

## **Avant d'aborder le chapitre**

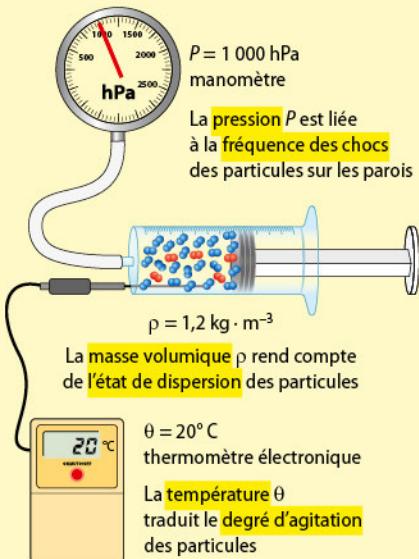
**EN AUTONOMIE**

## LES ACQUIS INDISPENSABLES

## ● 1<sup>re</sup> Enseignement de spécialité

## ● Les grandeurs de description d'un gaz

La température, la pression et la masse volumique sont des grandeurs macroscopiques qui rendent compte du comportement microscopique des constituants des gaz.



- **Loi de Mariotte** : à température constante, le volume  $V$  occupé par une quantité de matière de gaz donnée dépend de la pression  $P$  de ce gaz.

pression du gaz (en Pa ou bar)  $\rightarrow P \cdot V = \text{constante}$

- **Volume molaire**  $V_m$  d'un gaz : volume occupé par une mole d'entités chimiques à température et pression données. Le volume molaire d'un gaz ne dépend pas de sa nature mais uniquement de la température et de la pression.

$$n = \frac{V}{V_m}$$

volume  
(en L ou  
en  $m^3$ )

volume molaire  
(en  $L \cdot mol^{-1}$   
ou  $m^3 \cdot mol^{-1}$ )

## **POUR VÉRIFIER LES ACQUIS**

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



## SITUATION 1

Les ballons vendus dans les foires sont gonflés à l'hélium, un gaz plus léger que l'air.

**Pourquoi peuvent-ils éclater au soleil ?**



## SITUATION 2

Au sol, à la pression de 1,0 bar, un ballon est gonflé avec  $3,0 \text{ m}^3$  d'hélium. À 4,0 km d'altitude, la pression atmosphérique n'est plus que 0,60 bar.

**Quel est le volume du ballon à cette altitude ?**

### SITUATION 3

À 20 °C et 1 013 hPa, 2,0 mol de dioxyde de carbone occupent un volume égal à 48,1 L.

Quelle est la valeur du volume molaire de l'hélium dans les mêmes conditions de température et de pression ?

# Modèle du gaz parfait

# 15

PHYSIQUE

Les montgolfières sont les premiers aéronefs ayant permis de s'élever dans l'atmosphère. Comment peut-on expliquer que le chauffage du volume de l'air du ballon permet le décollage de la montgolfière ?

EXERCICE 35



## NOTIONS ET CONTENUS

- Modèle du gaz parfait.
- Masse volumique, température thermodynamique, pression.
- Équation d'état du gaz parfait.

# 1. ACTIVITÉ DE DÉCOUVERTE

## CLASSE INVERSÉE

### COMPÉTENCES :

(APP) Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée

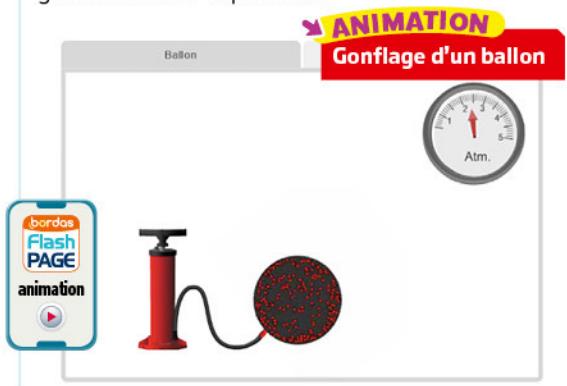
(AN/R/A) Choisir un modèle ou des lois pertinents

## Décrire le comportement d'un gaz

Les valeurs de la masse volumique, de la température thermodynamique et de la pression d'un gaz sont liées aux propriétés de ces constituants microscopiques. Quels sont ces liens ?

### DOC 1 Gonflage d'un ballon

Un manomètre mesure la valeur de la pression  $P$  de l'air lors du gonflage d'un ballon. On observe le comportement des constituants microscopiques du gaz et l'effet sur la pression.

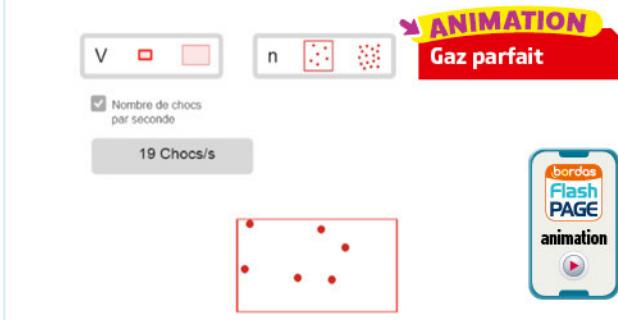


### DOC 3 Le gaz parfait

Le **gaz parfait** est un **modèle**, c'est-à-dire une simplification de la réalité. Dans ce modèle, à l'**échelle microscopique**, les molécules sont assimilées à des points matériels et animées d'un mouvement rectiligne uniforme entre deux chocs. À l'**échelle macroscopique**, les valeurs des grandeurs physiques  $P$ ,  $V$ ,  $n$  et  $T$  mesurées sont liées par une relation mathématique nommée **équation d'état du gaz parfait**.

### DOC 2 Modèle microscopique du gaz parfait

Un gaz, supposé parfait, est enfermé dans un récipient. Les valeurs du volume  $V$  occupé, de la quantité  $n$  de gaz emprisonné et de la température thermodynamique  $T$  peuvent être doublées. On observe le comportement des constituants microscopiques du gaz et l'effet sur la pression.



### EXPLOITATION ET ANALYSE

- 1 Faire le lien entre le comportement des constituants microscopiques et :
  - la pression  $P$  mesurée ;
  - la température  $T$  mesurée ;
  - le volume  $V$  mesuré ;
  - la masse volumique  $\rho$ .

### Je réussis si...

- Je sais faire le lien entre les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées et les propriétés microscopiques des particules.
- Je sais identifier une relation pertinente entre les grandeurs macroscopiques mesurées.

### VOCABULAIRE

#### Température thermodynamique :

- grandeur traduisant le degré d'agitation des constituants microscopiques d'un système ;
- notée  $T$  et exprimée en **kelvin (K)**, elle est obtenue par une translation par rapport à l'échelle des températures  $\theta$  en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) :  $T = \theta + 273,15$ .

### SYNTHÈSE

- 2 Donner en justifiant la relation qui permet de modéliser, pour un gaz parfait, le lien entre les grandeurs macroscopiques mesurées :

a.  $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$

c.  $P \cdot V = \frac{R \cdot T}{n}$

b.  $P \cdot T = n \cdot R \cdot V$

d.  $P \cdot V = \frac{n \cdot R}{T}$

( $R$  et  $n$  désignent respectivement une constante et la quantité de matière présente dans l'échantillon de gaz.)

## 2. DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

TP

### COMPÉTENCES :

- (RÉA) Mettre en œuvre un protocole expérimental  
(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

# L'équation d'état du gaz parfait

Le comportement du gaz parfait, représentation simplifiée des gaz réels, est modélisé par l'équation d'état du gaz parfait. Comment valider ce modèle expérimentalement ?



### DOC 1 Le dispositif expérimental



À 20 °C, un ballon clos contenant de l'air est refroidi dans un bain de glace puis chauffé au moyen d'un bain-marie. Deux capteurs reliés à un microcontrôleur permettent de mesurer la pression  $P$  et la température  $\theta$  de l'air à l'intérieur du ballon.

### DOC 4 Le dispositif expérimental

$$\text{température thermodynamique en kelvin (K)} \rightarrow T = \theta + 273,15$$

température de l'échelle Celsius (°C)

La température thermodynamique rend compte du degré d'agitation microscopique des particules d'un système. Quand il n'y a plus d'agitation microscopique,  $T = 0$  K : c'est le zéro absolu.

### MESURES

Adapter les lignes du programme (doc. 2) aux types de capteurs utilisés puis effectuer l'acquisition des variations de la pression  $P$  de l'air du ballon en fonction de sa température  $\theta$ .

### ANALYSES

- 1 a. À l'aide d'un tableur (FICHE PRATIQUE → p. 564), montrer graphiquement que l'évolution  $P = f(\theta)$  d'un volume d'air constant suit avec une bonne approximation celle d'une fonction affine.  
b. Déterminer par extrapolation vers les températures basses (graphiquement ou par le calcul) la valeur de l'abscisse  $\theta$  à l'origine. À l'échelle microscopique, quelle est la signification de cette valeur ?
- 2 a. Montrer graphiquement que l'évolution de la pression  $P$  (en Pa) du volume d'air est proportionnelle à la température thermodynamique  $T$  (en K).  
b. Faire correspondre la valeur et l'unité du coefficient directeur de la courbe  $P = f(T)$  aux termes de l'équation d'état du gaz parfait.

