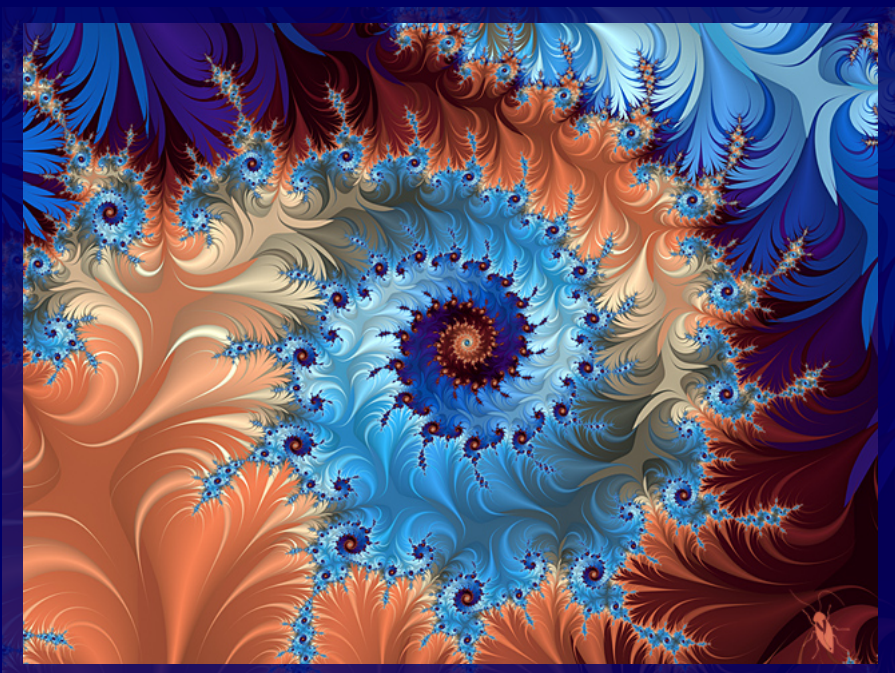


# **Enseignement scientifique**

## **Première**

**Pierre-Henry SUET**

**20 septembre 2020**



<b>I Une longue histoire de la matière</b>	<b>6</b>
<b>1 Les éléments chimiques</b>	<b>7</b>
<b>I Origine des éléments chimiques dans l'univers</b>	<b>7</b>
1 La fusion nucléaire au sein des étoiles	7
2 La fission nucléaire	8
3 La matière dans l'univers	8
<b>II Radioactivité</b>	<b>8</b>
1 Définition	8
2 Loi de décroissance radioactive	9
<b>2 Les cristaux</b>	<b>10</b>
<b>I L'état solide</b>	<b>10</b>
1 Solides amorphes	10
2 Solide cristallin	10
<b>II Le modèle du cristal parfait</b>	<b>10</b>
1 Définitions	10
a Le cristal parfait	10
b Maille	10
2 Grandeurs caractéristiques des réseaux cristallins	10
a Multiplicité	10
b Coordinence	10
c Modèle des sphères dures	10
d Compacité	11
e Masse volumique	11
<b>III Le réseau cristallin cubique simple</b>	<b>11</b>
1 Réseau/maille	11
2 Motif/cristal	11
3 Multiplicité	12
4 Coordinence	12
5 Compacité	12
a Masse volumique	12
<b>IV Le réseau cristallin cubique face centrée</b>	<b>13</b>
1 Réseau/Maille	13
2 Motif/Cristal	13
3 Multiplicité	13
4 Coordinence	13
5 Compacité	13
6 Masse volumique	14
<b>V Un exemple de cristal ionique : le chlorure de sodium</b>	<b>14</b>
1 Réseau/Maille	14
2 Motif/Cristal	14
3 Multiplicité	14
4 Coordinence	14
5 Compacité	14
6 Masse volumique	15
7 Propriétés macroscopiques des cristaux ioniques	15
<b>VI Système cristallin dans la nature</b>	<b>15</b>
<b>3 La cellule vivante</b>	<b>16</b>
<b>I Les premières observations microscopiques</b>	<b>16</b>
1 L'invention du microscope	16
2 Le principe du microscope optique	16
3 La notion de cellule	16
<b>II La théorie cellulaire</b>	<b>16</b>
1 Les principes de la théorie cellulaire	16
2 Une théorie controversée	17

III De l'échelle cellulaire à l'échelle moléculaire . . . . .	17
IV Construction d'un modèle, la membrane plasmique . . . . .	17
<b>II Le Soleil, notre source d'énergie</b>	<b>19</b>
<b>4 Le rayonnement solaire</b> . . . . .	<b>20</b>
I Origine de l'énergie dégagée par les étoiles . . . . .	20
II Le soleil, source d'ondes électromagnétiques . . . . .	21
III Energie solaire reçue par la Terre . . . . .	22
1 Constante solaire . . . . .	22
2 Mouvements de la Terre et inégale répartition de l'énergie . . . . .	22
3 Conséquences de l'inégale répartition de l'énergie . . . . .	22
<b>5 Le bilan radiatif terrestre</b> . . . . .	<b>23</b>
I Rayonnement solaire et albédo . . . . .	23
II L'albédo terrestre . . . . .	23
III L'effet de serre . . . . .	24
1 L'absorption de l'énergie solaire reçue . . . . .	24
2 L'émission d'un rayonnement infrarouge . . . . .	24
3 L'absorption des IR par l'atmosphère . . . . .	24
IV Bilan radiatif terrestre . . . . .	25
1 Une température équilibrée . . . . .	25
2 Un équilibre dynamique . . . . .	25
<b>6 Une conversion de l'énergie solaire : la photosynthèse</b> . . . . .	<b>26</b>
I De l'énergie pour toutes les cellules . . . . .	26
1 De l'énergie pour les cellules végétales . . . . .	26
2 De l'énergie pour les autres cellules . . . . .	26
3 Un phénomène qualitativement majeur pour les écosystèmes . . . . .	27
II La photosynthèse, un phénomène peu efficace . . . . .	27
1 Une perte d'énergie par réflexion et transmission . . . . .	27
2 Une perte d'énergie par évapotranspiration . . . . .	27
3 Une perte d'énergie liée à la photosynthèse . . . . .	27
III Une fossilisation possible de la biomasse . . . . .	27
<b>7 Bilan thermique du corps humain</b> . . . . .	<b>28</b>
I Une température corporelle stable . . . . .	28
II Métabolisme et production de chaleur . . . . .	28
1 Métabolisme cellulaire, producteur de chaleur . . . . .	28
2 Alimentation et besoin énergétique . . . . .	28
III Les pertes de chaleur . . . . .	29
1 Un corps, mais deux compartiments thermiques . . . . .	29
2 La puissance thermique du corps humain . . . . .	29
IV La régulation du bilan thermique . . . . .	30
<b>III La Terre, un astre singulier</b>	<b>31</b>
<b>8 La forme de la Terre</b> . . . . .	<b>32</b>
I La forme de la Terre . . . . .	32
II La longueur d'un méridien . . . . .	32
1 Le calcul d'Eratosthène . . . . .	32
2 La triangulation de Delambre et Méchain . . . . .	33
III Repérage sur la Terre . . . . .	34

<b>9 L'âge de la Terre</b> .....	<b>35</b>
I Les premières estimation de l'âge de la Terre .....	35
II Les chronomètre géologique : les empilements sédimentaires .....	35
III Les chronomètres thermiques : le refroidissement de la Terre .....	35
IV Le chronomètre absolu : la radioactivité .....	36
<b>10 La Terre dans l'univers</b> .....	<b>37</b>
I <b>Mouvement de la Terre autour du Soleil</b> .....	<b>37</b>
1 Du géocentrisme à l'héliocentrisme .....	37
2 Référentiel héliocentrique et géocentrique .....	38
3 Révolution de la Terre .....	39
II <b>Mouvements de la Lune autour de la Terre</b> .....	<b>39</b>
1 Révolution autour de la Terre .....	39
2 Rotation .....	39
3 Phases de la Lune .....	40
<b>IV Son et musique</b> .....	<b>41</b>
<b>11 Le son, un phénomène vibratoire</b> .....	<b>42</b>
I <b>Son pur, son composé</b> .....	<b>42</b>
1 Le son .....	42
2 Son pur, son composé .....	42
3 L'analyse spectrale .....	42
4 Niveau d'intensité sonore .....	43
II <b>Les notes produites par les instruments</b> .....	<b>43</b>
1 La vibration d'une corde .....	43
2 Cas des instruments à vent .....	44
<b>12 La musique</b> .....	<b>45</b>
I <b>Les intervalles en musique</b> .....	<b>45</b>
1 L'école pythagoricienne .....	45
2 Les intervalles consonants .....	45
II <b>Les gammes de Pythagore</b> .....	<b>45</b>
1 Construction d'une gamme avec le cycle des quintes .....	45
2 Gammes à 5, 7 et 12 notes .....	46
3 La quinte du loup .....	46
III <b>Les gammes au tempérament égal</b> .....	<b>46</b>
1 Le problème de transposition .....	46
2 La gamme tempérée à 12 notes .....	46
IV <b>Bilan</b> .....	<b>47</b>
<b>13 Le son : une information à coder</b> .....	<b>48</b>
I <b>Signaux analogiques et numériques</b> .....	<b>48</b>
II <b>Numérisation d'un signal</b> .....	<b>48</b>
III <b>Échantillonnage</b> .....	<b>49</b>
IV <b>Quantification</b> .....	<b>50</b>
V <b>Estimation de la taille d'un fichier audio</b> .....	<b>52</b>
VI <b>Compression d'un fichier audio</b> .....	<b>52</b>
1 Nécessité .....	52
2 Principe .....	52
3 Taux de compression .....	53
4 Exemples de formats de compression .....	53
5 Qualité d'un fichier compressé .....	53

<b>I</b>	<b>La canalisation des sons vers le tympan</b>	<b>54</b>
1	L'oreille possède trois parties distinctes	54
2	Une membrane vibrante : le tympan	54
<b>II</b>	<b>L'amplification des sons par l'oreille moyenne</b>	<b>54</b>
1	L'organisation de l'oreille moyenne	54
2	L'intervention des osselets	55
<b>III</b>	<b>La naissance des messages nerveux auditifs</b>	<b>55</b>
1	L'activation de l'oreille interne	55
2	Les cellules ciliées élaborent un message nerveux auditif	55
3	Nature et codage des messages nerveux auditifs	55
<b>IV</b>	<b>La gamme des sons audibles</b>	<b>55</b>
1	La champ auditif	55
2	Les dangers de l'exposition au bruit	56
<b>V</b>	<b>Cerveau et perception auditive</b>	<b>56</b>

## **Première partie**

# **Une longue histoire de la matière**

## Les éléments chimiques

### I Origine des éléments chimiques dans l'univers

#### 1 La fusion nucléaire au sein des étoiles

Il y a 13,8 milliards d'années, juste après le Big Bang, l'Univers était principalement constitué de noyaux d'hydrogène, de numéro atomique  $Z = 1$ . L'hydrogène est le plus léger des éléments puisqu'il est constitué d'un seul proton.

##### Définition

On appelle la nucléosynthèse, la première étape de la formation des noyaux atomiques de plus en plus lourds à partir des noyaux d'hydrogène.

La formation des noyaux à partir de noyaux plus légers peut être réalisée par des réactions de fusion.

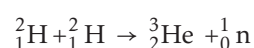
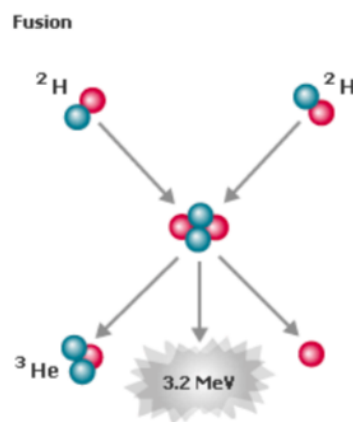
##### Définition

Lors d'une fusion, deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus lourd. Une grande quantité d'énergie est alors libérée.

La plupart des noyaux d'atomes sont stables. Ils le doivent à l'interaction forte entre nucléons qui l'emporte sur la répulsion électrostatique entre protons (de même charge positive). Néanmoins, au cœur des étoiles, la forte densité et la température extrême permettent à des noyaux légers de fusionner. Les éléments les plus lourds sont produits dans les derniers stades de la vie des étoiles. Des fusions successives conduisent d'abord jusqu'au fer, l'élément le plus stable du tableau périodique, puis dans la phase ultime de la vie de l'étoile, seront formés les éléments plus lourds que le fer.

La fusion de deux noyaux peut s'accompagner de l'éjection d'une ou plusieurs particules (neutron, proton...)

Exemple :



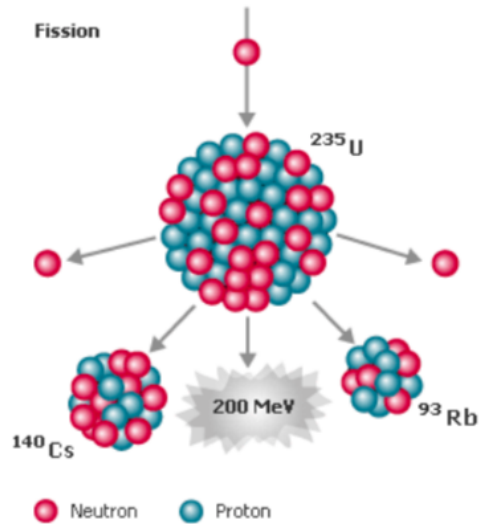
## 2 La fission nucléaire

Il s'agit d'un autre type de transformation nucléaire utilisée en particulier dans les centrales nucléaires.

### Définition

Lors d'une fission nucléaire, un noyau lourd se scinde en deux noyaux plus légers.

Exemple :



## 3 La matière dans l'univers

Représentant plus de 90 % des atomes de la matière connue, soit presque les 3/4 de sa masse, l'hydrogène est le plus abondant de l'Univers. Il est suivi par l'hélium. Très loin ensuite viennent l'oxygène, le carbone, l'azote...

### Propriété

Dans l'Univers, les éléments chimiques hydrogène et hélium sont prédominants. La Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium et de magnésium. Les êtres vivants sont constitués de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote qui sont les éléments indispensables à la vie.

## II Radioactivité

### 1 Définition

Un excès de protons par rapport aux neutrons, ou l'inverse, ou encore trop de nucléons, rendent certains noyaux d'atomes instables. Ces noyaux instables vont alors se transformer spontanément en d'autres noyaux. Ils se désintègrent en émettant des rayonnements sous forme de particules chargées et/ou d'ondes électromagnétiques.

### Définition

La radioactivité est la désintégration spontanée d'un noyau instable (noyau père) en un autre noyau plus stable (noyau fils).

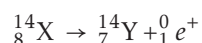
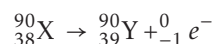
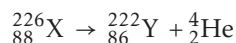
La radioactivité a été découverte par Pierre et Marie Curie. Ils ont reçu le prix Nobel de physique en 1903.



