un capteur (comme un radar) puis recueillies par ce même capteur après interaction avec la zone terrestre observée, on parle de **télé-détection active**. Si le capteur (comme un radiomètre) recueille directement la lumière visible ou infrarouge émise ou diffusée par la zone terrestre observée, on qualifie les ondes analysées d'ondes électromagnétiques naturelles et on parle de **télé-détection passive**.



Principe de la télé-détection active

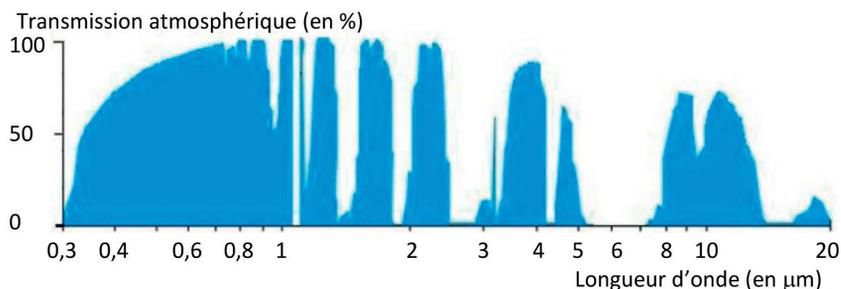


Principe de la télé-détection passive

Cet exercice s'intéresse à deux familles de satellites de télé-détection passive : SPOT (document 1) et Météosat (document 2).

Données :

- **Courbe de transmission des radiations électromagnétiques par l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde λ :**



- **Loi de Wien** : $\lambda_{\max} \cdot T = 2,90 \cdot 10^3 \mu\text{m} \cdot \text{K}$. Avec λ_{\max} la longueur d'onde majoritairement émise dans le spectre d'émission d'un corps porté à une température T (exprimée en kelvin).
- Relation entre la température T (exprimée en kelvin) et la température θ exprimée en degré Celsius : $T = \theta + 273$

Document 1 La filière SPOT.

SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) est un système d'imagerie optique spatiale à haute résolution. Ce programme s'insère dans la politique d'observation de la Terre du CNES (Centre National d'Études spatiales). Depuis 1986, les satellites de la filière SPOT scrutent notre planète et fournissent des images d'une qualité remarquable.

D'après le site cnes.fr

Document 2 Le programme Météosat.

En Europe, l'ESA (Agence Spatiale Européenne) a développé le programme Météosat dont le premier satellite a été lancé en 1977. Depuis cette date, sept satellites Météosat ont été lancés. Puis des satellites aux performances accrues (Météosat Second Generation) leur ont succédé.

Les satellites Météosat et MSG sont géostationnaires : ils observent toujours la même zone de la surface terrestre. Ils ont pour mission d'effectuer des observations météorologiques depuis l'espace pour la prévision immédiate et l'évolution à long terme du climat. Ils ont l'avantage de fournir des images de vastes portions de la surface terrestre et de l'atmosphère, mais présentent l'inconvénient qu'un seul satellite géostationnaire ne suffit pas pour observer toute la Terre. Par ailleurs, les régions polaires leur sont hors de portée.

D'après le site education.meteofrance.com

1. SPOT en mode panchromatique :

Lorsque le satellite SPOT parcourt son orbite, il observe une large bande terrestre de plusieurs dizaines de kilomètres de large.

En mode panchromatique, les images réalisées par le satellite SPOT sont recueillies sur une barrette constituée de détecteurs CCD et numérisées en niveaux de gris. L'image est d'autant plus blanche que le flux lumineux capté est intense.

Deux images (1 et 2) d'une même zone de terrains agricoles, ont été obtenues par télédétection, respectivement dans le rouge (entre 610 nm et 680 nm de longueur d'onde) et dans le proche infrarouge (entre 790 et 890 nm).



Image 1
Télédétection dans le rouge



Image 2
Télédétection dans le proche infrarouge

Source : IGN France international

En utilisant le tableau suivant, donnant les réflectances* caractéristiques des trois grands types de surfaces naturelles, quelles informations peut-on extraire de l'analyse de ces deux images ? Montrer l'intérêt d'avoir ces deux images pour obtenir des informations sur la zone observée. (ANA).

Valeurs caractéristiques des réflectances des trois grands types de surfaces naturelles en fonction de la gamme de longueur d'onde :

	Rouge (entre 610 et 680 nm)	Proche infrarouge (entre 790 et 890 nm)
Eau	4 à 6 %	0 à 2 %
Végétation	10 à 12 %	35 à 40 %
Sol nu	20 à 22 %	25 à 30 %

* La **réflectance** d'une surface est le rapport entre le flux lumineux réfléchi et le flux lumineux incident.

2. Les trois canaux de Météosat :

Le radiomètre** des satellites Météosat comprend trois canaux de télédétection : le canal C dans le visible et le proche infrarouge, le canal E dans l'infrarouge moyen et le canal D dans l'infrarouge thermique.

** Un **radiomètre** est un appareil de mesure de l'intensité du flux de rayonnement électromagnétique dans différents domaines de longueur d'onde.

Canal	Gamme de longueurs d'onde en μm	Fonction principale
C	Entre 0,4 et 1,1	Permet l'observation visuelle de la surface de la Terre et des nuages.
E	Entre 5,7 et 7,1	Renseigne sur la teneur en humidité de l'atmosphère. La surface du sol n'est pas visible.
D	Entre 10,5 et 12,5	Renseigne sur la température des nuages et de la surface terrestre.

- 2.1 Pourquoi seule la télédétection sur les canaux C et D permet-elle d'obtenir des informations en provenance de la surface terrestre ? (ANA).
- 2.2 Quelles sont les raisons qui ont guidé le choix de la gamme de longueurs d'onde du canal D, compte tenu de sa fonction principale ? Des éléments quantitatifs sont attendus dans la réponse. (ANA, REA et VAL)

Source : Bac Pondichery 2014