

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

Introduction

L'activité précédente nous a permis de comprendre comment ont été formés les différents éléments chimiques. Nous savons que le Soleil, la Terre et notre corps sont composés des **mêmes** éléments chimiques. Mais dans quelles proportions? Ces valeurs varient de 74 % à 0,04 %, soit un écart de plus de mille fois.

Problématique. Comment représenter graphiquement des proportions aussi différentes pour pouvoir les comparer efficacement?

Savoirs et savoir-faire

Savoirs	Savoir-faire / capacités
- La matière connue de l'Univers est principalement constituée d'hydrogène et d'hélium. - La Terre est surtout constituée d'oxygène, d'hydrogène, de fer, de silicium et de magnésium. - Les êtres vivants sont surtout constitués de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.	Produire un diagramme en barres à partir d'un tableau de données. Analyser et comparer différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments. Choisir et justifier une échelle (linéaire ou logarithmique) adaptée à la dynamique des valeurs. Distinguer une proportion <i>en masse</i> d'une proportion <i>en nombre d'atomes</i>, et identifier le périmètre d'un jeu de données.

D'où viennent ces chiffres — et comment les compte-t-on?

Document 1 — Trois mondes, trois répartitions

Le tableau ci-dessous indique, pour trois « mondes », la fraction massique des éléments les plus abondants, c'est-à-dire le pourcentage de la **masse** que représente chaque élément. Les valeurs sont arrondies et les listes ne sont pas exhaustives (la somme des colonnes « Terre » et « corps humain » n'est pas exploitée dans les questions).

Système solaire — référence pour l'Univers	Terre — croûte + hydrosphère	Corps humain
(fractions massiques, en %)	(fractions massiques, en %)	(fractions massiques, en %)
H 73,9 • He 24,0 • O 1,04 • C 0,46 • Ne 0,13 • Fe 0,11 • N 0,10 • Si 0,07 • Mg 0,06 • S 0,04	O 47 • Si 27 • Al 7,9 • Fe 5,4 • Ca 3,9 • Na 2,3 • Mg 2,2 • K 2,0 • H 0,9	O 65 • C 18,5 • H 9,5 • N 3,2 • Ca 1,5 • P 1,0 • autres 1,2

Sources : Système solaire — K. Lodders, *abondances du Système solaire (photosphère solaire + météorites primitives)*. Terre (croûte + hydrosphère) — composition de l'enveloppe superficielle, d'après USGS, valeurs arrondies. Corps humain — composition élémentaire moyenne du corps humain (valeurs classiques). La somme H + He du Système solaire est exacte au centième près : $73,9 + 24,0 = 97,9$ %.

Lecture critique du tableau. Un pourcentage n'a de sens que s'il est accompagné de deux précisions : *quel périmètre?* et *comment compte-t-on?*

D'où viennent les chiffres de la colonne « Système solaire »?

« Ces valeurs ne sont pas mesurées dans l'Univers entier, car cela est impossible. Elles sont déterminées **dans le Système solaire**, à partir de la lumière émise par la surface du Soleil et de l'analyse de météorites très anciennes. Le Soleil représente à lui seul **99,8 %** de la masse du Système solaire et sa surface n'a pratiquement pas changé de composition depuis sa formation. Ces valeurs sont donc utilisées comme une **bonne approximation** de la composition de la matière ordinaire de l'Univers. »

Le périmètre du mot « Terre ».

« Dans le tableau, « Terre » désigne l'**enveloppe superficielle**, c'est-à-dire la croûte et l'hydrosphère (océans). Si l'on considérait la **Terre entière**, y compris son noyau métallique, le classement changerait radicalement : le **fer** deviendrait l'élément le plus abondant (≈ 32 % de la masse), devant l'oxygène, le silicium et le magnésium, tandis que l'**aluminium** serait bien moins présent. »

Masse ou nombre d'atomes?