### DOC 2 Programmation (FICHE PRATIQUE → p. 560)

Programme Arduino pour des mesures simultanées des valeurs de la pression et de la température.

```
float tension1=0;
float tension2=0;
//Définition des tensions renvoyées par le capteur de pression et la thermistance
float pression=0;
float temperature=0;
//déclaration des variables pression et température
void setup() {
    Serial.begin(9600); //initialise la communication avec le PC
}
void loop () {
    tension1 = analogRead(-----)*5.0/1023;
    tension2 = analogRead(-----)*5.0/1023;
    //Mesure des tensions 1 et 2 sur les ports choisis
    pression = tension1*(-----);
    temperature=tension2*(-----);
    //Calcul de la pression et de la température (selon les capteurs utilisés)
    Serial.print("P=");
    Serial.print(pression);
    Serial.print("hPa"); //affichage de la pression et de son unité
    Serial.print("/t T =");
    Serial.print(temperature);
    Serial.print("°C"); //affichage de la température et de son unité
    delay(-----); //durée en ms entre deux mesures
```

### DOC 3 L'équation d'état du gaz parfait

On appelle gaz parfait un gaz pour lequel la relation suivante est exactement vérifiée :

constante du gaz parfait  $R \approx 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

pression (en Pa)      température thermodynamique (en K)  
volume (en m<sup>3</sup>)      quantité de matière (en mol)

### DONNÉES

►  $M_{\text{air}} = 29,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$   
et  $V_m = 24,1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$  (à 20 °C et 1 atm)

### CONCLUSION

- 3 a. Dans les conditions de l'expérience, l'air peut-il être assimilé à un gaz parfait ? Justifier la réponse.  
b. La valeur de référence du zéro absolu valide-t-elle l'étude réalisée ?

### Je réussis si...

- Je sais réaliser les mesures avec un microcontrôleur.
- J'ai exploité l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.

## COMPÉTENCES :

(RÉA) Mettre en œuvre les étapes d'une démarche

(VAL) Confronter un modèle à des résultats

expérimentaux

## Estimer les limites du modèle du gaz parfait

### SITUATION-PROBLÈME

Un gaz parfait n'existe pas mais, dans certaines conditions de pression et de température, les résultats obtenus à partir de ce modèle s'appliquent avec une bonne approximation aux gaz réels.

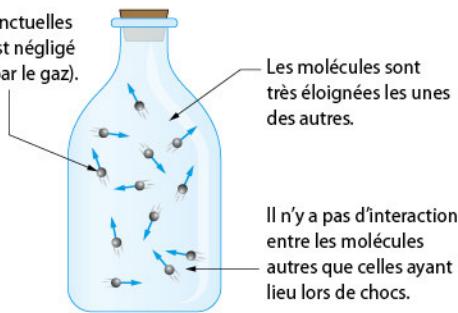
Pour quelles valeurs de la pression peut-on appliquer ce modèle ?

COUP DE POUCE ➔ p. 603

**HYPOTHÈSE** Proposer une réponse à la question en la justifiant.

### DOC 1 Les hypothèses du modèle du gaz parfait

Les molécules sont ponctuelles (leur volume propre est négligé devant celui occupé par le gaz).



### DOC 2 L'équation d'état du gaz parfait

L'équation d'état du gaz parfait modélise le comportement d'un gaz réel.

constante du gaz parfait  $R \approx 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

pression (Pa)      température  
volume ( $\text{m}^3$ )      thermodynamique (K)  
quantité de matière (mol)

Pour une quantité de gaz donnée à température constante :

$P \cdot V = \text{constante}$  (loi de Mariotte)

(valable quelles que soient les unités de la pression et du volume utilisées)

### DOC 3 Préparation du dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est un gaz qui peut être produit par l'action d'un acide sur le carbonate de calcium (le calcaire).



Remarque : Déplacer lentement le piston de la seringue évite l'échauffement excessif du système.

### MATÉRIEL DISPONIBLE

► Un thermomètre, une seringue et son tuyau, un manomètre, un erlenmeyer et son bouchon percé, un morceau de craie, une solution d'acide chlorhydrique concentré, un ordinateur muni d'un tableur-grapheur, une blouse, des gants et lunettes de protection.

### DONNÉE

►  $V_m = 24,1 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$  à  $20^\circ\text{C}$  et 1 atm

### PISTES DE RÉSOLUTION

- 1 Mettre en œuvre une expérience permettant de relever, à température constante, différents couples de valeurs ( $P_{GR}, V$ ) : pression du dioxyde de carbone - volume total occupé dans une seringue
- 2 Faire afficher le graphe  $P_{GR} = f(V)$ . Modéliser éventuellement la courbe d'évolution obtenue par une fonction inverse :  $P_{GR} = a/V$ .
- 3 Calculer, pour chacun des volumes précédents, la pression  $P_{GP}$  du gaz si on appliquait le modèle du gaz parfait. Superposer  $P_{GP} = f(V)$  au graphique précédent.
- 4 Comparer l'écart de pression entre le gaz réel et le modèle du gaz parfait pour les différentes pressions.

### CONCLUSION

- a. Pour quelles valeurs de la pression du gaz ce modèle peut-il être appliqué ?
- b. Proposer une interprétation à l'échelle microscopique.

### Je réussis si...

- J'ai compris que la loi de Mariotte est une formulation de l'équation d'état du gaz parfait.
- Je sais proposer une limite d'application du modèle du gaz parfait.

# 1 Description d'un gaz

## ► Les grandeurs macroscopiques

À l'échelle macroscopique, l'état d'un gaz peut être décrit au moyen de trois grandeurs mesurables : la **pression  $P$** , la **température  $T$**  et la **masse volumique  $\rho$**  (FIG. 1). Ces grandeurs sont interdépendantes, c'est-à-dire que la variation de la valeur de l'une d'entre elles modifie la valeur d'au moins une des deux autres.

### EXEMPLE

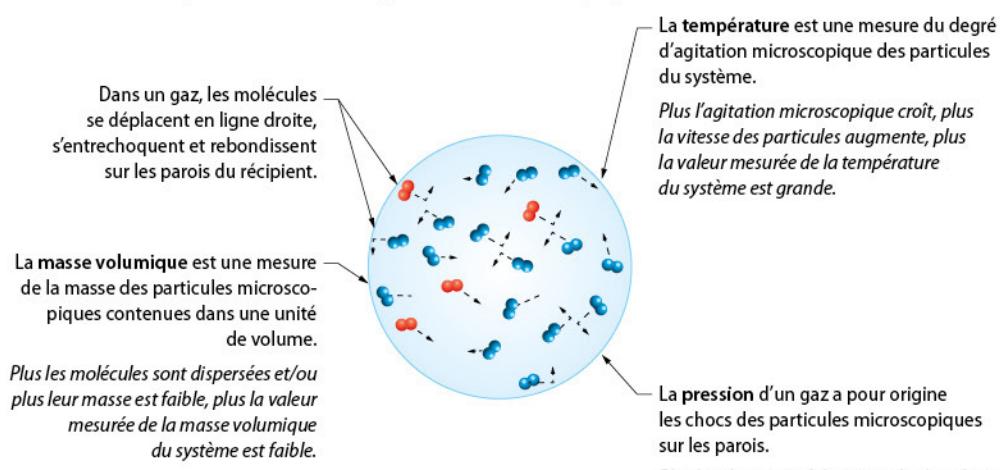
Quand on gonfle un ballon, lorsqu'il a atteint sa forme définitive, son volume  $V$  ne varie plus, par contre sa masse volumique  $\rho$  augmente.

## ► Interprétation microscopique

À l'échelle microscopique, un gaz est décrit par un ensemble de particules (des atomes ou des molécules) distantes les unes des autres et en mouvement incessant. Les valeurs prises par les **grandeurs macroscopiques** mesurées (la pression  $P$ , la température  $T$  et la masse volumique  $\rho$ ) sont liées aux **propriétés des constituants microscopiques** du gaz.

### EXEMPLE

Dans un ballon, le comportement des constituants microscopiques de l'air contenu se traduit par les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées.



## ► La température thermodynamique

Exprimée en degré Celsius, la valeur d'une température ne rend pas compte du degré d'agitation microscopique des particules d'un système. L'échelle de mesure adaptée utilise le kelvin comme unité (FIG. 2).

La **température thermodynamique** (aussi nommée température absolue) traduit le degré d'agitation des molécules d'un système. Notée  $T$  et exprimée en **kelvin (K)**, elle est liée à la température  $\theta$  de l'échelle Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) par la relation suivante :

$$\text{température thermodynamique (en K)} \rightarrow T = \theta + 273,15$$

↑ température de l'échelle Celsius (en  $^{\circ}\text{C}$ )

**Remarque.** Quand il n'y a **plus d'agitation** des particules microscopiques d'un système, la température thermodynamique est nulle :  $T = 0\text{ K}$  : c'est le **zéro absolu**. La température thermodynamique est donc **obligatoirement positive** (FIG. 2).

Grandeur	Température	Pression	Masse volumique
Symbol	$T$	$P$	$\rho$
Unités USI (autres)	K ( $^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{F}$ )	Pa (bar, atm, mmHg)	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}, \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )
Mesure	thermomètre	manomètre	par mesure de masse et de volume puis calcul

FIG. 1 La mesure des grandeurs macroscopiques d'un système.

### ► ANIMATION Gonflage d'un ballon



Une animation qui illustre l'évolution des grandeurs de description d'un gaz lors du gonflage d'un ballon.

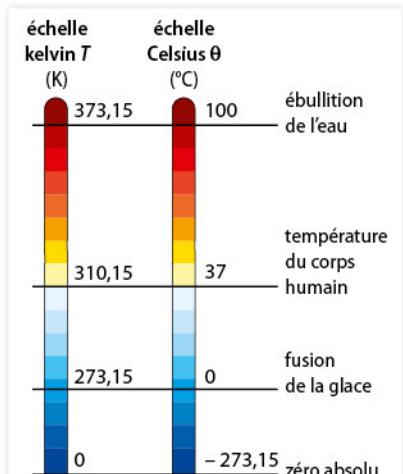


FIG. 2 Les échelles de température et le zéro absolu.

## 2 Le modèle du gaz parfait

### ► L'équation d'état du gaz parfait

On appelle **gaz parfait** un gaz pour lequel la relation suivante est exactement vérifiée :

$$\text{constante du gaz parfait } R \approx 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

↓

pression (en Pa)      température (en K)  
volume (en m<sup>3</sup>)      quantité de matière (en mol)

Cette relation mathématique entre les grandeurs macroscopiques qui décrivent l'état d'un gaz est nommée **équation d'état du gaz parfait**. Pour de nombreux gaz, l'étude des variations des grandeurs macroscopiques montre que cette relation est quasiment vérifiée.

**Remarque.** Une quantité de matière  $n$  d'un gaz considéré est liée à sa masse volumique  $\rho$  par la relation :  $n = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M}$  (où  $m$  et  $M$  désignent respectivement la masse et la masse molaire du système). L'équation d'état du gaz parfait peut alors s'écrire  $P \cdot V = \frac{\rho \cdot V}{M} \cdot R \cdot T$  soit  $P = R \cdot \frac{\rho \cdot T}{M}$ .

Il vient la relation suivante :  $\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$  (avec  $M$  en kg · m<sup>-3</sup>)

### ► Limites du modèle du gaz parfait

Le gaz parfait est un modèle, c'est-à-dire une simplification de la réalité. Un gaz parfait n'existe pas en tant que tel mais les gaz réels, dans certaines conditions, ont un comportement qui s'en rapproche (**FIG. 3 ET FIG. 4**).

À de **faibles pressions** allant jusqu'à quelques bars, c'est-à-dire lorsque les molécules qui constituent le gaz sont très éloignées les unes des autres, un **gaz réel se comporte comme un gaz parfait**.

### ► Exploitation de l'équation d'état du gaz parfait

Le modèle du gaz parfait permet des calculs simples et les résultats obtenus sont applicables avec une bonne approximation aux gaz réels.

**Loi de Mariotte** : Si la température  $T$  d'une quantité de matière  $n$  donnée d'un gaz est constante, alors le produit  **$n \cdot R \cdot T$  est constant**. D'après l'équation d'état du gaz parfait, il en résulte que le produit  **$P \cdot V$  est constant**.

**Loi d'Avogadro-Ampère** : « *Pris dans les mêmes conditions de température et de pression, tous les gaz ont le même volume molaire.* »

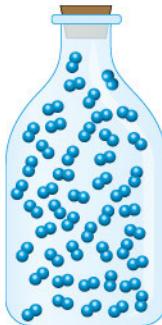
Pour une quantité de matière  $n = 1$  mol d'un gaz, la valeur du volume occupé par le gaz, nommé volume molaire  $V_m$  ne dépend que de sa température et de sa pression :  $V_m = \frac{T}{P}$ . Si la température  $T$  et la pression  $P$  sont fixées, alors le volume molaire conserve la même valeur quel que soit la nature du gaz.

#### EXEMPLE

Dans les conditions habituelles de température  $T$  et de pression  $P$  (20 °C et 1,0 bar), le volume molaire d'un gaz vaut :

$$V_m = 8,31 \times \frac{(273,15 + 20)}{(1,0 \times 10^5)} = 2,4 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**Pour un gaz réel**  
 $P \cdot V \approx n \cdot R \cdot T$



*Dans les **gaz réels**, les molécules interagissent plus ou moins entre elles. Elles possèdent une masse et un volume plus ou moins grands suivant leur nature.*

**FIG. 3** Représentation microscopique d'un gaz réel.

**Pour un gaz parfait**  
 $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$



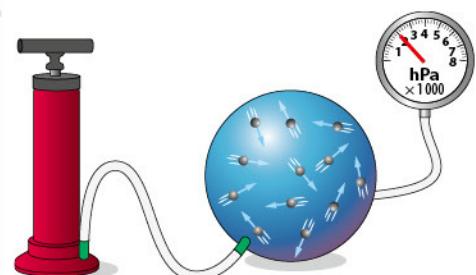
*Dans le modèle du **gaz parfait**, toutes les interactions entre les molécules (à l'exception de celles qui ont lieu lors de chocs entre elles) sont négligées.*

*On néglige également leur poids et leur volume devant le volume occupé par le gaz.*

*Les molécules sont assimilées à des points matériels et sont animées d'un mouvement rectiligne uniforme entre deux chocs.*

**FIG. 4** Représentation microscopique du gaz parfait.

## 1 Description d'un gaz

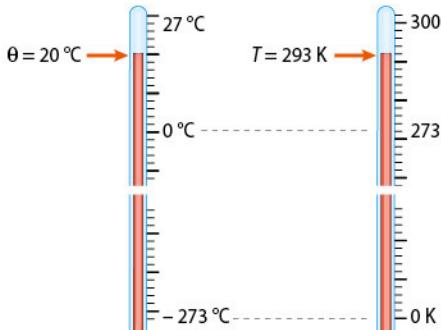


**masse volumique  $\rho$**  : plus les molécules sont dispersées et/ou plus leur masse est faible, plus la valeur mesurée de la masse volumique est faible.

**pression  $P$**  : plus les chocs des molécules sur les parois sont fréquents, plus la valeur mesurée de la pression est élevée.

**température thermodynamique  $T$**  : plus l'agitation microscopique croît, plus la vitesse des particules augmente, plus la valeur mesurée de la température est grande.

$$T = \theta + 273,15$$



## 2 Le modèle du gaz parfait

### Équation d'état du gaz parfait

constante du gaz parfait  $R \approx 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

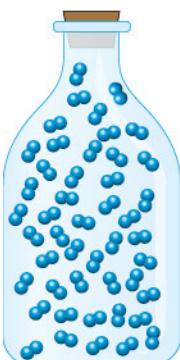
$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

pression (en Pa)      température thermodynamique (en K)  
volume (en m<sup>3</sup>)      quantité de matière (en mol)

Un gaz pour lequel l'équation d'état du **gaz parfait** est exactement vérifiée est un gaz parfait.

### Limites du modèle

Le gaz parfait est un modèle qui, dans certaines conditions, permet de décrire le comportement d'un gaz réel.

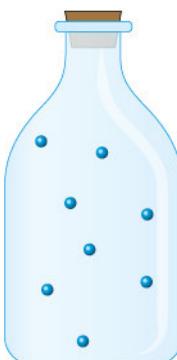


Gaz réel

$$P \cdot V \approx n \cdot R \cdot T$$

### Modélisation

- Pas d'interaction entre les molécules (à l'exception de celles lors de chocs entre elles)
- Poids et volume des molécules négligés



Gaz parfait

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Pour des pressions allant jusqu'à quelques bars

# EXERCICES

## Vérifier l'essentiel

EN AUTONOMIE

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ **SOLUTIONS EN PAGE 593**



### 1 Description d'un gaz

	A	B	C
1 À l'échelle microscopique, la valeur de la pression mesurée d'un gaz dans un récipient est liée :	au degré d'agitation des molécules qui le constituent.	à la fréquence des chocs des molécules sur les parois du récipient.	au nombre et à la masse des molécules qui le constituent.
2 L'échantillon de gaz qui a la valeur de la pression mesurée la plus faible est :			
3 La température thermodynamique $T$ :	traduit le degré d'agitation des molécules d'un système.	est liée à la fréquence des chocs des molécules sur les parois d'un récipient.	s'exprime en °C.
4 L'échantillon qui possède la valeur de la masse volumique la plus grande est :			

### 2 Le modèle du gaz parfait

	A	B	C
5 Dans l'équation d'état du gaz parfait $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$ , $P$ et $V$ désignent respectivement :	le poids et la vitesse des molécules.	la pression mesurée et la vitesse des molécules.	la pression et le volume mesurés.
6 Dans l'équation d'état du gaz parfait, les unités à utiliser pour exprimer les valeurs des grandeurs $P$ , $V$ et $T$ sont :	• $P$ en Pa • $V$ en L • $T$ en °C	• $P$ en bar • $V$ en $m^3$ • $T$ en K	• $P$ en Pa • $V$ en $m^3$ • $T$ en K
7 Pour une quantité de gaz donné à température constante, l'équation d'état du gaz parfait :	$\frac{P}{T} = \text{constante.}$ s'écrit :	$P \cdot V = \text{constante.}$ s'écrit :	est nommée loi de Mariotte.
8 Le modèle du gaz parfait est :	toujours applicable aux gaz réels.	applicable aux gaz réels seulement pour des pressions inférieures à quelques bars.	applicable aux gaz réels quelle que soit la température du système.
9 À l'échelle microscopique, dans le modèle du gaz parfait :	les molécules sont très éloignées les unes des autres.	il n'y a aucune interaction entre les molécules.	les molécules sont ponctuelles (leur volume est négligeable devant celui du gaz).
10 À l'échelle microscopique, le gaz parfait est représenté par :			

# Acquérir les bases

## 1 Description d'un gaz

### EN AUTONOMIE

#### Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

**Masse volumique, température thermodynamique, pression**

- Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées aux propriétés d'un système à l'échelle microscopique.
- Définir la température thermodynamique d'un système.

► Acquérir les bases : 11 12 ► S'entraîner : 24 25

## 11 Du microscopique au macroscopique

1. À l'échelle microscopique, à quelle propriété d'un gaz est liée la valeur de :
  - a. la température ?
  - b. la pression ?
  - c. la masse volumique ?
2. La modification de la vitesse des constituants microscopiques d'un volume de gaz donné conduit au changement de la valeur de :
  - a. la température mesurée ;
  - b. la pression mesurée ;
  - c. la masse volumique mesurée.
3. On considère un volume constant de gaz. Initialement  $\theta = 20^\circ\text{C}$ ,  $P = 1\,013 \text{ hPa}$  et  $p = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Trois scénarios sont envisagés :

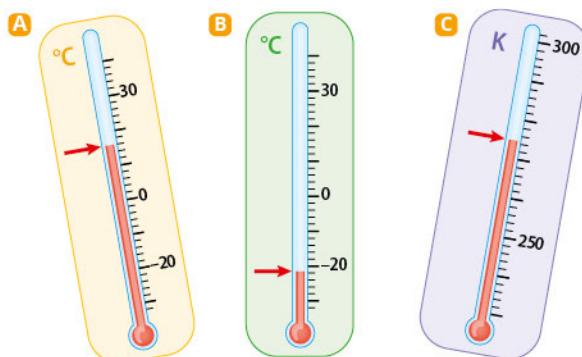
- a. les molécules se déplacent moins vite ;
- b. les molécules sont plus nombreuses ;
- c. les molécules sont remplacées par des particules de masse plus faible.

Associer à chaque scénario les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées adaptées :

- d.  $\theta = 20^\circ\text{C}$ ,  $P = 1\,025 \text{ hPa}$ ,  $p = 1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- e.  $\theta = 20^\circ\text{C}$ ,  $P = 1\,013 \text{ hPa}$ ,  $p = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- f.  $\theta = 18^\circ\text{C}$ ,  $P = 1\,005 \text{ hPa}$ ,  $p = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

## 12 Échelles de température

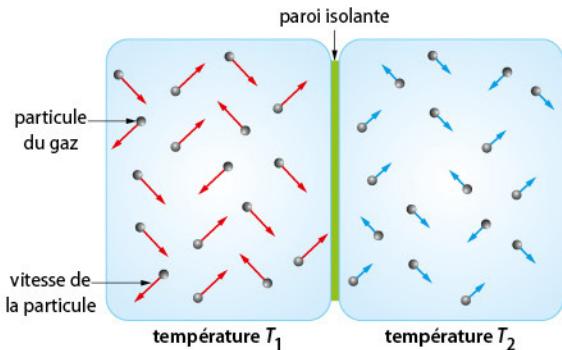
1. Qu'appelle-t-on température thermodynamique d'un système ? Quel lien existe-t-il avec la température Celsius ?
2. Classer, par ordre de degré d'agitation moléculaire décroissante, les systèmes dont les valeurs de la température sont mesurées ci-dessous.



3. Quelle est la signification microscopique du zéro sur l'échelle de la température thermodynamique ?

## 13 Mélange de deux gaz

1. Deux récipients de même volume séparés par une paroi isolante et amovible contiennent le même gaz. L'un d'eux est plus chaud que l'autre.

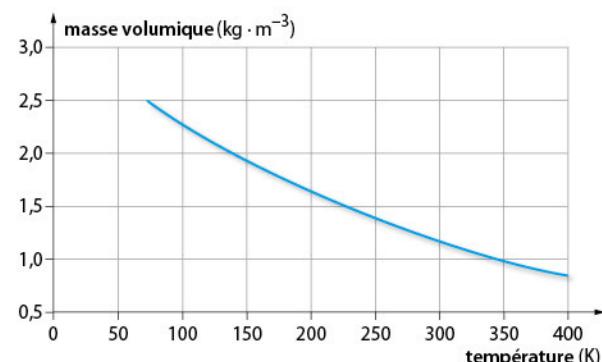


- a. Identifier, en justifiant la réponse, le récipient dans lequel la valeur de la température mesurée est la plus grande. En déduire le corps chaud et le corps froid.
- b. La valeur de la masse volumique mesurée est-elle la même pour chaque gaz ? Justifier la réponse.
- c. La valeur de la pression mesurée est-elle la même pour chaque gaz ? Justifier la réponse.
2. On retire la plaque amovible séparant les deux récipients. Un transfert de l'énergie thermique s'effectue jusqu'à l'équilibre thermique du corps chaud vers le corps froid.

  - a. Proposer qualitativement une représentation du gaz à l'équilibre à l'échelle microscopique.
  - b. Quelle propriété des constituants microscopiques du gaz provoque cet échange d'énergie ?
  - c. Comparer les valeurs des températures  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T$  du gaz à l'équilibre thermique.

## 14 Masse volumique de l'air

Pour de l'air sec sous pression atmosphérique normale ( $1\,013 \text{ hPa}$ ), la température de fusion  $\theta_{\text{fusion}} = -216,2^\circ\text{C}$ , la température d'ébullition  $\theta_{\text{ébullition}} = -194,3^\circ\text{C}$  et l'évolution de la masse volumique en fonction de la température est modélisée par le graphique suivant.



1. a. Déterminer graphiquement la valeur de la masse volumique de l'air à  $20^\circ\text{C}$ .
- b. Pourquoi la courbe ne débute-t-elle qu'à partir de  $78,9 \text{ K}$  ?
2. À l'aide d'un raisonnement à l'échelle microscopique :
  - a. expliquer pourquoi l'axe des abscisses ne possède aucune graduation de valeur négative ;
  - b. justifier la diminution de la valeur de la masse volumique de l'air en fonction de la température.

# EXERCICES

## 2 Le modèle du gaz parfait

### EN AUTONOMIE

#### Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

##### Équation d'état du gaz parfait

- Écrire l'équation d'état du gaz parfait et savoir le décrire (grandeur, unités).
- Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.

► Acquérir les bases : 16 ► S'entraîner : 24 25 32

##### Modèle du gaz parfait

- Savoir décrire le modèle du gaz parfait à l'échelle microscopique.
- Identifier quelques limites du modèle du gaz parfait.

► Acquérir les bases : 19 ► S'entraîner : 31

### DONNÉES

$$\text{D} M_{\text{air}} = 28,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}; N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}; 1 \text{ atm} = 1013 \text{ hPa}.$$

## 15 Comportement du gaz parfait

- Pour un gaz parfait, le produit  $P \cdot V$  dépend-il de :
  - sa quantité de matière ?
  - sa nature ?
  - sa température ?
- Écrire l'équation d'état du gaz parfait en précisant la signification et les unités de chaque grandeur.
- Comment évolue la pression d'une quantité de gaz parfait donnée lorsque :
  - à volume constant sa température augmente ;
  - à température constante son volume diminue.

## 16 Pression et température

- Un ballon de volley-ball de 4,8 L contient 7,5 g d'air à la température de 17 °C. L'air est assimilé à un gaz parfait.
  - Calculer la quantité de matière de gaz dans le ballon.
  - Convertir la température en K et le volume en m<sup>3</sup>.
  - Écrire l'équation d'état du gaz parfait et en déduire la valeur de la pression de l'air dans le ballon
- La température est doublée et sa valeur atteint 34 °C. La variation de volume du ballon est négligeable.
  - Pourquoi la valeur de la pression mesurée n'est-elle pas également doublée ?
  - Donner la nouvelle valeur de la pression de l'air dans le ballon.
  - Pour quelle température en °C la valeur de la pression serait-elle doublée ?

## 17 Volume d'un gaz

- Quelle est la valeur du volume occupé par  $1,5 \times 10^{-2}$  mol d'air dans les conditions habituelles de température et de pression : 20 °C et 1013 hPa.
- Comment évolue la valeur du volume occupé par un gaz lorsque :
  - à pression constante, sa température augmente ?
  - à température constante, sa pression diminue ?
  - à température et pression constantes, on remplace l'air par du dioxyde de carbone ?

## 18 Ballon de baudruche

On introduit dans un ballon de baudruche 2,0 L d'hélium à 25 °C et à une pression de 1,1 bar.

- Quelle est la quantité de matière d'hélium dans le ballon ?
- Le ballon éclate lorsque son volume devient supérieur à 3,0 L.
  - Placé sous une cloche à vide reliée à une pompe, quelle sera la valeur de la pression mesurée au moment où le ballon éclate ?



- À la pression de 1,1 bar, quelle serait la valeur de la température mesurée au moment où le ballon éclate ?
- Quelle masse d'hélium, à 25 °C et 1,1 bar, faut-il ajouter au ballon pour atteindre ce volume ?

## 19 Gaz réel – gaz parfait

- Calculer la quantité de matière de diazote contenue dans un récipient d'un litre à la pression de 1,1 bar et à la température de 25 °C.
- En déduire le nombre de molécules puis le volume propre des molécules (le volume d'une molécule de diazote est estimé à  $7,0 \times 10^{-28} \text{ L}$ ).
- Comparer le volume occupé par les molécules à celui occupé par le gaz. Dans ces conditions, le diazote peut-il être assimilé à un gaz parfait ?

## 20 Gonflage d'un ballon

Le gonflage d'un ballon de plage présente deux phases : une première au cours de laquelle l'enveloppe du ballon reste souple et le volume du ballon augmente progressivement puis une seconde où le ballon a atteint son volume final et devient plus dur.



- Indiquer comment varient la masse volumique et la pression de l'air dans le ballon au cours de chaque phase du gonflage à température constante.
- Valider qualitativement les réponses à partir de l'équation d'état du gaz parfait et de la définition de la masse volumique.

## 21 Volume molaire

Le propane et le butane sont deux combustibles couramment utilisés. Ils présentent les caractéristiques suivantes.

	Propane	Butane
Température d'ébullition (sous pression normale : 1 013 hPa)	- 42 °C	- 1 °C
Masse volumique (sous pression normale)	2,0 kg · m <sup>-3</sup>	2,7 kg · m <sup>-3</sup>



- Une bouteille contient 1,6 g du propane à la température de 20 °C et à pression normale.
- Quelle est la valeur du volume occupé par le gaz ?
- Déterminer la quantité de matière correspondante, le propane étant assimilé à un gaz parfait.
- En déduire la valeur du volume molaire du propane dans ces conditions.
- Le volume molaire reste-t-il identique à la température de - 10 °C (et à pression normale) ? Si non, donner sa nouvelle valeur.
- Le propane est remplacé par du butane. Répondre aux mêmes questions.

## 22 Validité du modèle du gaz parfait

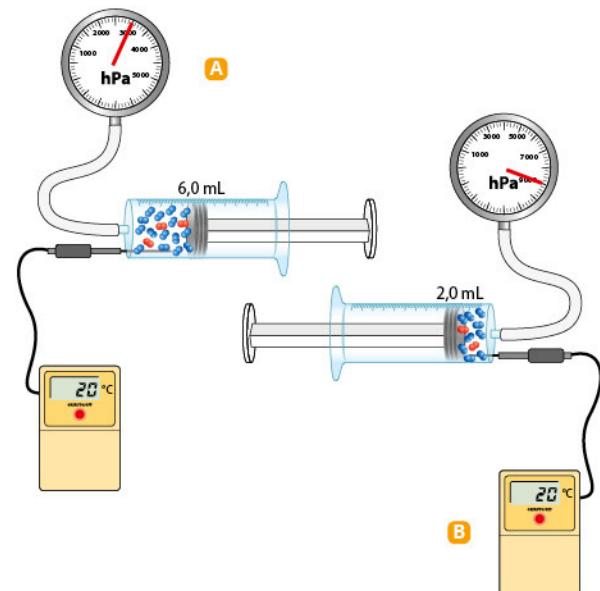
Dans le but de vérifier la loi de Mariotte, on enferme à la température constante  $T = 298 \text{ K}$ , 18,0 cm<sup>3</sup> d'air initialement à la pression de 1 021 hPa dans une seringue. Des capteurs adaptés mesurent les valeurs de la température et de la pression lors de la compression du gaz dans la seringue. L'air est assimilé à un gaz parfait.

1. Traduire la loi de Mariotte sous la forme d'une expression littérale. Préciser les conditions expérimentales à respecter pour que cette loi soit vérifiée.

2. Deux séries de mesures amènent les valeurs suivantes :  $V_1 = 6,0 \text{ cm}^3$  ;  $P_1 = 3\,042 \text{ hPa}$  ;  $V_2 = 2,0 \text{ cm}^3$  ;  $P = 8\,950 \text{ hPa}$

a. Pour chaque volume, calculer la valeur théorique de la pression de l'air dans la seringue.

b. Ces valeurs correspondent-elles à celles mesurées expérimentalement ? Proposer une explication.



## Faire le point avant d'aller plus loin

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

PRÉPA  
BAC

Décrire le gaz parfait à l'échelle microscopique.

Citer les limites d'application du modèle du gaz parfait.

Écrire la relation liant, à température constante, la pression et le volume d'une quantité donnée de gaz parfait. Comment est-elle nommée ?

De quels paramètres dépend le volume molaire d'un gaz ?

Relier les valeurs de la pression et de la masse volumique mesurées aux propriétés microscopiques d'un gaz.

Qu'appelle-t-on température thermodynamique ? Qu'est-ce que le zéro absolu ?

Écrire l'équation d'état du gaz parfait en explicitant chaque grandeur et son unité.

Quel est le lien entre la température thermodynamique et la température Celsius ?

Nommer les grandeurs macroscopiques de description d'un gaz réel et donner leur unité.

Retrouver ces questions en version numérique

## Exercice résolu

EN AUTONOMIE

### 23 Gonflage d'un ballon de basket-ball

Au basket-ball, à la température habituelle, la pression de l'air dans le ballon doit être comprise entre 1,52 et 1,59 bar.

On souhaite gonfler un ballon de basket-ball à l'aide d'une petite pompe manuelle (figure ci-contre). L'air est assimilé à un gaz parfait.

**Données :**  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  et le zéro absolu correspond à  $0 \text{ K}$  et  $-273,15^\circ\text{C}$ .

- Comparer les propriétés de l'air contenu dans le ballon et dans le corps de la pompe à l'échelle microscopique.
- Expliquer pourquoi l'air peut être assimilé à un gaz parfait.



#### LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

La figure précise les conditions du gonflage.

Les données indiquent le lien entre la température thermodynamique et la température Celsius.

#### LES VERBES D'ACTION

Comparer : mettre en regard deux résultats pour en identifier les différences ou les similitudes.

Calculer : effectuer des opérations mathématiques avec des valeurs identifiées et exprimées dans les bonnes unités.

Expliquer qualitativement : donner une justification à une observation ou une affirmation sans faire de calcul.

#### EXEMPLE DE RÉDACTION

- Le degré d'agitation des molécules est identique mais les molécules étant plus nombreuses par unité de volume dans le ballon, la fréquence des chocs sur les parois du ballon y est plus importante que pour l'air de la pompe.
- La pression (1,55 bar) est suffisamment faible pour pouvoir négliger toutes les interactions entre les molécules (autre que les chocs).

$$2. \text{ a. } n = \frac{P_B \cdot V_B}{R \cdot T}. \text{ AN : } n = \frac{1,55 \times 10^5 \times 7,5 \times 10^{-3}}{8,31 \times (273 + 21)} = 4,8 \times 10^{-1} \text{ mol.}$$

$$\text{b. Pour } V_p = 100 \text{ mL et } P_{atm} = 970 \text{ hPa, la quantité de matière d'air contenu dans le corps de la pompe vaut : } n = \frac{970 \times 10^2 \times 100 \times 10^{-6}}{8,31 \times (273 + 21)} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

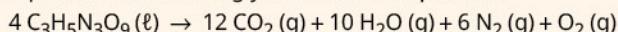
Le nombre de coups de pompe vaut :  $N = 4,8 \times 10^{-1} / (4,0 \times 10^{-3}) = 120$ .

- Une augmentation de la température de l'air du corps de la pompe conduit à une diminution de la quantité de matière qu'il contient ( $n$  est inversement proportionnelle à  $T$  à volume et pression constantes).

#### EXERCICE SIMILAIRE

### 24 Réaction explosive

La décomposition explosive de la trinitroglycérine selon l'équation :



produit une quantité de matière de gaz 7 fois plus importante que celle du réactif consommé. On considère la décomposition à  $20^\circ\text{C}$  d'un volume de  $10,0 \text{ mL}$  de trinitroglycérine constitué de  $7,0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ . Le mélange de gaz formé est assimilé à un gaz parfait.

**Données :**  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $P_{atm} = 1013 \text{ hPa}$ . Le zéro absolu correspond à  $0 \text{ K}$  et  $-273,15^\circ\text{C}$ .

- En considérant la réaction athermique, calculer la valeur de la pression du mélange de gaz produit et confiné dans le volume initial.
- Expliquer l'effet de la variation de pression sur la température du gaz.
- À la pression atmosphérique normale, l'explosion s'accompagne d'une détente du système.
- Calculer la valeur du volume total occupé par le mélange gazeux à la pression atmosphérique. La comparer à sa valeur initiale.
- Expliquer qualitativement cette variation à l'échelle microscopique.



Danger

## S'entraîner pour maîtriser

### SAVOIR RÉDIGER

#### 25 Proposer une correction de la solution proposée par un élève à l'énoncé.

##### Énoncé

Deux récipients A et B de volume respectifs  $V_A = 2,0 \text{ L}$  et  $V_B = 4,0 \text{ L}$  contiennent un gaz parfait à la pression  $P = 1,0 \text{ bar}$  et à la température  $\theta_A = 25^\circ\text{C}$  et  $\theta_B = 17^\circ\text{C}$ . Les deux récipients sont séparés par une paroi amovible.

##### Solution proposée par un élève

$$1. \text{ a. } n_A = \frac{P \cdot V_A}{R \cdot T_A} = \frac{1,0 \times 10^5 \times 2,0}{8,314 \times (273,15 + 25,0)} = 8,0724 \times 10^1 \text{ mol}$$

$$n_B = \frac{P \cdot V_B}{R \cdot T_B} = \frac{1,0 \times 10^5 \times 4,0}{8,314 \times (273,15 + 17,0)} = 1,6590 \times 10^2 \text{ mol}$$

b. Le degré d'agitation des molécules est plus important dans le récipient A. ) Que peut-on déduire de la pression du gaz ?

$$2. \text{ a. } V_t = 6,0 \text{ L}$$

$$\text{b. } P \cdot V = n \cdot R \cdot T \text{ donc } T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R} = \frac{1,0 \times 10^5 \times 6,0}{8,314 \times (165 + 81)} = 293 \text{ K} = 20,4^\circ\text{C} ) \text{ Écrire K et non } ^\circ\text{K}$$

1. a. Calculer les quantités de matière de gaz dans chaque récipient.

b. Comparer les propriétés du gaz dans chaque récipient à l'échelle microscopique.

2. On retire la paroi entre les deux récipients.

a. Quel est le volume total du système ?

b. Déterminer la température finale du gaz.

Convertir le volume en  $\text{m}^3$

Écrire les résultats avec le bon nombre de chiffres significatifs et séparer l'expression littérale de l'application numérique

#### 26 Loi d'Avogadro-Ampère HISTOIRE DES SCIENCES

Amedeo Avogadro en 1811 et André-Marie Ampère en 1814 proposent indépendamment l'un de l'autre que : « Des volumes égaux de gaz parfaits différents, contiennent dans les mêmes conditions de température et de pression, le même nombre de molécules ».



Timbre italien émis en 1956 commémorant le décès de A. Avogadro

1. Montrer par un raisonnement qualitatif que l'équation d'état du gaz parfait est en accord avec la loi d'Avogadro-Ampère.

2. a. Calculer le volume molaire de l'air dans les conditions habituelles de température et de pression ( $20^\circ\text{C}$  et  $1,013 \text{ bar}$ ).  
b. En déduire, dans les mêmes conditions, celui d'une mole de dioxyde de carbone.

c. Quel nombre de molécules contiennent chacun de ces échantillons de gaz ?

3. a. À partir d'un raisonnement à l'échelle microscopique, prévoir l'évolution de la valeur du volume molaire d'un gaz lorsque dans les conditions normales de température et de pression sont atteintes ( $0^\circ\text{C}$  et  $1,013 \text{ bar}$ ).  
b. Vérifier la prévision par le calcul.

##### Coups de pouce

► Pour la loi d'Avogadro-Ampère,  $T$  et  $P$  sont constants.

► Le volume molaire est le volume d'une mole et ne dépend pas de la nature du gaz.

#### 27 Masse volumique d'un gaz parfait

Une masse  $m$  d'un gaz parfait de masse molaire  $M$  est enfermée à la température  $T$  et à la pression  $P$  dans un récipient de volume  $V$ .

1. a. Exprimer la masse volumique  $\rho$  du gaz parfait en fonction de  $M$ ,  $P$  et  $T$ .

b. Comment évolue la valeur de la masse volumique d'un gaz parfait lorsque sa température augmente (à pression constante) ? lorsque sa pression augmente (à température constante) ?

c. Interpréter ces évolutions à partir des propriétés du gaz à l'échelle microscopique.

2. Calculer la valeur de la masse volumique de l'air :

- a. à  $20^\circ\text{C}$  et sous une pression égale à  $1,0 \text{ bar}$  ;
- b. au sommet de l'Everest sous  $0,3 \text{ bar}$  et  $-40^\circ\text{C}$ .

3. Comparer, dans les mêmes conditions de température et de pression, les valeurs de la masse volumique de l'air et de l'hélium.

**Données :**  $M_{\text{air}} = 28,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $M_{\text{He}} = 4,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

##### Coups de pouce

► La masse volumique  $\rho$  est le rapport de la masse  $m$  du gaz et du volume  $V$  qu'il occupe.

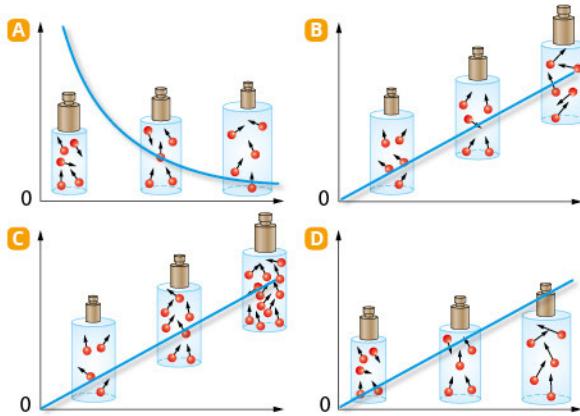
► Convertir les températures en kelvin et les masses molaires en  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .



# EXERCICES

## 28 Les lois du gaz parfait

- Écrire l'équation d'état du gaz parfait. Préciser la signification de chaque terme et l'unité de chaque grandeur.
- Pour chaque représentation suivante :

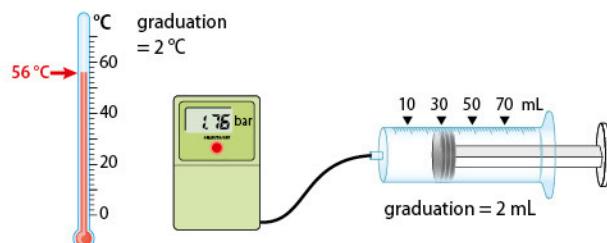


- Nommer les grandeurs qui sont à porter sur chaque axe des abscisses et des ordonnées.
- Préciser les grandeurs dont la valeur est constante.
- Écrire la relation du type :

$$Y \cdot X = \text{constante} \text{ ou } \frac{Y}{X} = \text{constante liant les grandeurs portées en abscisses } X \text{ et en ordonnées } Y.$$

## 29 Valeurs d'une pression mesurée

Une quantité  $n = 2,00 \times 10^{-3}$  mol d'air est enfermé dans le corps d'une seringue graduée. Un thermomètre à liquide et un manomètre à affichage numérique mesurent les valeurs de la température et de la pression.



- Écrire les valeurs de la température  $\theta$  et du volume  $V$  mesurées accompagnées de leurs incertitudes-types  $u_\theta$  et  $u_V$  dues à la précision des instruments utilisés (FICHE PRATIQUE p. 538).

b. Convertir la valeur du volume  $V$  en  $\text{m}^3$  et celle de la température  $T$  en K.

2. On assimile l'air à un gaz parfait.

a. Exprimer la pression  $P_{GP}$  du gaz dans la seringue en fonction de  $T$  et  $V$ .

b. Calculer la valeur  $P_{GP}$  de la pression mesurée en bar accompagnée de son incertitude type  $u_P$ . On donne :

$$u_P = P \cdot \sqrt{\left(\frac{u_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{u_V}{V}\right)^2}$$

c. En déduire un encadrement de la valeur  $P_{GP}$ .

3. a. Relever la valeur  $P_{GR}$  de la pression mesurée pour le gaz réel accompagné de son incertitude type  $u_P$ . En déduire un encadrement de la valeur  $P_{GR}$ .

b. Dans ces conditions de température et de pression, l'air peut-il être assimilé à un gaz parfait ? Justifier la réponse.

## 30 Modélisation d'une variation



Le tableau ci-dessous rassemble les valeurs de la pression et de la température mesurées pour une quantité  $n = 2,50 \times 10^{-3}$  mol de gaz contenu dans un volume constant  $V = 60,0 \text{ mL}$ .

P en hPa	840	920	1 030	1 140	1 290	1 380
θ en °C	-32,1	-10,1	21,6	53,6	96,0	122,0

On souhaite vérifier si l'équation d'état du gaz parfait est vérifiée par cet échantillon de gaz.

### 1. Tracé du graphe $P = f(T)$ .

Les lignes du programme en langage Python ci-dessous permettent de tracer une courbe. Les compléter avec les valeurs mesurées et les symboles adéquats après avoir réalisé les conversions nécessaires. Écrire et exécuter le programme.

```
#tracé d'une courbe#
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
x = np.array([T1, T2, T3, T4, T5, T6])
y = np.array([P1, P2, P3, P4, P5, P6])
plt.plot(x, y, "r+", label="Mesures")
plt.xlim(Tmin, Tmax)
plt.ylim(Pmin, Pmax)
plt.title("Évolution de ...")
plt.xlabel("température T en ...")
plt.ylabel("pression P en ...")
plt.show() # affiche la figure à l'écran
```

### 2. Modélisation de la courbe par une fonction linéaire

Compléter le programme précédent par les lignes suivantes (les intercaler entre la dernière et l'avant-dernière lignes) :

```
#Modélisation d'une courbe#
from scipy.stats import linregress
(a,b,c,d,e)=linregress(x,y)
plt.plot(x,a*x+b, "b",label="P=a*T+b"
+ "a="+str(round(a,1))+" Pa.K-1"
+ " b="+str(round(b,1))+" Pa")
print ("a="+str(round(a,1))+"b"+str(round(b,1)))
plt.legend()
```

Exécuter le programme et relever les valeurs des coefficients du modèle mathématique obtenu.

3. Pour conclure, indiquer si l'échantillon de gaz peut être assimilé à un gaz parfait. Justifier la réponse.

## 31 Pression de gonflage

Les pneus d'un véhicule doivent être gonflés à une juste pression afin de pouvoir assurer leur rôle. Il est conseillé d'effectuer un contrôle de la pression à froid c'est-à-dire après un parcours de quelques kilomètres seulement. En effet, à chaud, l'écart de pression peut atteindre 0,3 bar. L'air est assimilé à un gaz parfait.

1. a. Expliquer l'effet de l'échauffement du pneu sur les valeurs des grandeurs macroscopiques ( $P$ ,  $T$  et  $\rho$ ) qui caractérisent l'air qu'il contient.

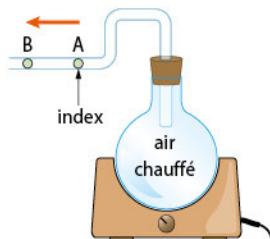
b. À partir de l'équation d'état du gaz parfait, justifier qualitativement la valeur de la pression mesurée à chaud

c. À froid (à 20 °C), la pression de gonflage d'un pneu de 16 L est ajustée à 2,5 bar. Déterminer la valeur de la température de l'air à chaud dans le pneu.

2. Interpréter à l'échelle microscopique les variations (ou non) des valeurs des grandeurs macroscopiques.

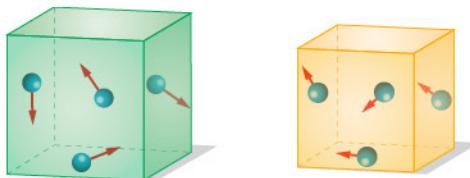
### 32 Dilatation d'un gaz

Initialement en position A, l'index (une gouttelette d'eau colorée) du dispositif ci-contre se déplace jusqu'en B lorsque de l'énergie thermique est apportée au système (de l'air) par chauffage.



**Données :**  $P = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , diamètre du tube effilé :  $d = 7,0 \text{ mm}$ . État du système à l'état initial (index en A) :  $\theta = 19,0^\circ \text{C}$ .  $V = 250 \text{ mL}$ ,  $p = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

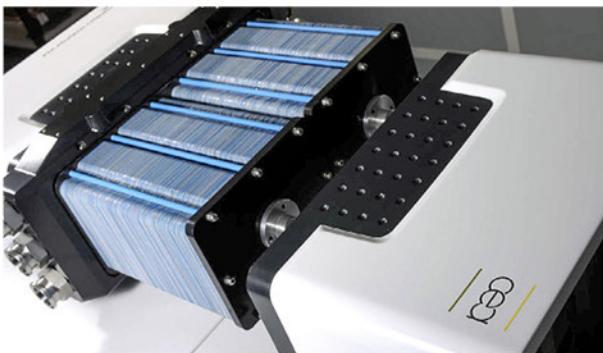
- Quelles sont les grandeurs macroscopiques caractéristiques du gaz dont la valeur a été modifiée entre l'état initial et l'état final du système ?
- Quelle est la valeur de la variation de température du gaz dans le ballon lorsque l'index se déplace de 2,0 cm vers la gauche ?
- Attribuer l'une des représentations microscopiques ci-dessous aux deux états macroscopiques du système.



- Justifier chaque réponse à partir des propriétés du gaz à l'échelle microscopique.

### 33 The GENEPAC battery

The GENEPAC battery is a fuel cell that powered, in 2009, a yacht participating in the "Zero CO<sub>2</sub>" project.



The GENEPAC battery: Electric Fuel Cell Battery Generator.

Its principle uses a controlled chemical reaction between dihydrogen and the dioxygen in the air to produce electricity, water and heat. Hydrogen is stored on board in the form of compressed gas at a pressure of 700 bar, the volume of the tank is  $V = 15.0 \text{ L}$ . When the hydrogen tank is full, the mass of available hydrogen is 3.0 kg.

- Calculate the amount of dihydrogen ( $H_2$ ) in the full tank.
- Dihydrogen is a perfect gas. Determine:
  - the volume  $V_0$  of dihydrogen, in usual conditions of pressure (1 013 hPa) and temperature ( $20^\circ \text{C}$ ), which had to be compressed to fill the tank;
  - the corresponding volume to  $20^\circ \text{C}$  and the pressure of 700 bar.
- Compare this last value to the actual tank volume. Draw a conclusion on the model of the perfect gas.

### À L'ORAL

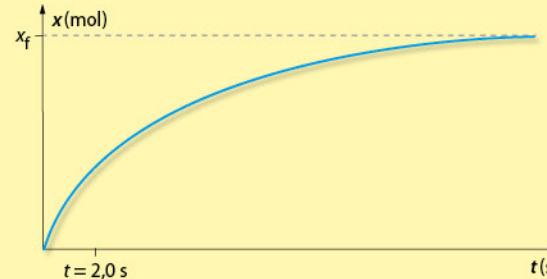
### 34 Cinétique d'une réaction

Le suivi de la cinétique de la réaction entre le luminol  $C_8H_7N_3O_2$  et l'eau oxygénée  $H_2O_2$  d'équation :  
 $2 C_8H_7N_3O_2 \text{ (aq)} + 7 H_2O_2 \text{ (aq)} + 4 OH^- \text{ (aq)}$   
 $\rightarrow 2 N_2 \text{ (g)} + 2 C_8H_2NO_4^- \text{ (aq)} + 14 H_2O \text{ (l)}$

amène le graphique suivant.

**Données :**

$V_{\text{gaz}} = 2,1 \text{ L}$ ;  $\theta = 27^\circ \text{C}$ ; pression initiale :  $P = 1 \text{ atm}$ ;  
 $n_{\text{initiale}} (H_2O_2) = 4,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$ ; réactif limitant :  $H_2O_2$ ;  
 $x_f = 7,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$



Élaborer un exposé oral de quelques minutes présentant :

- l'acquisition qui a été faite ;
- le protocole expérimental qui a pu être mis en œuvre pour l'obtenir ;
- le raisonnement qui a permis de déterminer la valeur de l'avancement final  $x_f$ ,
- l'explication microscopique du phénomène observé.

### Les mots-clés à utiliser

- modèle du gaz parfait
- équation d'état du gaz parfait
- pression finale
- température thermodynamique
- quantité de matière
- agitation thermique

### 35 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Les montgolfières sont les premiers aéronefs ayant permis de s'élèver dans l'atmosphère.



Préparer un exposé oral qui explique pourquoi le chauffage du volume de l'air du ballon permet le décollage de la montgolfière.

## Développer ses compétences

## 36 Valider l'équation d'une réaction chimique

RÉSOLUTION DE PROBLÈME

(AN/RAI) Proposer une stratégie de résolution

L'eau de Javel est un produit courant et bon marché. Elle se décompose lentement selon une transformation totale que l'on cherche ici à valider.



## DOC 1 Décomposition de l'eau de Javel

L'eau de Javel est une solution aqueuse contenant entre autres des ions hypochlorite  $\text{ClO}^-$  (aq) et des ions chlorure  $\text{Cl}^-$  (aq). Outre ses propriétés désinfectantes (c'est un bactéricide puissant), elle est utilisée pour son pouvoir «blanchissant», lié à l'action oxydante de l'ion hypochlorite sur de nombreux colorants.

L'eau de Javel se décompose lentement selon une transformation totale modélisée par la réaction d'équation :



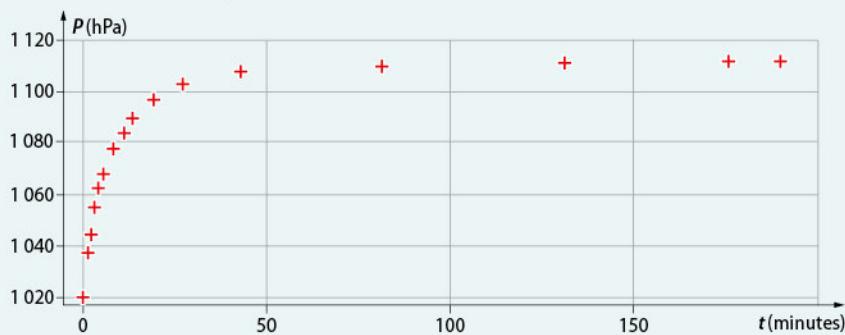
## DOC 2 Suivi de la cinétique de la transformation

Pour suivre l'évolution de cette transformation, on dilue une solution commerciale  $S_0$  afin d'obtenir un volume  $V = 250 \text{ mL}$  d'une solution  $S_1$  d'eau de Javel diluée dix fois. On verse un volume  $V_1 = 20,0 \text{ mL}$  de la solution  $S_1$  dans un ballon.

À l'instant de date  $t_0 = 0 \text{ s}$  où l'on déclenche le chronomètre, on ajoute, sans variation de volume, une pointe de spatule de chlorure de cobalt dans la solution et on bouche le ballon. L'ion cobalt  $\text{Co}^{2+}$  (aq) est un catalyseur de la réaction.

Pour suivre l'évolution de la transformation qui se déroule, on mesure, avec un dispositif adapté, la pression  $P$  du gaz dans le ballon.

## DOC 3 Évolution des valeurs de la pression mesurée



## DONNÉES

- On néglige la quantité de dioxygène dissoute dans l'eau par rapport à la quantité de dioxygène produite.
- La concentration en quantité de matière d'ions hypochlorite de la solution commerciale est  $c_0 = 1,03 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- La température est maintenue constante :  $\theta = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Au cours de la transformation les gaz peuvent occuper un volume  $V_0 = 275 \text{ mL}$  dans le ballon.
- $R = 8,314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$

## QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

1. Identifier les gaz présents dans le ballon à l'état initial et à l'état final de la transformation. Peuvent-ils être assimilés à un gaz parfait ?
2. Calculer la variation de pression au cours de la transformation chimique.
3. Déterminer la valeur de la quantité de matière de dioxygène gazeux qui doit théoriquement se former.

## PROBLÉMATIQUE

Les valeurs de la pression mesurée au cours de la transformation permettent-elles de valider l'équation de la réaction totale modélisant la décomposition de l'eau de Javel ?

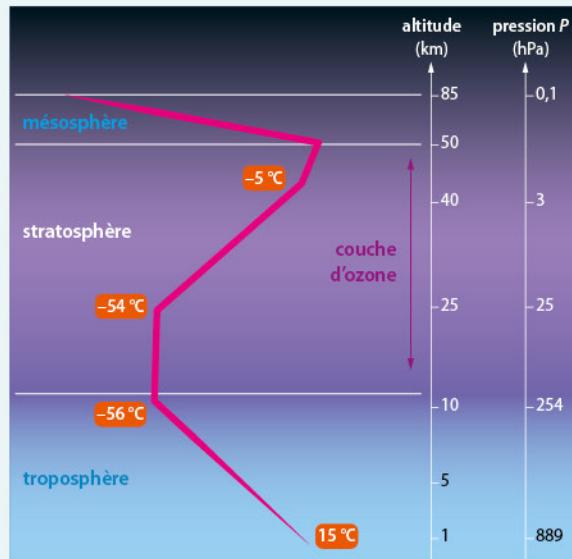
Il est attendu une prise d'initiatives et une présentation de la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

**37** Le ballon météorologique DÉMARCHES DIFFÉRENCIÉES**AN/RAI** Proposer une stratégie de résolution*Un ballon sonde gonflé à l'hélium doit atteindre la couche d'ozone stratosphérique.***DOC 1** Lancement du ballon-sonde**DÉMARCHE EXPÉRTE**

Le ballon sonde permet-il aux capteurs d'atteindre les couches supérieures de la couche d'ozone ? Si non, estimer la valeur de l'altitude maximale atteinte dans la stratosphère.

**DÉMARCHE AVANCÉE**

- 1. a.** Estimer la quantité de matière d'hélium dans le ballon.
- b.** Le ballon peut-il atteindre cette altitude sans éclater ? Justifier la réponse.
- 2.** Calculer la valeur de la pression de l'hélium au moment où le ballon éclate, pour une température égale à  $-56^{\circ}\text{C}$  puis à  $-5^{\circ}\text{C}$ . Conclure en estimant l'altitude maximale atteinte par le ballon.

**DOC 2** Structure de l'atmosphère**DONNÉES**

- $V_{\text{sphère}} = \frac{4}{3} \pi R^3$ .
- La pression de l'air à l'extérieur du ballon est toujours égale à celle de l'hélium à l'intérieur.
- L'hélium est assimilé à un gaz parfait.
- L'enveloppe élastique ne peut pas dépasser un volume 6 fois supérieur à sa valeur initiale sans éclater.

**VERS LE SUP'****38** Plongée en apnée TABLEUR-CRAPHEUR

**Données :**  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ;  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  
 $M_O = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $M_N = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  
composition de l'air : 79 % de diazote et de 21 % de dioxygène ;  
 $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

À la surface de l'eau, un ballon est rempli d'air :  $V_0 = 1,0 \text{ L}$ ,  $P_0 = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$ . Des mesures révèlent l'évolution de la pression  $P$  dans le ballon et du rapport  $\alpha = \frac{P \cdot V_m}{R \cdot T_0}$  (où  $V_m$

représente le volume molaire et où la température est constante et égale à  $\theta_0 = 15^{\circ}\text{C}$ ) lors de la descente.

- 1. a.** Calculer la masse molaire  $M_{\text{air}}$  de l'air.
- b.** Déterminer le volume molaire  $V_{m0}$  de l'air et la densité  $\rho_{\text{air}}$  à  $\theta_0$  et  $P_0$ .
- c.** En déduire la masse  $m_{\text{air}}$  d'air et la quantité de matière  $n_{\text{air}}$  contenu dans le ballon.
- 2. a.** Déterminer le volume  $V$  du ballon à la profondeur  $z = 11\,000 \text{ m}$ .

**Mesures expérimentales : caractéristiques de l'air**

$P$ (bar)	1,00	100	150	200	250	300
$\alpha$	0,945	0,981	0,997	1,025	1,064	1,109
$P$ (bar)	350	400	500	600	700	
$\alpha$	1,157	1,212	1,333	1,452	1,575	

**b.** Si, à cette profondeur, le ballon se perce, que devrait-on observer ? En réalité des bulles d'air remontent à la surface. Quelle est l'hypothèse à remettre en cause ?

**3. a.** Démontrer l'expression :

$$\rho_{\text{air}} = \frac{P \cdot M_{\text{air}}}{\alpha \cdot R \cdot T_0}$$

**b.** À l'aide d'un tableur, tracer la courbe  $\rho_{\text{air}} = f(P)$  et celle obtenue en appliquant le modèle du gaz parfait au calcul de la masse volumique  $\rho_{\text{air}}$ .

**c.** L'étude des plongées en apnée peut-elle se faire en assimilant l'air dans l'organisme à un gaz parfait ?

## Vitesse de corrosion des gouttières

### Contexte

L'objectif est d'évaluer la vitesse volumique de disparition du zinc en étudiant par pressiométrie la cinétique d'une transformation réalisée au laboratoire..

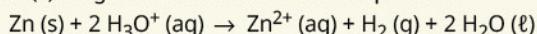
### Documents mis à disposition

#### Les pluies acides

Les précipitations sont acides en raison des rejets du dioxyde de carbone, du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote qui s'associent à l'humidité de l'air. Ces acides formés sont transportés loin de leur source avant d'être précipités par les pluies, le brouillard, la neige ou sous forme de dépôts secs. Très souvent, les pluies s'écoulant des toits sont recueillies par des gouttières métalliques, constituées de zinc.

#### Modélisation de la corrosion du zinc

Le zinc Zn (s) réagit en milieu acide selon l'équation :



L'avancement  $x$  de la réaction est égal à la quantité  $n(\text{H}_2)$  de dihydrogène formé.

En assimilant le dihydrogène libéré à un gaz parfait, la surpression ( $P - P_i$ ) produite dans un récipient clos est à chaque instant proportionnelle à la quantité  $n(\text{H}_2)$  de dihydrogène formé et inversement proportionnelle au volume  $V_{\text{gaz}}$  de gaz (où  $P_i$  est la pression mesurée à la date  $t = 0$  s).

#### Dispositif expérimental de suivi cinétique par pressiométrie

La pressiométrie permet de suivre l'évolution temporelle d'un système chimique.

Dans le dispositif suivant, le volume de gaz  $V_{\text{gaz}}$  est fixé.

Si une espèce chimique gazeuse est produite, la pression va évoluer au cours du temps.



**Données :**  $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Loi du gaz parfait :  $PV = nRT$  avec  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**Vitesse volumique de disparition du zinc :**

$$v = \frac{1}{V} \cdot \frac{dx}{dt}; V : \text{volume de la solution (supposé constant durant l'expérience)} \text{ et } x \text{ l'avancement de la réaction.}$$

### Matériel mis à disposition

- Une calculette type « collège »
- Un ordinateur et un logiciel tableur-grapheur
- Un erlenmeyer de 250 mL et un bouchon adapté et percé
- Un entonnoir tulipe avec robinet
- Un capteur de pression relié à un tuyau souple
- Un chronomètre et un thermomètre
- Une balance au centième de gramme
- Une éprouvette de 50 mL
- Une solution d'acide chlorhydrique  $c_a = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- Un échantillon de poudre de zinc Zn (s) de 0,5 g
- Des paires de lunettes de sécurité et de gants

### Travail à effectuer

#### 1. (AN/RAD) Proposition de protocole expérimental (20 min conseillées)

- Proposer une stratégie permettant de représenter graphiquement l'évolution de l'avancement  $x$  de la réaction modélisant la transformation complète de l'échantillon de zinc fourni.



Être en mesure de présenter le protocole

#### 2. (RÉA) Mise en œuvre du protocole expérimental proposé (20 min conseillées)

- Mettre en œuvre le protocole précédemment validé et noter les valeurs des mesures effectuées pendant une durée totale d'environ 5 minutes. Représenter alors l'évolution de la pression mesurée en fonction du temps.



Être en mesure de présenter l'acquisition et le traitement informatique réalisé

#### 3. (RÉA) (VAL) Exploitation du résultat obtenu (20 min conseillées)

- À l'aide du tableur, créer la grandeur avancement  $x$  puis représenter son évolution en fonction du temps. Comment peut-on déduire de la courbe obtenue la valeur initiale de la vitesse volumique de disparition du zinc ? Estimer cette valeur. Commenter le résultat obtenu en portant un regard critique sur la méthode employée.

Fermer les logiciels et ranger la paillasse avant de quitter la salle.

## UNE QUESTION

**Comment développer un ballon météorologique ?****Enjeu de la question**

*La conception et la réalisation des ballons-sondes permet de se renseigner sur l'évolution des grandeurs physiques qui caractérisent l'atmosphère en atteignant les couches supérieures de celle-ci.*

**Proposition de plan de présentation**

1. Structure de l'atmosphère et grandeurs macroscopiques : température, pression, masse volumique en fonction de l'altitude.
2. Principe du ballon-sonde (fonctionnement, composition...).
3. Cahier des charges d'un ballon stratosphérique (altitude visée, dimensions et gaz de remplissage, caractéristiques et organisation de la nacelle...).
4. Instrumentation embarquée (microcontrôleur et capteurs, programmes, transmission ou stockage des données).
5. Conclusion : un projet envisageable au lycée.

**Exemple de support de présentation***Lancement d'un ballon sonde***Les mots-clés**

pression ▶ température ▶ masse volumique ▶ équation d'état du gaz parfait ▶ programmation

**QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES**

À 50 km d'altitude, la température et la pression sont de  $-3^{\circ}\text{C}$  et 1 mbar. Peut-on évaluer le volume du ballon en assimilant son contenu à un gaz parfait ?

Comment déterminer expérimentalement le type de mouvement décrit par le ballon lors de son décollage ?

Quelle action est responsable de l'ascension du ballon ? Quelle est son origine ?

À propos de l'ascension d'un ballon sonde...

Quels paramètres faut-il prendre en compte pour protéger l'électronique embarquée du froid ?

Lors du retour du ballon, comment peut-on estimer la surface du parachute qui assurerait une descente uniforme de quelques  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  seulement ?

**UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL**

Ces dernières années, des phénomènes météorologiques de fortes intensités ont été observés : cyclones, ouragans, tempêtes, avalanches, inondations... Leur prévision présente un intérêt majeur pour la protection des populations, des biens et des infrastructures. Les métiers relatifs à la **météorologie** et au **climat** sont donc essentiels.

Après le bac : Bac + 5 diplôme d'ingénieur de l'École nationale de la météorologie.

Autres métiers : climatologue, technicien des métiers de la météorologie, glaciologue, géochimiste.

Spécialisé dans les phénomènes atmosphériques, le **météorologue** analyse les causes et les effets des changements climatiques. Il est chargé de réaliser des prévisions et d'anticiper les risques à partir de modélisations informatiques et d'informations fournies par des satellites, des stations météo, des ballons-sondes.

