

Corrigé N° 1 — Semaine du 9 Septembre 2024  
**Quelques premiers exercices pour se mettre dans le bain et réviser la chimie**

1. Vrai ou faux ?

	Vrai	Faux
a. L'acier est un matériau organique, puisqu'il contient du carbone. <i>Faux : Il contient en effet du carbone, mais la composante principale est le fer, et il ne contient pas non plus d'hydrogène, d'azote, etc, donc on dira que c'est un métal, et que le carbone est un élément d'alliage.</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
b. Les verres qui sont basés sur la silice sont des matériaux inorganiques. <i>Vrai : En effet, le verre est une sous-classe des matériaux céramiques, et est donc inorganique. Il ne contient pas d'éléments carbonés.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Le polyéthylène est un plastique utilisé pour faire des bouteilles de shampooing, il est constitué de carbone et d'azote. <i>Faux : voir la composition du polyéthylène dans les slides du cours, il s'agit de carbone et d'hydrogène.</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
d. La proportion des matières plastiques recyclées dans la vie courante dans le monde est plus grande que celle des métaux. <i>Faux : Voir diagramme dans le cours page 34. Ceci n'est pas vrai pour le PET en Suisse (82% des bouteilles PET recyclées en Suisse).</i>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
e. La production de béton ("concrete" en anglais) est d'un ordre de grandeur plus grande que celle du ciment. <i>Vrai : Voir sur le graphique du cours page 31, et ceci provient du fait que le béton contient du ciment et des agrégats (cailloux) en plus.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Le magnésium est un métal assez abondant dans la croûte terrestre, mais peu utilisé dans les produits manufacturés. <i>Vrai : il est très présent, sous forme d'oxyde, notamment dans le fond de la mer. Mais il n'est pas si facile à extraire, et il est très réactif sous forme de Mg pur (on l'utilisait comme flash en photographie), et donc un peu difficile à mettre en oeuvre.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

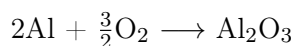
	Vrai	Faux
g. Le bois est un matériau organique dont la consommation a fortement augmenté. <i>Vrai : voir notes de cours. Le bois sert non seulement pour la construction, mais aussi pour le chauffage.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Une mole de carbone contient exactement $6.02214 \cdot 10^{23}$ atomes de carbone, et ce chiffre est appelé nombre d'Avogadro. <i>Vrai : ceci est la définition d'une mole, et le nombre d'atomes dans une mole est bien appelé nombre d'Avogadro.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. Selon l'US geological survey, les réserves de Lithium mondiales devraient permettre de tenir 194 ans si la consommation n'augmente pas et si on ne recycle pas. <i>Vrai : voir notes de cours, si on divise 26 millions par 134000, cela donne environ 194 ans de consommation possible. Bien sûr, c'est très approximatif car la consommation va évoluer, car le Lithium présent peut être difficile à exploiter, et parce que l'on augmente aussi la possibilité de recycler.</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 2. Coût énergétique de la production d'aluminium

L'aluminium est un matériau moderne, léger et résistant à l'oxydation. Mais sa production à partir de l'alumine,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , est très "énergivore" (sans compter qu'il faut préalablement extraire l'alumine du minerai de bauxite). Cet exercice vise à comparer l'énergie impliquée dans le recyclage du métal par rapport à celle nécessaire pour l'électrolyse (la séparation) de l'aluminium à partir de l'alumine. On va aussi se poser la question de la production de  $\text{CO}_2$  lors de la fabrication de l'aluminium à partir de l'alumine.

- a. Calculez quelle quantité d'énergie est nécessaire pour produire 1 kg d'Al à partir de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (en MJ et kWh).

Pour cela on vous donne l'équation chimique de formation d'alumine (qui est celle qui existe naturellement), et quelques données dont vous aurez besoin, dont l'énergie de formation d'un gramme d'Alumine. Notez que l'énergie de formation d'un gramme d'alumine est négative, cela veut dire que quand on met ensemble de l'Al et de l'Oxygène, l'alumine se forme spontanément. Et donc, que pour faire la réaction inverse, il faudra donner de l'énergie pour séparer Al et  $\text{O}_2$ .



$M_{\text{Al}}$  (masse molaire de l'aluminium) =  $27 \text{ g mol}^{-1}$

$M_{\text{O}}$  (masse molaire de l'oxygène) =  $16 \text{ g mol}^{-1}$

$\Delta H_f$  (énergie de formation de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) =  $-16\,196 \text{ J g}^{-1}$

Estimons la quantité d'énergie nécessaire pour produire 1 kg d'Al à partir de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (en MJ et kWh).

