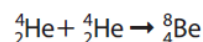
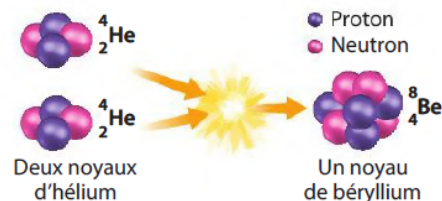


1 Les éléments chimiques et la fusion nucléaire

▶ L'**Univers** est principalement constitué d'**hydrogène** et d'**hélium**. C'est à partir de l'**hydrogène initial** qu'apparaissent les autres éléments chimiques plus lourds : au sein des étoiles, de **nouveaux noyaux** se forment lors de réactions de **fusion nucléaire**.

▶ **La Terre** est surtout composée d'**oxygène**, de **fer**, de **silicium**, de **magnésium**. Les êtres vivants sont principalement composés de **carbone**, d'**hydrogène**, d'**oxygène** et d'**azote**.

Fusion nucléaire stellaire : réaction au cours de laquelle, dans une étoile, deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd.



LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

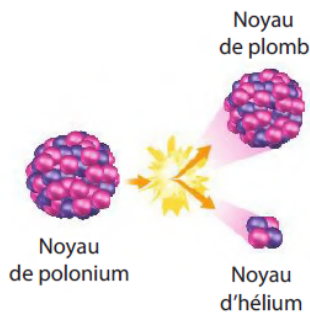
- ✔ Produire et analyser différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments chimiques dans l'Univers, la Terre, les êtres vivants.
- ✔ Reconnaître si l'équation d'une réaction nucléaire stellaire relève d'une fusion ou d'une fission.

2 La radioactivité

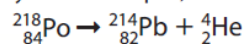
▶ Les noyaux de certains atomes sont **instables** et **se désintègrent naturellement**. Ces noyaux dits **radioactifs** se transforment **spontanément** et de façon **irréversible** en d'autres noyaux.

▶ Ces désintégrations s'accompagnent d'émission de différents types de **rayonnements** et se poursuivent jusqu'à l'obtention de noyaux stables.

▶ La radioactivité trouve de **nombreuses applications**, notamment en médecine dans l'imagerie médicale. Mais elle présente aussi plusieurs **effets nocifs** (brûlures, cancers).



Désintégration d'un noyau de polonium en noyau de plomb avec émission d'un noyau d'hélium (rayonnement alpha).



3 La datation par la radioactivité

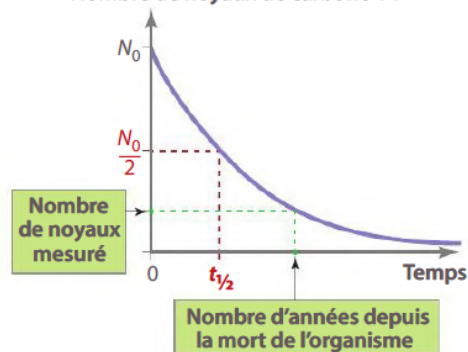
▶ L'instant de désintégration d'un noyau radioactif **isolé** est **aléatoire**.

▶ Quand le nombre de noyaux est important, la **désintégration radioactive** suit une loi représentée par une **courbe décroissante**.

▶ La **demi-vie** $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la **moitié des noyaux** initialement présents dans un échantillon macroscopique se soit **désintégrée**.

Cette durée est propre à chaque type de noyau radioactif.

Nombre de noyaux de carbone 14

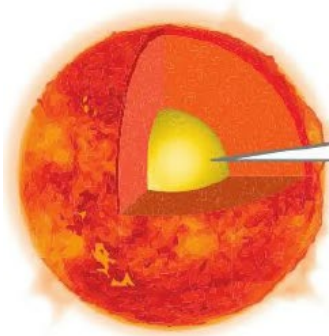


Grâce à la courbe de décroissance radioactive du carbone 14, il est possible de dater un échantillon.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Calculer le nombre de noyaux restants au bout de n demi-vies.
- ✔ Estimer la durée nécessaire pour obtenir une certaine proportion de noyaux restants.
- ✔ Utiliser une représentation graphique pour déterminer une demi-vie.
- ✔ Utiliser une décroissance radioactive pour une datation (exemple du carbone 14).

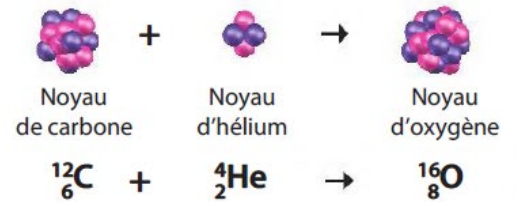
NUCLÉOSYNTÈSE STELLAIRE



ÉTOILE

- Les éléments (Be, C, N, O, Ne, Mg, Si, S, ..., Fe) sont formés à partir de l'hydrogène initial, par des réactions de fusion nucléaire.

Exemple



ABONDANCE DES ÉLÉMENTS

Univers

H He autres

Terre

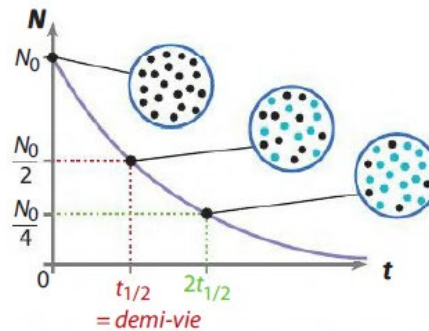
Fe O Si Mg autres

Êtres vivants

H O C N autres

RADIOACTIVITÉ

Désintégration de noyaux instables



Je retiens en me posant des questions



Mémorisation active

Pour ancrer les notions dans ma mémoire, je travaille le cours en me posant les questions ci-contre plusieurs fois dans l'année.

- Quels sont les deux éléments chimiques les plus abondants dans l'Univers ?
- Comment se sont formés les éléments chimiques plus lourds ? À partir de quel élément chimique initial se forment-ils ?
- Quels sont les éléments chimiques les plus abondants dans l'Univers ? sur Terre ? dans les êtres vivants ?
- Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ? Qu'appelle-t-on la demi-vie ?
- Que permet la datation au carbone 14 ?

6 La scintigraphie

1 L'imagerie médicale

De nombreuses techniques d'imagerie médicale utilisent des composés radioactifs. La scintigraphie est un procédé d'exploration du corps humain permettant de diagnostiquer certaines pathologies telles que des cancers ou des dysfonctionnements d'organes (cœur, cerveau, etc.).

Des noyaux radioactifs, administrés au patient, émettent des rayonnements en se désintégrant. Ces rayonnements sont détectés puis analysés par ordinateur pour produire une image donnant des informations sur le fonctionnement des organes. Compte tenu de la dangerosité des rayonnements émis, des doses limitées de noyaux radioactifs sont injectées.

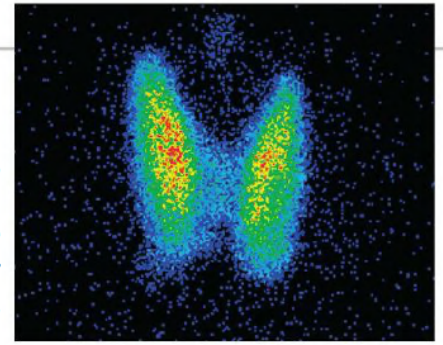
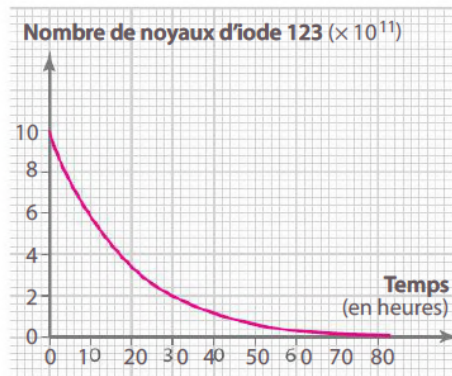


Image d'une thyroïde obtenue par scintigraphie.

2 Troubles de la thyroïde

La thyroïde est une glande endocrine située à l'avant du cou et sécrétant des hormones essentielles au bon fonctionnement de l'organisme.

Une patiente souffrant de troubles thyroïdiens doit pratiquer une scintigraphie. De l'iode 123 (^{123}I) lui est injecté par intraveineuse une heure avant l'examen.

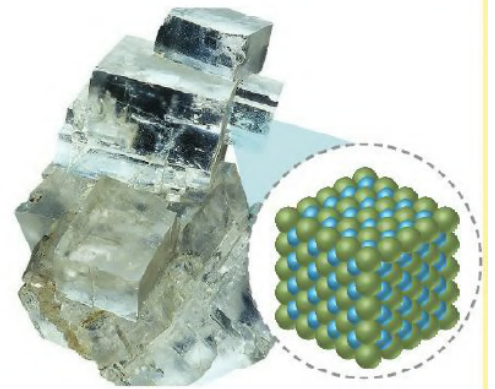


1. Pourquoi utilise-t-on des doses limitées de produits radioactifs lors d'une scintigraphie ?
2. Combien de noyaux radioactifs d'iode 123 ont-ils été injectés à la patiente ? Déterminer graphiquement la demi-vie de l'iode 123.
3. Calculer le nombre de noyaux d'iode 123 restants au bout de trois demi-vies.
4. Déterminer la durée au bout de laquelle il ne reste qu'un dixième du nombre initial des noyaux injectés.

1

Les solides cristallins et les solides amorphes

- ▶ À l'échelle microscopique, les entités chimiques (atomes, ions ou molécules) constituant les **solides cristallins** s'agencent de manière ordonnée et régulière (périodique).
- ▶ À l'échelle macroscopique, cette organisation conduit à la formation de cristaux aux formes géométriques bien définies.
- ▶ Au contraire, les **solides amorphes** (le verre, par exemple) ne présentent aucune organisation particulière à l'échelle microscopique : les entités chimiques se répartissent de manière aléatoire. Les solides amorphes n'ont donc pas de forme géométrique précise.



Le cristal de chlorure de sodium (constituant majoritaire du sel de cuisine) est présent dans certaines roches ou est issu de l'évaporation de l'eau de mer.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Utiliser une représentation 3D informatisée du cristal de chlorure de sodium.
- ✔ Relier l'organisation microscopique d'un cristal à sa structure macroscopique.