## Propriété

Au cours d'une réaction nucléaire, il y a conservation globale des numéros atomiques et des nombres de masse.

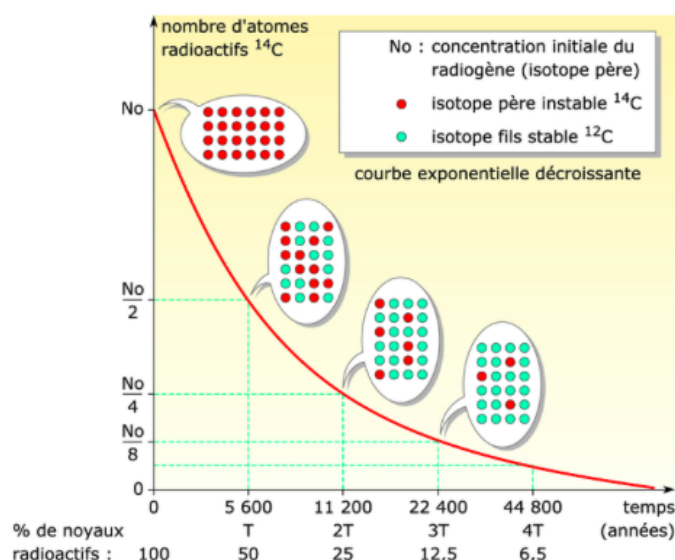
Exemples de réactions nucléaires de radioactivité :



## 2 Loi de décroissance radioactive

La désintégration d'un noyau instable étant spontanée, on ne peut raisonner qu'en termes de probabilité. On ne sait pas à quel instant un noyau va se désintégrer mais on connaît la loi de probabilité avec laquelle un échantillon de noyaux radioactifs se désintègre. La courbe de décroissance des noyaux radioactifs a une allure d'exponentielle décroissante.

Exemple : décroissance radioactive du carbone 14



## Définition

La demi-vie (notée  $t_{1/2}$ ) est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux instables d'un échantillon radioactif s'est désintégrée, ou encore l'activité initiale a été divisée par deux.

Exemple : D'après le graphique, la demi-vie du carbone 14 est de 5600 ans.

## Les cristaux

### I L'état solide

L'état solide correspond à un état condensé de la matière obtenue par solidification d'un liquide ou par condensation d'un gaz.

On définit la phase solide par sa propriété de posséder une forme propre. La phase solide est dense et quasiment incompressible.

Ordre de grandeur : Masse volumique d'un solide :  $\rho_{sol} \sim 1 \text{ kg.L}^{-1}$ .

Deux types de solides selon leur organisation : les solides amorphes et les solides cristallins selon l'organisation des entités qui les composent.

#### 1 Solides amorphes

Les solides amorphes, tels les verres, ne présentent pas d'ordre à grande distance. Les entités ne respectent aucun ordre, elles sont desordonnées.

#### 2 Solide cristallin

Un solide cristallin ou cristal est un arrangement spatial périodique d'atomes ou de groupes d'atomes. Un cristal présente donc un ordre à grande distance. Il existe les solides ioniques comme le chlorure de sodium solide, les solides covalents composés d'atomes et les solides moléculaires composés de molécules.

### II Le modèle du cristal parfait

#### 1 Définitions

##### a Le cristal parfait

On appelle cristal parfait, un cristal d'extension spatiale infinie et parfaitement périodique.

Un cristal réel contient un nombre très grand mais fini d'atomes. Il n'est pas parfaitement périodique car il présente des défauts comme des lacunes ou des dislocations.

##### b Maille

La maille d'un réseau est un élément de volume fermé qui engendre le réseau par translation.

#### 2 Grandeurs caractéristiques des réseaux cristallins

##### a Multiplicité

La multiplicité c'est-à-dire le nombre de motifs par maille.

##### b Coordinence

La coordinence A/B d'un cristal est le nombre d'atomes B plus proches voisins de l'atome A.

##### c Modèle des sphères dures

Les atomes de la maille sont assimilés à des sphères dures (pas d'interpénétration). Les atomes plus proches voisins sont supposés tangents.

## d Compacité

On appelle compacité  $c$  d'un cristal le volume relatif occupé par les atomes du motif dans la maille.

$$c = \frac{Z \times V_{\text{motif}}}{V_{\text{maille}}}$$

## e Masse volumique

La masse volumique  $\rho$  du cristal est définie par :

$$\rho = \frac{Z \times m_{\text{motif}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{Z \times M}{N_A \times a^3}$$

où

$Z$  = multiplicité

$m_{\text{motif}}$  = masse d'un motif

$V_{\text{maille}}$  = volume d'une maille

$M$  = masse molaire atomique de l'entité

$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  le nombre d'Avogadro

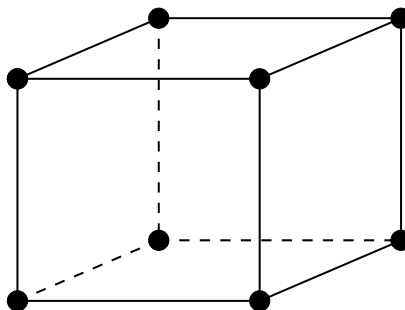
## III Le réseau cristallin cubique simple

Sur l'exemple de ce réseau, nous définissons les notions relatives à un cristal (coordination, compacité, masse volumique...).

On prend l'exemple du polonium qui est le seul élément cristallisant suivant le réseau cubique simple.

### 1 Réseau/maille

Maille cubique simple (c.s.). Le paramètre de maille  $a$  correspond à longueur de l'arête de la maille cubique.



### 2 Motif/cristal

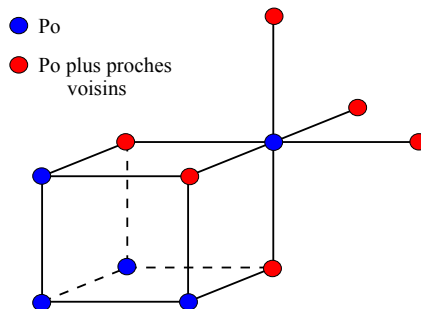
Le motif est un atome de Polonium. Par simplicité, on choisit l'origine du réseau de façon à ce que chaque nœud coïncide avec le centre d'un atome de Polonium.

### 3 Multiplicité

La multiplicité c'est-à-dire le nombre de motifs par maille vaut  $Z = 1$ .

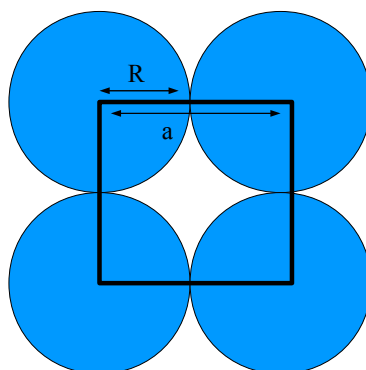
### 4 Coordination

La coordination A/B d'un cristal est le nombre d'atomes B plus proches voisins de l'atome A. Pour le polonium la coordination Po/Po vaut 6.



### 5 Compacité

Compacité du polonium :



On se place dans le cadre du modèle des sphères dures tangentes .

$$V_{maille} = a^3 \text{ et } V_{motif} = \frac{4}{3}\pi R^3$$

Tangence des plus proches voisins :  $a = 2R$  d'où

$$c = \frac{1}{8R^3} \times \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{\pi}{6} \approx 0,52$$

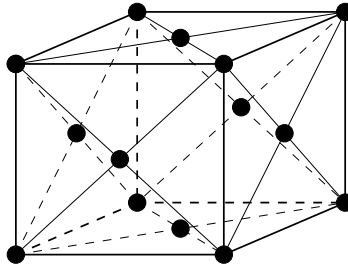
#### a Masse volumique

Dans le cas du polonium, on a  $Z = 1$ ,  $M = 209 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $a = 335,8 \text{ pm}$ , on trouve  $\rho \approx 9,17 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

## IV Le réseau cristallin cubique face centrée

### 1 Réseau/Maille

Maille conventionnelle. Paramètre de maille  $a$ , arête du cube.



### 2 Motif/Cristal

Motif : 1 atome métallique centré sur chaque noeud. Exemple : fer  $\gamma$ .

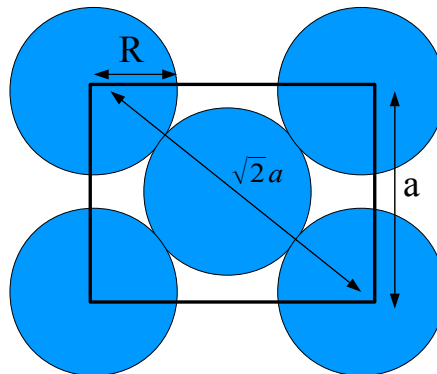
### 3 Multiplicité

La multiplicité vaut  $Z = 4$ .

### 4 Coordinence

La coordinence vaut 12.

### 5 Compacité



Volume de la maille :

$$V_{maille} = a^3$$

Volume du motif :

$$V_{motif} = \frac{4}{3}\pi R^3$$

La tangence des atomes plus proches voisins impose :

$$4R = a\sqrt{2}$$

D'où la compacité :

$$c = 4 \times \frac{4}{3}\pi R^3 \times \frac{1}{16\sqrt{2}R^3} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0,74$$

C'est la compacité maximale d'un réseau.

## 6 Masse volumique

Avec  $M_{Fe} = 55,9 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $a = 364,8 \text{ pm}$  :

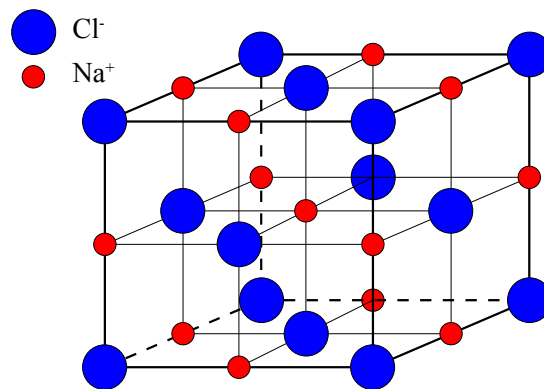
$$\rho_{Fe} = Z \frac{M_{Fe}}{N_a a^3} \approx 7,68.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

## V Un exemple de cristal ionique : le chlorure de sodium

Un cristal ionique est un assemblage électriquement neutre de cations et d'anions. La liaison ionique résulte de l'interaction électrostatique attractive entre les cations et les anions du cristal.

### 1 Réseau/Maille

Réseau cubique faces centrées.



### 2 Motif/Cristal

Motif : Cl<sup>-</sup> aux noeuds, Na<sup>+</sup> aux sites octaédriques.

### 3 Multiplicité

Il y a autant d'ions Cl<sup>-</sup> que d'ions Na<sup>+</sup>. La multiplicité  $Z$  est de 4 ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> par maille.

### 4 Coordination

Ions Na<sup>+</sup> : 6 voisins Cl<sup>-</sup> à  $a/2$

Ions Cl<sup>-</sup> : 6 voisins Na<sup>+</sup> à  $a/2$

La coordination est donc (6;6).

### 5 Compacité

Par définition :

$$c = \frac{Z_{Cl^-} \times V_{Cl^-} + Z_{Na^+} \times V_{Na^+}}{a^3} = \frac{Z_{Cl^-} \times \frac{4}{3}\pi(r^-)^3 + Z_{Na^+} \times \frac{4}{3}\pi(r^+)^3}{a^3}$$

avec  $Z_{Cl^-} = Z_{Na^+} = 4$ ,  $r^- = 181 \text{ pm}$ ,  $r^+ = 97 \text{ pm}$  et  $a = 556 \text{ pm}$ . On trouve  $c \approx 0,68$ .

## 6 Masse volumique

$$\rho = \frac{Z_{Cl^-} \times M_{Cl^-} + Z_{Na^+} \times M_{Na^+}}{N_a a^3}$$

Avec  $M(Na) = 23,0 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $M(Cl) = 35,5 \text{ g.mol}^{-1}$ , il vient  $\rho_{NaCl} \approx 2,3 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

## 7 Propriétés macroscopiques des cristaux ioniques

La liaison ionique est forte et non directionnelle.

Energie de la liaison ionique :  $E_0 \sim 100 - 600 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

La force de la liaison ionique explique :

- la température de fusion élevée de la plupart des cristaux ioniques :  $T_{fus} \sim 500 \text{ K} - 1000 \text{ K}$ ,
- la dureté des cristaux ioniques.

La nature de la liaison ionique explique : la solubilité des cristaux ionique dans un solvant polaire (typiquement dans l'eau).

## VI Système cristallin dans la nature

Les roches sont des solides composés d'un assemblage de minéraux plus ou moins cristallisés.

Dans le cas des roches magmatiques, par exemple, la proportion de minéraux cristallisés dépend de la vitesse de refroidissement. Dans le cas d'un refroidissement lent en profondeur, les cristaux sont bien formés. Au contraire, dans le cas d'un refroidissement rapide de la lave, les espèces chimiques présentes n'ont pas le temps de s'organiser. On obtient un solide amorphe, c'est le cas du verre. Cristalliser dans des structures différentes confère des propriétés macroscopiques différentes.

Des structures cristallines existent aussi dans les systèmes biologiques comme les coquilles, les squelettes, ou encore les calculs rénaux.

## La cellule vivante

### I Les premières observations microscopiques

#### 1 L'invention du microscope

Il aura fallu presque deux siècles pour inventer le microscope à partir de nombreux essais différents. On considère que Van Leeuwenhoek est le premier à observer des cellules, à l'aide d'un appareil suffisamment performant, sans toutefois les nommer. En les décrivant en 1673, il est devenu le précurseur de la biologie cellulaire et de la microbiologie.

C'est à partir du XXe siècle que la qualité des lentilles et de l'éclairage permettent d'augmenter la résolution des microscopes au delà de celui de Van Leeuwenhoek. Les microscopes optiques courants permettent d'avoir un grossissement maximal  $\times 1000$ .

#### 2 Le principe du microscope optique

Le microscope optique utilise comme source d'éclairage un faisceau de photons.

##### Propriété

Le grossissement est obtenu par l'utilisation de plusieurs lentilles convergents, disposées dans l'objectif et l'oculaire. Leur pouvoir grossissant se multiplie, ce qui permet d'accéder à l'échelle cellulaire de l'organisation du vivant.

#### 3 La notion de cellule

En 1667, Hooke nomme "cellule" les cavités qu'il observe dans un morceau de liège à l'aide d'un microscope de sa fabrication. Toutefois, le liège étant un tissu mort, les éléments qu'il observe sont en fait les parois d'anciennes cellules. Le faible grossissement de son microscope ( $\times 10$ ) ne lui a pas permis d'être aussi précis que Van Leeuwenhoek dans la description des micro-organismes.

### II La théorie cellulaire

#### 1 Les principes de la théorie cellulaire

Le microscope optique a permis l'observation de cellules chez de nombreux organismes différents et l'émergence de la théorie cellulaire.