Selon les coefficients stœchiométriques de la réaction chimique, 1 mole d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  permet de produire 2 moles d'Al. Etant donné que 1 kg d'Al correspond à :

$$N_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{1000 \text{ g}}{27 \text{ g mol}^{-1}} = 37 \text{ mol}$$

Il faut 18.5 moles d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  pour produire 1 kg d'Al.

L'enthalpie standard (vous verrez plus tard dans le cours ce que c'est exactement, cette enthalpie standard, pour l'instant pensez que c'est l'énergie nécessaire) de formation d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\Delta H_f$ , peut être convertie de  $[\text{J g}^{-1}]$  en  $[\text{J mol}^{-1}]$  en la multipliant par la masse molaire d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Cette dernière valant :

$$M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 2M_{\text{Al}} + 3M_{\text{O}} = 2 \times 27 + 3 \times 16 = 102 \text{ g mol}^{-1}$$

On obtient donc :

$$\Delta H_f = -16\,196 \text{ J g}^{-1} \times 102 \text{ g mol}^{-1} = -1652 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Et l'énergie nécessaire pour produire 1 kg d'Al vaut alors :

$$\Delta H = -\Delta H_f \cdot N_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1652 \text{ kJ mol}^{-1} \times 18.5 \text{ mol} = 30\,562 \text{ kJ} = 30.6 \text{ MJ}$$

Conversion en kWh, sachant que  $1 \text{ J} = 1 \text{ W s}$  :

$$\Delta H = 30\,562 \text{ kJ} = \frac{30\,562 \text{ kW s}}{3600 \text{ s h}^{-1}} = 8.49 \text{ kWh}$$

- b. L'International Aluminum Organisation estime que la production mondiale annuelle d'Al "primaire" (à partir de l'extraction de l'alumine) a atteint 72 millions de tonnes entre Août 2023 et Juillet 2024. Quelle énergie, en GWh, a été consommée pour cette production ? Aide : Pour cela, il faut d'abord calculer combien de moles d'alumine sont nécessaires pour produire 1kg d'Al, et calculer ensuite l'énergie nécessaire en Joules pour produire 1 kg d'Al. Puis savoir que  $1 \text{ J} = 1 \text{ W.s}$  pour mettre tout cela en GWh. L'énergie consommée pour cette production est :

$$E = 8.49 \times 10^3 \text{ W h kg}^{-1} \times 72 \times 10^9 \text{ kg} = 611.28 \times 10^{12} \text{ W h} = 611\,280 \text{ GW h}$$

Pour comparaison, un barrage comme celui de la Grande Dixence produit annuellement environ 2000 GW h.

- c. Quel est le pourcentage de l'énergie de production d'1 kg d'Al (calculée à la question a) nécessaire pour faire fondre (et donc recycler) 1 kg d'Al ? On vous donne l'énergie pour fondre 1kg d'Al qui est de 905kJ/kg. Le pourcentage de l'énergie de production d'1 kg d'Al (calculée à la question b) nécessaire pour faire fondre, et donc recycler, 1 kg d'Al déjà produit, sachant que l'énergie pour fondre 1kg d'Al est de 905kJ, est donc donné par :

$$\frac{\text{énergie de recyclage}}{\text{énergie de production}} \% = \frac{905}{30562} \cdot 100 = 3\%$$

- d. Quelle est la quantité de CO<sub>2</sub> produite par an entre 08/2023 et 07/2024 pour la production d'Aluminium primaire (en tonnes) ? La quantité de CO<sub>2</sub> produite pour la production d'1 tonne d'Al (en moles et en tonnes) peut se trouver comme suit : Étant donné qu'1 kg d'Al correspond à 37 moles d'Al, 1 tonne d'Al correspond à 37000 moles d'Al :

$$\begin{aligned} M_{\text{Al}} &= 27 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}) \Rightarrow \\ 1000 \text{ (kg Al)} &= 37000 \text{ (mol Al)} \end{aligned}$$