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

« Tous ces pourcentages sont des **fractions massiques** : ils comparent des **masses**. Or, un atome d'hydrogène est **16 fois plus léger** qu'un atome d'oxygène. Si l'on comptait les **atomes** plutôt que la masse, l'hydrogène — principalement présent dans l'**eau** — représenterait environ **13 %** des atomes de l'enveloppe superficielle (contre **1 %** en masse). Il deviendrait alors le **troisième** élément le plus abondant, après l'oxygène et le silicium. »

Deux représentations graphiques à compléter

Documents 2 et 3 — Échelle linéaire et échelle logarithmique

On se concentre sur les six éléments les plus abondants du Système solaire : **H, He, O, C, Ne, Fe**. Complétez les deux trames ci-dessous **à la règle**, en traçant pour chaque élément un rectangle plein, comme le montrent les barres-exemples déjà tracées. La trame A utilise une échelle **linéaire**, tandis que la trame B utilise une échelle **logarithmique**.

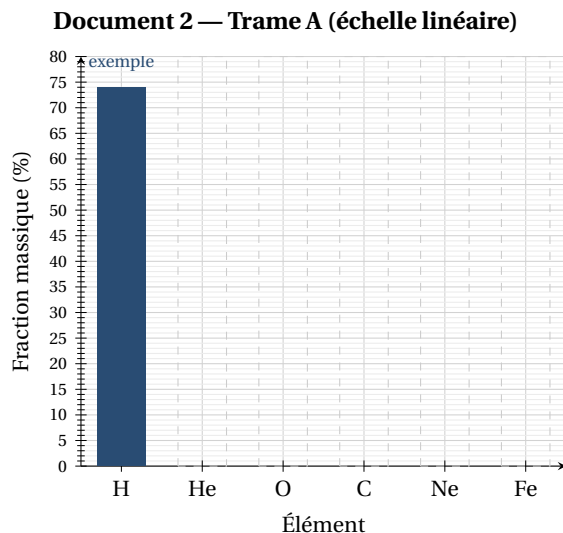


FIGURE 1 — Trame A — échelle linéaire (0 à 80 %). La barre de l'hydrogène (H) est déjà tracée à titre d'exemple.

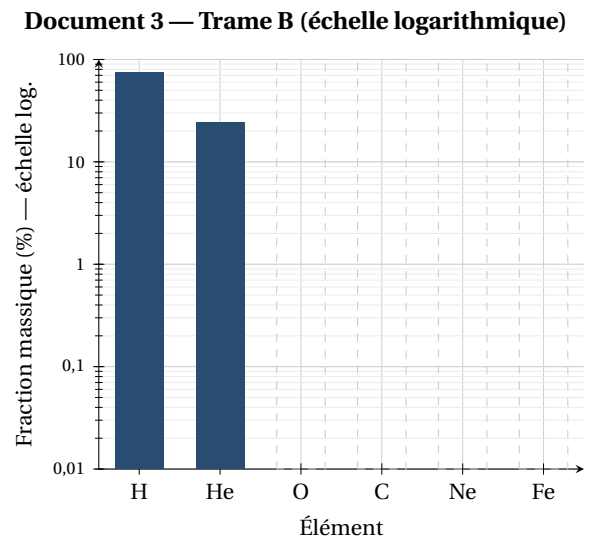


FIGURE 2 — Trame B — échelle logarithmique (0,01 à 100 %). Les barres de H et He sont déjà tracées à titre d'exemples.

Sur cette échelle, chaque graduation principale correspond à une multiplication par 10.

La Terre (surface) et le corps humain

Document 4 — Deux diagrammes déjà tracés

Les deux diagrammes ci-dessous représentent les données du Document 1 pour la Terre (surface) et pour le corps humain. Les valeurs sont indiquées au-dessus de chaque barre. Pour la Terre, seuls les **neuf** éléments les plus abondants sont représentés (valeurs arrondies). Pour le corps humain, ce sont les **six** principaux, plus la rubrique « autres ».