Elle repose sur deux principes fondamentaux émis au XIXe siècle, que l'on peut aujourd'hui résumer ainsi :

- la cellule est l'unité structurale du vivant. le fonctionnement des êtres vivants dépend du fonctionnement de leurs cellules, la cellule est donc aussi l'unité fonctionnelle du vivant ;
- toute cellule provient de la division d'une cellule préexistante

##### Propriété

Tous les êtres vivants (animaux, végétaux, champignons, bactéries, etc.) sont constitués de cellules. Une cellule mère, en se divisant, donne naissance à deux cellules filles.



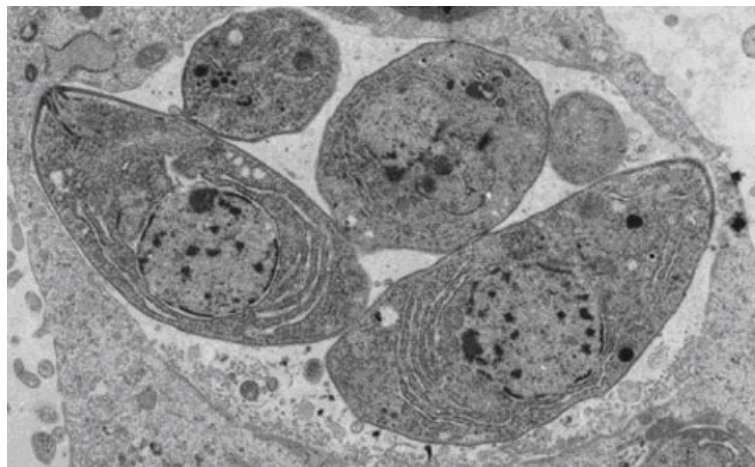
## 2 Une théorie controversée

AU XIX<sup>e</sup> siècle, de nombreux scientifiques et philosophes s'opposent à la théorie cellulaire en niant l'existence des cellules. Leur argumentation repose sur la théorie de la génération spontanée selon laquelle de la matière inerte peut donner naissance à un être vivant, mais aussi sur la négation de l'efficacité du microscope en tant qu'outil scientifique.

L'amélioration des microscopes, dont la résolution passe progressivement de 10  $\mu\text{m}$  à 0,25  $\mu\text{m}$ , et les résultats expérimentaux de Pasteur mettront fin à cette polémique. La théorie cellulaire est alors admise par la communauté scientifique depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

### III De l'échelle cellulaire à l'échelle moléculaire

Le **microscope électronique** utilise un faisceau d'électrons concentré par des lentilles électromagnétiques, ce qui permet de passer d'un grossissement de  $\times 1000$  (pour le microscope optique) à  $\times 1\,000\,000$  et d'accéder ainsi à l'échelle moléculaire.



Le **MET** (microscope électronique à transmission) permet des observations jusqu'à une résolution nanométrique. Il est idéal pour observer des coupes fines qui révèlent les structures internes des organites cellulaires, ainsi que les macromolécules.

Le **MEB** (microscope électronique à balayage) possède une résolution plus faible mais permet d'obtenir des images détaillées de la surface des objets, en trois dimensions.

Contrairement au microscope optique, le microscope électronique ne permet pas d'observer des cellules vivantes et fournit des images en noir et blanc, colorisée par la suite.

#### Propriété

Par l'observation de certaines grosses molécules comme les protéines ou l'ADN, le microscope électronique est devenu l'outil incontournable permettant de comprendre l'organisation du vivant à une échelle inférieure à celle de la cellule.

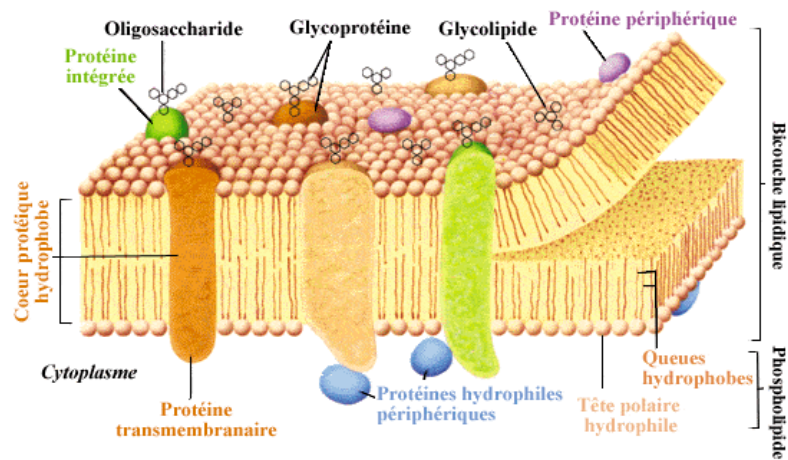
### IV Construction d'un modèle, la membrane plasmique

La membrane plasmique est une structure fondamentale de toute cellule. Elle délimite un volume dans lequel se concentrent les molécules et les organites indispensables au fonctionnement cellulaire. Si elle est percée ou déchirée, cela entraîne la mort de la cellule. Cependant, la membrane plasmique n'est pas une barrière étanche : certains échanges entre le cytoplasme et l'extérieur sont possibles.

Si son organisation moléculaire a pu être approchée par différents résultats expérimentaux, ce sont bien des observations directes au microscope électronique qui ont permis d'en confirmer la structure.

## Définition

La membrane plasmique est constituée d'une double couche lipidique parsemée de nombreuses protéines. Elle comporte aussi des glucides liés aux protéines ou aux lipides. On parle de structure en mosaïque.



Les propriétés hydrophiles et hydrophobes des phospholipides sont à l'origine de cette bicouche qui sépare les milieux intra et extracellulaires, principalement constitués d'eau. De même, les parties hydrophobes des protéines peuvent être incluses dans la bicouche lipidique, tandis que leurs parties hydrophiles sont davantage localisées vers les faces extra et intracellulaires de la membrane.

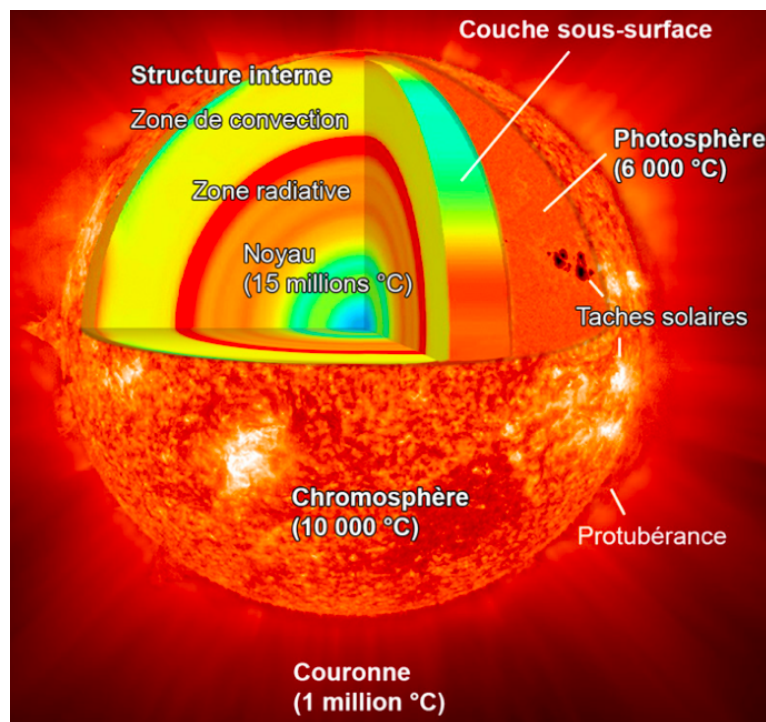
## **Deuxième partie**

# **Le Soleil, notre source d'énergie**

## Le rayonnement solaire

### I Origine de l'énergie dégagée par les étoiles

Le Soleil est le siège de réactions de fusion nucléaire qui consomme deux noyaux d'hydrogène pour produire un noyau d'hélium. Cette réaction s'accompagne de la libération d'une très grande quantité d'énergie. Elle permet au Soleil de conserver des températures très élevées.



Ainsi, la température à la surface du Soleil peut atteindre 5700 °C mais elle peut atteindre plusieurs millions de degrés au centre de l'étoile ou dans les couches les plus hautes de la couronne solaire. Pour des étoiles de faible masse comme le Soleil, l'ensemble des réactions de fusion se déroule dans le noyau de l'étoile.

Pour calculer, l'énergie libérée lors d'une fusion thermonucléaire, on utilise la relation :

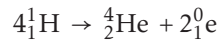
$$E = |\Delta m|c^2$$

Énergie (J) →

→ Célérité de la lumière (m.s<sup>-1</sup>)

→ Perte de masse (kg)

Lors de la réaction de fusion nucléaire dans le Soleil, il y a émission positons et de rayonnement gamma.



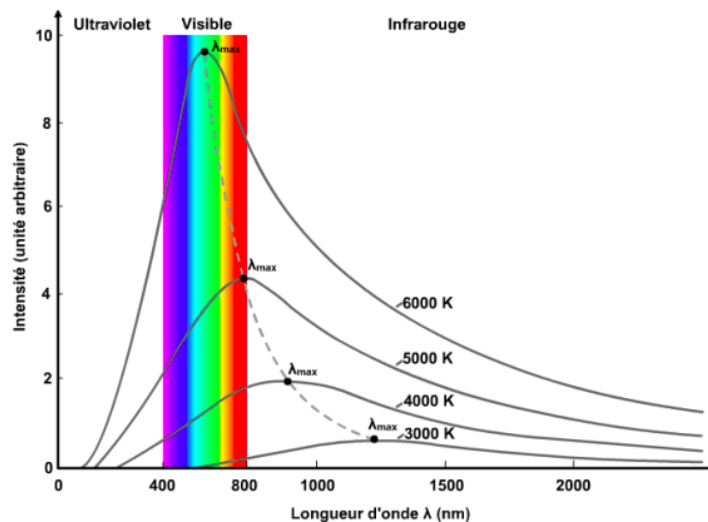
L'énergie  $E$  libérée par cette réaction est :

$$E = [4 \times m_H - (m_{He} + 2 \times m_{positon})] \times c^2$$

L'énergie libérée par les réactions de fusion nucléaire s'accompagne donc d'une diminution de la masse du Soleil au cours du temps.

## II Le soleil, source d'ondes électromagnétiques

Le Soleil émet des rayonnements sur la totalité du spectre électromagnétique. Les rayonnements sont étudiés à partir de spectres représentant l'énergie rayonnée par le Soleil en fonction de la longueur d'onde.



L'analyse de ces profils spectraux est réalisée dans le cadre du modèle du corps noir qui indique que l'allure des spectres ne dépend que la température.

### Propriété

Dans le cadre du modèle du corps noir, le spectre du rayonnement émis par le Soleil dépend uniquement de la valeur de la température à sa surface.

Tous les spectres présentent un maximum d'énergie rayonnée pour une certaine valeur  $\lambda_{max}$  de la longueur d'onde. A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le physicien allemand Wilhelm Wien montra la relation suivante.

$$\lambda_{max} \times T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ K.m}$$

### Propriété

Dans le cadre du modèle du corps noir, la température de la surface du Soleil est inversement proportionnelle à la longueur d'onde d'émission maximale  $\lambda_{max}$ .

## III Energie solaire reçue par la Terre

### 1 Constante solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre est évaluée par la constante solaire. La constante solaire est la puissance que reçoit une surface plane de la Terre perpendiculaire aux rayons du Soleil et de la surface de  $1 \text{ m}^2$ . Elle s'exprime en watt par mètre carré ( $\text{W.m}^{-2}$ ) et vaut

$$\text{constante solaire} = 342 \text{ W.m}^{-2}$$

#### Propriété

Pour une surface plane perpendiculaire aux rayons du Soleil, la puissance solaire reçue est proportionnelle à l'aire de la surface.

### 2 Mouvements de la Terre et inégale répartition de l'énergie

La Terre est animée de deux mouvements appelés révolution et rotation.

- La **révolution** correspond au déplacement de la Terre autour du Soleil. Ce mouvement se fait dans un plan appelé plan de l'écliptique.
- La **rotation** de la Terre sur elle-même se fait autour d'un axe qui joindrait les pôles Nord et Sud. Cet axe est incliné par rapport au plan de l'écliptique.

Ces deux mouvements modifient l'angle avec lequel le rayonnement solaire atteint la surface de la Terre et donc la quantité d'énergie qu'elle reçoit.

#### Propriété

La puissance reçue du Soleil dépend de l'angle entre la normale à la surface et la direction du Soleil.

Cette configuration explique les variations de température, de saisons et de climat que l'on observe sur Terre.

### 3 Conséquences de l'inégale répartition de l'énergie

#### Propriété

La puissance reçue du Soleil par unité de surface dépend du moment de la journée, du jour de l'année (saisons) et de l'emplacement sur Terre (latitude).

## Le bilan radiatif terrestre

### I Rayonnement solaire et albédo

Comme tous les objets du système solaire, la Terre ne reçoit qu'une infime fraction de la puissance solaire totale.

#### Propriété

La puissance solaire totale reçue par un astre dépend essentiellement de deux paramètres : son rayon, et la distance entre le Soleil et l'objet éclairé. Plus son rayon est grand, et plus la puissance solaire reçue est élevée. Plus la distance entre le Soleil et l'astre est grande, et plus la puissance solaire reçue par unité de surface est faible.

La puissance solaire moyenne reçue par la Terre en 24 heures, au sommet de son atmosphère, (appelée aussi constante solaire) est d'environ  $342 \text{ W.m}^{-2}$ .

La proportion de la puissance totale, émise par le Soleil et atteignant la Terre, dépend de son rayon et sa distance au Soleil.

$$\text{Puissance au niveau par la Terre} = \text{Constante solaire terrestre} \times \pi R^2$$

### II L'albédo terrestre

Lorsque la lumière solaire pénètre dans l'atmosphère, elle est renvoyée dans différentes directions par ses constituants : c'est le phénomène de diffusion. Une partie de l'énergie solaire reçue repart en direction de l'espace.

La lumière qui atteint la surface subit également une réflexion. La proportion d'énergie lumineuse qui est réfléchie est caractérisée par l'**albédo**. Celui-ci varie de 0 à 1, et est d'autant plus élevé que la surface est réfléchissante.

$$\text{Albédo} = \frac{\text{Rayonnement réfléchi}}{\text{Rayonnement incident}}$$

En tenant compte de la proportion de chaque type de surface et de leurs albedos, on calcule que l'albédo moyen de la Terre est d'environ 30 %.

### Propriété

La terre réfléchit vers l'espace 30 % de la puissance solaire qu'elle reçoit.

## III L'effet de serre

### 1 L'absorption de l'énergie solaire reçue

Certains gaz de l'atmosphère absorbent directement le rayonnement solaire incident sur certaines plages de longueurs d'onde. Ces gaz absorbent environ 20 % de l'énergie solaire, soit une puissance de  $70 \text{ W.m}^{-2}$ .

### Propriété

En tenant compte de l'albedo terrestre, on estime que la moitié seulement de la puissance solaire reçue au sommet de l'atmosphère est absorbée par la surface des océans et des continents.

