

ETUDE DES GAZ

L'état d'un gaz peut être décrit à l'aide de 4 paramètres : sa température, son volume, sa pression et sa quantité de matière.

Mais il est aisé d'observer que ces paramètres sont liés ; si par exemple je chauffe un gaz enfermé dans un ballon de baudruche (extensible) , son volume augmente ou encore si j'enfonce le piston d'une pompe à vélo la pression du gaz enfermé devient plus grande comme en témoigne l'effort requis pour maintenir la pompe obturée.

Le but de ce texte est de montrer comment on peut opérer quantitativement avec un matériel rudimentaire.

En fait de matériel une simple seringue de 80 ml 100 directement reliée à un capteur de pression transformant la pression en tension suffit.

Il peut être intéressant d'étalonner le capteur en fonction de la pression atmosphérique du moment pour faire en sorte que 1000hPa correspondent à 1,00V.

On peut ajouter une carte d'acquisition pour un enregistrement sur ordinateur.

I-Pression et volume : loi de Mariotte

C'est l'étude la plus facile

Résultats

Il semble naturel d'étudier dans un premier temps P en fonction de V (et non pas de 1/V ou encore V en fonction de 1/P !)

Remplir le tableau suivant

V en mL	10	20	30	40	50	60
U en volts						
P en hPa						

Représentation graphique

On peut utiliser excel

Le professeur utilise une carte d'acquisition

Cette dernière ne peut acquérir que la grandeur pression ; c'est manuellement qu'il faudra enregistrer les volumes.

Commentaires :

Il est clair que la pression augmente quand le volume diminue

Parce que la courbe rappelle une hyperbole ou parce que c'est la fonction la plus simple à envisager dans un premier temps ,on doit songer à représenter P en fonction de 1/V après avoir complété le tableau suivant

On peut tout autant effectuer le produit PV et tenter de vérifier qu'il est constant

V en mL	10	20	30	40	50	60
U en volts						
P en hPa						
1/V						

On obtient alors une courbe présentant un aspect encourageant, la partie rectiligne, du début, soit jusqu'à 30 mL, mais un aspect déroutant : quand 1/V tend vers l'infini la pression tend vers une valeur finie comme on peut surtout l'apprécier expérimentalement

Interprétation (?)

On peut incriminer le volume résiduel v des tubes reliant la seringue au capteur faussant la valeur du volume V enregistré.

Néanmoins, on peut retenir l'hypothèse que $P=k/V$, hypothèse qui conduit donc à

$$P=k / (V+v)$$

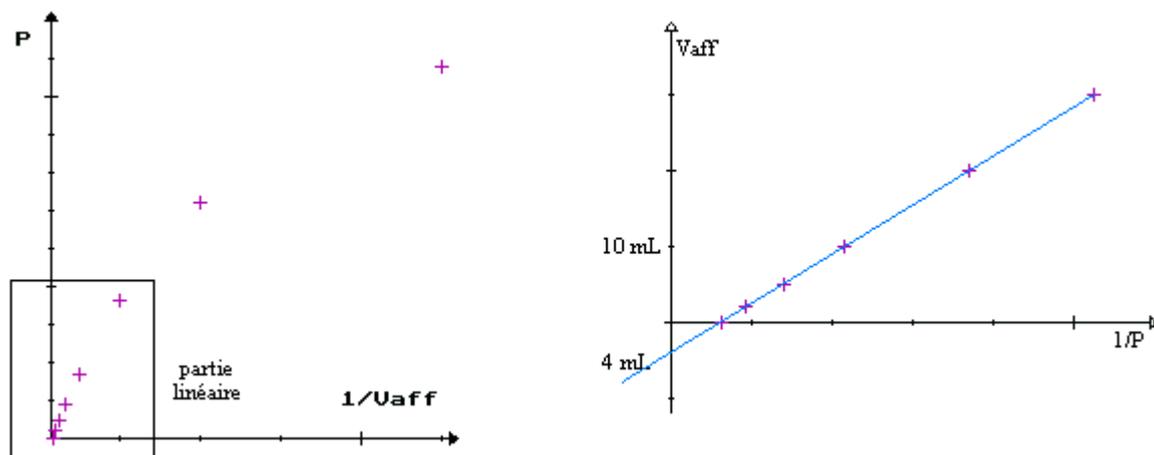
Il devient alors plus intéressant de représenter V en fonction de $1/P$ pour faire apparaître v comme une simple ordonnée à l'origine, comme le montre le calcul suivant :

$$V+v = k / P \quad V = k / P + v \quad V = k*(1/P) + v$$

Résultats:

On obtient bien une droite : l'hypothèse est confirmée

Par simple curiosité on voit que l'on accède à la valeur du volume résiduel.



c-conclusion

On écrira pour l'air étudié la relation $PV=Cste$

Ce résultat généralisé à bien d'autres gaz constitue la loi de Mariotte.