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

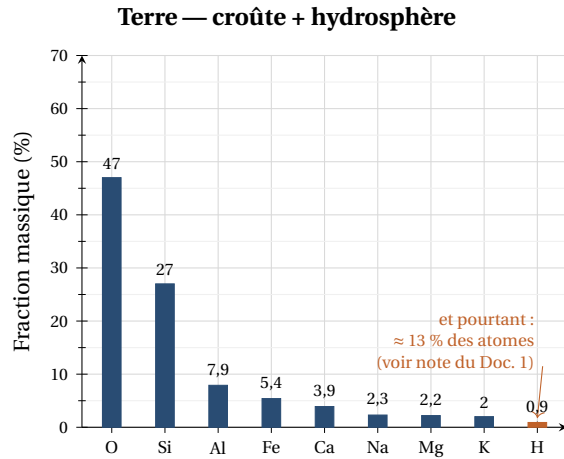


FIGURE 3 – Terre (surface) : les neuf éléments les plus abondants en masse. La barre d'hydrogène (en orange) est minuscule en masse, *et pourtant* elle représente environ 13 % des atomes (voir la note du Document 1).

Source : USGS, composition de l'enveloppe superficielle (valeurs arrondies).

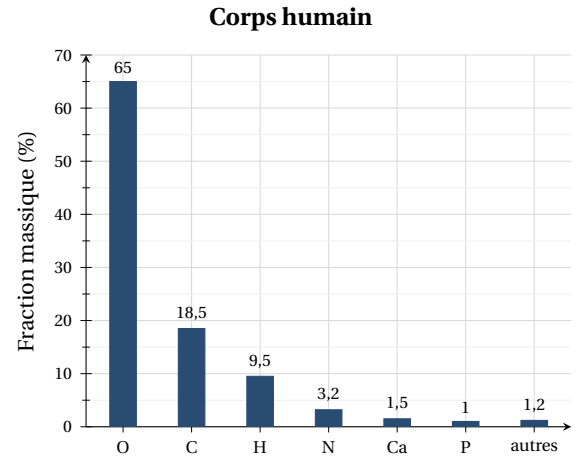


FIGURE 4 – Corps humain : les six éléments les plus abondants en masse, plus la rubrique « autres ».

Source : composition élémentaire moyenne du corps humain (valeurs classiques).

Questions

1. À l'aide du Document 1, relevez les deux éléments les plus abondants du **Système solaire** et leurs pourcentages en masse. Calculez leur part totale. Pourquoi peut-on utiliser ces valeurs pour décrire la composition de l'**Univers** ?

✓ Correction

Les deux éléments les plus abondants du Système solaire sont :

- **Hydrogène (H) : 73,9 % en masse**
- **Hélium (He) : 24,0 % en masse**

Leur part totale est :

$$73,9 + 24,0 = 97,9 \%$$

On peut utiliser ces valeurs pour décrire la composition de l'Univers car :

- Le Soleil représente à lui seul **99,8 %** de la masse du Système solaire ;
- La surface du Soleil n'a pratiquement pas changé de composition depuis sa formation ;
- Les valeurs mesurées dans le Système solaire (par spectroscopie solaire et analyse de météorites primitives) sont donc une **bonne approximation** de la composition de la matière ordinaire de l'Univers.

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

2. Complétez la **trame A** (échelle linéaire) en traçant les barres des cinq éléments manquants. Que constatez-vous pour l'oxygène, le carbone, le néon et le fer ?

✓ Correction

Tracé des barres (valeurs à reporter) :

- He : 24,0 %
- O : 1,04 %
- C : 0,46 %
- Ne : 0,13 %
- Fe : 0,11 %

Constat : Sur l'échelle linéaire (0 à 80 %), les barres de l'oxygène (1,04 %), du carbone (0,46 %), du néon (0,13 %) et du fer (0,11 %) sont **quasiment invisibles**. Seules les barres de l'hydrogène et de l'hélium sont bien visibles.

Cette représentation ne permet pas de comparer les éléments peu abondants entre eux : leurs barres sont trop petites pour être distinguées.

3. Complétez la **trame B** (échelle logarithmique) avec les **mêmes** valeurs. Comparez les deux représentations : laquelle permet de comparer **tous** les éléments entre eux ?

✓ Correction

Tracé des barres (mêmes valeurs, échelle logarithmique) :

- He : 24,0 % (entre 10 et 100)
- O : 1,04 % (légèrement au-dessus de 1)
- C : 0,46 % (entre 0,1 et 1)
- Ne : 0,13 % (légèrement au-dessus de 0,1)
- Fe : 0,11 % (légèrement au-dessus de 0,1)

Comparaison des deux représentations :

- **Échelle linéaire** : seule la barre de l'hydrogène est bien visible ; les autres sont écrasées.
- **Échelle logarithmique** : toutes les barres sont visibles et comparables, même celles dont les valeurs diffèrent de plusieurs ordres de grandeur.

