

## TD9 : Description d'un système en transformation

CAPACITÉS TRAVAILLÉES :

- ▷ Identifier la nature d'une transformation : TLB1
- ▷ Identifier la nature d'une transformation physique : TLB2
- ▷ Recenser les espèces physico-chimiques présentes dans un système : TLB3, ex1,2
- ▷ Écrire l'équation de la réaction qui modélise une transformation chimique donnée : TLB3,4,5,9, ex1,2,3
- ▷ Décrire qualitativement et quantitativement un système chimique dans l'état initial ou dans un état d'avancement quelconque : TLB3,4,9, ex1,2,3
- ▷ Décrire la composition d'un système à l'aide de grandeurs physiques pertinentes : TLB4,6,7,8,9,10, ex3
- ▷ Déterminer la composition chimique du système dans l'état final, en distinguant les cas d'équilibre chimique et de transformation totale : TLB4, ex1,2,3

## 1 Questions de cours

**QC1** : Transformations de la matière.

**QC2** : Avancement d'une réaction chimique.

**QC3** : Réactif limitant.

**QC4** : Grandeurs chimiques pertinentes pour décrire l'état d'un système.

**QC5** : Modèle du gaz parfait.

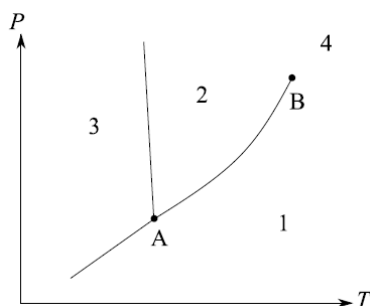
## 2 Tester les bases

**TLB1 : nature d'une transformation**

Identifier la nature (physique, chimique ou nucléaire) des transformations dont les équations sont données ci-dessous :

- a)  ${}_0^1\text{n} + {}_{92}^{235}\text{U} = {}_{51}^{134}\text{Sb} + {}_{41}^{99}\text{Nb} + 3{}_0^1\text{n}$
- b)  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{H}_2\text{O}_{(g)}$
- c)  $2\text{C}_{16}\text{H}_{34(l)} + 49\text{O}_{2(g)} = 32\text{CO}_{2(g)} + 34\text{H}_2\text{O}_{(g)}$
- d)  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{H}_{2(g)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(g)}$
- e)  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} = {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n}$
- f)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(s)} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(aq)}$

**TLB 2 : diagramme de phases de l'eau (CCINP 2020)**



1. Le diagramme de phases (P,T) de l'eau est présenté ci-dessus. Identifier les domaines d'existence des différentes phases. Préciser le nom des points caractéristiques A et B. Rappelez les noms des changements d'état lorsqu'on traverse les frontières des différents domaines d'existence dans ce diagramme.

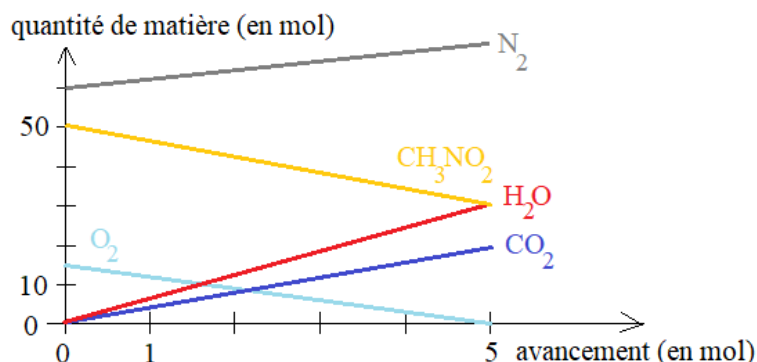
2. Lors du déplacement de joueurs de hockey sur la glace, la lame du patin crée une fine couche d'eau liquide à la surface de la glace. Donner une cause physique à sa création.

### TLB 3 : un moteur de dragster

Afin d'obtenir plus de puissance, du nitrométhane est utilisé comme carburant dans les dragsters (voitures de course dont les duels attirent de nombreux spectateurs aux États-Unis).

On réalise la combustion du nitrométhane  $\text{CH}_3\text{NO}_2$  dans un réacteur fermé. Au départ, la température du mélange est de  $25^\circ\text{C}$ . À la fin de la transformation, elle est de  $600^\circ\text{C}$ .

On représente l'évolution des quantités de matière au cours de la transformation.



1. Identifier les réactifs et les produits de la réaction. Préciser le réactif limitant.
2. Indiquer le caractère endothermique ou exothermique de cette transformation.
3. Établir l'équation ajustée de la réaction (on attribuera un coefficient stœchiométrique de 4 au nitrométhane), puis dresser son tableau d'avancement.

### TLB4 : combustion du méthanol (CCINP 2022)

1. Écrire l'équation de combustion complète du méthanol liquide dans l'air.
2. Quel volume d'eau liquide obtiendrait-on après combustion de 5,0L de méthanol ?

Données :

- ▷ Densité du méthanol  $\text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$  :  $d = 0,80$ .
- ▷ Masse molaire moléculaire du méthanol :  $M = 32 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

### TLB5 : équations de réaction (CCINP 2021, 2019, 2017, CCS 2022)

1. Écrire l'équation de dissolution du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) dans l'eau.
2. La réaction de combustion de l'hexamine solide dans l'air s'écrit :  

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4(s) + a\text{O}_{2(g)} = b\text{N}_{2(g)} + c\text{CO}_{2(g)} + d\text{H}_2\text{O}_{(g)}$$
 où a, b et c sont des coefficients stœchiométriques. Déterminer a, b et c.
3. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète de l'éthanol liquide  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  avec le dioxygène de l'air pour donner du dioxyde de carbone gazeux et de la vapeur d'eau.
4. Le sodium solide réagit totalement avec l'eau pour former du dihydrogène gazeux, des ions sodium  $\text{Na}^+_{(aq)}$  et des ions hydroxyde  $\text{HO}^-_{(aq)}$ .
  - a) Donner l'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique.  
 Le dihydrogène peut réagir avec le dioxygène pour produire de l'eau. Cette transformation chimique peut être explosive. Pour cette raison, le sodium solide n'existe qu'en l'absence totale d'eau ; il n'existe donc pas dans la nature.
  - b) Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre  $\text{H}_{2(g)}$  et  $\text{O}_{2(g)}$  pour produire de l'eau liquide.
5. Lors de la respiration cellulaire, du glucose est décomposé par du dioxygène pour former du dioxyde de carbone et de l'eau, suivant la réaction :  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \dots\text{O}_2 = \dots\text{CO}_2 + \dots\text{H}_2\text{O}$  qui libère de l'énergie. Déterminer les valeurs des coefficients stœchiométriques.

**TLB6 : propriétés des gaz parfaits (CCS 2019)**

1. Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits. On donnera l'unité de chacune des grandeurs qui interviennent dans cette équation.
2. Notons  $\rho$  la masse volumique d'un gaz parfait. Exprimer  $\rho$  en fonction de  $P$ ,  $T$ ,  $M$  et  $R$  (constante des gaz parfaits).
3. En déduire que la densité s'exprime :  $d = \frac{M}{M_{air}}$ .

**TLB7 : composition de différentes solutions**

1. Une solution d'acide sulfurique fumant correspond à une fraction massique en  $H_2SO_4$  de 95% dans l'eau ( $M_{H_2SO_4} = 98,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). Déduire sa densité sachant que sa concentration est de  $17,8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .
2. La masse volumique de l'eau de la mer Morte vaut  $1,24 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1}$  pour un pourcentage massique en chlorure de sodium  $NaCl$  de 27,5% ( $M_{NaCl} = 58,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). En déduire la concentration en quantité de matière en chlorure de sodium dans cette eau.

**TLB8 : composition de différents mélanges**

1. On mélange 25mL de benzène ( $d_B = 0,88$ ;  $M_B = 78,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) et 50 mL de toluène ( $d_T = 0,87$ ;  $M_T = 92,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). Déterminer les fractions molaires et massiques de tous les constituants du mélange.
2. Considérons un mélange de 1mol de dioxyde de carbone et de 3mol de dioxygène à l'état gazeux sous une pression totale de 1 bar et à  $28^\circ\text{C}$ . Déterminer les pressions partielles de chacun des gaz. Calculer le volume de l'enceinte.
3. Soit une pièce de  $30 \text{ m}^2$  et de 2,5 m de hauteur qui contient de l'air assimilé à un mélange de 20%  $O_2$  et 80%  $N_2$ . La pression vaut 1 bar et la température vaut  $25^\circ\text{C}$ . Déterminer la masse volumique du mélange gazeux, puis les quantités de matière respectives de dioxygène ( $M_{O_2} = 32 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) et de diazote ( $M_{N_2} = 28 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ).

**TLB9 : eau oxygénée**

L'eau oxygénée est une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$ . Elle est notamment utilisée pour ses propriétés antiseptiques ou décolorantes, grâce au fort pouvoir oxydant de  $H_2O_2$ . Le peroxyde d'hydrogène se décompose en eau liquide et en dioxygène gazeux selon une réaction lente.

Le titre, exprimé en volumes, d'une solution d'eau oxygénée est défini comme le volume de dioxygène, en litres, libéré par la décomposition d'un litre d'eau oxygénée à  $0^\circ\text{C}$  et sous une pression de 1,013 bar. Dans ces conditions, le volume molaire des gaz est égal à  $22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$ . On rappelle la constante des gaz parfaits :  $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la décomposition du peroxyde d'hydrogène.
2. Calculer la concentration en peroxyde d'hydrogène d'une eau oxygénée à 10 volumes.

**TLB10 : concentrations effectives**

1. Écrire l'équation de la dissolution dans l'eau :
  - a) du chlorure de sodium ( $NaCl$ ) ;
  - b) du chlorure de calcium ( $CaCl_2$ ) ;
  - c) du nitrate de calcium ( $Ca(NO_3)_2$ ).
2. En déduire la concentration effective de chaque ion en fonction de la concentration du soluté, notée respectivement  $c_1$ ,  $c_2$  et  $c_3$ .

On mélange à présent :

  - $V_1 = 20 \text{ cm}^3$  d'une solution aqueuse de chlorure de sodium à  $c_1 = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
  - $V_2 = 30 \text{ cm}^3$  d'une solution aqueuse de chlorure de calcium à  $c_2 = 0,3 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
  - $V_3 = 50 \text{ cm}^3$  d'une solution aqueuse de nitrate de calcium à  $c_3 = 0,2 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
3. Déterminer la concentration effective de chaque ion dans le mélange.

### 3 Exercices

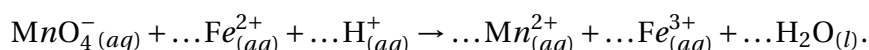
#### Exercice 1 : oxydation des ions ferreux

Une expérience est menée en laboratoire pour illustrer la capacité de l'ion permanganate à oxyder les ions ferreux. Dans un bécher contenant 40 mL d'une solution de sulfate de fer(II) ( $\text{Fe}_{(aq)}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)}$ ) de concentration en quantité de matière égale à  $2,5 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , on introduit 20 mL d'une solution aqueuse de permanganate de potassium ( $\text{K}^{+}_{(aq)} + \text{MnO}_4^{-}_{(aq)}$ ) de concentration en quantité de matière  $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  contenant aussi des ions  $\text{H}^{+}$ .

Avant mélange, la solution de permanganate de potassium est violette et opaque. La solution de sulfate de fer est transparente et pratiquement incolore (elle possède une très légère coloration verte). Après avoir mélangé, le milieu réactionnel est transparent et possède une coloration jaune-orangée.

Espèce chimique	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+}$	$\text{MnO}_4^{-}$	$\text{Mn}^{2+}$
Coloration de la solution aqueuse	Verdâtre	Orangée	Violacée coloration intense	Incolore

1. Justifier qu'une transformation chimique a bien eu lieu dans le bécher.
2. Vérifier que l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique s'écrit :



Vous déterminerez les valeurs des coefficients stœchiométriques manquants.

3. Justifier que  $\text{MnO}_4^{-}_{(aq)}$  et  $\text{Fe}_{(aq)}^{2+}$  sont introduits en proportions stœchiométriques.

Cette modélisation de la transformation sert de support pour rédiger un programme en langage Python. Ce programme, dont un extrait est fourni ci-dessous, permet de visualiser l'évolution des quantités de matière des ions permanganate et des ions ferreux dans le système en fonction de l'avancement de la réaction, noté x.

```
5 ni_MnO4 = 2.0 # quantité de matière initiale de permanganate MnO4- en mmol
6 ni_Ferreux = 10 # quantité de matière initiale d'ions Fe2+ en mmol
7 ni_Ferrique = 0 # quantité de matière initiale d'ions Fe3+ en mmol
8 ni_Mn2 = 0 # quantité de matière initiale d'ions Mn2+ en mmol
9 # H2O solvant (non simulé)
10 # H+ large excès (non simulé)
11
12 n_MnO4=[ni_MnO4]
13 n_Ferreux=[ni_Ferreux]
14 n_Ferrique=[ni_Ferrique]
15 n_Mn2=[ni_Mn2]
16
17 avancement=[0]
18 x=0
19
20 while n_MnO4[-1]>=0 and n_Ferreux[-1]>=0:
21     x=x+0.05
22     n_MnO4.append((ni_MnO4 - 1*x))
23     n_Ferreux.append((ni_Ferreux - 5*x))
24     n_Mn2.append((ni_Mn2 + 1*x))
25     avancement.append(x)
26
27 xmax=avancement[-1]
```

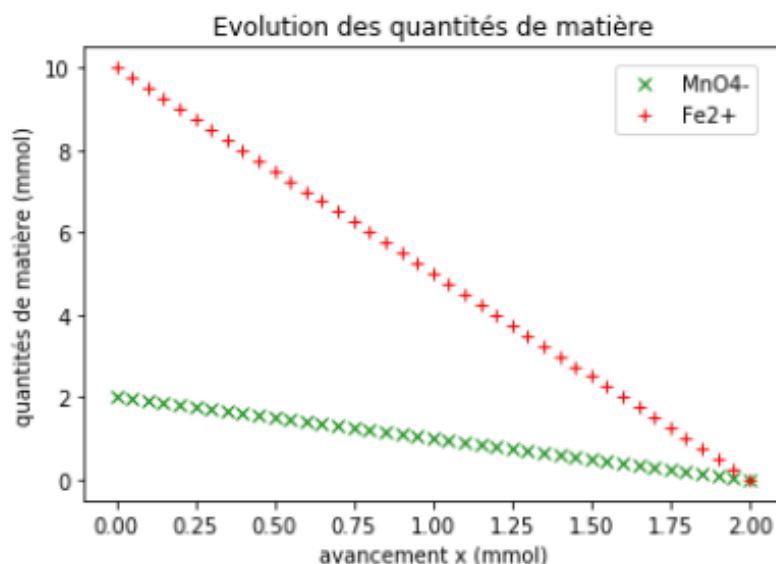


Figure 1 : Évolution des quantités de matière en fonction de l'avancement

4. Indiquer la ligne du programme codant l'information correspondant à une transformation totale. Justifier.

5. Établir un tableau d'avancement de la réaction et vérifier que la valeur de l'avancement maximal est compatible avec le tracé de la figure 1 fournie ci-dessous.

6. Écrire l'instruction permettant de calculer la quantité de matière de  $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$  pour une valeur d'avancement x et proposer un numéro de ligne où elle pourrait être insérée dans le programme.

7. Compléter la figure 1 avec les représentations graphiques des quantités de matière d'ions  $\text{Mn}^{2+}_{(aq)}$  et  $\text{Fe}^{3+}_{(aq)}$  en fonction de l'avancement.

### Exercice 2 : une expérience de chimie historique

Pendant une bonne partie du 18<sup>e</sup> siècle, les chimistes ont pensé que l'air était un corps pur. On sait aujourd'hui qu'il s'agit d'un mélange de gaz contenant essentiellement du diazote ( $\text{N}_2$ , 80% environ) et du dioxygène ( $\text{O}_2$ , 20% environ).

En 1775, le chimiste français Antoine Lavoisier (1743-1794) découvre que le dioxygène est un des constituants de l'air.

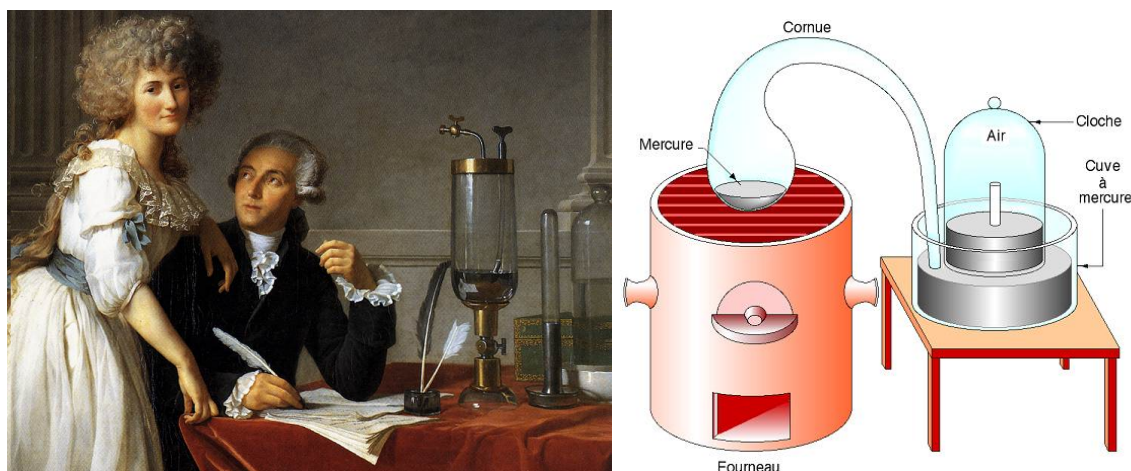


FIGURE 1 – Gauche : portrait de Marie Anne Paulze et de son époux Antoine Lavoisier par Jacques-Louis David (1788) ; droite : schéma de l'expérience de Lavoisier

### Compte rendu de l'expérience de Lavoisier :

122 g de mercure (Hg) sont placés dans une cornue dont l'extrémité recourbée aboutit à l'intérieur d'une cloche contenant 0,8L d'air et renversée sur une cuve à mercure. La cornue est mise à chauffer de telle manière à maintenir le mercure en ébullition pendant plusieurs jours. Au bout de 2 jours, la surface du mercure commence à se couvrir de paillettes rouges. Après 12 jours, l'épaisseur de la couche de paillette n'augmentant plus, le chauffage est arrêté.

Après refroidissement, les mesures et les observations permettent de dire :

- ▷ qu'il ne reste plus que 0,66L « d'air » sous la cloche ;
- ▷ que dans « l'air » restant, une bougie s'éteint et une souris meurt ;
- ▷ qu'il s'est formé 2,3g de « rouille de mercure » (paillettes rouges) en surface.

### Données :

- ▷ Masses molaires atomiques :  $M(\text{Hg}) = 201 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- ▷ Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience :  $V_m = 24\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- ▷ Le dioxygène est nécessaire à la respiration et à la combustion. Le mercure est un liquide très toxique. L'oxyde de mercure  $\text{HgO}$  a une couleur rouge.

1. Indiquer plusieurs raisons pour lesquelles l'expérience de Lavoisier ne peut pas être reproduite au lycée en travaux pratiques.
2. Identifier les réactifs et le produit de la transformation chimique étudiée par Lavoisier, ainsi qu'une espèce chimique spectatrice.
3. En déduire l'équation de la réaction chimique qui modélise la transformation.
4. Établir le tableau d'avancement de la transformation étudiée par Lavoisier.
5. Déterminer le réactif limitant, sous l'hypothèse que la transformation est totale.
6. Calculer la quantité de matière d'oxyde de mercure ( $\text{HgO}$ ) formée, puis la masse correspondante, en supposant la transformation totale. Commenter.

### **Exercice 3 : énergie consommée par une voiture (CCINP 2018)**

On estime à 20 kW la puissance nécessaire pour faire rouler une voiture sur route plate par vent nul. On souhaite comparer différents moyens permettant d'utiliser cette voiture pendant une heure.

Voici quelques données techniques :

- énergie massique du carburant sans plomb 98 :  $W_1 = 12,3 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$  ;
- constante des gaz parfaits  $R = 8,3\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;
- pression ambiante :  $P_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$  ;
- température ambiante :  $\theta_0 = 25^\circ\text{C}$  ;
- masse molaire de l'hydrogène  $\text{H} : M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

1. Calculer l'énergie nécessaire pour assurer ce trajet d'une heure en wattheures ( $\text{W}\cdot\text{h}$ ) puis en joules.

2. Calculer la masse  $m_1$  de carburant sans plomb 98 nécessaire.

En menant le même raisonnement, on peut prouver qu'il faudrait installer une batterie lithium-ion pesant  $m_2 = 160 \text{ kg}$  ou stocker  $m_3 = 0,600 \text{ kg}$  de dihydrogène pour alimenter une pile à combustible.

3. Le dihydrogène étant considéré comme un gaz parfait, quel volume occuperait une telle quantité de dihydrogène s'il était stocké à pression et température ambiantes ?

4. Dans le but d'assurer l'autonomie des voitures dans un avenir proche :
  - à quelle condition peut-on envisager de remplacer les carburants fossiles par des batteries ?
  - à quelle condition peut-on envisager de remplacer les carburants fossiles par des piles à combustible ?

Pour pallier le problème identifié ci-dessus, des études s'intéressent à l'acide méthanoïque comme carburant potentiel pour des piles à combustible. L'acide méthanoïque de formule  $\text{HCOOH}$  est naturellement sécrété par des fourmis, d'où son nom usuel d'acide formique.

On donne les masses molaires  $M$ , les numéros atomiques  $Z$  et les nombres de masse  $A$  des atomes suivants :

- Pour l'hydrogène  $\text{H}$  :  $M_{\text{H}} = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $Z_{\text{H}} = 1$ ,  $A_{\text{H}} = 1$  ;
- Pour l'oxygène  $\text{O}$  :  $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $Z_{\text{O}} = 8$ ,  $A_{\text{O}} = 16$  ;
- Pour le carbone  $\text{C}$  :  $M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $Z_{\text{C}} = 6$ ,  $A_{\text{C}} = 12$ .

5. Donner la représentation de Lewis de l'acide méthanoïque.

Dans la suite de cette partie, on pourra se référer au document ci-dessous, d'après le communiqué de presse de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) du 30 novembre 2010.

#### **Document – De l'acide formique au dihydrogène**

Le dihydrogène est souvent désigné comme le futur remplaçant des carburants fossiles. Il est facilement produit à partir d'énergie électrique. Écologique et performant, il n'en présente pas moins de nombreux inconvénients. Extrêmement inflammable, il doit être stocké dans d'encombrantes bouteilles pressurisées, autant d'obstacles à son utilisation, que les scientifiques de l'EPFL et leurs confrères du Leibniz-Institut für Katalyse ont levés, en stockant le dihydrogène sous la forme d'acide formique. Grâce à un catalyseur et au  $\text{CO}_2$  présent dans l'atmosphère, les scientifiques ont transformé le dihydrogène en acide formique.

Plutôt qu'une lourde bouteille de fonte remplie de dihydrogène sous pression, ils obtiennent ainsi une substance très peu inflammable et liquide à température ambiante. Une solution pour accumuler l'énergie des sources renouvelables comme le solaire ou l'éolien, ou alimenter la voiture de demain.

En novembre 2010, seconde étape. Les laboratoires sont parvenus à provoquer le phénomène inverse : par le biais d'une catalyse, l'acide formique retourne de manière totale à l'état de  $\text{CO}_2$  et de dihydrogène, lequel peut ensuite être transformé en énergie électrique. Un prototype fonctionnel, peu encombrant et d'une puissance de deux kilowatts est d'ores et déjà au point. [...] Autre avantage par rapport au stockage conventionnel, le procédé permet de stocker presque le double d'énergie à volume égal. En effet, un litre d'acide formique peut libérer par une transformation chimique plus de 53 grammes de dihydrogène contre à peine 28 grammes pour un même volume de dihydrogène pur pressurisé à 350 bars.

On donne :

- densité de l'acide formique par rapport à l'eau :  $d = 1,22$  ;
- masse volumique de l'eau liquide :  $\mu_{\text{eau}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

6. Donner deux avantages que revêt l'utilisation de l'acide formique en tant que combustible plutôt que le dihydrogène.

7. Établir l'équation chimique permettant de créer du dihydrogène à partir de l'acide formique.



8. En déduire que l'affirmation du texte « un litre d'acide formique peut libérer par une transformation chimique plus de 53 grammes de dihydrogène » est vérifiée.

9. Le projet de recherche envisage de réduire dans un premier temps le dioxyde de carbone en acide formique grâce à l'énergie électrique fournie par des panneaux solaires, puis dans un second temps d'utiliser une pile à combustible à acide formique pour obtenir de l'électricité. Commenter l'intérêt de chacune de ces deux opérations.

#### Exercice 4 : datation de vins par radioactivité

##### Document 1 - Contexte de l'étude

La collaboration entre des scientifiques du centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan et du laboratoire interrégional de Bordeaux de la direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes a permis de mettre au point une technique de datation des vins. En effet, ces deux laboratoires ont mis en évidence la présence d'un élément radioactif, le césium 137, dans certains vins. À l'exception du césium 133, naturellement présent dans l'environnement, tous les isotopes du césium sont artificiels et produits par des réactions nucléaires de fission. Une importante quantité de césium 137 a été libérée dans l'environnement lors des essais nucléaires atmosphériques effectués durant la période 1945-1980. En 2000, une étude a été réalisée sur plusieurs vins de la région bordelaise. Les scientifiques ont pu conclure que le taux de césium 137 varie en fonction du millésime\* du vin.

\*Un millésime est le nombre désignant une année. En œnologie, c'est l'année de récolte des raisins ayant servi à produire un vin.

##### Document 2 - Quelques caractéristiques du césium 137

Le césium 137, de temps de demi-vie  $t_{1/2} = 30$  ans, se désintègre en baryum 137. La majorité des noyaux fils obtenus lors de cette désintégration se trouve dans un état excité. Au bout de quelques minutes, les noyaux de baryum émettent un rayonnement pour revenir à leur état fondamental. Ce rayonnement, très pénétrant, s'échappe facilement du vin, traverse le verre de la bouteille et est détecté par un appareil qui mesure alors l'activité en césium 137 du vin analysé. L'activité en césium 137 d'un vin est faible et s'exprime en mBq (millibecquerel) par litre de vin\*\*. L'étude réalisée, en 2000, sur une série de vins de la région bordelaise d'origines et de millésimes différents, a conduit à la courbe représentée sur la page suivante.

\*\* : 1 becquerel (Bq) correspond à une désintégration par seconde.

##### Document 3 - Quelques noyaux et leurs représentations symboliques

Noyau	Uranium 235	Césium 137	Baryum 137	Iode 137	Yttrium 97
Symbole	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{56}\text{Ba}$	$^{137}_{53}\text{I}$	$^{97}_{39}\text{Y}$

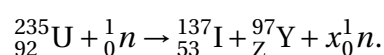
##### 1. Production de césium 137

Le césium 137 est l'un des produits de fission de l'uranium.

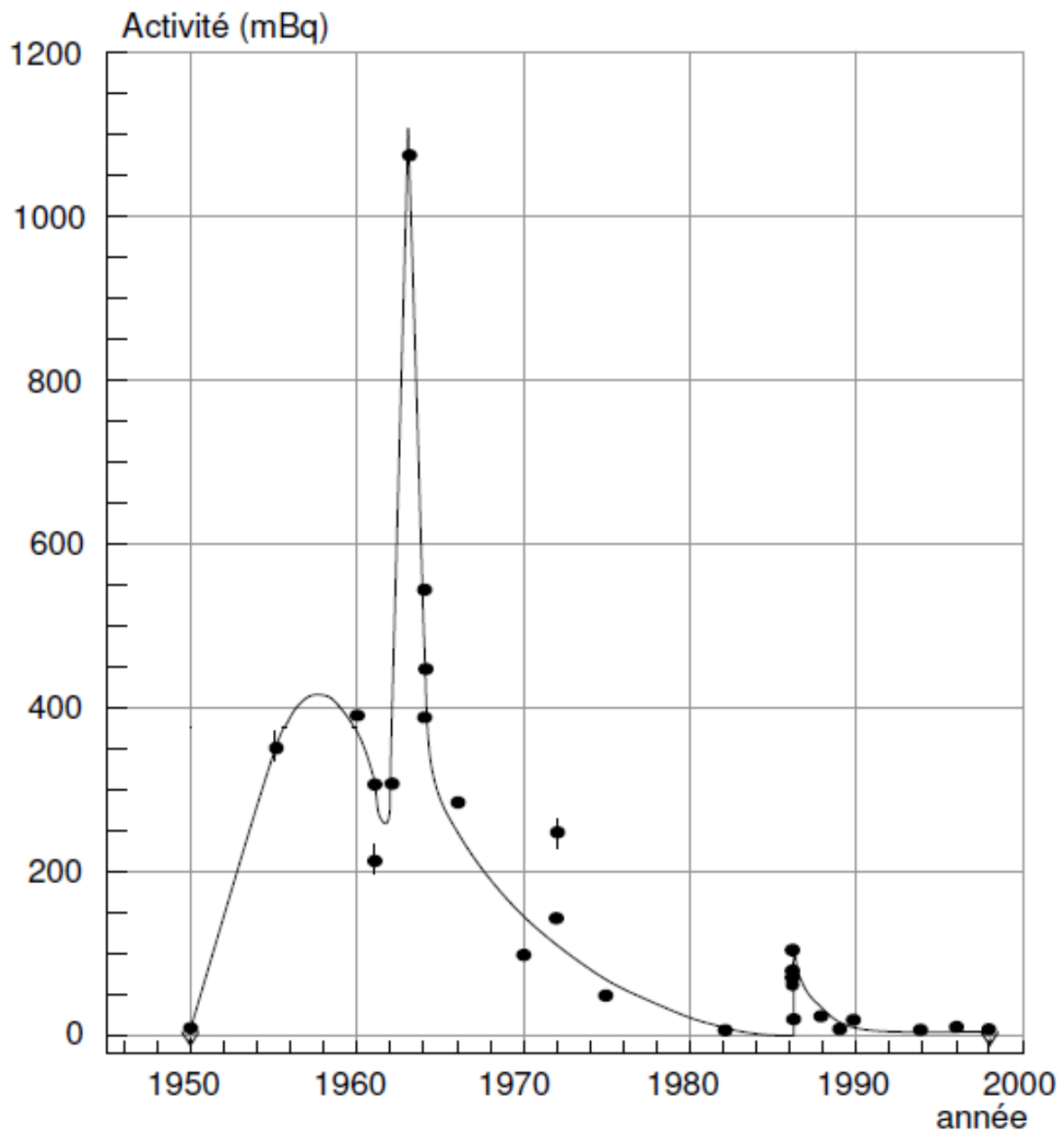
1.1. Quand dit-on que des noyaux sont isotopes ?

1.2. Qu'appelle-t-on réaction nucléaire de fission ?

L'équation d'une des réactions possibles de fission d'un noyau d'uranium 235 est :







1.3.1. Déterminer les valeurs de Z et de x.

1.3.2. Cette réaction de fission peut donner une réaction en chaîne. Expliquer pourquoi.

Les produits de fission comme l'iode 137 sont radioactifs et se transforment en d'autres noyaux eux-mêmes radioactifs. Parmi ces déchets, on trouve le césium 137 obtenu en quelques minutes par une suite de désintégrations  $\beta^-$ .

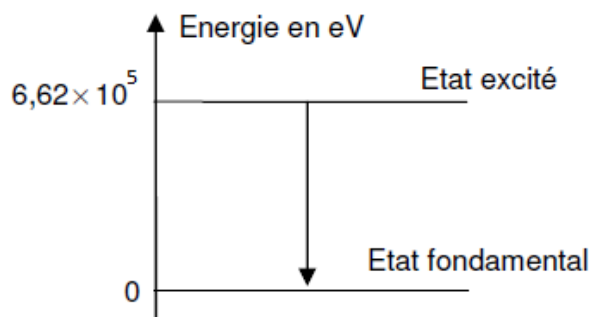
1.4. Nommer et donner la notation  ${}^A_ZX$  de la particule émise lors d'une désintégration  $\beta^-$ .

1.5. Combien de désintégrations  $\beta^-$  se sont produites pour obtenir un noyau de césium 137 à partir d'un noyau d'iode 137 ?

2. Vérifier un millésime grâce au césium 137

2.1.1. De quel type de rayonnement parle-t-on dans le document 2 ?

2.1.2. On donne le diagramme des niveaux d'énergie d'un noyau de baryum 137 :



Donner l'expression de l'énergie  $\Delta E$  qui correspond à l'émission du rayonnement en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  associée à ce rayonnement. Calculer la valeur de  $\lambda$ .

Données :

- ▷ célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;
- ▷ électron-volt :  $1\text{eV} = 1,60 \times 10^{-19}\text{J}$  ;
- ▷ constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ .

En 2010, le laboratoire de la répression des fraudes a analysé une bouteille de vin dont l'étiquette indique l'année 1955. Les scientifiques ont mesuré une activité en césium 137 de  $A(2010) = 278 \text{ mBq}$  par litre de vin.

2.2. La loi de décroissance radioactive a pour expression :  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ . Expliciter la signification des différents termes.

2.3. Définir l'expression "temps de demi-vie".

L'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs est définie par  $A(t) = \left| \frac{dN}{dt} \right|$ .

2.4. En déduire la relation entre l'activité  $A(t)$ , le nombre de noyaux  $N(t)$  et  $\lambda_{\text{Cs}}$ , constante radioactive du césium 137.

2.5. Calculer le nombre de noyaux de césium 137 présents, en 2010, dans un litre du vin analysé.

2.6. On prendra l'an 2000 comme origine des dates ( $t_0$ ). Montrer que l'activité  $A_0(2000)$  que ce vin possédait en l'an 2000 a pour expression :  $A_0(2000) = \frac{A(2010)}{e^{-\ln(2)/3}}$ .

2.7. Calculer la valeur de  $A_0(2000)$  pour un litre de ce vin.

2.8. Utiliser la courbe du document 2 pour en déduire le (ou les) millésime(s) de ce vin. L'acheteur de ce vin peut-il être rassuré quant à l'authenticité du vin ?

2.9. Pourquoi ne peut-on pas utiliser cette technique pour authentifier un vin trop jeune ou trop vieux (de 1920 par exemple) ?

### Exercice 5 : un réchaud en altitude (CCINP 2019, sans calculatrice)

Le graphe de la fonction  $f(x) = \exp(-x)$  figure en fin d'énoncé.

Tout vrai randonneur sait que le temps de cuisson des aliments dans l'eau bouillante change avec l'altitude. Ceci est lié au fait que la pression diminue avec l'altitude.

On rappelle la **loi fondamentale de la statique des fluides** dans le champ de pesanteur uniforme, donnant les variations de la pression  $p$  avec l'altitude  $z$  (l'axe des

$z$  est vertical ascendant) :

$$\frac{dp}{dz} = -\mu_{air}g$$

où  $\mu_{air}$  est la masse volumique de l'air et  $g$  la norme de l'accélération de la pesanteur supposée uniforme.

L'air est assimilé à un gaz parfait diatomique de masse molaire  $M_{air}$ . L'atmosphère est supposée isotherme (sa température absolue est constante). On note  $T_0$  la température et  $p_0$  la pression à altitude nulle :  $z = 0$ .  $R$  est la constante des gaz parfaits.

1. Pourquoi considère-t-on l'air comme un gaz diatomique ?
2. Déterminer l'expression de  $\mu_{air}$  en fonction de  $p$ ,  $R$ ,  $T_0$  et  $M_{air}$ .
3. En déduire que  $p$  est solution de l'équation différentielle

$$\frac{dp}{dz} + \frac{p}{D} = 0$$

où on exprimera  $D$  en fonction de  $g$ ,  $R$ ,  $T_0$  et  $M_{air}$ .

4. Déterminer l'unité de  $D$  à partir de l'équation différentielle, puis à l'aide de son expression. On l'exprimera à partir des unités de base du Système International.
5. Déterminer l'expression de  $p$  en fonction de  $z$ , de la pression  $p_0$  et de  $D$ . Cela confirme-t-il que la pression diminue avec l'altitude ?
6.  $D$  est de l'ordre de 8 km. Que vaut la pression à 2 km d'altitude sachant que  $p_0$  vaut 1 bar ?
7. On donne ci-dessous l'allure du diagramme d'équilibre pression-température du corps pur eau. Recopier ce diagramme et identifier les domaines. Préciser le nom du point d'intersection des trois courbes qui y apparaissent.

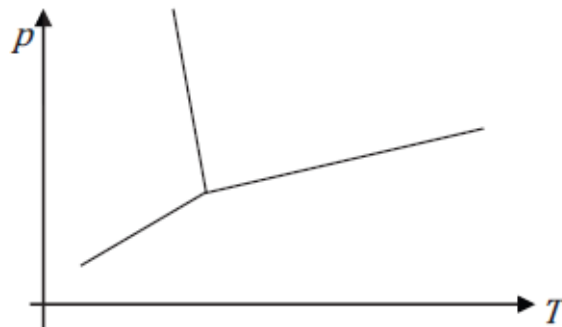
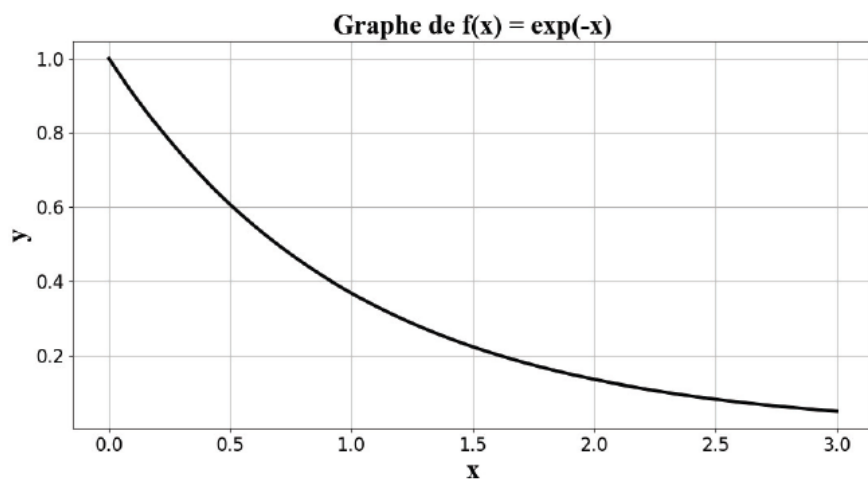
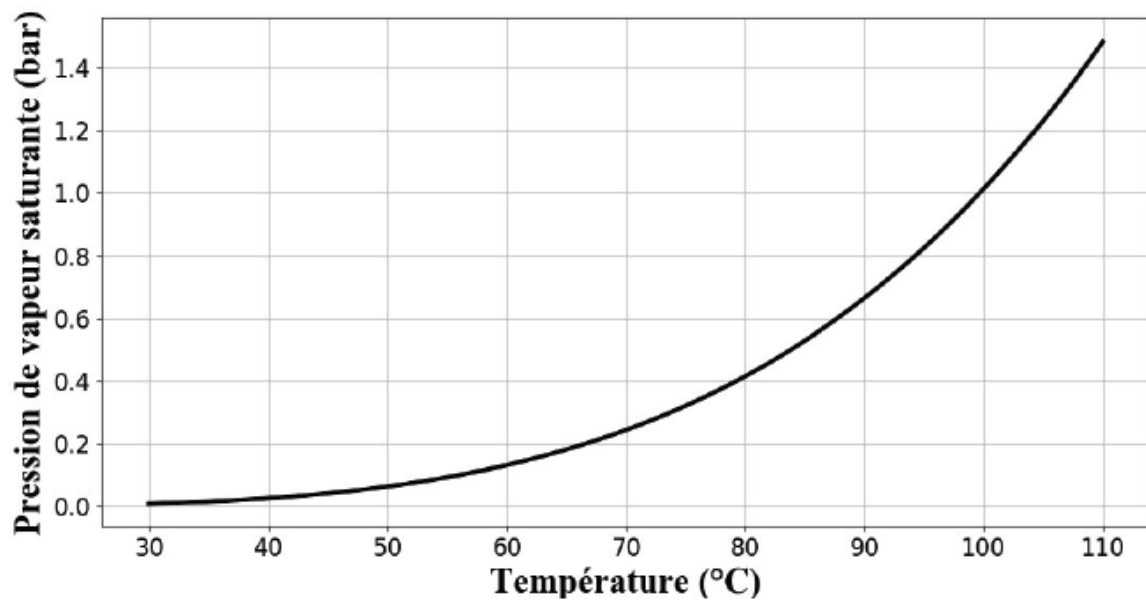


FIGURE 2 – Diagramme pression-température du corps pur eau

8. On assimile l'ébullition à une vaporisation. Justifier à l'aide du diagramme ci-dessus que la température d'ébullition diminue avec l'altitude.

On donne ci-dessous la courbe d'évolution de la **pression de vapeur saturante** en bar (ou pression d'équilibre liquide-vapeur) de l'eau en fonction de  $\theta$ , la température en degrés Celsius.

9. Déterminer la température d'ébullition de l'eau à 2 km d'altitude. La cuisson des aliments dans l'eau bouillante va-t-elle être plus longue ou plus courte en altitude ?



#### 4 Résolution de problème :



Évaluer la masse et l'ordre de grandeur de la hauteur d'une hypothétique pile de feuilles au format A4 qui contiendrait "une mole de feuilles".