

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

► Introduction

L'activité précédente a montré 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.

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).

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 ($\approx 32\%$ de la masse), devant l'oxygène, le silicium et le magnésium, tandis que l'**aluminium** serait bien moins présent. »

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

Masse ou nombre d'atomes ?

« 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**.

Document 2 — Trame A (échelle linéaire)

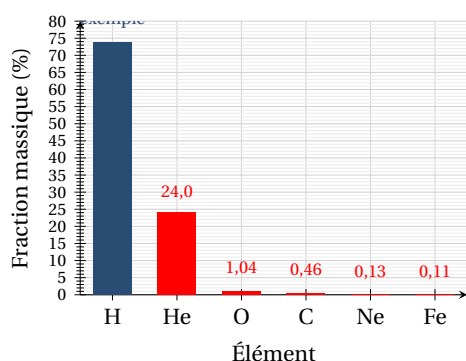


FIGURE 1 — Trame A — échelle linéaire (0 à 80 %). Correction : les cinq barres manquantes ont été tracées en rouge (avec leurs valeurs) ; la barre bleue de l'hydrogène était l'exemple.

Document 3 — Trame B (échelle logarithmique)

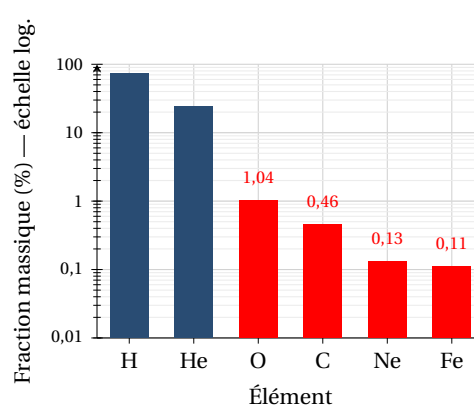


FIGURE 2 — Trame B — échelle logarithmique (0,01 à 100 %). Correction : les quatre barres manquantes ont été tracées en rouge (avec leurs valeurs) ; les barres bleues de H et He étaient les exemples.

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 ».

Terre — croûte + hydrosphère

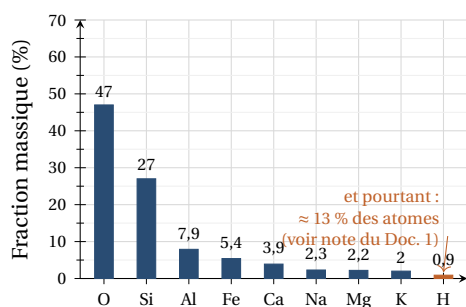


FIGURE 3 — Terre (surface) : les neuf éléments les plus abondants en masse. La barre d'hydrogène (en orange) est minuscule en masse, et pourtant elle représente environ 13 % des atomes (voir la note du Document 1).

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

Corps humain

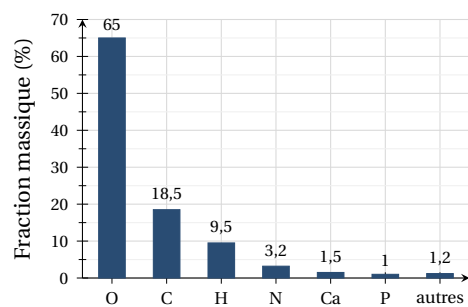


FIGURE 4 — Corps humain : les six éléments les plus abondants en masse, plus la rubrique « autres ».

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 l'**hydrogène** (73,9 % en masse) et l'**hélium** (24,0 %), qui totalisent à eux deux $73,9 + 24,0 = 97,9$ % de la masse.

Ces valeurs peuvent servir à décrire l'Univers : d'après le Document 1, 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. Les valeurs du Système solaire constituent donc une bonne approximation de la composition de la matière ordinaire de l'Univers.

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

Voir la trame A ci-dessus, avec les barres tracées en rouge : He à 24,0 %, puis O à 1,04 %, C à 0,46 %, Ne à 0,13 % et Fe à 0,11 %.

Constat : sur l'échelle linéaire, les barres de l'oxygène, du carbone, du néon et du fer sont quasiment invisibles — elles se confondent avec l'axe et on ne peut pas les comparer entre elles. Seuls l'hydrogène et l'hélium ressortent.

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

✓ Correction

Voir la trame B ci-dessus, avec les quatre barres tracées en rouge : O à 1,04 %, C à 0,46 %, Ne à 0,13 % et Fe à 0,11 %.

C'est la trame B (échelle logarithmique) qui permet de comparer tous les éléments : chaque graduation principale correspond à une multiplication par 10, donc les valeurs, bien que s'étalant de 74 % à 0,11 % (un rapport d'environ 700), restent toutes visibles et comparables. Sur l'échelle linéaire, en revanche, tout élément représentant moins d'environ 1 % de la valeur maximale devient illisible.