Pour une même quantité de matière gaz, pour une température donnée, le produit PV est constant.

Remarque : on note cependant quelques écarts quand les gaz, en particulier, sont dans des conditions proches de leurs points d'ébullition (vapeurs).

II-Pression et température

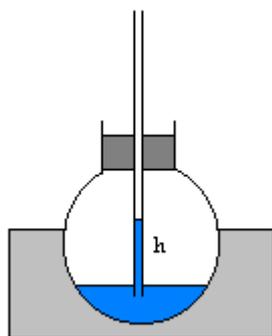
a-matériel

Dans tous les cas il faut un chauffe ballon électrique thermostaté

La pression est mesurée à l'aide du capteur de pression ; la température à l'aide d'une sonde à sortie analogique éventuellement pour l'utilisation de la carte d'acquisition.

Remarque alors que l'on peut utiliser les deux entrées d'une même carte d'acquisition.

Le montage suivant présente l'inconvénient de conjuguer les effets de la pression et de la dilatation ; mais si le volume du ballon est assez grand on pourra négliger ΔV ; du reste c'est P qui est mesuré et non pas V . Il faut auparavant énoncer, à défaut de démontrer, que la pression se mesure ici avec une colonne de liquide et qu'elle est proportionnelle à h ; voir à ce sujet «Poussée d'Archimède » dans la rubrique « Physique »



Une variante plus facile :

Utiliser une cuve thermostatée et un ballon de 250 mL fermé par un bouchon à un seul trou

légèrement plus grand que nécessaire pour assurer l'étanchéité.

Le thermostat permet de disposer des valeurs normalisées : 20 , 30 et 37-Quand le clignotant ne clignote plus qu'une fréquence de 0.1Hz on relève la valeur de la pression mesurée par le capteur électrique de la séance précédente enfoncé dans le trou du bouchon.

Le ballon est pratiquement complètement immergé. Les valeurs de 40, 45 , 50, 55 et 60 sont obtenues avec l'aide du vernier de réglage fin de la température du bain.

b-résultats

Remplir le tableau suivant et tracer la courbe P(t°C)

(Utiliser Excel)

t(°C)	25	30	37	45	50	55	60	
P(Volts)	1,305	1.323	1.347	1.372	1.388	1.403	1.420	

P est une fonction affine de t(°C)

Soit P₀ la pression à 0°C ; on peut écrire la relation R: $P=P_0 + a.t$ avec $a= 345,8$ SI (en utilisant une régression).

Le coefficient directeur n'est pas parlant. Il est plus intéressant de calculer la valeur de t pour laquelle P=0 Pa , c.à.d , celle pour laquelle l'agitation moléculaire est nulle, celle enfin, en dessous de laquelle la température ne peut descendre :

$$0= P_0 + 345,8t \quad \text{soit } t=-273^\circ\text{C}$$

On peut donc écrire la relation (R) sous la forme : $P=P_0 t / 273 + P_0$

Ou encore $P=P_0(1+ t/273)$ ou enfin $P=P_0 (t+273) / 273$

Ainsi il vient à l'esprit de définir une nouvelle échelle de température T en écrivant :

$$T=t+273 \quad T=t + 273,15 \text{ plus précisément}$$

Cette température est appelée température absolue; elle est toujours positive.

Son unité est le kelvin (K)

Remarque : il peut être déconcertant que l'on ne puisse pas descendre en dessous de $- 273^\circ\text{C}$

Mais il faut se rappeler que la température témoigne de l'agitation thermique et que cette agitation a une limite (nulle).

De plus pour les esprits récalcitrants on établirait qu'il est aussi difficile de passer de 1000°C à 10000 que de -272.9 à -272.95 par exemple.