### 2 L'émission d'un rayonnement infrarouge

L'absorption de l'énergie solaire par l'atmosphère et par la surface de la Terre provoque une augmentation de leur température.

### Propriété

L'échauffement de la surface terrestre se traduit par l'émission d'un rayonnement thermique, majoritairement infrarouge (IR). Le maximum d'émission se situe pour des longueurs d'onde proches de  $10 \mu\text{m}$ .

Plus la température est élevée, plus l'intensité du rayonnement IR est importante. Cette dissipation d'énergie par rayonnement limite ainsi l'élévation de la température terrestre.

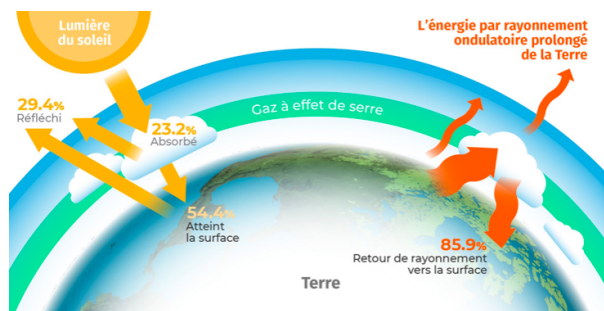
### 3 L'absorption des IR par l'atmosphère

### Propriété

L'atmosphère terrestre piège une fraction du rayonnement IR par la Terre. Ce mécanisme naturel provoque une augmentation de la température de l'atmosphère : c'est l'effet de serre.

Cet échauffement provoque de nouveau l'émission d'un rayonnement IR vers l'espace et vers la surface. Le même processus se répète avec des intensités moindres jusqu'à ce que l'ensemble de l'énergie initialement absorbée soit renvoyée vers l'espace.

Les principaux gaz à effet de serre (GES) sont la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, respectivement responsables de 50 % et 20 % de l'effet de serre. Sans effet de serre, l'eau sera présente sur Terre qu'à l'état de glace, ce qui serait incompatible avec la présence d'êtres vivants.





## IV Bilan radiatif terrestre

### 1 Une température équilibrée

On dresse le bilan radiatif terrestre en faisant la différence entre l'énergie reçue par la Terre (depuis l'atmosphère et le Soleil) et l'énergie réémise. Cette différence, sur une courte période de temps, est nulle : le bilan est à l'équilibre, ce qui signifie que la température moyenne est constante.

### 2 Un équilibre dynamique

Une variation de l'activité solaire, une modification de l'intensité de l'effet de serre ou encore un changement d'albédo impactent le bilan radiatif terrestre, et peuvent donc conduire à une variation de la température moyenne.

#### Propriété

Le bilan radiatif terrestre est en équilibre dynamique, susceptible de varier.

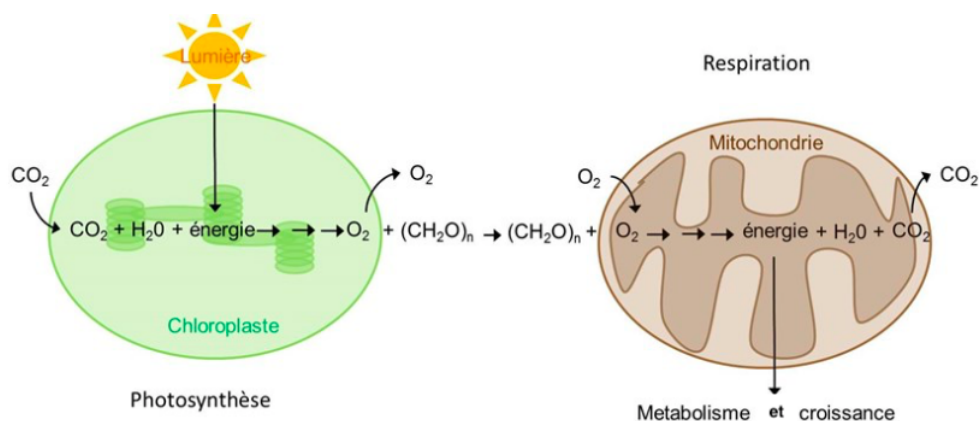
## Une conversion de l'énergie solaire : la photosynthèse

### I De l'énergie pour toutes les cellules

#### 1 De l'énergie pour les cellules végétales

A partir du  $\text{CO}_2$ , d'eau et d'ions minéraux, la cellule végétale chlorophyllienne est capable de fabriquer l'ensemble des molécules organiques (glucides, lipides, acides nucléiques) dont elle a besoin pour vivre. C'est la **photosynthèse**.

En présence de dioxygène  $\text{O}_2$ , une partie du glucose produit est consommé par mes mitochondries. Cela permet la fabrication d'ATP, source d'énergie pour l'ensemble des réactions cellulaires. Ce processus est la **respiration**.



Les cellules chlorophylliennes sont également capable d'exporter les molécules organiques produites vers les cellules non chlorophylliennes de la plante, leur permettant de respirer, de se multiplier et de mettre en réserve une partie de ces molécules.

#### 2 De l'énergie pour les autres cellules

Chaque année, les organismes photosynthétiques produisent plus de 800 milliards de tonnes de matière organique.

Cette masse de matière organique végétale est appelée **biomasse**.

##### Définition

On appelle **productivité primaire brute (PPB)** la production de biomasse végétale par unité de surface et par unité de temps.

Environ 80 % de la PPB est consommée par respiration pour assurer le fonctionnement des cellules végétales. Les 20 % restant correspondent à la **productivité primaire nette (PPN)**, disponible pour le reste de la biosphère.

### 3 Un phénomène qualitativement majeur pour les écosystèmes

L'énergie contenue dans la biomasse végétale produite annuellement représente moins de 0,1 % de l'énergie solaire reçue par la planète. Pourtant, les organismes chlorophylliens sont à la base de presque toutes les chaînes alimentaires. On estime ainsi que la moitié de la PPN (donc 10 % de la PPB) permet d'alimenter l'ensemble des organismes non chlorophylliens au sein des réseaux trophiques. L'autre moitié (10 % de la PPB) correspond à la matière décomposée par respiration et fermentation grâce aux champignons et bactéries. ces flux de matière et d'énergie peuvent être représentés sous la forme de pyramides écologiques.

## II La photosynthèse, un phénomène peu efficace

### 1 Une perte d'énergie par réflexion et transmission

Une feuille chlorophyllienne réfléchit une partie de la lumière qu'elle reçoit. Une autre partie de la lumière est également transmise du fait de sa finesse (0,2 mm d'épaisseur pour une feuille de haricot par exemple). Ainsi, les feuilles n'absorbent en moyenne qu'environ deux tiers de la lumière reçue.

### 2 Une perte d'énergie par évapotranspiration

La lumière absorbée par la feuille augmente sa température, ce qui provoque une évaporation de l'eau qu'elle contient. Ce phénomène est appelé évapotranspiration. On estime que la moitié de l'énergie reçue par la feuille est ainsi perdue sous forme de chaleur et de vaporisation de l'eau.

### 3 Une perte d'énergie liée à la photosynthèse

L'étude du spectre d'absorption de la chlorophylle montre que les radiations majoritaires absorbées sont le bleu et le rouge.

La comparaison du spectre d'absorption avec le spectre d'action suggère que la chlorophylle est un pigment photosynthétique puisque la photosynthèse utilise essentiellement les radiations bleu et rouge.

La molécule de glucose produite par la photosynthèse contient 20 fois moins d'énergie que ce qui a été absorbé par la chlorophylle. Le reste de l'énergie est dissipé sous forme de chaleur lors de la photosynthèse.

#### Définition

On estime que 1 % seulement de l'énergie reçue par la feuille est converti en énergie chimique dans le chloroplaste sous forme de glucose.

## III Une fossilisation possible de la biomasse

Des circonstances exceptionnelles (régions à forte productivité primaire, sédimentation rapide, milieu pauvre en oxygène) peuvent permettre à une fraction de la biomasse produite d'échapper à la décomposition.

Lorsque de grandes quantités de débris végétaux sont ensevelies rapidement sous une importante quantité de sédiments, l'absence de dioxygène empêche l'action des décomposeurs et la matière organique s'accumule. A l'échelle des temps géologiques, les sédiments se superposent et la matière organique piégée s'enfonce et subit une augmentation de pression et de température.

Des bactéries anaérobies (capables de vivre sans dioxygène) transforment cette biomasse en kérogène, résidu solide riche en carbone et hydrogène mais appauvri en azote et dioxygène.

Le kérogène est à l'origine de la formation de **combustibles fossiles** : le charbon (surtout en milieu continental), le pétrole et le gaz naturel (surtout en mer).

#### Définition

On estime que moins de 1% de la biomasse produite chaque année est transformée en kérogène. Ce processus, très lent, est à l'origine de combustibles non renouvelables qui couvrent actuellement, à l'échelle mondiale, environ 80 % de nos besoins énergétiques.

## Bilan thermique du corps humain

### I Une température corporelle stable

La température de notre environnement est en général inférieure à celle de notre corps (environ 37 °C). Un flux thermique s'installe donc de notre corps vers notre environnement, qui devrait conduire à une baisse de notre température corporelle. Il n'en est rien, notre température reste à peu près stable ;

#### Propriété

Les quantités de chaleur perdues par le corps humain sont donc compensées par la production d'une quantité équivalente de chaleur dans le corps. A l'échelle d'une journée, le bilan thermique du corps humain est équilibré.

A une échelle de temps plus courte, on peut constater que la température du corps varie légèrement en fonction de l'activité.

### II Métabolisme et production de chaleur

#### 1 Métabolisme cellulaire, producteur de chaleur

L'énergie thermique du corps provient majoritairement de la conversion de l'énergie chimique des aliments consommés. La digestion transforme les aliments en nutriments absorbables par l'intestin grêle.

Lors de la respiration cellulaire, environ 40 % de l'énergie contenue dans les nutriments est convertie en énergie chimique sous forme d'ATP (adénosine triphosphate). Le reste (environ 60 %) est converti en chaleur. De plus, lorsque l'énergie contenue dans l'ATP est utilisée pour permettre une activité cellulaire, la moitié de son énergie est de nouveau dissipée sous forme de chaleur.

#### Propriété

Plus de 80 % de l'énergie contenue dans nos aliments est à l'origine de notre chaleur interne. Même au repos, l'organisme assure un métabolisme basal à l'origine d'une production minimale de chaleur.

#### 2 Alimentation et besoin énergétique

Manger permet d'apporter le "carburant" énergétique pour que le corps humain fonctionne et maintienne son bilan thermique équilibré. Si l'organisme pratique une activité physique régulière et importante, les besoins énergétiques augmentent. Les apports alimentaires doivent donc eux aussi augmenter pour garantir le bon fonctionnement du corps.

#### Propriété

L'alimentation doit être adaptée qualitativement et quantitativement pour répondre à l'ensemble des besoins et assurer un bilan thermique équilibré.

## III Les pertes de chaleur

### 1 Un corps, mais deux compartiments thermiques

Dans un corps au repos, les organes vitaux (comme le cerveau, le cœur, les reins, le foie et le tube digestif) constituent un compartiment central, principal lieu de la production de chaleur et dont la température est stable à 37 °C.

Le compartiment périphérique est principalement constitué de la peau et des muscles dont la température, au repos, est inférieure de quelques degrés à celle du compartiment central.

Au cours d'un effort physique, l'intense activité respiratoire de cellules musculaires provoque une importante production de chaleur. Ainsi, la température du compartiment périphérique n'est pas stable et peut varier entre 20 °C et 40 °C.

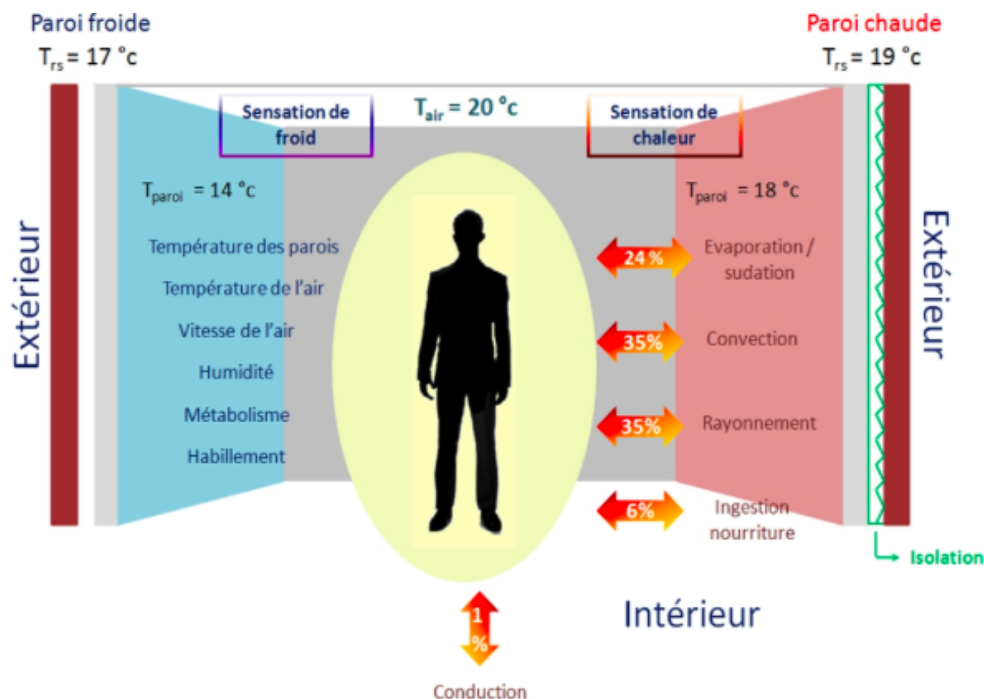
### 2 La puissance thermique du corps humain

#### Propriété

La puissance thermique, qui traduit la quantité d'énergie évacuée par le corps par unité de temps pour une personne éveillée et au repos, est d'environ 100 watts.

Les pertes de chaleur du corps humain se réalisent selon quatre mécanismes :

- la **conduction** : la chaleur se dissipe d'autant plus rapidement par contact avec une manière plus froide.
- la **convection** : la chaleur du corps humain réchauffe l'air qui l'entoure. Cet air s'élève et est remplacé par de l'air plus frais. L'effet de la convection est plus important s'il y a du vent, ce qui explique une sensation de refroidissement plus forte
- l'**évaporation** de l'eau perdue par l'air expiré et par la sudation (en cas d'activité physique ou d'environnement chaud).
- l'**émission du rayonnement infrarouge** dont la mesure permet d'évaluer la température du corps



Ces différents modes de transfert de chaleur seront plus ou moins importants selon les conditions de l'environnement (température extérieure, humidité de l'air, l'épaisseur des vêtements, activité physique, etc.)

## IV La régulation du bilan thermique

Le bilan thermique du corps est équilibré, car l'égalité entre la production et les pertes est régulée par l'organisme. En effet, tout écart par rapport à la température de référence (37 °C) est détectée par des cellules nerveuses sensibles à la température, répartis dans tout l'organisme. L'information est ensuite traitée par le cerveau qui provoque des réactions comportementales ou physiologiques qui ramènent la température moyenne à la valeur.

### Définition

L'ensemble des éléments intervenant dans cette régulation de la température est appelée système thermorégulateur.

Les principales réponses à une variation de température sont :

- des réponses comportementales (choix des vêtements, intensité de l'activité physique)
- des réponses physiologiques (variations de la circulation sanguine du comportement central vers le comportement périphérique, frissons, sudation)

Parfois ces mécanismes ne sont pas suffisants, et le bilan thermique se déséquilibre (hyper ou hypothermie). Les conséquences de ces déséquilibres peuvent être très importantes sur le fonctionnement du corps humain, et même fatales.

## **Troisième partie**

# **La Terre, un astre singulier**

## La forme de la Terre

### I La forme de la Terre

L'environnement plat à notre échelle de perception cache la forme réelle de la Terre, dont la compréhension résulte d'une longue réflexion.

Jusqu'au VI<sup>e</sup> siècle, on trouve des représentations où la Terre est considérée comme un disque ou un cylindre flottant à la surface d'un océan infini. Certains cependant se doutent que la Terre est ronde : les Anciens avaient remarqué que, lorsqu'un bateau arrive à l'horizon, on commence à voir le mât avant la proue.

C'est entre le Ve et le IV<sup>e</sup> avant notre ère que Pythagore, Platon et surtout Aristote apportent les premières preuves de la forme sphérique de la Terre :

- lors d'une éclipse de Lune, on observe la forme arrondie de l'ombre de la Terre sur la Lune
- lorsqu'on se déplace du Nord au Sud, l'aspect du ciel change : les étoiles apparaissent au-dessus de l'horizon, tandis que d'autres étoiles disparaissent sous l'horizon dans la direction opposée.

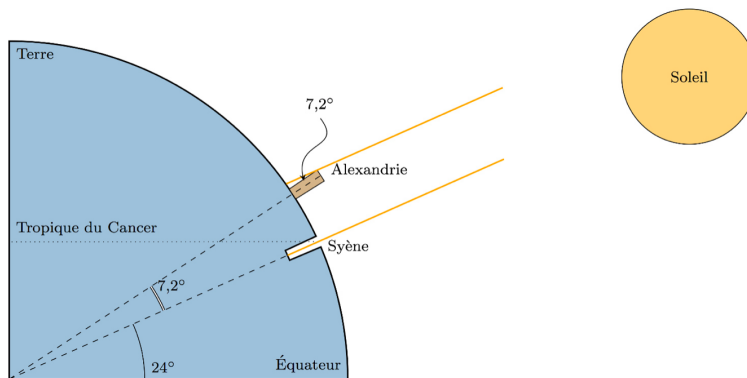
Aristote pense même qu'il n'y a qu'une seule mer de l'Afrique aux Indes. La forme sphérique de la Terre est devenue une évidence pour les savants grecs.

La forme sphérique de la Terre étant un fait acquis, des progrès sur la connaissance de la forme de la Terre ne furent accomplis qu'aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles par la découverte de l'aplatissement aux pôles. La Terre n'est pas exactement sphérique, mais a une forme ellipsoïde.

### II La longueur d'un méridien

#### 1 Le calcul d'Eratosthène

Au III<sup>e</sup> siècle avant J.C., le savant grec Eratosthène donne une estimation de la circonférence de la Terre. Il a observé qu'à midi, le jour du solstice d'été, il n'y a pas d'ombre à Syène. En revanche, à Alexandrie, à 5000 stades (environ 800 km) plus au nord, l'ombre faite par un gnomon (bâton) permet de déterminer que les rayons du Soleil font un angle de  $1/50$  d'angle plein ( $7,2^\circ$ ) par rapport à la verticale. Il considère que la Terre est ronde, que les rayons du Soleil sont parallèles (car le Soleil est infiniment loin) et que les deux villes sont sur le même méridien.





## Propriété

Partant du fait que la longueur d'un arc de cercle est proportionnelle à l'angle qui l'intercepte, Erathostène calcule alors la circonférence de la Terre. Il trouve une valeur  $C = 5000 \times 50 = 250000$  stades soit environ 40 000 km.

## 2 La triangulation de Delambre et Méchain

### Définition

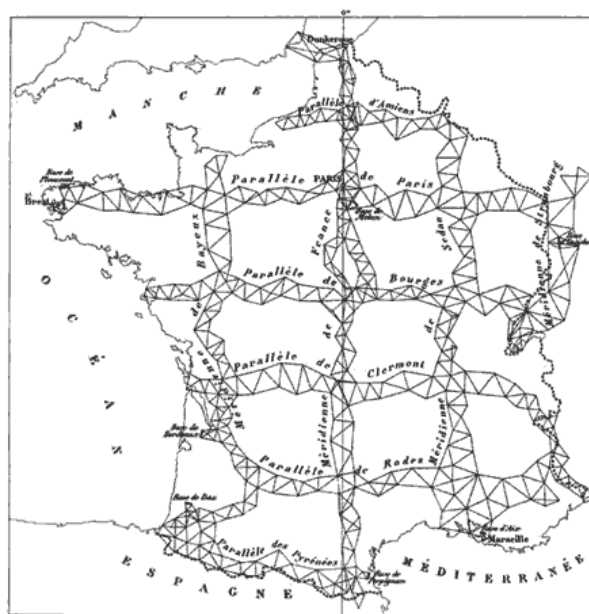
En 1791, en France, l'Académie des sciences décide que le **mètre**, nouvelle unité de longueur, serait défini comme étant égal aux dix-millionième du quart du méridien terrestre.

Trois éléments ont été déterminants pour lancer une mission devant établir la longueur du méridien : la méthode de triangulation de Snellius (1615), les progrès de la trigonométrie sphérique et la mise au point d'un instrument très précis de mesure des angles, le cercle répétiteur de Borda.

### Définition

La méthode de triangulation consiste à mesurer une seule distance (la base), puis de construire une chaîne de triangles à partir de cette base. On mesure les angles de ces triangles par visée avec le cercle de Borda, puis on en déduit les distances dans chaque triangle par une formule de trigonométrie : la loi des sinus.

TRIANGULATION GÉNÉRALE DE LA FRANCE  
Chaines méridiennes et parallèles



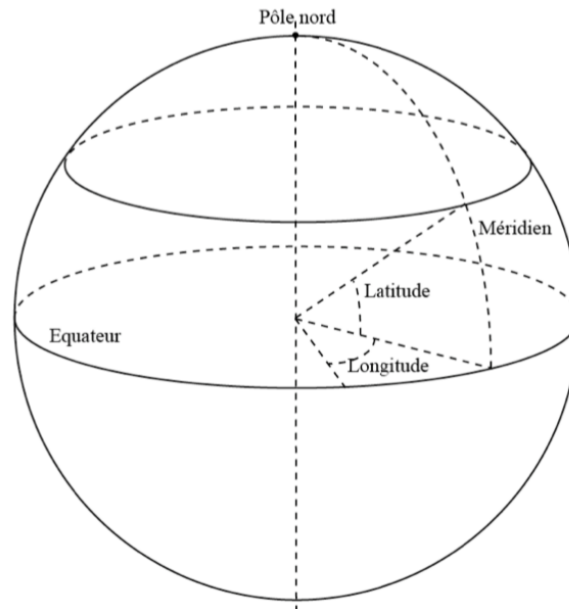
En 1791, deux scientifiques, Jean-Baptiste et Pierre Méchain sont chargés de mesurer la partie du méridien de Paris située entre Dunkerque et Barcelone : ils réalisent durant sept ans des mesures avec une chaîne de 94 triangles. Une unique mesure de longueurs sera effectuée : celle de la base situé à Melun.

## III Repérage sur la Terre

### Définition

Chaque point sur la Terre peut être repéré par deux angles :

- la **longitude**, angle mesuré à partir du méridien de Greenwich
- la **latitude**, angle mesuré à partir de l'équateur



Pour relier deux points, on peut imaginer différents trajets.

### Définition

Lorsque deux points sont sur le même méridien, la longueur du chemin qui les relie suivant ce méridien est celle de l'**arc de méridien** intercepté par un angle que l'on déduit des latitudes des deux points.

La conférence de Washington de 1884 a adopté comme méridien origine celui passant par l'Observatoire de Greenwich en Angleterre.

### Propriété

Lorsque deux points sont sur un même parallèle, la longueur du chemin qui les relie suivant ce parallèle est celle de l'arc de parallèle intercepté par un angle que l'on déduit des longitudes des points.

### Définition

Le plus court chemin entre deux points de la Terre est l'arc du **grand cercle** qui les relie.

## L'âge de la Terre

### I Les premières estimation de l'âge de la Terre

Pour les savants de l'antiquité, le monde n'est qu'une succession de recommencements. La Terre est éternelle, elle ne possède ni début ni fin.

Les premiers à vouloir déterminer l'âge de la Terre sont des savants chrétiens du IIe siècle après J.C. S'appuyant sur des généalogies décrites dans la Bible, ils trouvent que la Terre est âgée entre 3483 ans et 6984 ans. Ces calculs sont admis par tous jusqu'au 18e siècle où les progrès dans différents domaines scientifiques vont remettre en cause ces calculs.

#### Propriété

Au XIXe siècle éclate une vive polémique entre physiciens, qui estiment que la Terre a quelques dizaines de millions d'années, et les géologues qui envisagent des âges atteignant plus de 3 milliards d'années.

### II Les chronomètre géologique : les empilements sédimentaires

Depuis le XVIIIe siècle, les études sur les **empilements sédimentaires** formés par sédimentation se sont fortement développées. A partir de la succession de ces empilements, les géologues peuvent préciser les âges relatifs des couches sédimentaires. Ils peuvent affirmer que telle couche est plus ancienne ou plus récente qu'une autre.

Ce n'est qu'à partir du XVIIIe siècle, que ces empilements vont servir de chronomètre pour dater la Terre.

A partir des **vitesse de dépôts** observées dans la nature, les géologues calculent les temps nécessaires à l'édition par sédimentation de tel ou tel ensemble sédimentaire.

En parallèle, les géologues vont se servir du temps nécessaire à l'**érosion** comme chronomètre. A partir de la vitesse d'érosion observée, ils calculent les temps nécessaires à l'érosion de tel ou tel relief.

Les géologues obtiennent par les deux méthodes des temps très divers mais largement supérieurs à ce qui était admis à l'époque.

A partir de ces valeurs qui concernent tel ou tel ensemble de roches, certains géologues vont extrapoler des ordres de grandeurs de l'âge de la Terre : les valeurs vont de quelques millions d'années à plus de 2 milliards d'années.

Les défauts des deux méthodes résident principalement sur la grande diversité des processus de sédimentation et d'érosion observées dans la nature.

A cette même époque, se développe une nouvelle idée pour dater la Terre : estimer le temps nécessaire pour établir la **salinité** des océans. Le calcul ne sera fait qu'à la fin du XIXe siècle : à peu près 100 milliards d'années. L'intuition est bonne : le sel marin des océans provient bien de l'érosion de massifs continentaux. Mais il ne prend pas en compte le piégeage de ce sel au fond des océans. Le calcul est donc faussé.

### III Les chronomètres thermiques : le refroidissement de la Terre

Au XVIIIe siècle, **Buffon**, un physicien, date la formation de la Terre à partir de l'expérimentation. Il considère que lorsque la Terre s'est formée, elle était constituée de **roches en fusion**. Il se sert de boules métalliques chauffées au rouge dont il mesure le temps de refroidissement. Comme il obtient des temps de refroidissement proportionnels à la taille des boules métalliques, il extrapole à la taille de la Terre et obtient une valeur de 96700 ans nécessaire pour le **refroidissement de la Terre** depuis sa température initiale jusqu'à sa température actuelle.

Au XIXe siècle, **Kelvin**, physicien lui aussi, reprend les travaux de Buffon qu'il corrige. Il montre que le refroidissement de la Terre ne peut être uniforme comme le considère Buffon. La Terre refroidit rapidement en surface, alors qu'elle demeure chaude en profondeur. Il détermine le temps nécessaire au refroidissement de la Terre, il obtient alors une valeur de plusieurs dizaines de millions d'années.

A cette époque, les travaux de Kelvin sont acceptés par toute la société. Seul le groupe des évolutionnistes, avec à sa tête Darwin, les conteste. Il montre que les temps calculés par Kelvin ne suffisent pas pour que l'évolution biologique observée dans les empilements de roches sédimentaires puisse avoir lieu. Il faut des temps bien plus importants.

## **IV** Le chronomètre absolu : la radioactivité

En 1896, Becquerel, physicien, découvre la radioactivité. Dès 1902, Rutherford, un physicien lui aussi, établit la notion de période radioactive. Cela permet de se servir des éléments radioactifs comme chronomètre absolu des événements passés.

Pour les géophysiciens, la Terre s'est formée par agglomération de corps célestes de tailles variées. Les météorites sont les traces actuelles de cet événement passé.

La datation des météorites par radiochronologie permet de dater l'âge de la Terre. Les plus vieilles météorites sont datées de  $4,55 \times 10^9$  années : l'âge de la Terre.

### Propriété

L'âge de la Terre est de  $4,57 \times 10^9$  années. Il s'agit d'une donnée aujourd'hui bien établie, grâce à la collaboration de plusieurs disciplines.

## La Terre dans l'univers

### I Mouvement de la Terre autour du Soleil

#### 1 Du géocentrisme à l'héliocentrisme

##### Définition

Dans la théorie **géocentrique**, la Terre est immobile au centre de l'Univers et les astres sont en mouvement autour celle-ci.

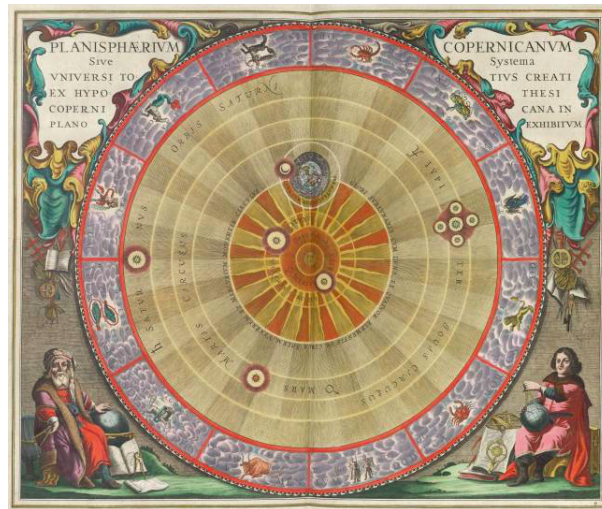
Cette conception du monde prédomine dans l'Antiquité et pendant presque deux millénaires. C'est en particulier la vision d'Aristote (384-322 avant J.C.) et de Claude Ptolémée (v. 100- v.170), qui élabore un système très ingénieux pour expliquer le mouvement complexe des astres autour de la Terre.



Nicolas Copernic (1473-1543) propose une vision du Monde **héliocentrique** car les mouvements des planètes y sont bien plus simples. Galilée (1564-1642) apporte des arguments contre le géocentrisme en observant par exemple les satellites de Jupiter, qui prouvent que tout ne tourne pas autour de la Terre. Le modèle héliocentrique s'impose finalement à partir du XVIIe siècle après de nombreux conflits avec les institutions religieuses de l'époque.

##### Définition

Dans la théorie **héliocentrique**, le Soleil est immobile au centre du système solaire et les astres sont en mouvement autour celui-ci.



## 2 Référentiel héliocentrique et géocentrique

### Définition

Un référentiel est un objet par rapport auquel on décrit un mouvement.

### Définition

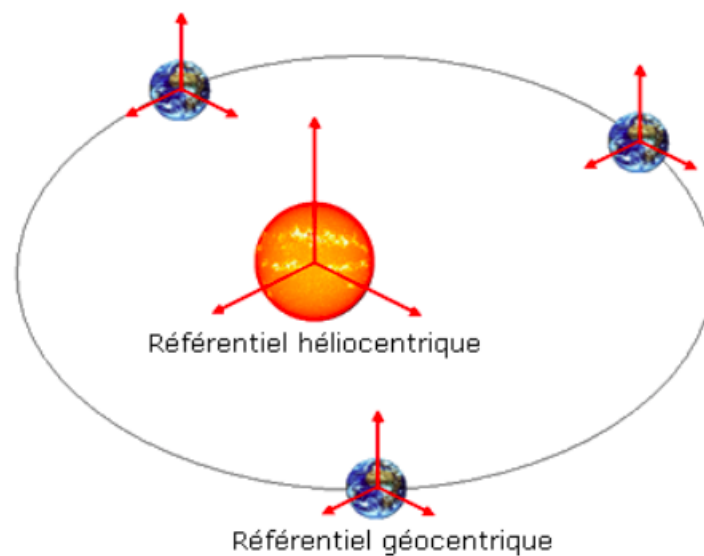
Le référentiel héliocentrique est constitué par le centre du Soleil et trois axes qui pointent vers les étoiles assez lointaines pour être considérées comme fixes.

On l'utilise pour étudier les mouvements des planètes, des comètes, sondes, etc.

### Définition

Le référentiel géocentrique est constitué par le centre de la Terre et trois axes qui pointent vers des étoiles assez lointaines pour être considérées comme fixes.

On l'utilise pour étudier les mouvements des satellites de la Terre ou de tout objet qui se déplace à proximité de la Terre (Lune, fusée, astéroïde, etc.)

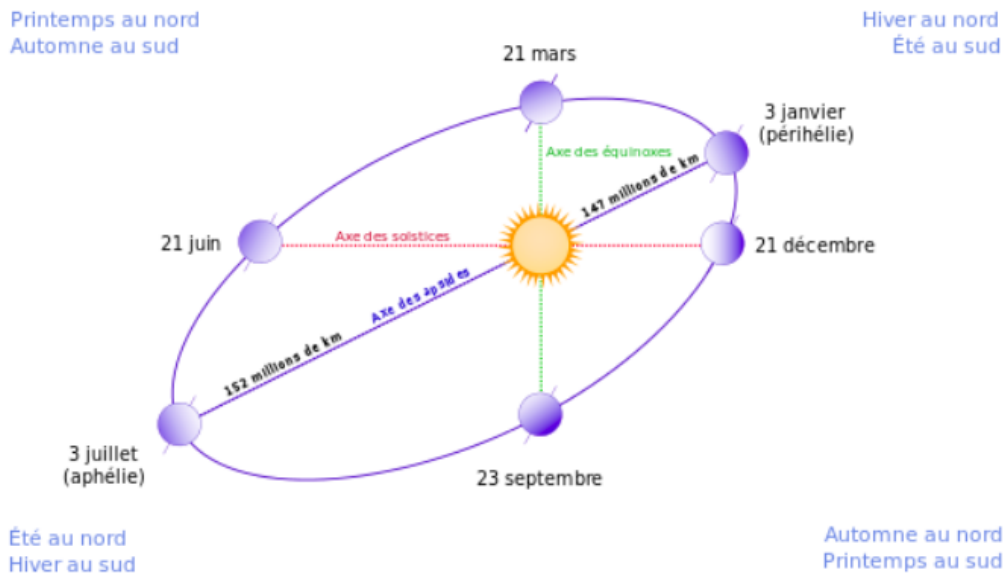


### 3 Révolution de la Terre

#### Définition

Le référentiel héliocentrique, la trajectoire de la Terre est quasi circulaire.

Le rayon de l'orbite terrestre varie entre 147 et 152 millions de kilomètres. L'orbite de la Terre, comme celles des autres planètes, se situe dans un plan appelé écliptique.



La Terre fait un tour complet autour du Soleil en environ 365, 26 jours. Ce mouvement appelé révolution définit l'année sidérale.

## II Mouvements de la Lune autour de la Terre

### 1 Révolution autour de la Terre

La Lune est le satellite naturel de la Terre.

#### Propriété

Dans le référentiel géocentrique, la trajectoire de la Lune est quasi circulaire.

Le rayon de l'orbite de la Lune se situe entre 362 000 km et 405 000 km. La plan de l'orbite lunaire est incliné par rapport à celui de l'écliptique (plan de l'orbite de la Terre autour de la Terre).

La Lune fait un tour complet autour de la Terre en environ 27,3 jours.

### 2 Rotation

La Lune fait un tour sur elle-même en environ 27 jours.

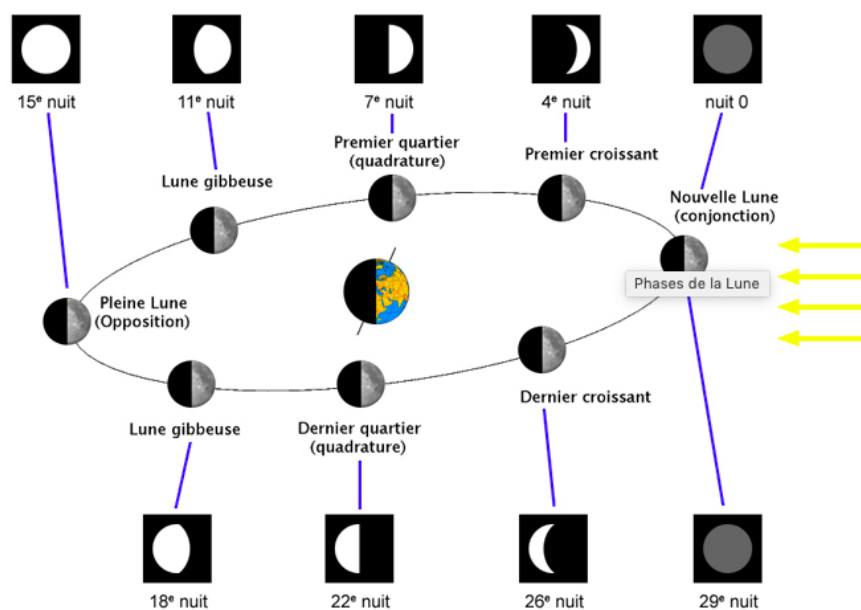
La Lune tourne sur elle-même et autour de la Terre pendant la même durée. Cette synchronisation des mouvements de révolution et de rotation implique que la Lune présente toujours le même hémisphère à la Terre.

#### Définition

La Lune présente toujours le même hémisphère à un observateur terrestre. Cet hémisphère est appelé la face visible de la Lune.

### 3 Phases de la Lune

La moitié de la Lune est éclairée par le Soleil. Selon la position de la Lune sur son orbite, un observateur sur Terre voit une partie plus ou moins grande de la moitié éclairée. On appelle ces différents aspects de la Lune les phases de la Lune.



#### Définition

Selon la position de la Lune par rapport à la Terre et au Soleil, la face visible de la Lune est plus ou moins éclairée. Ces différents aspects sont les phases de la Lune.

La Lune apparaît de nouveau sous la même phase au bout de 29,5 jours. Cette période s'appelle lunaison.



**Quatrième partie**  
**Son et musique**

## Le son, un phénomène vibratoire

### I Son pur, son composé

#### 1 Le son

Le son musical est un phénomène périodique. il s'agit de la propagation dans un milieu matériel (solide, liquide, gaz) d'une succession de compressions et détente.

#### 2 Son pur, son composé

L'enregistrement d'un son pur est un signal périodiques

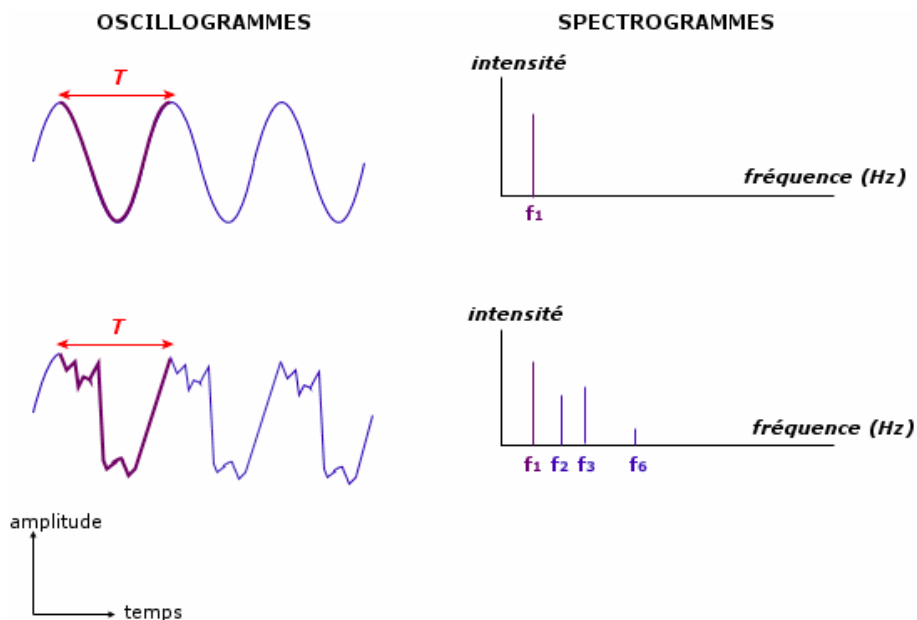
##### Définition

Dans le cas d'un son pur, le motif élémentaire est de forme sinusoïdale.

Dans le cas d'un son composé, le motif élémentaire est différent. Il dépend de l'instrument utilisé.

#### 3 L'analyse spectrale

L'analyse spectrale consiste à décomposer un signal périodique en une somme de signaux sinusoïdaux.



Un signal périodique de fréquence  $f$  est donc une superposition de signaux sinusoïdaux :

- un signal sinusoïdal à la fréquence  $f$  nommée **fondamental** ou première harmonique,
- un signal sinusoïdal à la fréquence  $2f$ , la «deuxième harmonique»,
- un signal sinusoïdal à la fréquence  $3f$ , la «troisième harmonique», etc.

La représentation de l'amplitude des harmoniques en fonction de la fréquence constitue le **spectre** du signal.

Les **harmoniques** sont des signaux sinusoïdaux de fréquences  $f_n = n \times f$ . Le nombre  $n$  est un entier positif appelé rang de l'harmonique.

Le spectre d'un son pur ne comporte qu'un seul pic.

## 4 Niveau d'intensité sonore

Pour caractériser une onde sonore, on peut définir deux grandeurs :

- L'intensité sonore ( $I$ ) : c'est la puissance sonore reçue par unité de surface. Son unité est donc le  $\text{W.m}^{-2}$ .
- Le niveau d'intensité sonore ( $L$ ) : l'oreille humaine ne perçoit pas l'intensité sonore de façon linéaire, mais logarithmique. Le niveau sonore est calculé à partir de l'intensité minimale  $I_0$  que l'oreille humaine peut percevoir :

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

Intensité sonore ( $\text{W.m}^{-2}$ )

Niveau d'intensité sonore (dB)

$I_0 = 10^{-12} \text{ (W.m}^{-2}\text{)}$

## II Les notes produites par les instruments

### 1 La vibration d'une corde

Lorsque l'on pince une corde d'une guitare ou que l'on frappe la corde d'un piano, elle se met à vibrer. Cette vibration engendre un son composé.

#### Propriété

La fréquence du son composé produit par une corde dépend de plusieurs paramètres :

- la longueur  $L$  de la corde : plus elle est importante, plus le son est grave
- la tension  $T$  de la corde : plus elle est intense, plus le son est aigu
- la masse linéique  $\mu$  : plus elle est grande, plus le son est grave

$f = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Fréquence (Hz)

Tension de la corde (N)

Masse linéique  $\text{kg.m}^{-1}$

La vibration de la corde peut se décomposer en une somme de vibrations plus simples appelés modes de vibration. Les fréquences de ces modes correspondent aux harmoniques du signal sonore. Le premier mode de vibration est la fréquence fondamentale.

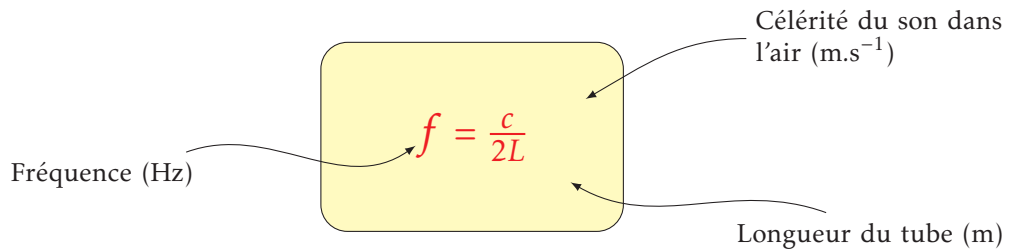
## 2 Cas des instruments à vent

Un phénomène analogue est observé dans les instrument à vent.

### Propriété

Pour un instrument à vent, le son est produit par la vibration de l'air dans un tuyau.

La longueur de la colonne d'air qui vibre dans un instrument à vent est inversement proportionnelle à la fréquence fondamentale du son émis.



Fréquence (Hz)

$$f = \frac{c}{2L}$$

Célérité du son dans l'air ( $\text{m.s}^{-1}$ )

Longueur du tube (m)

### I Les intervalles en musique

#### 1 L'école pythagoricienne

Dans l'Antiquité, des systèmes musicaux ont commencé à voir le jour en plusieurs endroits du globe. En Grèce, l'école pythagoricienne, active à partir du VI<sup>e</sup> siècle avant notre ère, considérait que les nombres entiers et leurs rapports comme l'expression ultime de l'harmonie musicale, et de celle de l'Univers tout entier.

#### 2 Les intervalles consonants

##### Définition

En musique, l'**intervalle** entre deux sons correspond au rapport de leurs fréquences fondamentales.

L'écoute de différents intervalles musicaux provoque des sensation plus ou moins agréables. Les sons consonants (qui "sonnent" bien), sont liés à des rapports simples d'entiers. Ils ont alors des harmoniques en commun.

##### Définition

Deux notes séparées par une **octave** correspondent à une même note, à des hauteurs différentes.

### II Les gammes de Pythagore

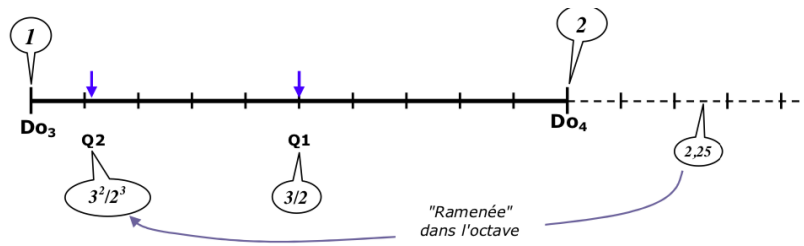
Pour construire une gamme (c'est-à-dire une suite finie de notes réparties sur une octave), les disciples de Pythagore ont exploité uniquement les intervalles qu'ils jugeaient les plus consonants, c'est-à-dire l'octave et la quinte.

##### Définition

Les gammes de Pythagore sont créées par une succession de quintes (caractérisées par une multiplication de la fréquence par  $3/2$ ) et de réductions à l'octave (caractérisées par une division de la fréquence par 2).

#### 1 Construction d'une gamme avec le cycle des quintes

- On construit la gamme à partir d'un son de fréquence  $f$ . Ex : Soit  $f$  la fréquence du DO
- On multiplie cette fréquence par  $3/2$  pour former une première quinte. Ex :  $f(Sol) = \frac{3}{2}f$
- On trouve la quinte suivante en multipliant la fréquence de la note précédente par  $3/2$ . Si la fréquence obtenue n'est plus dans l'intervalle  $[f; 2f]$ , on la ramène dans l'octave en la divisant par 2. On obtient ainsi une nouvelle note. Ex :  $f(R) = \frac{3}{2}f \times \frac{3}{2} = \frac{3^2}{2^2}$  si ce rapport n'est pas compris dans  $[f; 2f]$ , on obtient  $f(R) = \frac{3^2}{2^3}$



## 2 Gammes à 5, 7 et 12 notes

### Propriété

Le cycle des quintes retombe "presque" sur la fréquence de la note de départ pour un nombre de notes égal à 5, 7 et 12

En effet, on a  $3^5 \approx 2^8$ ,  $3^7 \approx 2^{11}$ ,  $3^{12} \approx 2^{19}$ . Pendant des siècles, les musiciens ont employé des à 7 et 12 notes.

## 3 La quinte du loup

Un raisonnement mathématique montre qu'il n'existe aucune suite de notes construites sur le cycle des quintes qui reboucle exactement.

### Définition

La dernière quinte de la gamme à 12 sonne un peu faux : c'est la quinte du loup.

## III Les gammes au tempérament égal

### 1 Le problème de transposition

Une transposition consiste à adapter une mélodie au registre de la voix ou d'un instrument en la déplaçant vers l'aigu ou la grave.

### Propriété

Les gammes de Pythagore ne facilitent pas la transposition, car les intervalles entre les différentes notes de la gamme sont inégaux.

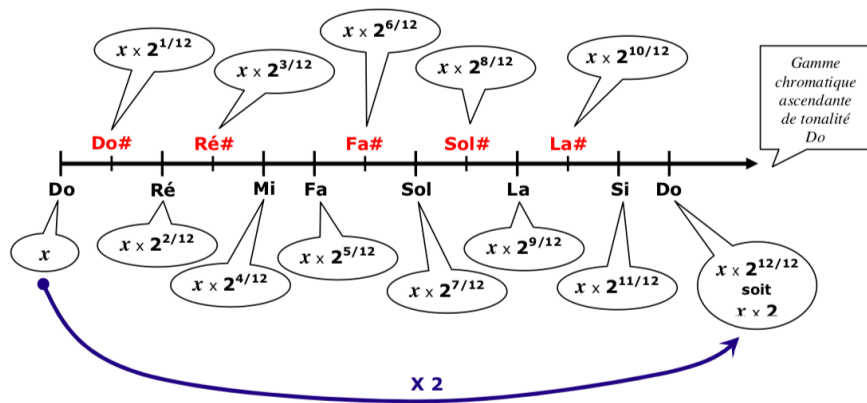
### 2 La gamme tempérée à 12 notes

Le modèle qui s'impose à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle est le tempérament égal, qui permet de transposer une mélodie dans toutes les tonalités sans la déformer.

### Définition

La gamme tempérée à 12 notes est une gamme dont tous les intervalles sont égaux. L'intervalle  $d$  entre deux notes successives de la gamme est égal à la **racine douzième de 2**

$$d = \sqrt[12]{2} \approx 1,05946$$



L'oreille humaine tolère bien le tempérament égal même si aucun intervalle, sauf l'octave, n'est dans un rapport simple.

## IV Bilan

	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
<b>Gamme de Pythagore</b>	1	$\frac{3^2}{2^3}$ (1,125)	$\frac{3^4}{2^6}$ (1,266)	$\frac{4}{3}$ (1,333)	$\frac{3}{2}$ (1,5)	$\frac{3^3}{2^4}$ (1,688)	$\frac{3^5}{2^7}$ (1,898)	2
<b>Gamme diatonique tempérée</b>	1	$2^{2/12}$ (1,122)	$2^{4/12}$ (1,260)	$2^{5/12}$ (1,335)	$2^{7/12}$ (1,498)	$2^{9/12}$ (1,682)	$2^{11/12}$ (1,888)	2

Le calcul des fréquences donne

	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
<b>Gamme de Pythagore</b>	261,63	294,33	331,13	348,84	392,44	441,50	496,69	523,26
<b>Gamme diatonique tempérée</b>	261,63	293,66	329,63	349,23	392,00	440,00	493,88	523,26

## Le son : une information à coder

### I Signaux analogiques et numériques

#### Définition

On appelle **signal**, toute grandeur physique mesurée au cours du temps.

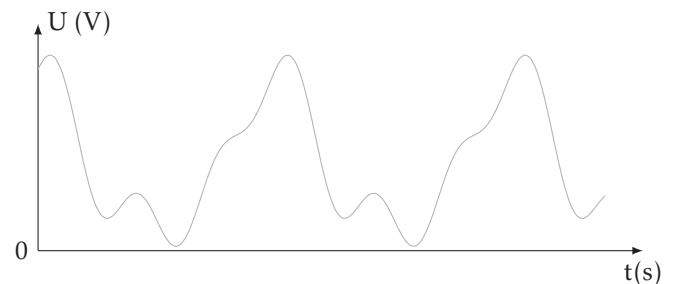
Exemples : tension électrique (en V), température (en °C), niveau sonore (dB), pH (sans), cours d'une action ...

#### 1 Signal analogique.

**Analogique** : contraire de logique !

La logique étant ici "l'art de manipuler" des 0 et des 1 ! (*Mais que sont donc ces 0 et ces 1 ?*)

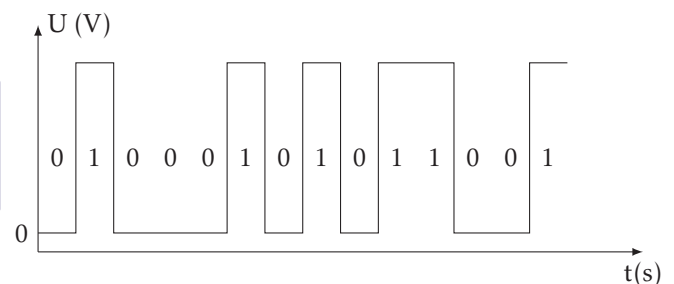
Un signal **analogique** est un signal **continu** au cours du temps.



#### 2 Signal numérique.

#### Définition

Un signal **numérique** est une suite de 0 et de 1 logiques.



### II Numérisation d'un signal

#### 1 Intérêt.

**C'est une question de qualité !**

Parmi les bambins de terminale S lisant ce cours, peu connaissent le "doux" grésillement d'un disque vinyle !!

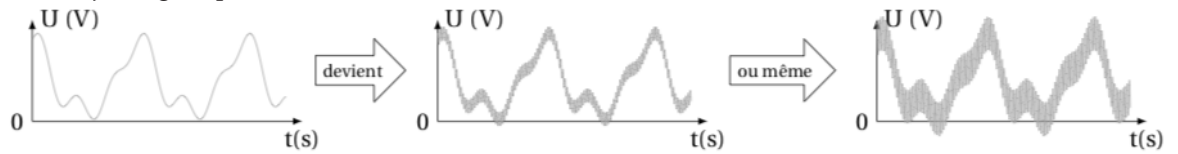
(*Il paraît même qu'il y a des nostalgiques !*)

C'est ce qu'on appelle le **bruit de fond**.

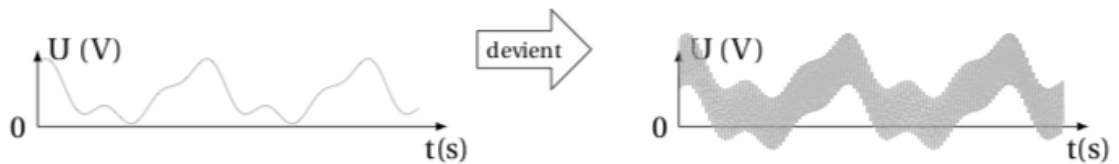


Il a pour origines, l'agitation thermique des électrons libres (transmetteurs du signal) dans les circuits électriques et surtout les perturbations dues aux ondes électromagnétiques dans lesquelles nous baignons littéralement !

Alors, un joli signal peut devenir :

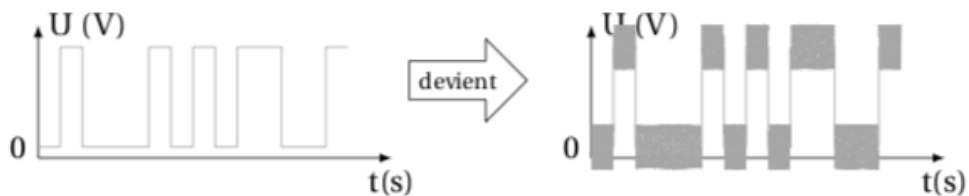


Si le signal est trop faible, on peut même ne plus rien reconnaître du tout !



Il est donc impossible de transmettre un tel signal !

Alors qu'en numérique :



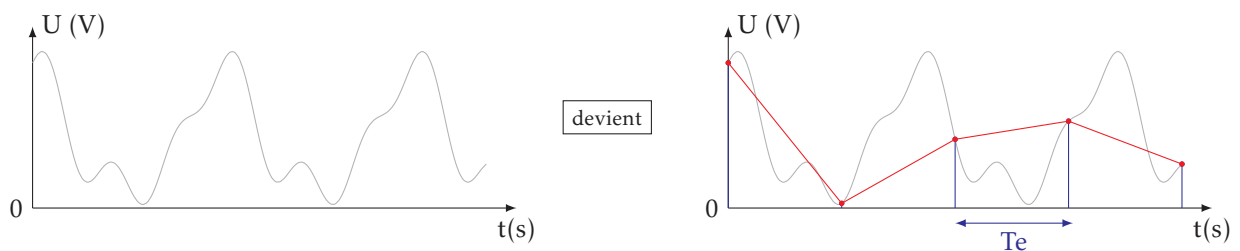
Malgré le bruit, on reconnaît quand même les 0 et les 1 !

### III Échantillonnage

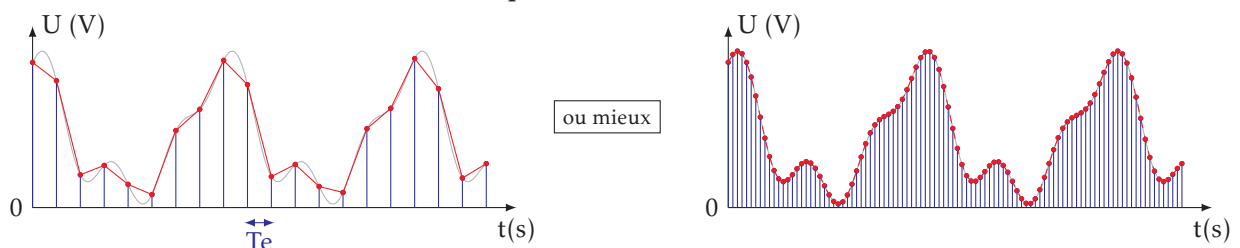
#### Définition

Comme son nom l'indique, l'échantillonnage consiste à prendre un échantillon du signal à intervalle de temps régulier.

Les échantillons, mis bout à bout doivent restituer le signal le plus fidèlement possible.



Ici, la courbe rouge ne représente pas du tout le signal original. Il faut échantillonner plus fréquemment !



### Propriété

Le "rendu" d'un signal est meilleur si la **fréquence d'échantillonnage** est élevée.  
Le signal est "saucissonné" dans le temps le plus finement possible !

### Théorème

Théorème de Shannon : pour que le signal puisse être entièrement reconstruit à partir des échantillons, il faut et il suffit que la fréquence d'échantillonnage doit être strictement supérieure à deux fois la plus grande fréquence présente dans le spectre du signal continu.

$$f_e \geq 2f_{max}$$

## IV Quantification

Il faut également saucissonner le signal en amplitude et attribuer un nombre entier aux différentes valeurs de la tension.

Comme l'ordinateur "travaille" en binaire, on divise la tension par une puissance de 2.

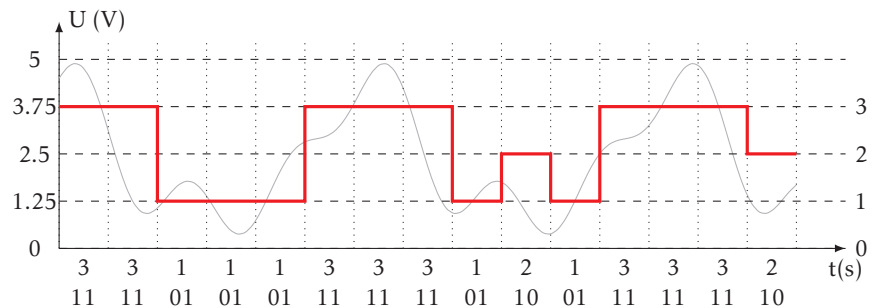
Dans les exemples suivants, on prendra toujours la même fréquence d'échantillonnage.

La tension varie entre 0V et 5V et la valeur numérique attribuée est immédiatement supérieure à la valeur réelle.

Codé sur 2 bits :

On obtient les correspondances :

U (V)	Décimal	Binaire
0	0	00
1,25	1	01
2,5	2	10
3,75	3	11



### Définition

On appelle **pas**, la différence de tension entre deux valeurs successives.