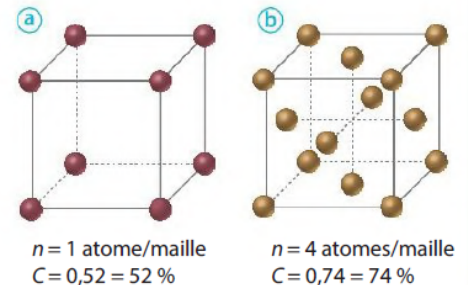
2

Les types cristallins

- ▶ Les structures **cubiques simples** (a) et **cubiques à faces centrées** (b) sont deux exemples de types cristallins définis par une **maille cubique** sur laquelle les positions des entités chimiques sont différentes.
- ▶ L'organisation des types cristallins conditionne certaines des propriétés macroscopiques, dont la masse volumique.
- ▶ La **compacité C** est le rapport entre le volume des constituants de la maille et le volume de la maille :

$$C = \frac{n \times V_{\text{atome}}}{a^3} = \frac{n \times \frac{4}{3} \times \pi \times r^3}{a^3}$$

Nombre d'atomes par maille (n) → n
 Volume de l'atome (en m³) (V_{atome}) → V_{atome}
 Rayon de l'atome (en m) (r) → r
 Longueur de l'arête de la maille (en m) (a) → a



Maille : forme géométrique qui se répète de manière régulière pour former le cristal.

Type cubique à faces centrées : les atomes occupent les quatre sommets de la maille et le centre des faces.

Type cubique simple : les atomes occupent les quatre sommets de la maille.

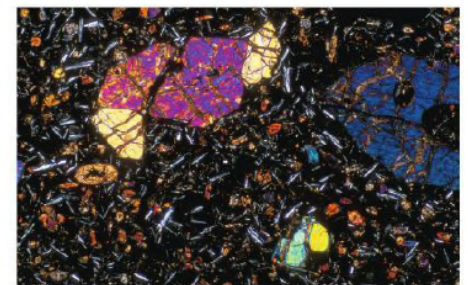
LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Représenter la maille en perspective cavalière.
- ✔ Dénumérer le nombre d'atomes par maille et déterminer la compacité.
- ✔ Calculer la masse volumique d'un cristal.

3

Les roches, association de minéraux

- ▶ Une **roche** est formée de l'association d'un ou plusieurs **minéraux**, dont les propriétés dépendent de l'arrangement spatial des entités chimiques les constituant.
- ▶ Un composé de même formule chimique peut cristalliser, selon les conditions de pression et de température, en différents **polymorphes** possédant des propriétés macroscopiques différentes.
- ▶ La **structure cristalline** des roches résulte d'un **refroidissement lent** alors que la **structure amorphe** résulte d'un **refroidissement rapide**. Le basalte est un exemple de roche issue de la solidification rapide d'une lave.



Lame mince de basalte (microscope optique, × 100) : on observe du verre (en noir), quelques gros cristaux et de nombreux petits cristaux.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Distinguer, en termes d'échelle et d'organisation spatiale, maille, cristal, minéral, roche et les identifier sur un échantillon ou une image.
- ✔ Mettre en relation la structure amorphe ou cristalline d'une roche et les conditions de son refroidissement.

Minéral : solide naturel inerte, le plus souvent cristallisé, et caractérisé par sa composition chimique ainsi que par l'agencement de ses éléments chimiques.

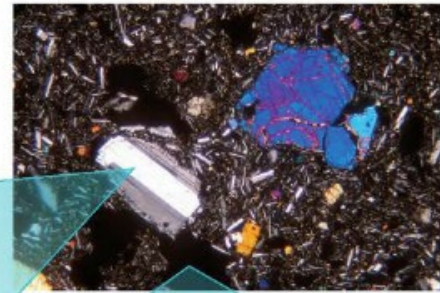
ROCHE

De 10^{-1} m à 10^1 m



MINÉRAL

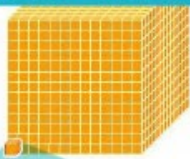
De 10^{-4} m à 10^{-2} m



Solide cristallin

CRISTAL

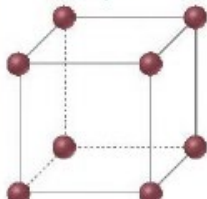
De 10^{-9} m à 10^{-2} m



MAILLE

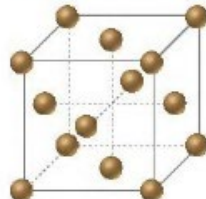
10^{-10} m

Type cubique simple



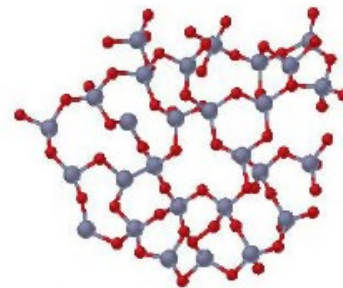
1 atome/maille

Type cubique à faces centrées



4 atomes/maille

Solide amorphe



➔ Un même composé peut cristalliser sous différents types de structures selon les conditions de refroidissement.

Je retiens en me posant des questions



Mémorisation active

Pour ancrer les notions dans ma mémoire, je travaille le cours en me posant les questions ci-contre plusieurs fois dans l'année.

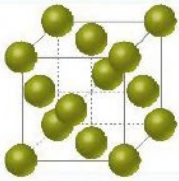
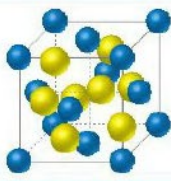
1. Qu'est-ce qui distingue un solide cristallin d'un solide amorphe ?
2. Qu'est-ce qu'une maille ?
3. Qu'est-ce qui détermine les propriétés macroscopiques d'un cristal ?
4. De quoi est composée une roche ?
5. Quelle structure obtient-on en cas de refroidissement rapide ?

8 La ruée vers l'or

SVT PC

En 1848, la découverte d'un gisement d'or dans une scierie de Californie attire des milliers de « chercheurs d'or ». Nombre d'entre eux sont pourtant victimes de déconvenues : les montagnes californiennes regorgent aussi de pyrite, appelée « l'or des fous ».

1 Données microscopiques

Minéral	Or	Pyrite
Maille et entités chimiques		
Entité chimique	Au	FeS ₂
Nombre n d'entités chimiques par maille	4	4
Masse m_e d'une entité chimique	$3,27 \times 10^{-22}$ g	$1,99 \times 10^{-22}$ g
Longueur a de l'arête du cube	$4,16 \times 10^{-8}$ cm	$5,42 \times 10^{-8}$ cm
Dureté	2,5 à 3,0	6,0 à 6,5

2 Échantillons macroscopiques



Inclusion d'or dans une quartzite.



Inclusion de cristaux de pyrite dans une quartzite.

1. À quoi la confusion entre l'or et la pyrite est-elle due ?
2. Qu'est-ce qui, sans faire de calculs, permet de justifier que l'or et la pyrite sont des minéraux différents ?
3. Justifier et montrer que le calcul de leurs masses volumiques respectives permet également de les distinguer.
4. À partir des données disponibles, proposer une autre façon de les distinguer.
5. L'expression « l'or des fous » associée à la pyrite est-elle justifiée ?

16 Alliage

Un alliage résulte du mélange d'au moins deux métaux. Dans les bijoux, l'or peut former avec le cuivre un alliage de formule chimique Cu₃Au composé de 25 % d'or et 75 % de cuivre. Dans cette structure, les atomes d'or occupent chaque sommet d'un cube et les atomes de cuivre le centre des faces.

1. Représenter la maille et ses atomes en perspective cavalière. Donner le nom du type cristallin de cet alliage.
2. Quel est le nombre d'atomes de cuivre et d'or contenus dans la maille ?
3. En déduire la composition en pourcentage de la maille et comparer avec la formule chimique.
4. L'or pur correspond à 24 carats. Déterminer le carat de l'alliage Cu₃Au.



1 La température d'un corps incandescent révélée par son spectre

- ▶ La collaboration entre astronomes et physiciens a permis de démontrer la validité de la **loi de Wien** pour évaluer la température du Soleil.
- ▶ La loi de Wien établit que le **spectre thermique d'un corps**, assimilé à un corps noir, ne dépend que de sa température. Cette température est inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ_{\max} , mesurée au pic de la courbe.
- ▶ Cette loi se traduit par la relation :

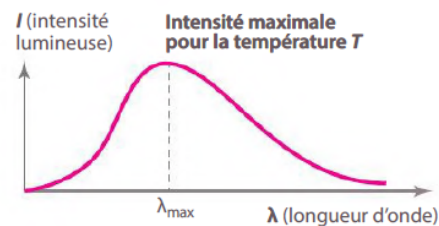
$$\lambda_{\max} \times T = \text{constante} = 2,90 \times 10^{-3}$$

← en K
← en m · K

en m →

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ À partir du spectre thermique tracé à une température donnée, déterminer λ_{\max} .
- ✔ Appliquer la loi de Wien pour déterminer la température d'une étoile.

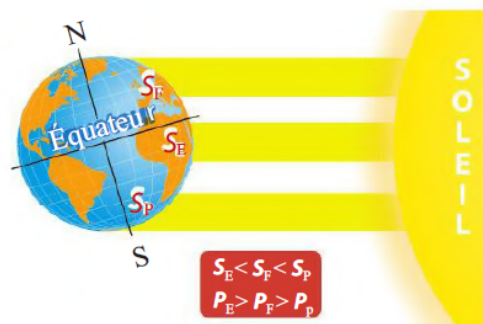


Spectre thermique d'un corps à température T

Corps noir : objet idéal absorbant toutes les radiations électromagnétiques qu'il reçoit et qui, sous l'effet de la température, réémet un rayonnement.

2 La puissance radiative du Soleil

- ▶ L'énergie produite au cœur du Soleil est transférée vers la Terre par **rayonnement** sous forme d'ondes électromagnétiques.
- ▶ Comme la **puissance radiative** du Soleil reçue par unité de surface dépend de l'angle d'incidence des rayons solaires avec la normale à la surface (sol), la **température sur Terre** dépend de la **latitude** du lieu où on la mesure, de l'**heure**, et du **moment de l'année** (saison).



LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ À partir d'un schéma, identifier les configurations pour lesquelles la puissance reçue est maximale ou minimale.

Puissance radiative P : énergie associée au rayonnement reçue par unité de temps.

3 L'énergie des étoiles

- ▶ L'énergie dégagée au sein des étoiles s'explique par les **réactions de fusion nucléaire** de l'hydrogène.
- ▶ Si cette énergie maintient les étoiles à des températures très élevées, la masse de ces dernières diminue d'autant plus que l'**énergie rayonnée** est importante.
- ▶ La **relation d'équivalence masse-énergie**, formulée par Albert Einstein en 1905, relie la perte de masse à l'énergie rayonnée.