Le zéro absolu est à $-273,15^\circ\text{C}$: c' est une température limite

c-conclusion

On écrira d'une manière générale pour l'air comme pour tous les gaz ,avec les restrictions précédentes que pour une même quantité de matière et pour un volume donné :

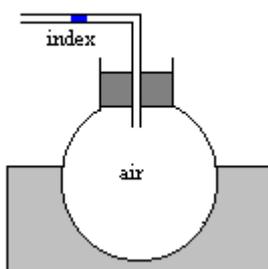
$$P / T=Cste$$

III-Volume et température

a-matériel

Il faut encore un chauffe ballon électrique thermostaté

Qualitativement c'est le phénomène de dilatation déjà étudié en cours



Si la mesure de la température ne pose pas de problème, celle du volume est délicate : il faut connaître la section du tube et ne pas négliger les effets de dilatation du verre qui, bien que moins dilatable, présente un volume important vis à vis de celui balayé par l'index.

b-résultats

Méthode théorique

Nous allons opérer autrement avec un papier et un crayon en utilisant les résultats précédents. Considérons les trois transformations suivantes qui permettent d'aboutir à un état final pour lequel tous les paramètres du gaz ont été modifiés (en dehors de la quantité de matière)

$$A=(P_1, V_1, T_1) \text{ -----} \rightarrow B=(P_2, V_2, T_2=T_1) \text{ -----} \rightarrow C=(P_3, V_3=V_2, T_3)$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

(transformation isotherme)

$$P_2 / T_2 = P_3 / T_3$$

(transformation isochore)

en multipliant membre à membre, il vient :

$P_1 V_1 P_2 / T_1 = P_2 V_2 P_3 / T_3$ ou encore $P_1 V_1 / T_1 = P_3 V_2 / T_3$ ou enfin avec les égalités des transformations :

$$P_1 V_1 / T_1 = P_3 V_3 / T_3$$

Cette dernière relation prend la forme suivante dans le cas d'une transformation isobare :

$$V_1 / T_1 = V_3 / T_3 \quad \text{ou} \quad V / T = \text{Cste}$$

Remarque : comment cette forme rejoint-elle celle à laquelle on aurait abouti par une méthode classique mettant en œuvre la température celsius ?

$$V / T = k \Rightarrow V = kT = k(t + 273)$$

Or $V_0 = \text{volume à } 0^\circ\text{C} = k \cdot 273 \Rightarrow k = V_0 / 273$

Par suite $V = (V_0 / 273) \cdot (t + 273) = V_0 (1 + t/273)$

On retrouve une expression identique à celle de la transformation isochore

c-méthode expérimentale

Etude au domicile :

Travaillant à pression constante on peut imaginer le dispositif décrit dans la partie cours.

Un élève qui voudrait faire cette étude pourrait disposer d'un échantillon de températures suffisant : température de réfrigérateur (4°C), température de la salle à manger (20°C), température extérieure (30°C en été ou -5°C en hiver), température du congélateur (-15°C), température de l'eau bouillante (plonger le vase dans une grosse marmite d'eau bouillante).

Le volume sera mesuré par le déplacement d'un index liquide.

Ce dispositif particulièrement simple présente toutefois de nombreux inconvénients : en particulier le liquide constituant l'index ne doit pas geler et ne pas introduire de pression de vapeur ; de plus, en se déplaçant, cet index laisse dans son sillage une traînée qui diminue sa dimension.

Ce dispositif vaut essentiellement pour la mise en évidence qualitative du phénomène de dilatation des gaz.

Etude en salle de TP

L'échantillon de température sera obtenu en plongeant le récipient enfermant le gaz dans une cuve à eau thermostatée.

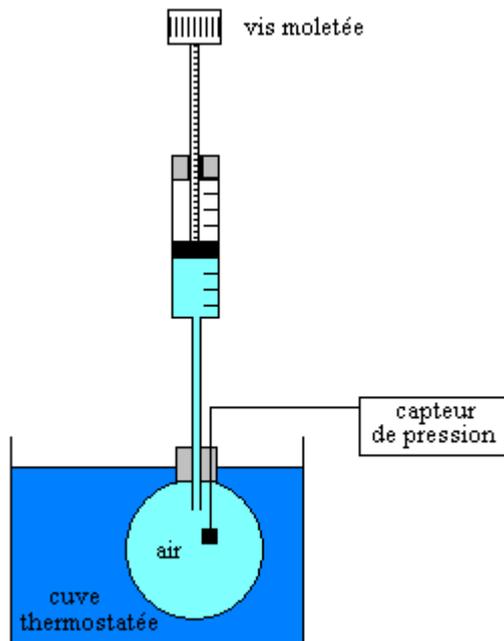
L'index est remplacé par un piston bien étanche se déplaçant dans un tube de section assez importante pour la plage de température (20°C - 80°C).

On le voit, l'inconvénient de l'index liquide a disparu ; mais il laisse la place à un nouveau problème : si le piston est bien étanche on se heurte au problème de la fidélité –Le déplacement n'est pas aisé et il faut s'attendre à des problèmes de surpression. Il est illusoire de travailler à la

pression atmosphérique constante.

Il suffira donc , manuellement de maintenir la pression constante en forçant le déplacement du piston avec une tige filetée. Un capteur de pression différentiel dans le vase permettra, pour une nouvelle température, de s'assurer que la différence de pression est bien nulle .

Bien évidemment le tube n'a plus de raison d'être horizontal.

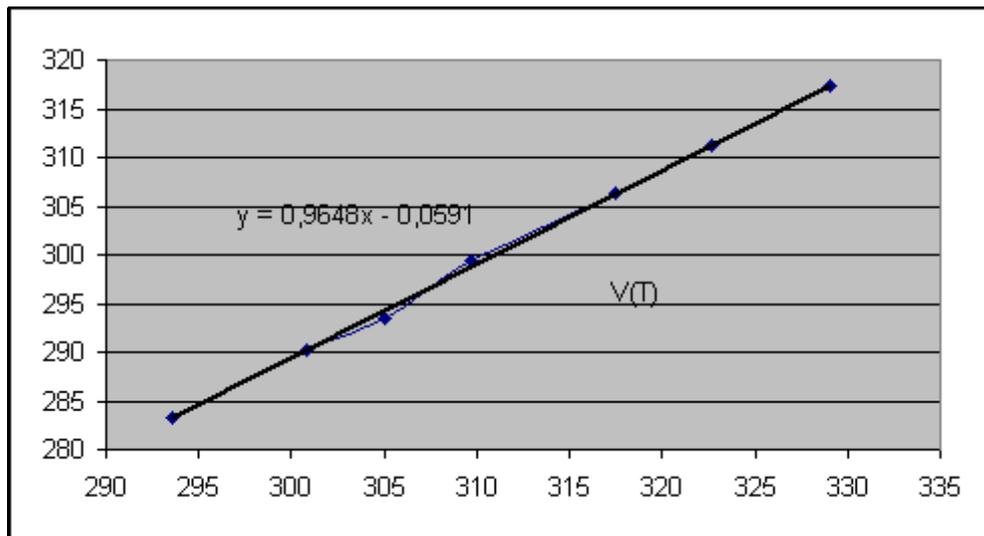


dV représente l'accroissement de volume

t(°C)	dV(cm ³)	V	T(K)	
20,6	0	283,3	293,6	
27,8	7	290,3	300,8	
32	10,15	293,45	305	
36,7	16	299,3	309,7	
44,5	23	306,3	317,5	
49,7	28	311,3	322,7	
56	34	317,3	329	

V0

283,3



V0 est le volume du ballon mesuré à la température initiale et sous la pression du moment où le piston de la seringue est complètement enfoncé; la sonde de pression est mise en place après coup. Ce volume est notablement différent de 250mL à cause des tubes de raccordement, mais surtout du remplissage complet du ballon de 250.

On choisit de représenter V en fonction de la température exprimée en K comme dans l'étude P/T=cste

d-conclusion

On écrira d'une manière générale pour l'air comme pour tous les gaz, avec les restrictions précédentes que pour une même quantité de matière et pour une pression donnée :

$$V / T = \text{Cste}$$

IV-Equation d'état des gaz parfait

Par définition un gaz parfait obéit rigoureusement aux trois lois de transformation précédentes.

On montrerait que plus la pression diminue et plus les gaz réels se comportent comme des gaz parfaits.

Si l'on avait fait varier la quantité de matière dans la transformation isotherme par exemple on aurait établi que le produit PV est proportionnel à la quantité de matière et écrit $PV = Kn$

D'une manière générale les quatre paramètres qui définissent l'état d'un gaz parfait sont regroupés (et liés) dans la relation suivante :

$$PV / T = nR \quad R \text{ est une constante qui vaut } 8,314 \text{ dans le système international}$$

V-Application

Volume molaire

Si $T=273,15\text{K}$ $n=1 \text{ mol}$ et $P=101300\text{Pa}$ alors $V = nRT/P = \dots\dots\dots 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 = 22,4 \text{ L}$

Le calculer dans les conditions standard : 1,00 bar 20°C