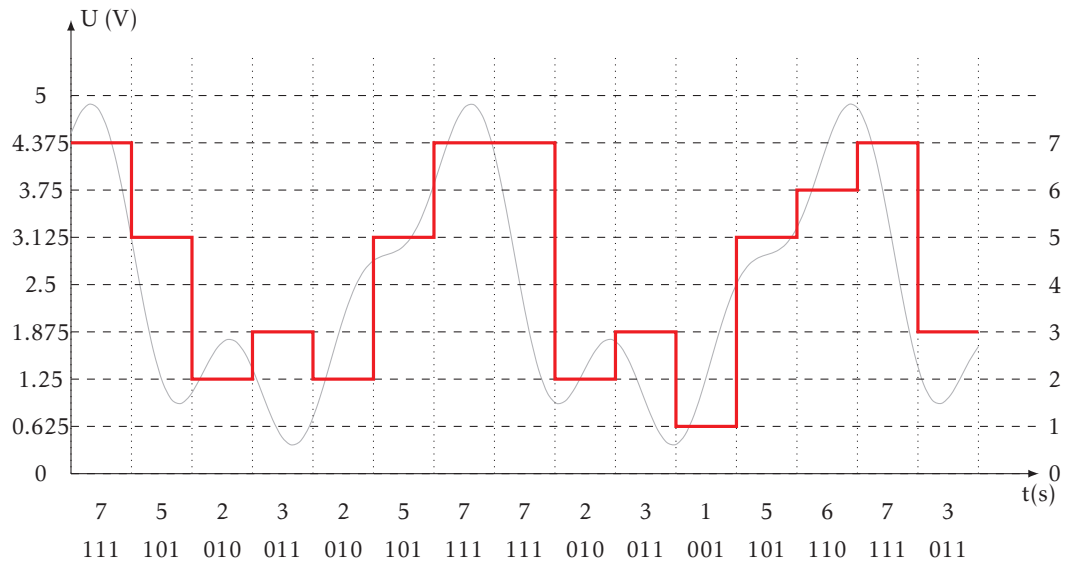
Il dépend du nombre n de bits utilisés pour le codage ainsi que de la valeur de la tension maximale  $U_{max}$  :

$$p = \frac{U_{max}}{2^n - 1}$$

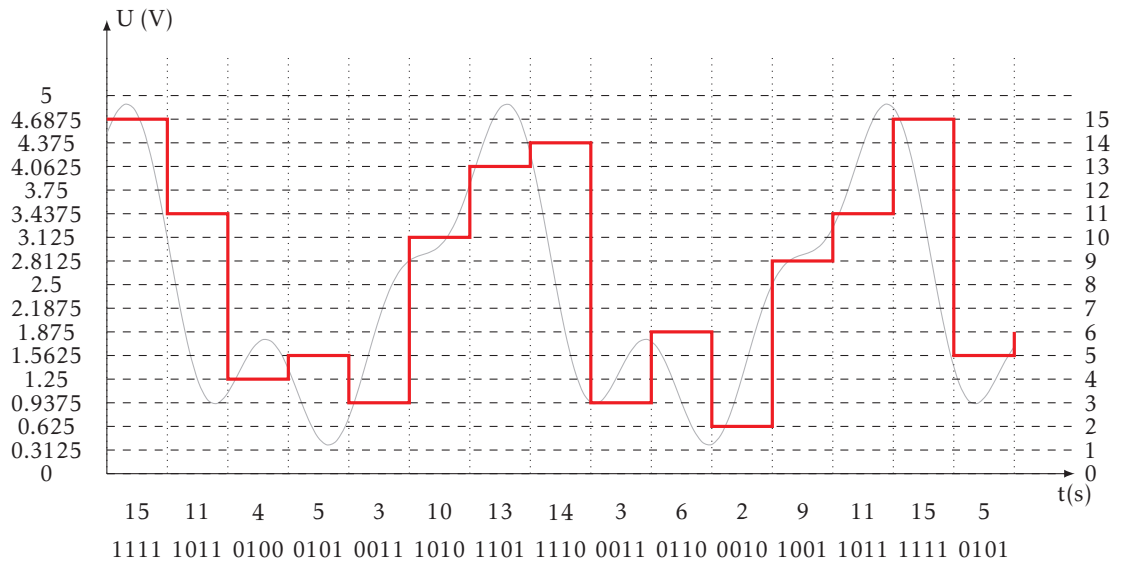
Le signal rouge est la restitution en tension du signal numérique. Il n'est pas très ressemblant au signal analogique !

Il faut donc "saucissonner" davantage.

Sur 3 bits

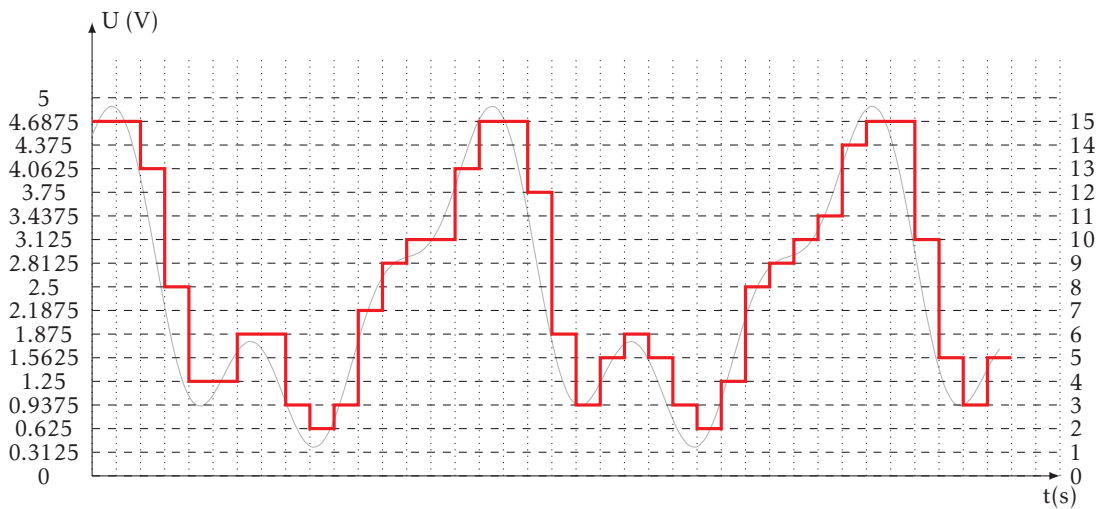


Sur 4 bits



Même si le signal rouge s'approche un peu de signal réel, la ressemblance n'est tout de même pas frappante!

Pour progresser encore, il faut augmenter la fréquence d'échantillonnage et diminuer le pas.

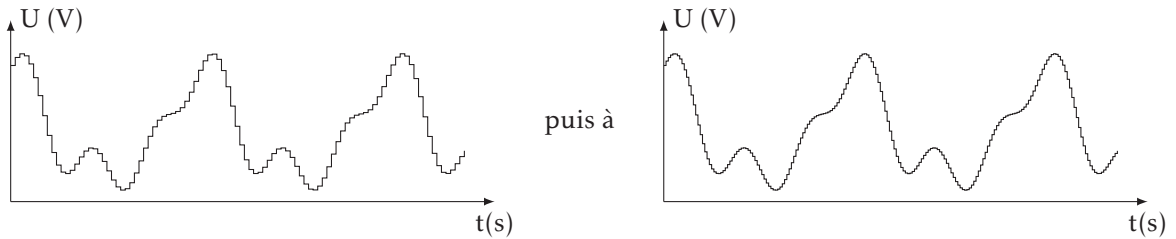


Je vous laisse vérifier que le codage est bien :

111111111101100001000100011001100011001000110111100110101010110111111111111000

11000110101011001010011001001001000100110101011111011111111010010100110101

Finalement, le signal pourrait ressembler à :



**Qu'en est-il aujourd'hui ?**

Les ordinateurs actuels codent les informations sur 64 voire 128 bits, c'est-à-dire une suite de 64 ou 128 zéros ou uns par échantillon et à des fréquences avoisinant le MHz.

Cela laisse imaginer le nombre d'informations à stocker !

## V Estimation de la taille d'un fichier audio

La taille d'un fichier audio correspond au nombre  $N$  d'octets nécessaire pour décrire numériquement un signal sonore d'une durée  $\Delta t$  :

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

où

$f_e$  est la fréquence d'échantillonnage

$Q$  la quantification en bits

$n$  le nombre de voies ( $n = 2$  pour un son stéréo et  $n = 1$  pour un son mono)

$\Delta t$  en secondes

$N$  en octets

## VI Compression d'un fichier audio

### 1 Nécessité

L'information est aujourd'hui essentiellement stockée et diffusée sous forme numérique. La place non infinie de stockage de toutes les données produites et la limitation de la transmission conduisent à une nécessaire compression des données.

### 2 Principe

#### Définition

La compression consiste à réduire la taille d'un fichier numérique.

Il existe deux types de compression :

- la compression sans perte d'information, les données se retrouvent à l'identique après décompression ;
- la compression avec perte d'information, elle élimine les informations sonores pour lesquelles les oreilles sont peu sensibles

### 3 Taux de compression

Le taux de compression traduit le niveau de compression d'un fichier au regard du fichier initial. Ainsi un taux de compression de 50 % signifie que les données ont été divisées par deux pour traduire l'information.

$$\tau = 1 - \frac{N_f}{N_i}$$

où

$\tau$  taux de compression (sans unité)

$N_f$  nombre de bits après compression

$N_i$  nombre de bits avant compression

### 4 Exemples de formats de compression.

	Original	Compressions			
Format	WAV	MP3 (320)	MP3 (56)	FLAC	WMA
Durée	59 s	59 s	59 s	59 s	59 s
Taille	10,4 Mo	2,36 Mo	413 ko	2,36 Mo	690 ko
Taux	1	0,23	0,04	0,23	0,07

### 5 Qualité d'un fichier compressé

Plus un fichier est compressé, plus il est aisé de le stocker et de le transmettre mais moins il sera de qualité. Il y a donc un compromis à faire. L'exigence en qualité d'un son ne sera pas la même si l'enregistrement est écouté sur une tour ou avec son smartphone.

On évitera de compresser un fichier son à un taux de compression supérieur à 90 % pour l'écouter sur une chaîne hi-fi.

## Entendre la musique

### I La canalisation des sons vers le tympan

#### 1 L'oreille possède trois parties distinctes

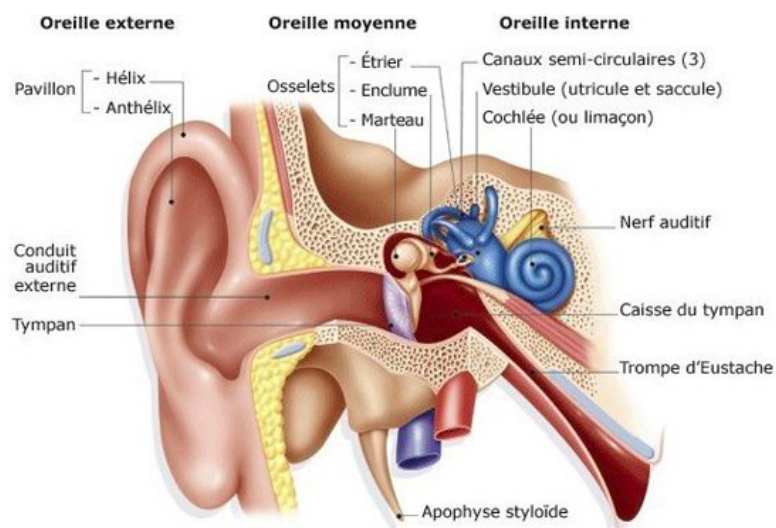
La pavillon (oreille en langage courant) canalise les sons extérieurs vers un conduit appelé auditif externe. Pavillon et conduit auditif externe forment ensemble l'oreille externe. Dans ce conduit, les ondes sonores se propagent dans l'air sans être atténuées.

#### 2 Une membrane vibrante : le tympan

Situé au fond du conduit auditif externe, le **tympan** est une fine en forme de cône aplati. A l'arrivée des ondes sonores, la membrane tympanique met à vibrer à la même fréquence que ces dernières

#### Définition

L'oreille externe canalise les sons du milieu extérieur vers le tympan



### II L'amplification des sons par l'oreille moyenne

#### 1 L'organisation de l'oreille moyenne

L'oreille moyenne est une cavité de l'os temporal, remplie d'air. Elle contient les trois plus petits os du corps : le marteau, l'enclume et l'étrier. Le manche du marteau est relié au tympan alors qu'à l'opposé, la base de l'étrier s'appuie sur la fenêtre ovale qui communique avec l'oreille interne.

## 2 L'intervention des osselets

Les vibrations du tympan sont transmises par la chaîne d'osselets jusqu'à la fenêtre ovale. La surface du tympan étant environ de 20 fois plus vaste que celle de la fenêtre ovale, la pression exercée sur cette dernière est 20 fois plus grande. Les osselets forment en quelque sorte un système de leviers amplificateurs des ondes sonores.

### Définition

Le tympan transmet les ondes sonores jusqu'à l'oreille interne par l'intermédiaire de l'oreille moyenne.

## III La naissance des messages nerveux auditifs

### 1 L'activation de l'oreille interne

La zone la plus interne de l'oreille dédiée à l'audition est la cochlée. Il s'agit d'une cavité osseuse remplie d'un liquide, l'endolymphe, dans lequel flotte une membrane. Cette membrane comporte des **cellules ciliées**, qui possèdent des **vibratiles** baignant dans l'endolymphe.

### 2 Les cellules ciliées élaborent un message nerveux auditif

Les ondes de pression transmises par les osselets provoquent la mise en mouvement de l'endolymphe. Les mouvements de ce liquide déplacent les cils vibratiles, ce qui modifie l'activité électrique de la cellule ciliée. Elle peut alors stimuler la fibre nerveuse connectée à sa base, provoquant la formation d'un message nerveux.

### Définition

Dans l'oreille interne, les cellules ciliées convertissent les ondes sonores en message nerveux qui se dirige vers le cerveau.

### 3 Nature et codage des messages nerveux auditifs

Tout message nerveux est constitué de signaux élémentaires de nature électrique les **potentiels d'action** (PA), qui sont de brèves modifications de l'état électrique de la fibre. Le nombre de PA générés par unité de temps, c'est-à-dire leur fréquence, constitue le système de codage de ces messages.

## IV La gamme des sons audibles

### 1 La champ auditif

### Propriété

L'oreille humaine perçoit des sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz pour des niveaux sonores variant entre 0 et 120 dB.

Cette gamme de sons audibles est appelée **champ auditif**. En vieillissant, les sons aigus (de fréquence élevée) sont moins bien perçus. De même, le seuil de perception augmente : les sons doivent être plus intenses pour être perçus.

## 2 Les dangers de l'exposition au bruit

### Propriété

Des sons de trop forte intensité peuvent détruire partiellement ou totalement les cils vibratiles donc les cellules ciliées. Comme ces dernières ne renouvellent pas, une surdité définitive peut survenir.

## V Cerveau et perception auditive

Lorsque les messages nerveux auditifs arrivent au niveau du cerveau, une région appelée cortex auditif s'active dans chaque hémisphère.

### Propriété

Ce cortex se compose de plusieurs aires cérébrales auditives qui collaborent entre elles pour analyser l'intensité, la fréquence et la localisation des sons perçus. D'autres zones du cerveau interviennent pour interpréter ces sons et générer un univers sonore.