

### Réponse 1

Le plus simple est l'Hydrogène : 1 électron

Le plus lourd est l'Uranium : 92 protons et 146 neutrons. Il est entouré par un cortège de 92 électrons.

L'oxygène est formé de 8 protons : 8 électrons.

2) Entités : x Protons + x+n Neutrons + x électrons

Proportion des noyaux :

$$\approx 2x \text{ Proton} / x (2\text{Proton} + \text{électron}) \cdot 100$$

$$= 2 \text{ Proton} / 2 \text{ Proton} (1 + (1/1850)) \cdot 100$$

$$= 100/(1 + (1/1850)) \Rightarrow 99,9 \%$$

### Réponse 2

$^{12}\text{C}$  contient 6 protons et 6 neutrons, ce qui permet de calculer sa masse théorique :



$$\begin{aligned} \longrightarrow 6 \text{ protons} & \Rightarrow 6 \cdot 1,007825 \text{ uma} \\ 6 \text{ neutrons} & \Rightarrow \underline{6 \cdot 1,008665 \text{ uma}} \\ \text{Total} & \Rightarrow 12,098940 \text{ uma} \end{aligned}$$

La masse réelle du  $^{12}\text{C}$  est 12 uma (par définition).

$\longrightarrow$  Le déficit de masse est 0,09894 uma.

### Conversion de la masse en énergie

Pour le  $^{12}\text{C}$

$$E_B = 0,09894 \text{ uma} \cdot 931,5 \text{ MeV/uma}$$

$$= 92,16261 \text{ MeV ou } 7,68 \text{ MeV par nucléon.}$$

### Réponse 3

• La masse d'un atome de  $^{12}\text{C}$  est 12 uma.

Sachant que  $1 \text{ uma} = 1,6605655 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ , le poids d'un atome de  $^{12}\text{C}$  en grammes est égal à :  $12 \cdot 1,6605655 \cdot 10^{-24}$

$$\longrightarrow \text{soit } 1,99268 \cdot 10^{-23} \text{ g.}$$

• Etant donné que 1 mole de  $^{12}\text{C}$  pèse 12 g (par définition),

le nombre d'atome contenus dans une mole de  $^{12}\text{C}$  est obtenu par le rapport 12 g/poids d'un atome de  $^{12}\text{C}$  :

$$\longrightarrow 12 \text{ [g]} / 1,99268 \cdot 10^{-23} \text{ [g/atome]}$$

$$\text{soit : } 6,022 \cdot 10^{23} \text{ [atomes]}$$

$$\longrightarrow \text{Nombre d'Avogadro} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ [/mol]}$$

## Réponse 4

1) Cette structure rigide d'un corps à  $-273^{\circ}\text{C}$  se brise en augmentant la température. Ce corps **solide** devient alors **liquide**, puis en continuant à chauffer, l'agitation désordonnée des molécules augmente et elles deviennent indépendantes : le corps passe à l'état **gazeux**

▪ Si on chauffe davantage ce gaz, à des centaines de milliers de degrés, l'énergie d'agitation des molécules deviendra si grande que ces molécules se brisent. Les chocs entre les parties qui en résultent font perdre aux atomes progressivement leurs électrons et deviennent ionisés.

⇒ Le mélange de ces noyaux nus et des électrons isolés correspond à un état de la matière exceptionnel qu'on appelle **plasma**.

2) La température d'un corps n'est rien d'autre que **le degré d'agitation de ses molécules** : c'est une sorte de repère de leur énergie cinétique moyenne.

⚠ A  $-273^{\circ}\text{C}$  cette énergie est au plus bas, autrement dit on ne peut pas réaliser une température inférieure à cette valeur !!!

- Température du soleil : 6000 degrés en surface et 20 millions de degrés au centre !

⇒ La dilatation : augmentation de la distance entre les molécules et par conséquent augmentation du volume occupé par ces molécules.

### L'échelle nucléaire donne du vertige!

- 1g/1000 000 d'eau contient (en molécules):  
30 000 000 000 000 000 molécules d'eau !

- 1 mm<sup>3</sup> d'air contient (en molécules):  
27 millions de milliards de molécules diverses !

⇒ C'est le nombre de millièmes de secondes écoulés depuis un million d'années.

- A la température ambiante, ces molécules sont animées d'une vitesse moyenne de :  
1800 km/h entraînant des chocs au nombre de :  
5 milliards de chocs par seconde !

### Réponse 5

Notons  $Ab_{(35)}$ , l'abondance du  $^{35}\text{Cl}$   
 et  $Ab_{(37)}$ , l'abondance du  $^{37}\text{Cl}$

$$\begin{cases} Ab_{(35)} + Ab_{(37)} = 100 \% \\ Ab_{(35)} \cdot 0,349688 + Ab_{(37)} \cdot 0,369659 = 35,45269 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow Ab_{(35)} \cdot 0,349688 + (100 - Ab_{(35)}) \cdot 0,369659 &= 35,45269 \\ Ab_{(35)} \cdot (0,349688 - 0,369659) + 36,9659 &= 35,45269 \\ Ab_{(35)} &= (35,45269 - 36,9659) / -0,019971 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow Ab_{(35)} &= 75,77 \% \\ \rightarrow \text{et} \\ Ab_{(37)} &= 100 - 75,77 = 24,23 \% \end{aligned}$$

### Réponse 6

Poids des molécules :  $m(^{12}\text{C}^{16}\text{O}) = 28$  et  $m(^{12}\text{C}^{18}\text{O}) = 30$

$$\begin{aligned} E_{(^{12}\text{C}^{16}\text{O})} &= \frac{1}{2} \cdot 28 \cdot (v_{(^{12}\text{C}^{16}\text{O})})^2 \\ \rightarrow E_{(^{12}\text{C}^{18}\text{O})} &= \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot (v_{(^{12}\text{C}^{18}\text{O})})^2 \end{aligned}$$

D'après la théorie de l'énergie cinétique, les deux énergies sont égales à une température donnée (même  $k$ ), ce qui permet de déduire le rapport des vitesses suivant :

$$(v_{(^{12}\text{C}^{16}\text{O})}) / (v_{(^{12}\text{C}^{18}\text{O})}) = 1,035$$

Ce résultat montre que dans le même système, la vitesse moyenne de  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  est 3,5% plus élevée que celle de  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ .

Cette différence de vitesse explique pourquoi les molécules contenant l'isotope léger sont plus mobiles et ont donc une vitesse de diffusion supérieure à celle des molécules contenant l'isotope lourd. Par conséquent, l'effet cinétique favorise le fractionnement isotopique qui aboutit à l'enrichissement du système en  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ .

### Réponse 7

♦ Le cas le plus simple est celui du quartz où toutes les liaisons sont de type Si-O-Si.

Pratiquement, cela veut dire que :

$$A \text{ } 0^{\circ}\text{C} \quad \implies 1000 \ln \alpha_{\text{Qz-eau}} = 41,45$$

$$A \text{ } 17^{\circ}\text{C} \quad \implies 1000 \ln \alpha_{\text{Qz-eau}} = 36,36$$

♦ Pour les feldspaths :

$$A \text{ } 0^{\circ}\text{C} \quad \implies 1000 \ln \alpha_{\text{Fd-eau}} = \frac{1}{2} \cdot 41,45 + \frac{1}{2} \cdot 29,63 = 35,54$$

$$A \text{ } 17^{\circ}\text{C} \quad \implies 1000 \ln \alpha_{\text{Fd-eau}} = \frac{1}{2} \cdot 36,36 + \frac{1}{2} \cdot 25,94 = 31,15$$

Il est intéressant de remarquer que l'équation :

$$\ln \alpha_{X-Y} = A + B (10^6/T^2)$$

permet de calculer  $\alpha$  à différentes températures à condition de connaître les constantes A et B.

Les valeurs obtenues pour les feldspaths à 0°C et à 17°C peuvent être utilisées pour déduire A et B.

$$A \text{ } 0^{\circ}\text{C} : \quad 35,54 = A + B (10^6/(273,2)^2)$$

$$A \text{ } 17^{\circ}\text{C} : \quad 31,15 = A + B (10^6/(290,2)^2)$$

Ce qui implique que :  $B = 4,39/1,5237 = 2,88$  et  $A = -3,046$

L'équation reliant  $\alpha$  et T peut être écrite comme suit :

$$1000 \ln \alpha_{\text{Fd-eau}} = -3,046 + 2,88 (10^6/T^2)$$

Cette équation est proche de celle déduite expérimentalement par O'Neil :

$$1000 \ln \alpha_{\text{Fd-eau}} = -3,41 + 2,91 (10^6/T^2)$$

### Réponse 8

Nous avons  $\delta = R_e - R_{\text{Std}} / R_{\text{Std}}$

$$\implies \delta \cdot R_{\text{Std}} + R_{\text{Std}} = R_e$$

$$\implies R_e = R_{\text{Std}} (1+\delta)$$

### Réponse 9

Les deux particules exercent entre elles deux types de forces :

1) **une force répulsive** qui augmente rapidement lorsque la distance entre les deux particules diminue (en  $1/r^{12}$ ); et

2) **une force attractive** qui augmente avec la diminution de la distance, mais moins fortement (en  $1/r^6$ ) que les forces répulsives.

Il en résulte que les particules vont rester à une certaine distance l'une de l'autre : c'est la distance entre l'origine et le puits.

Pour la rupture de la liaison, il faut 's'échapper' du puits, ce qui nécessite une énergie cinétique suffisante pour **surmonter la force attractive**. Cette énergie est équivalente à **l'énergie de liaison** ( $E_B$ ).

- L'énergie de liaison varie en fonction de la température (différence du niveau entre  $T_0$  et  $T$ ).
- A une température donnée, les isotopes d'un même élément ont des énergies de liaison différentes. L'isotope léger a une énergie de liaison faible, il sera donc plus réactif que l'isotope lourd lors des processus physico-chimiques. Par conséquent, les deux isotopes vont subir un fractionnement isotopique suite à ces processus.
- Lorsque la **température augmente**, la différence entre les énergies de liaison des **isotopes diminue**. Elle devient très faible à haute température, ce qui explique l'absence du fractionnement isotopique dans les conditions de haute température.

### Conclusion

Les molécules ayant des compositions isotopiques différentes n'ont pas la même énergie de liaison entre les atomes constitutifs.

Ces différences d'énergie, aussi faibles soient elles, font que les molécules contenant des isotopes lourds soient plus stables que celles contenant des isotopes légers.

L'effet cinétique est d'autant plus important pour les processus physiques et/ou chimiques irréversibles (unidirectionnels), faisant intervenir l'énergie de liaison comme l'évaporation, la diffusion des gaz, l'activité bactérienne, etc.

### Réponse 10

$$\delta^{18}\text{O}_v \cdot 10^{-3} = R_v - R_{\text{Std}}/R_{\text{std}}$$

$$\Rightarrow \delta^{18}\text{O}_v \cdot R_{\text{std}} = 1000 \cdot R_v - 1000 \cdot R_{\text{Std}}$$

$$\Rightarrow 1000 R_v = R_{\text{Std}} \cdot (\delta^{18}\text{O}_v + 1000)$$

$$\text{De même pour l'état d'origine : } 1000 \cdot R_0 = R_{\text{Std}} \cdot (\delta^{18}\text{O}_0 + 1000)$$

Ainsi on obtient :

$$\frac{R_v}{R_0} = \frac{1000 R_v}{1000 R_0} = \frac{\delta^{18}\text{O}_v + 1000}{\delta^{18}\text{O}_0 + 1000}$$

En remplaçant  $R_v/R_0$  dans l'équation de Rayleigh, on obtient :

$$\frac{R_v}{R_0} = \frac{\delta^{18}\text{O}_v + 1000}{\delta^{18}\text{O}_0 + 1000} = f^{(\alpha-1)}$$

Ce qui permet d'écrire :  $\delta^{18}\text{O}_v = (\delta^{18}\text{O}_0 + 1000) \cdot f^{(\alpha-1)} - 1000$

De la même manière que ci-dessus on peut écrire

$$\alpha = \frac{R_l}{R_v} = \frac{1000 R_l}{1000 R_v} = \frac{\delta^{18}\text{O}_l + 1000}{\delta^{18}\text{O}_v + 1000}$$

d'où :

$$\delta^{18}\text{O}_l = \alpha (\delta^{18}\text{O}_v + 1000) - 1000$$

ce qui permet de tracer la courbe d'évolution de  $\delta^{18}\text{O}_l$  à partir de  $\delta^{18}\text{O}_v$ .

La figure 5 illustre le fait que les précipitations deviennent progressivement appauvries en  $^{18}\text{O}$  par rapport à l'eau de mer. Etant donné que l'évaporation de l'eau de mer donne une vapeur appauvrie en  $^{18}\text{O}$ , l'appauvrissement en cet isotope suite à la condensation de la vapeur, amplifie la différence des signatures isotopiques entre l'eau de mer d'une part les précipitations d'autre part.

### Réponse 11

$$\text{Nous avons } \Delta = \delta^{18}\text{O}_{\text{Pl}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{Cpx}} = 6,4 - 5,7 = 0,7$$

$$\beta = 0,5 \Rightarrow B = 1,58 - 1,09 (0,5) = 1,035$$

L'équation devient :

$$0,7 = 0 + 1,035 \cdot 10^6 / T^2$$

$$\Rightarrow T^2 = 1,035 \cdot 10^6 / 0,7$$

$$\Rightarrow T^2 = 1478571$$

$$\Rightarrow T = 1216 \text{ K} = 1216 - 273,15 = 942 \text{ }^\circ\text{C}$$

### Réponse 12

Etant donné que  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta\text{D}$  des eaux météoriques sont liés par une relation linéaire dont l'équation est :

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

$\delta^{18}\text{O}$  de l'eau météoriques en question peut être déduite de  $\delta\text{D}$  de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \delta^{18}\text{O} &= (\delta\text{D} - 10)/8 \\ &= -80/8 = -10 \text{ ‰} \end{aligned}$$

### Réponse 13

En utilisant l'équation de fractionnement entre la calcite et l'eau :  $10^3 \ln \alpha \approx \delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_e$

On sait que :  $10^3 \ln \alpha = A \cdot (10^6/T^2) + B$   
avec les constantes A et B du tableau 3

$$\Rightarrow A = 2,78 \text{ et } B = -2,89$$

$$\text{d'où } 10^3 \ln \alpha = [2,78 \cdot 10^6 / (278,15)^2] - 2,89$$

$$\text{d'où } 10^3 \ln \alpha = 33,04$$

$$\text{En calculant } \delta^{18}\text{O}_e = 0,695 T - 13,6 = -10,12$$

et en remplaçant  $10^3 \ln \alpha$  par sa valeur dans l'équation :

$$10^3 \ln \alpha \approx \delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_e, \text{ et on a :}$$

$$33,04 \approx \delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_e \text{ d'où :}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{calcite}} = 33,04 - 10,12 = 22,9 \text{ ‰}$$

Si on n'utilise pas l'approximation  $10^3 \ln \alpha \approx \delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_e$ , on a  $R_c = (\delta^{18}\text{O}_c \cdot R_{\text{Std}}) + R_{\text{Std}} = [R_{\text{Std}} (\delta^{18}\text{O}_c + 1000)]/1000$

$$\text{et } R_e = (\delta^{18}\text{O}_e \cdot R_{\text{Std}}) + R_{\text{Std}} = [R_{\text{Std}} (\delta^{18}\text{O}_e + 1000)]/1000$$

$$\begin{aligned} \alpha &= [R_{\text{Std}} (\delta^{18}\text{O}_c + 1000)]/1000 / [R_{\text{Std}} (\delta^{18}\text{O}_e + 1000)]/1000 \\ &= (\delta^{18}\text{O}_c + 1000) / (\delta^{18}\text{O}_e + 1000) \end{aligned}$$

Application

$$10^3 \ln \alpha = 33,04 \Rightarrow \ln \alpha = 0,03304 \Rightarrow \alpha = 1,03359$$

$$\text{c.a.d } 1,03359 = (\delta^{18}\text{O}_c + 1000) / (\delta^{18}\text{O}_e + 1000)$$

$$\Rightarrow \delta^{18}\text{O}_c = 1,03359 (\delta^{18}\text{O}_e + 1000) - 1000$$

$$= 1,03359 (-10,12 + 1000) - 1000$$

$$\Rightarrow \delta^{18}\text{O}_c = 23,1 \text{ ‰}$$

### Réponse 14

La Figure 13 montre la tendance générale d'augmentation de la concentration en  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère dans deux zones depuis une vingtaine d'années. Cette augmentation est liée à l'industrie qui s'est développée pendant cette période comme en témoigne la diminution progressive de  $\delta^{13}\text{C}$  qui prouve l'origine anthropogénique du carbone sachant que  $\delta^{13}\text{C}$  du carbone est très bas (-25‰).