Équivalence masse-énergie :

$$E = m \times c^2$$

Énergie (en J) Différence de masse (en kg)

←

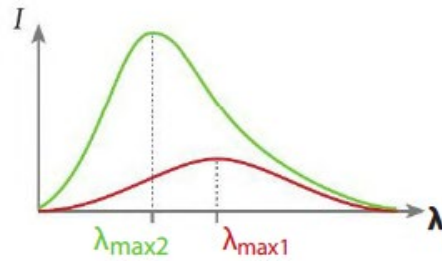
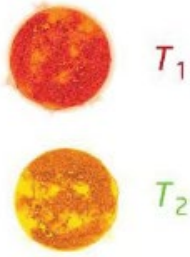
Célérité de la lumière dans le vide
($3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Déterminer la masse solaire transformée en énergie chaque seconde à partir de la puissance rayonnée par le Soleil.

Fusion nucléaire : processus au cours duquel deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd.

TEMPÉRATURE DE SURFACE D'UNE ÉTOILE

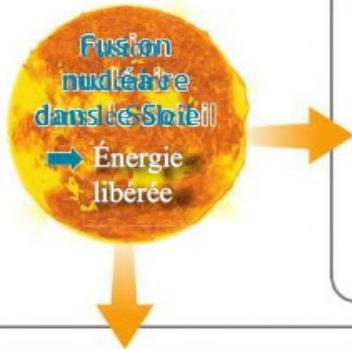


Loi de Wien

$$\lambda_{\max} \times T = \text{constante}$$

$$\text{Donc } \lambda_{\max 1} > \lambda_{\max 2}$$

$$T_1 < T_2$$

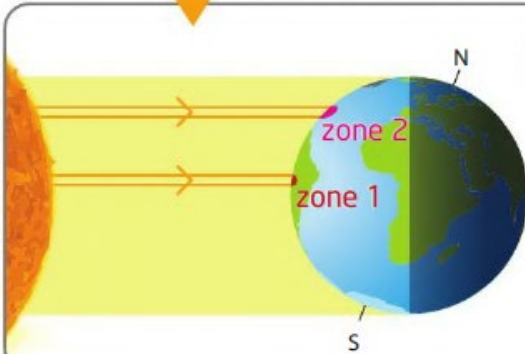


ÉQUIVALENCE MASSE-ÉNERGIE

Perte d'énergie par rayonnement électromagnétique

$$E = m \times c^2$$

Énergie rayonnée (pointing to E), Masse perdue (pointing to m), Célérité de la lumière dans le vide (pointing to c)



PUISSANCE RADIATIVE REÇUE PAR LA TERRE

- La puissance radiative reçue par unité de surface est plus importante dans la zone 1 que dans la zone 2.
- La puissance radiative reçue dépend :
 - de la latitude ;
 - de la saison ;
 - de l'heure de la journée.

Je retiens en me posant des questions



Mémorisation active

Pour ancrer les notions dans ma mémoire, je travaille le cours en me posant les questions ci-contre plusieurs fois dans l'année.

1. Que montre un spectre thermique ?

2. Comment évaluer la température de surface d'une étoile à partir du spectre thermique ?

3. Comment les températures sont-elles maintenues au cœur des étoiles ?

4. Pourquoi la masse du Soleil diminue-t-elle ?

5. Que traduit la formule d'Einstein $E = m \times c^2$?

9 Comparaison de la température de surface de deux étoiles

Bételgeuse et Rigel sont des étoiles appartenant à la constellation d'Orion. Ces deux étoiles se différencient, entre autres, par leur couleur : Rigel est une supergéante bleue alors que Bételgeuse est une supergéante rouge.

1 Bételgeuse



2 Rigel



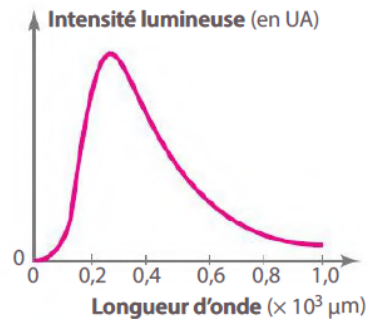
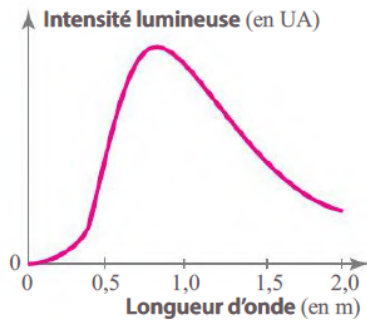
FORMULE

Loi de Wien : la température T (en kelvins) d'un corps et la longueur d'onde λ_{\max} (en mètres) sont liées par la relation :

$$\lambda_{\max} \times T = 2,90 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

1. À partir des spectres et en utilisant la loi de Wien, déterminer les températures de surface des étoiles Bételgeuse et Rigel.

2. Dans la vie courante, en peinture par exemple, le rouge est une couleur dite « chaude », contrairement au bleu. Ces qualificatifs s'appliquent-ils aux étoiles ?



1

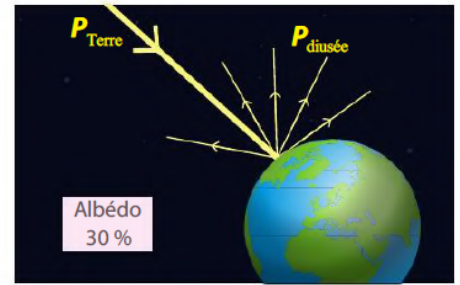
Puissance solaire sur Terre et albédo terrestre

- ▶ Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique de puissance totale P_{Soleil} dans toutes les directions de l'espace.
- ▶ Seule une partie de cette puissance, notée P_{Terre} atteint la Terre. Cette puissance dépend de la **distance Terre-Soleil** d_{TS} et du **rayon de la Terre** R_T .
- ▶ Après avoir atteint la Terre, une partie du rayonnement solaire, de puissance $P_{\text{diffusée}}$, est **diffusée** vers l'espace. Le reste est **absorbé** par la Terre (atmosphère, continents, océans).
- ▶ L'**albédo terrestre moyen** A permet de quantifier ce phénomène :

$$A = \frac{P_{\text{diffusée}}}{P_{\text{Terre}}}$$

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Calculer la proportion de la puissance émise par le Soleil qui atteint la Terre.
- ✔ L'albédo terrestre étant donné, déterminer la puissance totale reçue par le sol de la part du Soleil.
- ✔ Commenter la courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde.



L'albédo terrestre moyen est égal à 30 %.

Albédo terrestre : grandeur sans unité qui quantifie la fraction de la puissance du rayonnement solaire diuisé par la Terre vers l'espace.

2

Le bilan radiatif terrestre

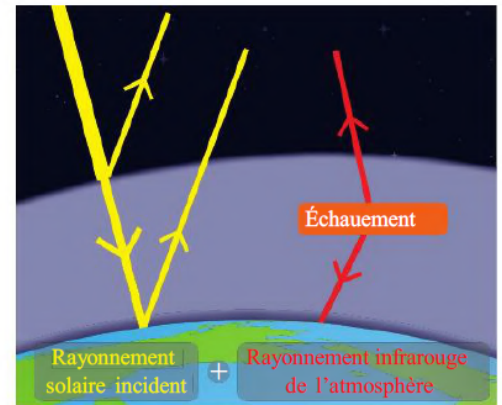
- ▶ Le sol absorbe une partie du rayonnement solaire qui lui parvient, ce qui provoque son échauffement. Il émet alors un **rayonnement infrarouge** (longueur d'onde proche de $10 \mu\text{m}$), dont la puissance augmente avec sa température. L'atmosphère absorbe ce rayonnement émis, s'échauffe et émet à son tour un rayonnement infrarouge vers le sol (**effet de serre**) et l'espace.
- ▶ La puissance reçue localement par le sol est la somme de la puissance liée au rayonnement solaire incident (après diffusion et absorption par l'atmosphère) et de la puissance du rayonnement infrarouge liée à l'effet de serre.
- ▶ La **température moyenne du sol** est conditionnée par ces deux rayonnements.
- ▶ Le **bilan radiatif terrestre** global est en équilibre dynamique, c'est-à-dire que la puissance du rayonnement émis compense la puissance du rayonnement reçu.
- ▶ Le bilan radiatif terrestre est donc globalement nul, ce qui fait que la température de la planète est constante ($15 \text{ }^\circ\text{C}$ en moyenne).
- ▶ Deux facteurs influencent particulièrement le bilan radiatif : l'albédo et l'effet de serre.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Représenter sur un schéma les différents rayonnements reçus et émis par le sol.
- ✔ Expliquer qualitativement l'influence des différents facteurs (albédo, effet de serre) sur la température terrestre moyenne.

Effet de serre : mécanisme lié à l'atmosphère d'une planète et provoquant une augmentation de sa température de surface.

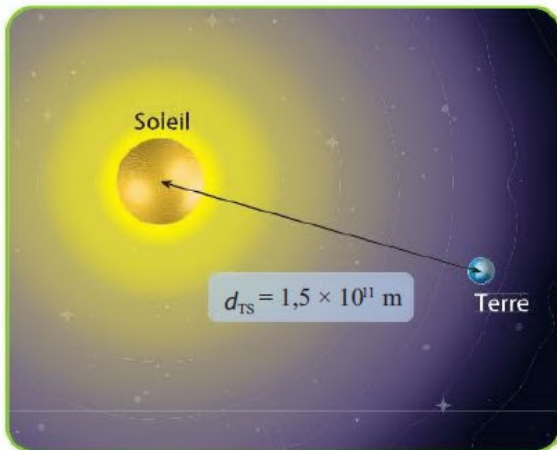
Bilan radiatif terrestre : différence entre la puissance reçue et la puissance perdue par la Terre. Lorsqu'il est nul, la température moyenne est constante.



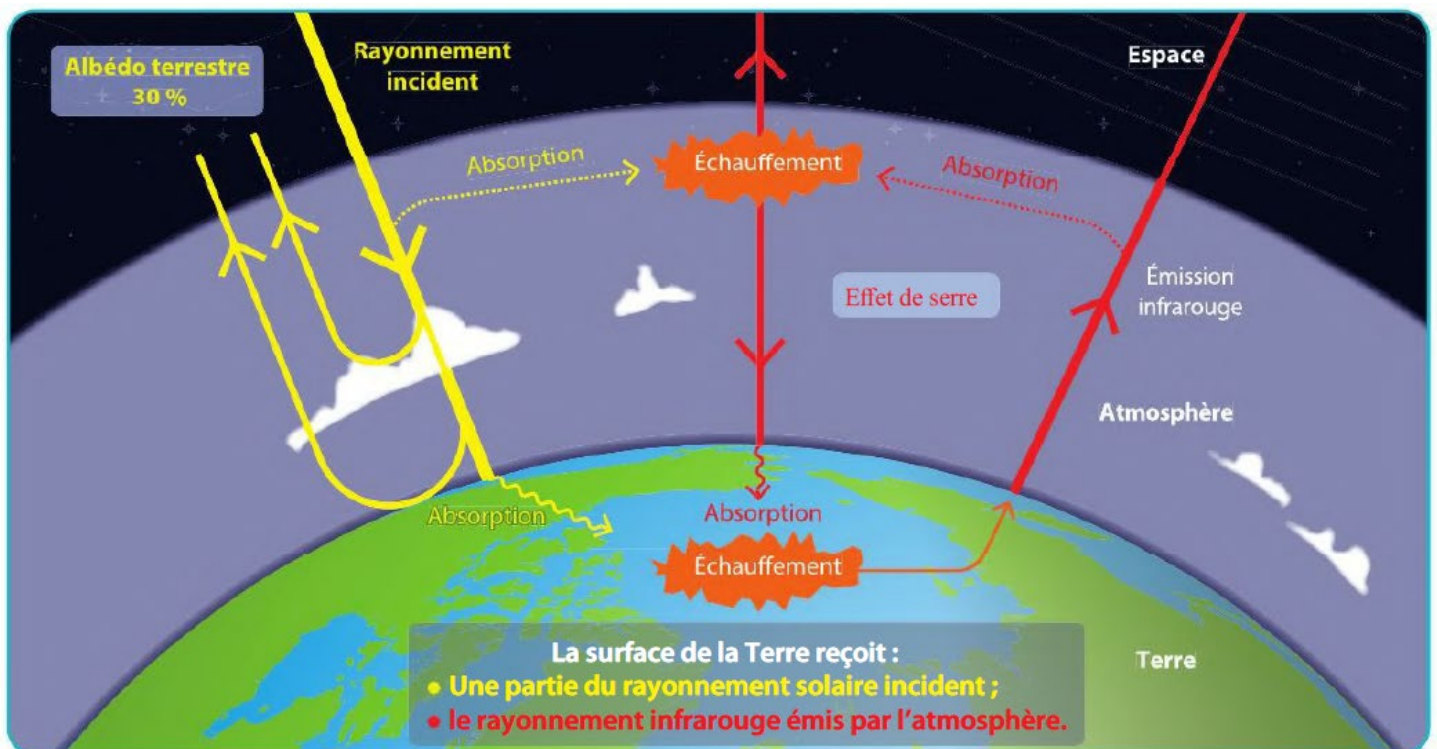
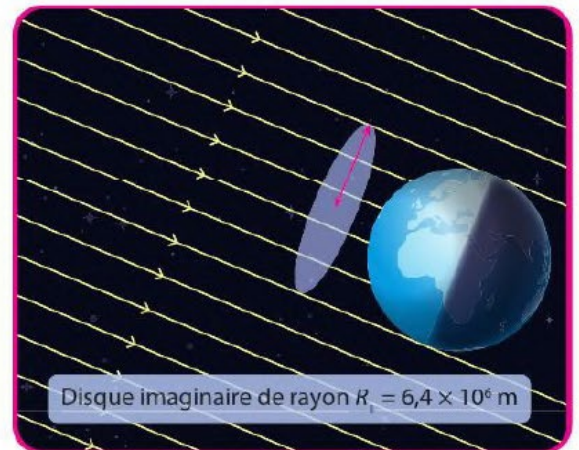
La puissance reçue localement par le sol résulte de la somme de la puissance de deux rayonnements

La puissance du rayonnement solaire reçu par la Terre dépend :

• De la distance Terre-Soleil d_{TS}



• Du rayon de la Terre R_T



Je retiens en me posant des questions

1. De quoi dépend la proportion de puissance solaire reçue par la Terre ?
2. Qu'est-ce que l'albédo ?
3. Pourquoi la Terre émet-elle un rayonnement infrarouge ?
4. Qu'est-ce que l'effet de serre ?
5. Qu'est-ce que le bilan radiatif de la Terre ?

15 L'albédo moyen sur Terre

La puissance surfacique moyenne du rayonnement solaire qui parvient jusqu'à l'atmosphère terrestre est égale à $342 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

1. Comment est nommée la fraction du rayonnement solaire incident diffusée vers l'espace par la Terre ?
2. Calculer la puissance surfacique totale du rayonnement solaire diffusé vers l'espace à partir des albédos moyens donnés ci-après.
3. Sachant que l'albédo terrestre moyen est égal à 30 %, déterminer la puissance surfacique totale du rayonnement solaire diffusé vers l'espace.
4. Comparer les résultats obtenus aux deux questions précédentes.

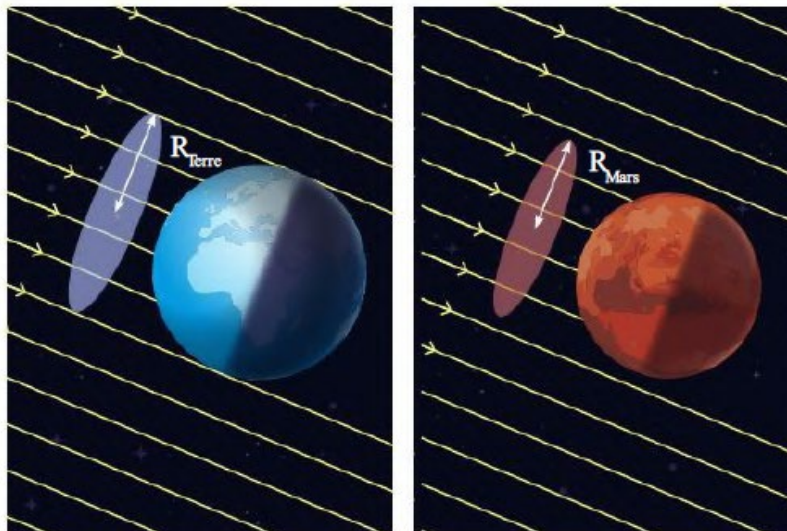
DONNÉES

- Albédo moyen des nuages : 20 %
- Albédo moyen de la surface terrestre : 4 %
- Albédo moyen de l'air : 6 %

16 Rayonnement solaire

Seule une partie de la puissance émise par le Soleil atteint chaque planète du système solaire.

- Montrer que la puissance du rayonnement solaire reçu sur Terre est 8 fois plus grande que celle reçue sur Mars.

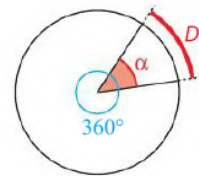


DONNÉES

- Puissance du rayonnement solaire : $P_{\text{Soleil}} = 3,87 \times 10^{26} \text{ W}$
- Distance Soleil-Terre : $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$
- Distance Soleil-Mars : $2,3 \times 10^{11} \text{ m}$
- $R_{\text{Terre}} = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$
- $R_{\text{Mars}} = 3,4 \times 10^6 \text{ m}$
- Surface d'un disque de rayon r : $S_{\text{disque}} = \pi \times r^2$

1 L'apport de l'Antiquité sur la forme de la Terre

- ▶ Dans l'Antiquité, la **forme de la Terre** questionne philosophes puis scientifiques. Des observations comme celles d'Aristote permettent de conclure que la Terre est de forme sphérique dès le IV^e siècle avant J.-C.
- ▶ Au III^e siècle avant J.-C., **Ératosthène** détermine la **circonférence** de la Terre (40 000 km) ainsi que son rayon R_T (6 370 km). Il s'appuie sur un raisonnement géométrique et utilise les relations de proportionnalité entre l'angle au centre de la Terre et l'arc de cercle qu'il intercepte.



$$\frac{360^\circ}{D} = \frac{360^\circ}{40\,000 \text{ km}}$$

$$\frac{360^\circ}{7,2} = \frac{40\,000}{R_T}$$

Rayon de la Terre $\frac{40\,000}{2} = 6\,370 \text{ km}$

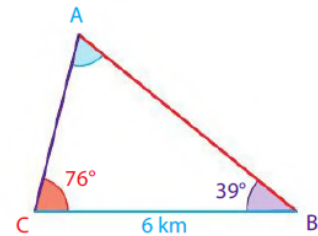
Méridien (astronomie) : cercle imaginaire situé à la surface de la Terre et passant par les deux pôles.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Calculer la longueur du méridien terrestre par la méthode d'Ératosthène.
- ✔ Calculer le rayon de la Terre à partir de la longueur du méridien.

2 La mesure par triangulation

- ▶ Après la Révolution française, Jean-Baptiste-Joseph Delambre et Pierre Méchain, astronomes français, sont chargés de définir le **mètre** en tant qu'unité officielle de longueur à partir de la **longueur du méridien terrestre** (astronomique).
- ▶ Leur méthode consiste à jalonner l'arc de méridien d'un très grand nombre de triangles dont ils mesurent les angles et déterminent les longueurs des côtés par **triangulation plane**.
- ▶ Par additions successives, la longueur de l'arc de méridien Dunkerque-Barcelone est déterminée, puis la longueur totale du méridien calculée par proportionnalité.



$$AB = \frac{BC}{\sin \hat{A}} \sin \hat{C} = \frac{6}{\sin 65^\circ} \sin 76^\circ \approx 6,4 \text{ km}$$

Avec $\hat{A} = 180^\circ - (\hat{B} + \hat{C})$

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Calculer une longueur par la méthode de triangulation utilisée par Delambre et Méchain.

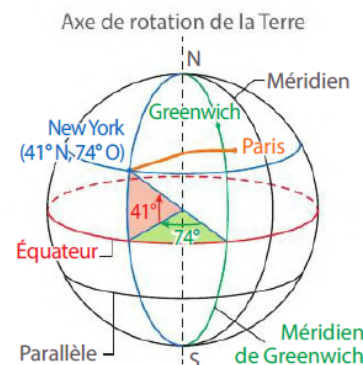
3 Le chemin le plus court

- ▶ Un point à la surface de la Terre est repéré par ses **coordonnées angulaires** : sa **latitude** et sa **longitude**, exprimées en degrés et mesurées respectivement par rapport à l'équateur et au méridien origine de Greenwich.
- ▶ La Terre étant de forme sphérique, le plus court chemin entre deux points à sa surface est l'**arc du grand cercle** qui les relie, et non la ligne droite impossible à tracer à la surface d'une sphère.
- ▶ Les planisphères sont obtenus par projection sur un plan de la surface sphérique de la Terre. Ils ne conservent pas les distances réelles.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Calculer la longueur d'un arc de méridien et d'un arc de parallèle.
- ✔ Comparer, à l'aide d'un système d'information géographique, les longueurs de différents chemins reliant deux points à la surface de la Terre.

Méridien (géographie) : demi-cercle imaginaire reliant les deux pôles.



La forme sphérique de la Terre

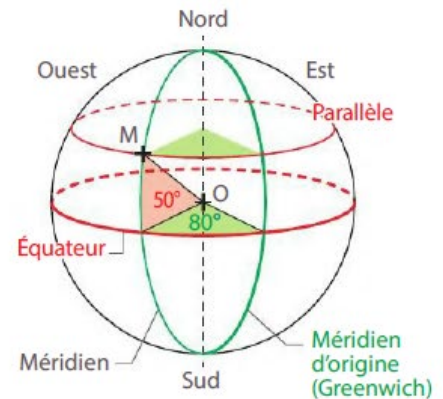
Aristote (IV^e siècle avant J.-C.)

Observation de l'ombre de la Terre sur la Lune pendant une éclipse.



La forme sphérique de la Terre

- Les coordonnées angulaires permettent de se situer sur Terre. Le point M (50° N ; 80° O) a pour latitude 50° nord et pour longitude 80° ouest.



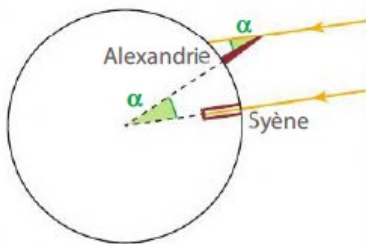
- Le chemin le plus court entre deux points à la surface de la Terre est l'arc de cercle qui les sépare.



La circonférence de la Terre mesure environ 40 000 km

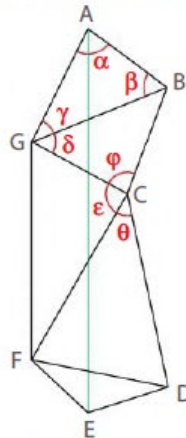
Ératosthène
(III^e siècle avant J.-C.)

Mesure par la méthode géométrique.



**J.-B. Delambre
et P. Méchain**
(1792)

Mesure par la méthode de la triangulation plane.



Je retiens en me posant des questions

1. Qui a effectué la première mesure de la circonférence de la Terre ?
2. Quelle est, environ, la circonférence de la Terre ?
3. Nommer la méthode utilisée par Delambre et Méchain pour mesurer des longueurs.
4. Comment se repère-t-on à la surface du globe terrestre ?
5. Quel est le chemin le plus court entre deux points à la surface de la Terre ?

11 Sur les pas d'Ératosthène

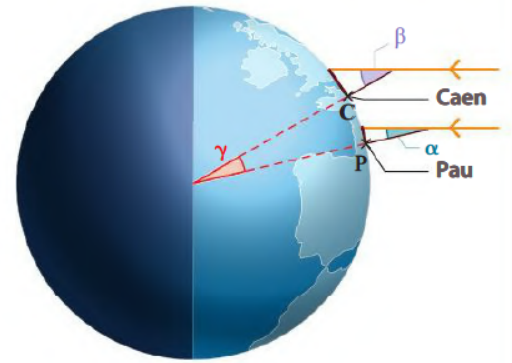
Il est possible de reproduire l'expérience d'Ératosthène entre deux villes situées sur le même méridien.

Nous choisirons Caen (point C) et Pau (point P) qui ont pour longitude commune $0,37^\circ$.

Dans chaque ville, on plante verticalement un bâton de 1,0 m dans le sol. Le même jour à midi, au soleil, deux personnes mesurent la longueur de l'ombre portée du bâton et obtiennent les résultats suivants : 38 cm à Caen et 27 cm à Pau.

La longueur de l'arc de méridien entre Caen et Pau est 654 km.

Le schéma ci-contre représente la situation sans souci d'échelle.



1. Déterminer les angles α et β (arrondir au degré près).

2. a. Montrer que l'angle γ est égal à α .

b. Déterminer la circonférence de la Terre en utilisant la méthode d'Ératosthène. Donner le résultat en kilomètres, avec deux chiffres significatifs.

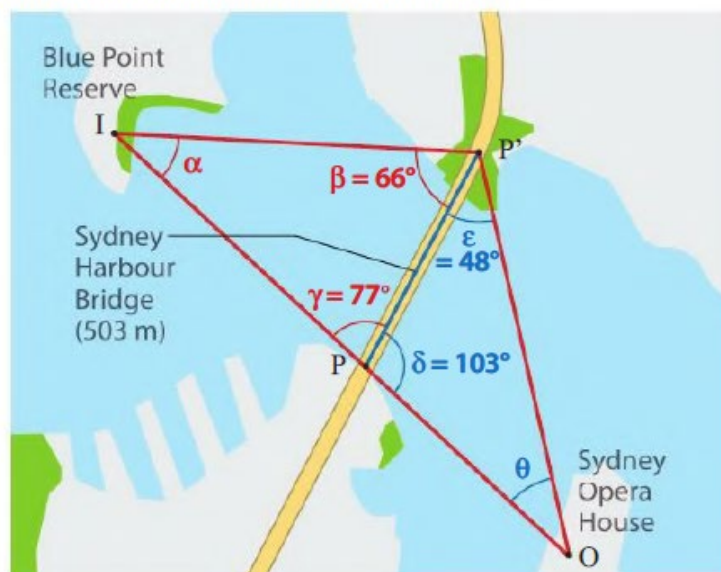
3. En déduire le rayon terrestre.

15 Mesure à partir du Harbour Bridge

L'Opéra de Sydney, véritable emblème de la ville australienne, proche du pont *Harbour Bridge*, est l'un des plus célèbres monuments du xx^e siècle.



On souhaite calculer la distance séparant l'opéra d'un immeuble situé dans la *Blue Point Reserve*.

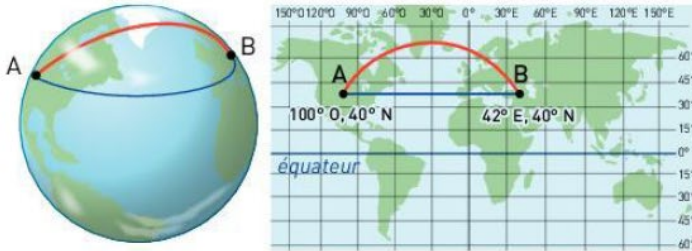


► Calculer la distance IO séparant l'opéra d'un immeuble voisin à partir des relevés ci-dessus.

6 Calcul de la longueur d'un arc de parallèle

On considère deux points à la surface de la Terre : le point A a pour coordonnées géographiques **100° Ouest et 40° Nord** et le point B a pour coordonnées : **42° Est et 40° Nord**.

1. **Justifier** le fait qu'on puisse dire que A et B sont situés sur le même parallèle.
2. **Montrer** que la longueur du parallèle sur lequel sont situés A et B est d'environ 30 642 km.
3. On appelle C le centre du parallèle sur lequel sont situés A et B. **Justifier** que $\widehat{ACB} = 142^\circ$.
4. **Calculer** la longueur de l'arc de parallèle qui relie A et B.
5. On donne ci-dessous deux chemins pour aller de A à B :



- a. Quel chemin (rouge ou bleu) est celui dont on a calculé la longueur précédemment ?
- b. Est-ce le plus court chemin pour aller de A en B ?

Les clés de l'énoncé

- L'énoncé donne la **longitude** et la **latitude** des points A et B.

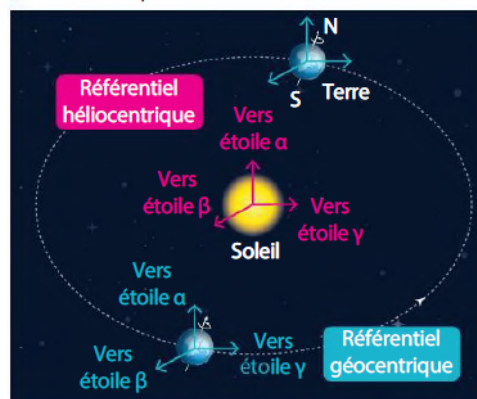
Les questions à la loupe

- **Justifier** : donner des arguments scientifiques pour rendre compte du résultat donné dans la question.
- **Montrer** : mettre en œuvre un raisonnement pour arriver au résultat.
- **Calculer** : utiliser les méthodes vues en cours pour trouver le résultat.

1 Géocentrisme et héliocentrisme

- ▶ Le **modèle géocentrique**, dans lequel la Terre est immobile au centre de l'Univers, est resté en vigueur de nombreux siècles.
- ▶ Les avancées scientifiques ont apporté la preuve de son inexactitude, laissant place à un nouveau modèle, l'**héliocentrisme**.
- ▶ Ce modèle, défendu par Nicolas Copernic au ^{xv}^e siècle, permet de décrire le mouvement réel de la Terre autour du Soleil.
- ▶ Observée dans un référentiel fixe par rapport à trois étoiles fixes, la Terre parcourt une trajectoire quasi circulaire autour du Soleil en une année (365,25 jours).

Héliocentrique : centré sur le Soleil. Cet adjectif peut qualifier aussi bien un modèle qu'un référentiel.



Décrire le mouvement de la Terre nécessite de définir un référentiel.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Interpréter des documents présentant des arguments historiques pour discuter de la théorie héliocentrique.

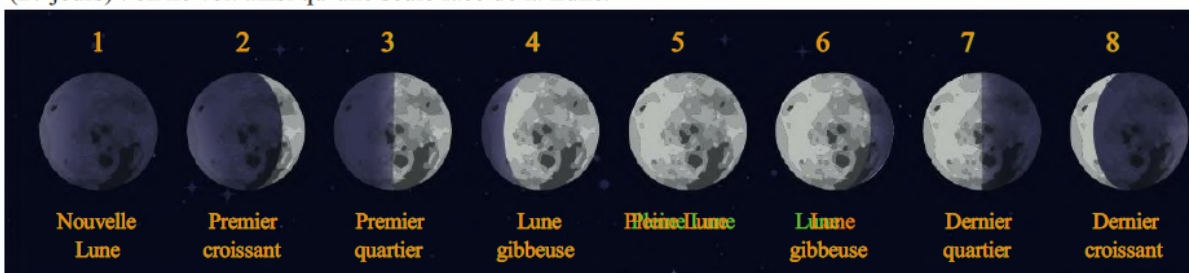
2 Les mouvements de la Lune

- ▶ Observée dans un référentiel géocentrique, la Lune tourne autour de la Terre sur une trajectoire quasi circulaire.
- ▶ La Lune met un peu plus de **27 jours** pour accomplir sa révolution autour de la Terre. Pendant cette période, un observateur sur Terre pourra remarquer des variations de son aspect : les **phases** de la Lune.
- ▶ Les **périodes** de révolution et de rotation de la Lune sont **les mêmes** (27 jours) : on ne voit ainsi qu'une seule face de la Lune.

Période de révolution : durée pour un astre pour accomplir un tour autour d'un autre astre.

Période de rotation : durée pour accomplir un tour sur lui-même.

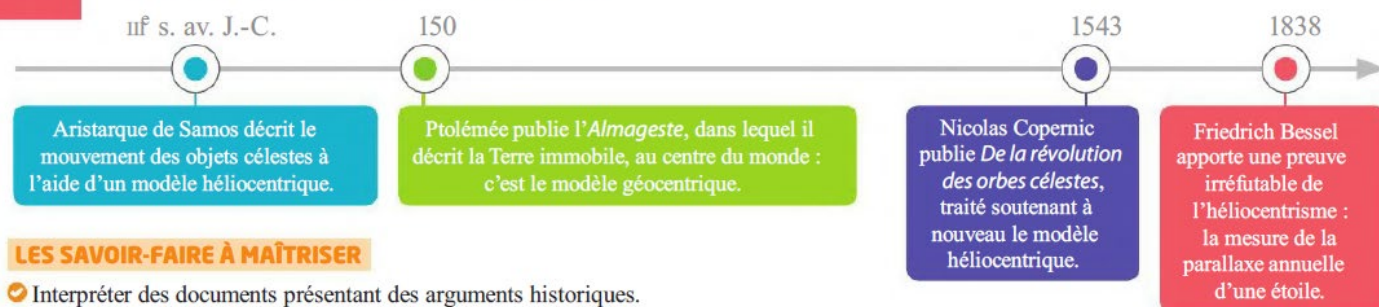
Phase : aspect varié de la lune au cours du mois.



LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Interpréter l'aspect de la Lune dans le ciel en fonction de sa position par rapport à la Terre et au Soleil.

3 Quelques repères historiques



LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

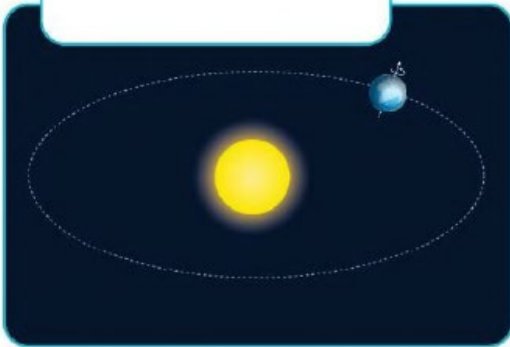
- ✔ Interpréter des documents présentant des arguments historiques.

La controverse géo-héliocentrique

- Une controverse majeure de l'histoire des sciences
- Opposant le géocentrisme (Ptolémée) à l'héliocentrisme (Nicolas Copernic)
- Friedrich Bessel, en mesurant la parallaxe d'une étoile, a apporté la preuve scientifique de l'héliocentrisme

Mouvement de la Terre dans le référentiel héliocentrique

- **Trajectoire :** quasi circulaire
- **Période de révolution :** 365,25 jours (1 an)
- **Période de rotation :** 24 h (1 jour)



Mouvement de la Lune dans le référentiel géocentrique

- **Trajectoire :** quasi circulaire
- **Période de révolution :** 27,3 jours (1 mois)
- **Période de rotation :** 27,3 jours

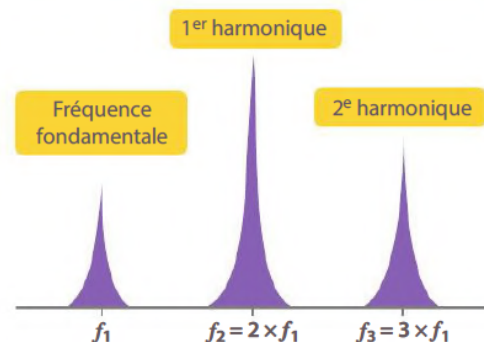


Je retiens en me posant des questions

1. Quelle est la trajectoire de la Terre dans le référentiel héliocentrique ?
2. Dans quel référentiel étudie-t-on le mouvement de la Lune autour de la Terre ?
3. À quoi attribue-t-on les phases de la Lune ?
4. Comment justifie-t-on que la Lune ne nous montre qu'une seule face ?
5. Qui est le père de l'héliocentrisme ?

1 Son pur et son composé

- ▶ Un **son pur** est associé à un signal **sinusoïdal**. Le tracé de son **spectre** ne comporte qu'un seul pic et permet d'en déterminer la fréquence.
- ▶ Un **son composé** est associé à un signal **périodique** mais non sinusoïdal; il se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux ayant chacun une fréquence précise. Le spectre d'un son composé comporte donc plusieurs pics :
 - la plus basse fréquence relevée sur le spectre est appelée **fréquence fondamentale**, notée f_1 ;
 - les autres fréquences sont les **harmoniques**, ce sont des multiples de la fréquence fondamentale.



Le spectre d'un son composé présente plusieurs pics.

Spectre : représentation graphique obtenue avec un logiciel dédié et permettant de déterminer les valeurs de fréquences correspondant à chaque pic.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Utiliser un logiciel permettant de visualiser le spectre d'un son.
- ✔ Utiliser un logiciel pour produire des sons purs et des sons composés.

2 Intensité et niveau d'intensité sonores

- ▶ L'**intensité sonore** (I) d'un son correspond à la **puissance** (P) par unité de surface (S) transportée par l'onde sonore. Elle est exprimée en watts par mètre carré (W m^{-2}) :

$$I = \frac{P}{S}$$

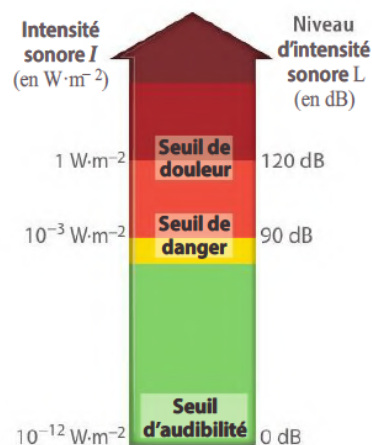
- ▶ L'intensité sonore est peu pratique à utiliser, aussi caractérise-t-on plus fréquemment un son par son **niveau d'intensité sonore** (L , ou **niveau sonore**), exprimé en décibels (dB) :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Avec $I_0 = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ l'intensité sonore à partir de laquelle un son est audible pour l'oreille humaine.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Relier puissance sonore par unité de surface et niveau d'intensité sonore exprimé en décibels.



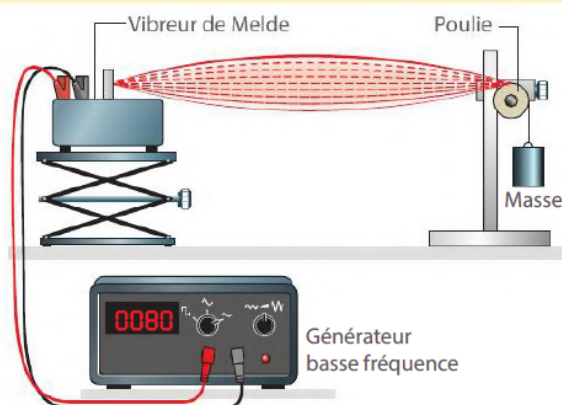
Intensité sonore et niveau d'intensité sonore caractérisent un son.

3 Son émis par une corde vibrante

- ▶ Une corde tendue et mise en vibration émet un son composé dont la **fréquence fondamentale** f_1 dépend des **caractéristiques** de la corde.
- ▶ f_1 varie en effet en fonction de :
 - la longueur ℓ de la corde qui peut vibrer ;
 - la tension T avec laquelle la corde est tendue ;
 - la masse linéique de la corde.
- ▶ Dans les instruments à vent, c'est la **vibration de l'air** dans un tuyau qui provoque l'apparition du son.

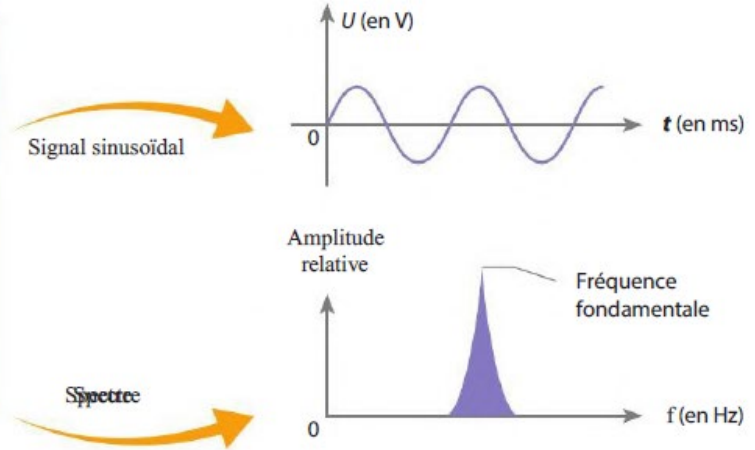
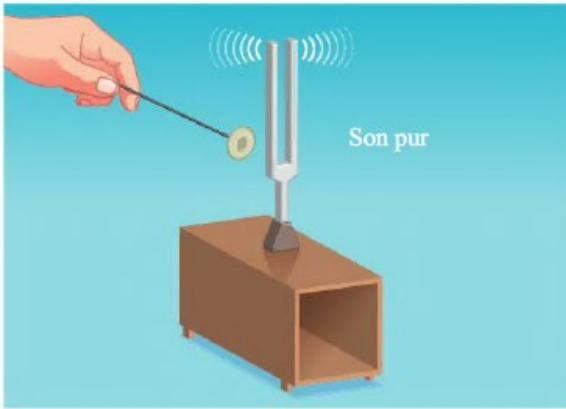
LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Relier qualitativement la fréquence fondamentale du signal émis et la longueur d'une corde vibrante.



La fréquence du vibreur, imposée par le GBF et identique à celle de la corde, est la fréquence fondamentale du son émis lorsque la corde ne présente qu'un seul fuseau.

Fréquence fondamentale : fréquence de vibration de la corde lorsque cette dernière ne présente qu'un seul fuseau.



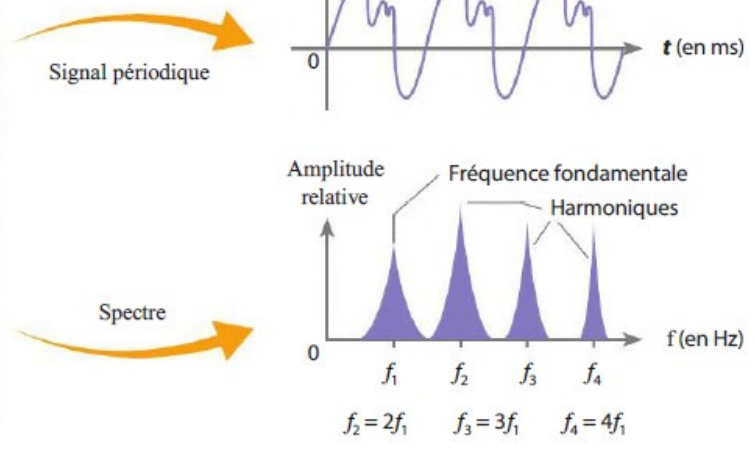
Puissance sonore (en W)

Intensité sonore (en $W \cdot m^{-2}$)

Surface de propagation (en m^2)

Niveau d'intensité sonore (en dB)

$$I = \frac{P}{S} \leftrightarrow L$$



Je retiens en me posant des questions

1. Qu'est-ce qui différencie un son pur d'un son composé ?
2. Qu'appelle-t-on fréquence fondamentale ?
3. Comment fréquence fondamentale et fréquences des harmoniques sont-elles liées ?
4. Quelle grandeur utilise-t-on usuellement pour caractériser un son ?
5. De quels paramètres la fréquence fondamentale d'une corde vibrante dépend-elle ?

8 Au son de la vuvuzela

Les vuvuzelas sont des instruments qui ressemblent aux cornes de brume. Elles sont notamment utilisées par les supporters français pour encourager leur équipe lors des compétitions, par exemple pendant la coupe du monde de football 2018 en Russie.

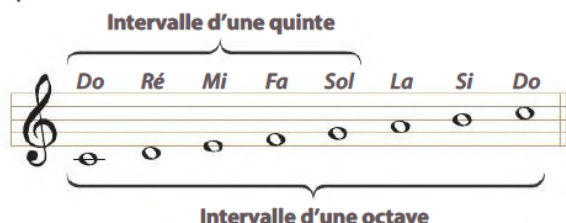
1. La puissance d'une vuvuzela est d'environ 6,3 W. Calculer l'intensité sonore du son reçu par un supporter placé à 1,0 m de l'instrument. Que devient cette valeur à 2,0 m de la vuvuzela ?
2. Calculer le niveau sonore correspondant à 1,0 m de la source.
3. Un supporter est assis entre deux utilisateurs de vuvuzela. Chaque instrument est situé à 1,0 m de lui. Montrer que le niveau sonore du son reçu par ce supporter ne double pas, mais augmente de 3 dB.
4. Un son devient pénible si son niveau sonore dépasse 80 dB. À quelle distance d'une vuvuzela devrait se trouver un supporter pour éviter tout désagrément ?



1 L'octave et la notion d'intervalle

- ▶ Un **intervalle musical** entre deux notes est défini par le **rapport** (et non la différence) de leurs **fréquences**. Certains intervalles sont agréables à l'oreille (consonants), d'autres le sont moins (dissonants).
- ▶ L'**octave** est le plus petit intervalle séparant deux notes de même nom, mais de hauteurs différentes. Leurs fréquences fondamentales sont dans un **rapport 2/1**. L'octave est un intervalle consonant.
- ▶ Il existe d'autres intervalles consonants, comme la **quinte**, dont les notes ont un rapport de fréquences de **3/2**.

Intervalle	Octave	Quinte
Rapport	2/1	3/2
Exemple	do - do	do - sol
Fréquence	$f_{do2} = 2 f_{do1}$	$f_{sol} = \frac{3}{2} f_{do}$



2 La gamme de Pythagore

- ▶ Une **gamme** est une **suite finie de notes** réparties sur une octave. Les gammes utilisées en musique occidentale jusqu'au xvii^e siècle sont construites à partir d'intervalles s'exprimant sous forme de **fractions simples** (2/1, 3/2, 4/3, etc.).
- ▶ La quinte est la **base de la gamme de Pythagore**, utilisée dans la Grèce antique. Elle se construit en avançant **de quinte en quinte** jusqu'à retomber pratiquement sur l'octave. Comme le cycle ne boucle pas parfaitement, l'une des quintes n'est pas juste.
- ▶ Les fréquences des notes de la gamme de Pythagore s'expriment en fonction de **nombre rationnels**.

Cycle infini des quintes : on dit le cycle des quintes infini car il est impossible, mathématiquement, de le boucler, c'est-à-dire d'arriver exactement sur la fréquence de l'octave de la note de départ.

Nombre rationnel : nombre qui peut s'exprimer sous la forme d'une fraction de deux nombres entiers.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Calculer des puissances et des quotients en lien avec le cycle des quintes.
- ✔ Mettre en place un raisonnement mathématique pour prouver que le cycle des quintes est infini.

3 La gamme à intervalles égaux

- ▶ Les gammes naturelles présentent un inconvénient majeur : l'intervalle entre deux notes d'une octave n'est pas constant et rend difficile la **transposition**.
- ▶ À la fin du xvii^e siècle, une **gamme à intervalles égaux** (constants) a été adoptée : la gamme tempérée. Cette gamme est formée de **douze intervalles** égaux appelés **demi-tons**. La valeur du rapport d'un demi-ton est la **racine douzième** de 2 : $\sqrt[12]{2}$ ou $2^{1/12}$.
- ▶ Les fréquences des notes de la gamme à intervalles égaux s'expriment en fonction de **nombre irrationnels**.
- ▶ Les petits défauts de justesse de cette gamme sont compensés par une grande facilité d'utilisation.

Transposer : changer la tonalité en modifiant toutes les notes d'une œuvre musicale.

Nombre irrationnel : nombre qui ne peut pas s'exprimer comme une fraction de deux nombres entiers.

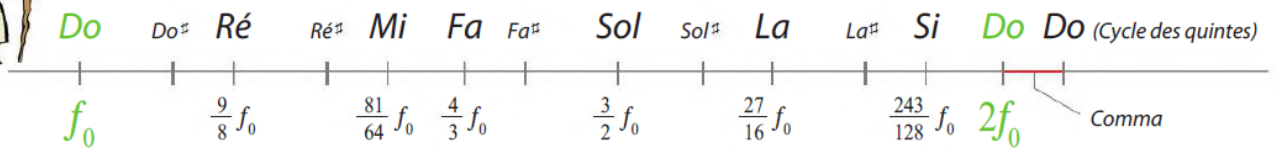
Racine douzième : nombre élevé à la puissance 1/12.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Utiliser la racine douzième de 2 pour partager l'octave en douze intervalles égaux.



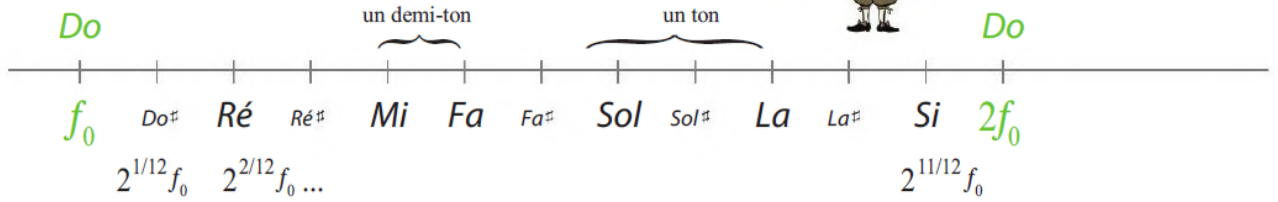
La gamme de Pythagore se construit grâce au cycle des quintes. Cette gamme est basée sur des notes consonnantes car les rapports de fréquences sont des rapports de nombres entiers, mais les intervalles entre les notes ne sont pas constants.



Le cycle des quintes ne se refermant jamais complètement, il reste un petit écart, appelé « comma », entre la note de n de cycle et l'octave réelle. Ce comma est susamment petit pour être négligé pour des cycles de 5, 7, 12 ou 53 notes.



La gamme à intervalles égaux se construit en divisant l'octave en douze parties égales appelées « demi-tons ». Le rapport des fréquences de deux notes séparées par un demi-ton est constant et vaut $2^{1/12}$.



Ma gamme sonne juste mais n'est pas très commode pour la pratique collective de la musique.

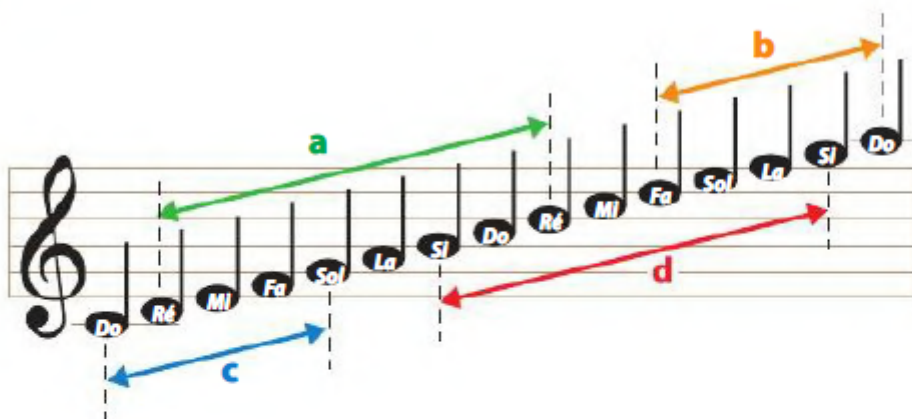
Ma gamme est un peu moins juste, mais elle permet très facilement à plusieurs musiciens de jouer ensemble.



Je retiens en me posant des questions

1. Comment, en physique, définit-on un intervalle entre deux notes de musique ?
2. À quoi une octave correspond-elle ?
3. Sur quel rapport de fréquences la gamme de Pythagore est-elle construite ?
4. Quel inconvénient présente la gamme de Pythagore ?
5. Quel est le rapport de fréquences entre deux notes successives de la gamme à intervalles égaux ?

4 Une portée, des intervalles



1. Parmi les intervalles **a**, **b**, **c** et **d** représentés ci-dessus, lesquels correspondent à des octaves ? à des quintes ?
2. Parmi les intervalles de fréquences proposés ci-après, lesquels correspondent à des octaves ? à des quintes ?
a. 110 Hz-165 Hz b. 440 Hz-880 Hz c. 440 Hz-586 Hz

6 Rapports et gamme de Pythagore

Dans la gamme de Pythagore, le rapport de la fréquence d'un *si* par celle d'un *do* est $3^5/2^7$.

1. Exprimer ce rapport de fréquences en utilisant une fraction de nombres entiers.
2. Sachant que la fréquence de ce *do* est 261,6 Hz, calculer celle du *si*.

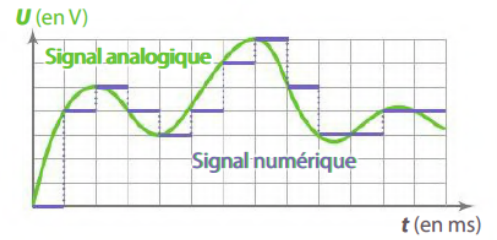
7 Intervalles égaux et demi-tons

Dans la gamme à intervalles égaux, le rapport de l'intervalle *do* – *do*[♯] vaut $2^{1/12}$ ou 2^{12} (un demi-ton).

1. Combien vaut celui de l'intervalle *do*[♯] – *ré* ?
2. Combien vaut le rapport de l'intervalle *do* – *ré* correspondant à deux demi-tons : $4^{1/12}$, $2^{2/12}$ ou $2^{13/12}$?

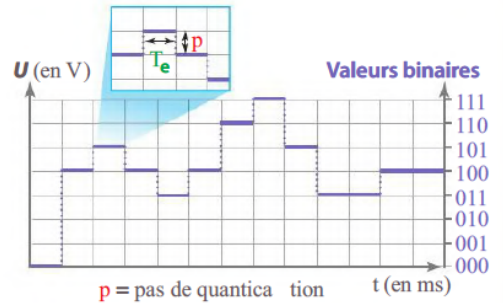
1 Les signaux analogiques et numériques

- ▶ Les signaux sonores produits par la voix ou la musique, par exemple, sont des signaux **continus**, c'est-à-dire **analogiques**.
- ▶ Pour être stockés ou transmis dans un environnement informatisé, ces signaux doivent être numérisés, c'est-à-dire convertis en **signaux numériques**. C'est le rôle du convertisseur analogique-numérique (ou **CAN**).
- ▶ Les signaux numériques sont **discontinus**.



2 Les paramètres de numérisation

- ▶ Une numérisation de bonne qualité doit permettre d'obtenir un signal numérique aussi fidèle que possible au signal analogique initial.
- ▶ Pour cela, les paramètres de numérisation sont à prendre en compte : la **fréquence d'échantillonnage** f_e (en Hz) et la **quantification** Q liée au nombre de bits utilisés. Chaque valeur échantillonnée est quantifiée puis **codée en nombre binaire**.
- ▶ **Critère de Shannon** : pour qu'un signal numérique soit suffisamment fidèle au signal analogique de départ, la fréquence d'échantillonnage f_e doit être supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans le signal analogique : $f_e > 2 \times f_{\max}$.



$$\text{en s } T_e = \frac{1}{f_e} \text{ en Hz}$$

Le pas de quantification détermine l'écart entre deux valeurs permises.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son.

3 La compression des données

- ▶ Plus la numérisation est fidèle, plus la taille d'un fichier audio est élevée. Il est donc nécessaire de **compresser** le fichier numérique obtenu pour **diminuer sa taille** et faciliter son **stockage** et sa **transmission**.
- ▶ Le **taux de compression**, noté τ , est une grandeur sans unité, souvent exprimée en pourcentage :

$$\tau = \left(1 - \frac{\text{Taille du fichier compressé}}{\text{Taille du fichier initial}}\right)$$

- ▶ Dans le cas des fichiers audio, la compression « **avec perte d'informations** » élimine les informations sonores auxquelles l'oreille est peu sensible et supprime la répétition des informations redondantes (comme le refrain). Le fichier compressé a donc une taille moindre en affectant plus ou moins la qualité sonore du fichier numérique initial.

Taille N d'un fichier : grandeur exprimée en octets et se calculant selon la formule :

$$N = f_e \times \frac{Q}{8} \times n \times \Delta t$$

Avec Δt , la taille du fichier (en s) et n le nombre de voies (et prenant la valeur « 1 » si le son est en mono ou « 2 » s'il est en stéréo).

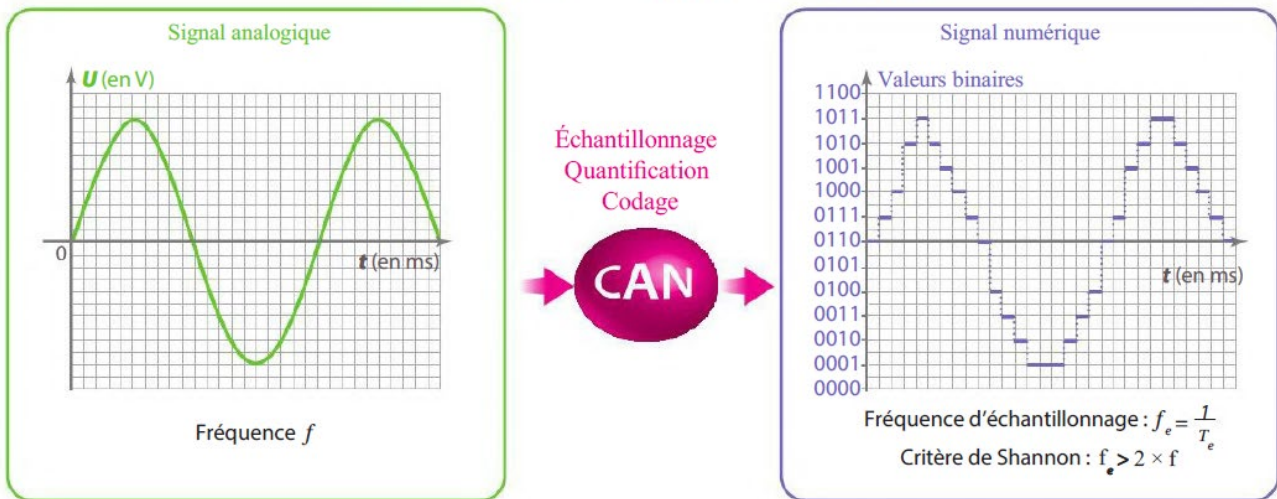
Nom	Type	Taille
01 Angel.mp3	Audio MP3	8,3 Mo
01 Angel.wav	Audio Waveform	67,8 Mo
02 Space maker.mp3	Audio MP3	7 Mo
03 Lullaby.aac	AAC file	10,2 Mo
04 Honey.wav	Audio Waveform	69 Mo
05 Bird Of Prey.flac	Audio FLAC	6,9 Mo

Le format de compression le plus courant des fichiers sonores est le format MP3.

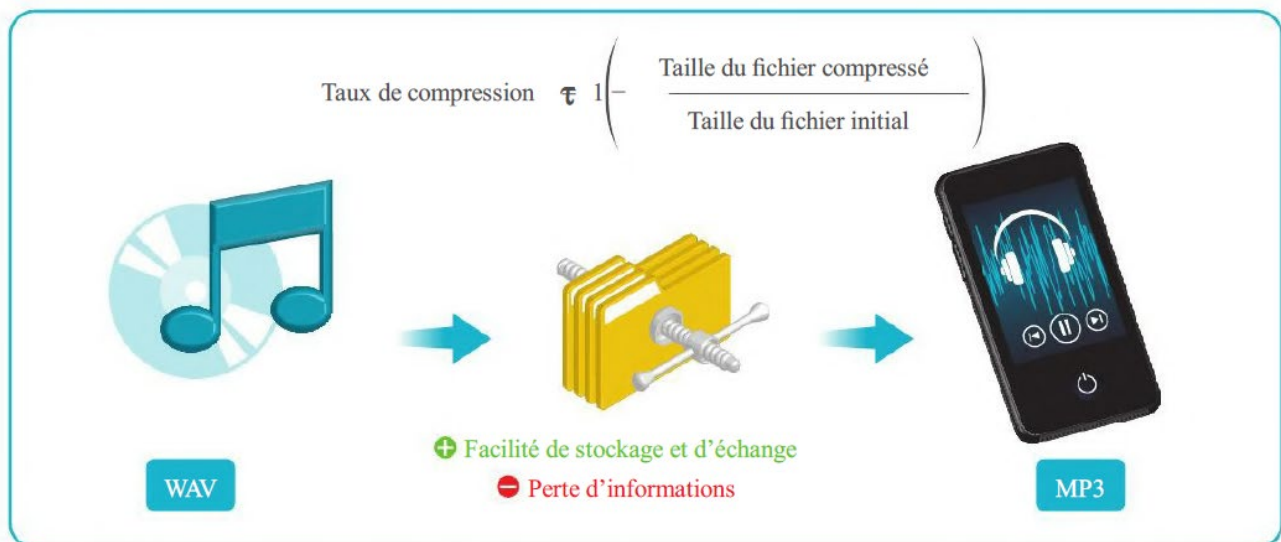
LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Estimer la taille d'un fichier audio.
- ✔ Comparer des caractéristiques et des qualités de fichiers audio compressés.

Conversion analogique-numérique



Compression des fichiers numériques



Je retiens en me posant des questions

1. Qu'est-ce qui différencie un signal analogique d'un signal numérique ?
2. Citer les deux paramètres de numérisation.
3. Pour numériser fidèlement un signal analogique, comment doit-on choisir la fréquence d'échantillonnage f_e ?
4. Quel est l'intérêt de la compression des fichiers audio ?
5. Pourquoi parle-t-on de compression avec perte d'informations pour les fichiers audio ?

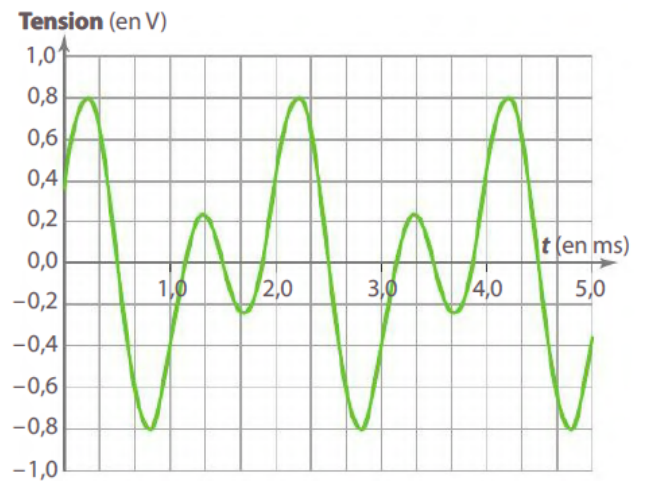
9 Numérisation et compression

On souhaite enregistrer le signal correspondant au son émis par une flûte. Pour cela, on utilise un microphone relié à un CAN connecté à un ordinateur. Le microphone permet de transformer le signal sonore en signal électrique. La courbe ci-contre représente l'évolution de la tension électrique (proportionnelle à l'intensité sonore) aux bornes du microphone en fonction du temps.

Le constructeur du CAN fournit les indications suivantes :

- Quantification : $Q = 16$ bits.
- Fréquence d'échantillonnage maximale : 10 kHz.

1. Le signal sonore émis par l'instrument de musique est-il un signal numérique ou un signal analogique ?
2. En utilisant le graphique ci-contre, déterminer la période du signal de départ. En déduire sa fréquence.
3. Les caractéristiques du CAN sont-elles adaptées pour obtenir un signal numérique suffisamment fidèle ?
4. Calculer la taille du fichier numérisé obtenu avec une fréquence d'échantillonnage égale à 5 kHz, en stéréo (deux voies), si la durée d'enregistrement totale est égale à 1 min.
5. Le fichier obtenu est ensuite compressé au format MP3, avec un taux de 90 %. Déterminer la taille du fichier compressé.



Seule une partie du signal est représentée.