C'est donc l'**échelle logarithmique** qui permet de comparer **tous** les éléments entre eux, car elle compense les très grandes différences d'abondance.

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

4. À l'aide du Document 4, relevez les **quatre** éléments les plus abondants **en masse** de la Terre (surface) puis du corps humain. Citez ensuite un élément très abondant dans le Système solaire mais pratiquement absent sur Terre, puis un élément peu abondant dans le Système solaire mais très présent dans le corps humain.

✓ Correction

Quatre éléments les plus abondants :

- **Terre (surface) :** O (47 %), Si (27)
- **Corps humain :** O (65)

Éléments contrastés :

- **Très abondant dans le Système solaire mais très peu abondant sur Terre :** l'hélium (He) (24,0
- **Peu abondant dans le Système solaire mais très présent dans le corps humain :** le carbone (C) (0,46

5. Les éléments C, H, O et N du corps humain ont-ils été **fabriqués par les êtres vivants**? Justifiez votre réponse en vous appuyant sur l'activité 1.

✓ Correction

Non, les éléments C, H, O et N n'ont pas été fabriqués par les êtres vivants.

Justification (activité 1) :

- L'**hydrogène** a été formé juste après le **Big Bang**, il y a environ 13,8 milliards d'années.
- Le **carbone**, l'**oxygène** et l'**azote** ont été fabriqués dans les **étoiles** par fusion nucléaire (carbone et oxygène par fusion de l'hélium, azote par des réactions secondaires).
- Ces éléments ont été dispersés dans l'espace lors d'explosions de **supernovae** ou par les vents stellaires.

Les êtres vivants n'ont fait qu'**assembler** ces atomes préexistants pour former des molécules organiques (protéines, ADN, glucides, lipides). Ils ne créent pas les noyaux atomiques : c'est le domaine des réactions nucléaires stellaires, pas de la chimie du vivant.

6. Le programme indique que la Terre est principalement constituée d'**oxygène**, d'**hydrogène**, de **fer**, de **silicium** et de **magnésium**. Or, le Document 4 place l'**aluminium** devant le **fer** et n'attribue à l'**hydrogène** que 0,9 % de la masse. À l'aide de la note du Document 1, expliquez **ces deux écarts** : (a) celui concernant le fer et l'aluminium ; (b) celui concernant l'hydrogène.

✓ Correction

(a) Écart concernant le fer et l'aluminium :

Le Document 4 ne représente que la **Terre superficielle** (croûte + hydrosphère). Or, si l'on considérait la **Terre entière**, y compris son **noyau métallique**, le classement changerait radicalement :

- Le **fer** deviendrait l'élément le plus abondant ($\approx 32\%$ de la masse totale de la Terre) ;
- L'**aluminium** serait bien moins présent (il est concentré dans la croûte, rare dans le manteau et absent du noyau).

L'aluminium apparaît donc devant le fer dans le Document 4 uniquement parce que le diagramme ne représente pas le noyau terrestre, qui est pourtant la principale réserve de fer de la planète.

(b) Écart concernant l'hydrogène :

Le Document 4 indique 0,9 % pour l'hydrogène car il s'agit d'une **fraction massique**. Or :

- Un atome d'hydrogène est **16 fois plus léger** qu'un atome d'oxygène ;
- L'hydrogène est principalement présent dans l'**eau** (H_2O) ;
- Si l'on comptait les **atomes** plutôt que la masse, l'hydrogène représenterait environ **13 %** des atomes de l'enveloppe superficielle (contre 1 % en masse).

L'hydrogène est donc sous-représenté en masse à cause de sa très faible masse atomique.

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

À retenir

À retenir :

- **Composition de l'Univers** : la matière connue est principalement constituée d'**hydrogène** ($\approx 74\%$) et d'**hélium** ($\approx 24\%$), soit près de 98% de la masse totale.
- **Composition du corps humain** : les éléments les plus abondants sont l'**oxygène** (65%), le **carbone** ($18,5\%$), l'**hydrogène** ($9,5\%$) et l'**azote** ($3,2\%$).
- **Échelle logarithmique** : pour représenter des grandeurs qui diffèrent de plusieurs ordres de grandeur (facteur 1000 ou plus), une échelle logarithmique est nécessaire. Chaque graduation correspond à une multiplication par 10.
- **Masse vs nombre d'atomes** : une fraction massique compare des masses. Un élément léger (comme l'hydrogène) peut être très abondant *en nombre d'atomes* mais peu abondant *en masse*.
- **Origine des éléments** : les atomes du corps humain (C, H, O, N) n'ont pas été créés par les êtres vivants mais formés dans les étoiles (activité 1).

Pour aller plus loin — Masse, atomes et hélium

7. Dans une molécule d'eau H_2O , il y a **deux** atomes d'hydrogène pour un atome d'oxygène. Pourtant, l'hydrogène ne représente que **11 %** de la masse de l'eau. **Retrouvez ce pourcentage par le calcul**, sachant qu'un atome d'oxygène est 16 fois plus lourd qu'un atome d'hydrogène. En quoi ce calcul éclaire-t-il la réponse donnée à la question 6?

✓ Correction

Calcul du pourcentage massique d'hydrogène dans l'eau :

Soit m_H la masse d'un atome d'hydrogène. La masse d'un atome d'oxygène est $m_O = 16 \times m_H$.

Dans une molécule d'eau H_2O :

- Masse des 2 atomes d'hydrogène : $2 \times m_H$
- Masse de l'atome d'oxygène : $16 \times m_H$
- Masse totale de la molécule : $2m_H + 16m_H = 18m_H$

Le pourcentage massique d'hydrogène est :

$$\frac{2m_H}{18m_H} = \frac{2}{18} = \frac{1}{9} \approx 0,111 = \mathbf{11,1\%}$$

Lien avec la question 6 :

Ce calcul montre que même si l'hydrogène est **deux fois plus nombreux** que l'oxygène dans l'eau (2 atomes contre 1), il ne représente qu'environ **11 %** de la masse car chaque atome d'hydrogène est **16 fois plus léger**.

Cela explique pourquoi l'hydrogène semble peu abondant ($0,9\%$) dans le diagramme de la Terre (Document 4) qui représente des **fractions massiques**, alors qu'il représente environ **13 %** des **atomes** de l'enveloppe superficielle (principalement dans l'eau).

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

8. L'hélium représente 24 % de la masse de la matière ordinaire de l'Univers, mais il est extrêmement rare dans l'atmosphère terrestre. Celui que l'on exploite provient de gisements de gaz naturel, où il est produit par la **désintégration de noyaux radioactifs** présents dans les roches. Proposez une explication à sa rareté dans l'atmosphère, et indiquez ce que cela suggère sur la nature de certains noyaux du sous-sol.

✓ Correction

Explication de la rareté de l'hélium dans l'atmosphère :

L'hélium est un gaz **très léger** (masse atomique = 4) et **inerte chimiquement** (gaz noble). Dans l'atmosphère terrestre :

- Les atomes d'hélium situés dans les couches supérieures de l'atmosphère ont une vitesse d'agitation thermique suffisante pour **s'échapper** de l'attraction terrestre ;
- L'hélium ne forme pas de composés chimiques stables qui pourraient le retenir dans l'atmosphère ou la surface terrestre.

Ainsi, l'hélium produit sur Terre s'échappe progressivement vers l'espace.

Nature des noyaux du sous-sol :

Le fait que l'hélium soit produit par **désintégration radioactive** dans les roches suggère que le sous-sol terrestre contient des **noyaux radioactifs lourds**, tels que :

- L'**uranium** (^{238}U , ^{235}U)
- Le **thorium** (^{232}Th)

Ces noyaux se désintègrent en émettant des **particules alpha**, qui sont des noyaux d'hélium (^4_2He). L'hélium ainsi produit s'accumule dans les roches poreuses et peut être piégé dans des gisements de gaz naturel.