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

Terre (surface), en masse : **oxygène** (47 %), **silicium** (27 %), **aluminium** (7,9 %) et **fer** (5,4 %).

Corps humain : **oxygène** (65 %), **carbone** (18,5 %), **hydrogène** (9,5 %) et **azote** (3,2 %).

Élément très abondant dans le Système solaire mais pratiquement absent sur Terre : l'**hélium** (24 % dans le Système solaire, absent du tableau de la Terre).

Élément peu abondant dans le Système solaire mais très présent dans le corps humain : le **carbone** (0,46 % dans le Système solaire contre 18,5 % dans le corps humain).

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

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. D'après l'activité 1, les éléments chimiques se forment dans les étoiles, par des fusions nucléaires successives à partir de l'hydrogène initial (et, pour les éléments plus lourds que le fer, lors d'événements violents comme les supernovae). Le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote qui nous constituent ont donc été fabriqués bien avant l'apparition de la vie, lors de la formation du Système solaire : les êtres vivants n'assemblent que des atomes déjà existants, ils ne créent pas d'éléments.

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) D'après la note du Document 1, « Terre » désigne dans le tableau uniquement l'**enveloppe superficielle** (croûte + hydrosphère), où l'aluminium est abondant (7,9 %) — d'où sa place devant le fer. Pour la **Terre entière**, en revanche, le noyau métallique fait du **fer** l'élément le plus abondant (≈ 32 % de la masse), devant l'oxygène, le silicium et le magnésium, et l'aluminium devient bien moins présent : c'est bien ce que dit le programme. L'écart vient donc du **périmètre** considéré (croûte ou Terre entière).

(b) Les pourcentages du tableau sont des **fractions massiques**. Les atomes d'hydrogène étant 16 fois plus légers que ceux d'oxygène, ils pèsent peu dans la masse (0,9 %), alors qu'ils représentent environ 13 % des **atomes** de l'enveloppe superficielle (l'hydrogène y est surtout présent dans l'eau), ce qui en ferait le troisième élément le plus abondant en nombre d'atomes. L'écart vient donc du **mode de comptage** : masse ou nombre d'atomes.

♥ À retenir

- La matière connue de l'Univers est principalement constituée d'**hydrogène** (73,9 % en masse) et d'**hélium** (24,0 %), soit près de 98 % de la masse.
- La Terre est surtout constituée d'**oxygène**, d'**hydrogène**, de **fer**, de **silicium** et de **magnésium** (pour la Terre entière, le fer domine grâce au noyau métallique) ; les êtres vivants, de **carbone**, d'**hydrogène**, d'**oxygène** et d'**azote**.
- Les éléments qui nous constituent n'ont pas été fabriqués par les êtres vivants : ils se sont formés dans les étoiles, bien avant l'apparition de la vie.
- Un pourcentage n'a de sens qu'en précisant son **périmètre** (croûte ou Terre entière) et son mode de **comptage** : fraction *en masse* ou *en nombre d'atomes* — un élément léger comme l'hydrogène peut être abondant en atomes sans être abondant en masse.
- Échelle **linéaire** : les valeurs faibles deviennent illisibles ; échelle **logarithmique** : chaque graduation principale vaut une multiplication par 10, ce qui permet de représenter et de comparer des valeurs très différentes (de 74 % à 0,1 %).

Activité 2 — Trois mondes, trois répartitions

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

En prenant la masse d'un atome d'hydrogène pour unité, la masse des deux atomes d'hydrogène vaut $2 \times 1 = 2$ et celle de l'atome d'oxygène vaut 16, soit une masse totale de $2 + 16 = 18$ pour une molécule d'eau. La fraction massique de l'hydrogène vaut donc

$$\frac{2}{18} = \frac{1}{9} \approx 0,11 = 11 \, \%.$$

Bien que deux fois plus nombreux (2 atomes sur 3), les atomes d'hydrogène, très légers, ne pèsent qu'une faible part de la masse : ce calcul explique l'écart, mis en évidence à la question 6**(b)**, entre l'hydrogène rare *en masse* (0,9 %) et abondant *en nombre d'atomes* ($\approx 13 \, \%$).

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

Les atomes d'hélium sont très légers et chimiquement inertes : la gravité terrestre ne peut pas les retenir durablement, ils s'échappent progressivement dans l'espace — l'hélium présent au début de la Terre a ainsi disparu, et celui produit en permanence dans le sous-sol ne s'y accumule pas dans l'atmosphère. L'hélium exploité vient donc du sous-sol : cela suggère que certaines roches contiennent des **noyaux instables** (radioactifs), comme ceux de l'uranium ou du thorium, dont la désintégration libère des noyaux d'hélium qui s'accumulent dans les gisements de gaz naturel.