Selon les coefficients stœchiométriques de la réaction chimique, 3 moles de CO<sub>2</sub> vont être produites pour la production de 4 moles d'Al. Le nombre de moles de CO<sub>2</sub> émises au cours de la production d'1 tonne d'Al est donc :

$$\frac{37000 \times 3}{4} = 27700 \text{ (mol CO}_2\text{)}$$

La masse molaire de CO<sub>2</sub>, M<sub>CO<sub>2</sub></sub>, pouvant être calculée ainsi :

$$M_{\text{CO}_2} = M_{\text{C}} + 2M_{\text{O}} = 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

la quantité de CO<sub>2</sub> exprimée en tonne émise pour la production d'1 tonne d'Al :

$$27700 \times 44 = 1218800 \text{ (gramme CO}_2\text{)} = 1.2 \text{ (tonne CO}_2\text{)}$$

- e. La quantité de CO<sub>2</sub> produite par an en dans la période mi 2023-mi 2024 pour la production d'Aluminium est donc

$$1.2 \times 72 \times 10^6 = 86.4 \times 10^6 \text{ (tonne CO}_2\text{)}$$

Cela parait beaucoup, mais la production totale de dioxyde de carbone dans le monde en 2022 était de 37.15 milliards de tonnes ( environ 4.7 tonnes par habitant et par an en moyenne en 2022, environ 4

tonnes par habitant en Suisse, 6.2 en Europe, 14.9 aux USA, source : <https://ourworldindata.org/co2-emissions> ), donc la production d'Alu représente seulement 2 millièmes de la contribution annuelle de la production de dioxyde de carbone. Mais bien sur, à cela il faut ajouter la production de dioxyde de carbone qui provient de l'énergie utilisée pour produire l'aluminium. C'est pour cela que les usines sont souvent placées près de source d'énergie comme les barrages.

- f. On lisait en 2022 sur les sites d'information ou le journal que plusieurs usines de production d'Aluminium primaire ont temporairement fermé leurs portes quand les coûts de l'électricité ont augmenté. A votre avis, pourquoi ?

Regardez dans les journaux, mais la raison principale est que les coûts de l'énergie électrique ayant fortement augmenté, et comme cela représente environ 40% du coût de la production de l'aluminium primaire, et il n'était donc plus rentable pour certaines usines de produire car cela serait à perte sur le plan financier, car le prix de la tonne d'Aluminium n'avait pas augmenté (encore) autant que celui du kW/h. Cela tend à favoriser l'utilisation d'aluminium recyclé, comme vous pouvez le conclure à la suite de cet exercice. Ceci dit, le prix de la tonne d'aluminium a monté après 2022 (de 1500 \$ la tonne en 2020, jusqu'à 3700 en 2022), puis est redescendu pour se stabiliser à environ 2400 \$ la tonne depuis 2023.

### 3. Quelques ordres de grandeur et questions générales

- a. Quel est l'ordre de grandeur de :
1. la distance entre atomes dans la matière condensée (solide ou liquide) ?  $10^{-10}$  m (1 Å).
  2. la distance entre atomes dans un gaz, à température et pression normales ?  $10^{-9}$  m (1 nm). La densité des gaz étant en fait environ 1000 fois plus petite que celle des corps denses, la distance entre atomes est environ 10 fois plus grande.
  3. la dimension d'un élément conducteur dans un micro-processeur moderne ( ie votre téléphone, par exemple) ? Dizaines de nanomètres. Les différents protagonistes du marché s'accordent aujourd'hui à dire que la limite physique du silicium avoisine la gravure à 15 nm.
  4. la taille caractéristique d'un bras d'un flocon de neige ? Entre 10 et  $100 \mu\text{m}$  ( $10^{-5}$  -  $10^{-4}$  m).
  5. la longueur d'onde de la lumière visible ? Entre 400 et 700 nm ( $4 - 7 \times 10^{-7}$  m).

6. le diamètre d'un cheveu ? Entre 40 et 100  $\mu\text{m}$
7. le temps de dégradation d'une bouteille de PET jetée dans l'océan ?  
De 100 à mille ans.
- b. Qu'est ce qu'un atome ? Un électron ? Un proton ? Un neutron ? Un atome est un des éléments de base qui constitue la matière. Un atome est formé d'un noyau qui contient des particules de charge électrique positives (protons) et neutres (neutrons), et des électrons, qui sont de petites particules de charge négative qui se trouvent à la périphérie de l'atome.
- c. Qu'est ce que la loi des gaz parfaits ? C'est la loi qui donne la correspondance, pour un gaz dit parfait, entre la pression, le volume, le nombre de moles de matière présent et la température :  $PV = nRT$ .  $R$  est une constante, appelée la constante des gaz parfaits,  $R = 8.31445 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .