

**« LA VAPEUR DES BROUILLARDS
NE VOILE POINT LES CIEUX. »**

(Jean Racine)

VÉRIFICATION DES LOIS DE GAZ

Techniques

- interprétation de données
- traçage des graphiques et interprétation des graphiques

FS disponibles

- l'air

Principes

- la loi de Charles
- la loi de Boyle
- comportement des gaz parfaits
- détermination des paramètres expérimentaux
- validation des résultats expérimentaux

Lectures approfondies recommandées

- **Chapitre sur les gaz et les lois qui les concernent dans n'importe quel manuel**

INTRODUCTION

En résumé

Bienvenue au laboratoire du cours de chimie générale ! On a beaucoup à faire pendant la séance d'aujourd'hui ! On vous présentera tout ce qui concerne la sécurité au laboratoire. On formera des équipes de deux partenaires, et vous ferez la connaissance de votre démonstratrice ou démonstrateur. On vous attribuera un poste de travail au laboratoire, et vous ferez l'inventaire de votre casier afin de vous familiariser avec l'équipement à votre disposition. Enfin, vous réaliserez une courte expérience. Voici un aperçu de ce que vous ferez au cours de la séance d'aujourd'hui :

- familiarisation avec la sécurité au laboratoire
- validation des lois de Charles et Boyle.

EXPÉRIENCE N° 1 : *Validation des lois de Gaz*

Avant-propos

« La respiration est une bonne application de la loi de Boyle dans nos vies quotidiennes. En inspirant, le volume de nos poumons augmente et en expirant il diminue »

Gaz

Par définition, les gaz ont des volumes et des formes variables. Tous les changements de pression, de volume ou de température ont des effets sur eux. La **Loi de Boyle** décrit les variations du **volume** d'un gaz en fonction de la **pression**. La **Loi de Charles** décrit les variations du **volume** d'un gaz en fonction de la **température**. Les gaz se contractent lorsqu'on les refroidit et se dilatent lorsqu'on les chauffe.

Gaz parfait

En théorie, les particules d'un gaz sont si petites et si éloignées les unes des autres qu'elles ont un volume essentiellement nul et n'exercent aucune attraction les unes sur les autres. On appelle **gaz parfait** un gaz qui satisfait à ces conditions. Un gaz parfait peut être décrit par la relation $pV = nRT$ entre sa pression, son volume, la quantité (nombre de moles) et la température. Dans la réalité, ces conditions sont remplies lorsque la pression est faible et la température est élevée. Par contre, à mesure que la pression augmente et que la température diminue, les gaz s'éloignent de plus en plus de la condition de gaz parfaits. Cela n'est pas surprenant puisque, en réalité, les particules des gaz occupent un volume et exercent des forces les unes sur les autres.

Loi de Charles

Les gaz se contractent lorsqu'ils sont refroidis et se dilatent avec l'augmentation de la température. Ce qui est intéressant est que pour un changement de température donné, tous les gaz se contractent ou se dilatent du même volume. Jacques Alexandre Charles est

le premier scientifique qui a effectué des observations quantitatives sur les gaz à différentes températures. Plus tard, John Dalton (en 1801) et ensuite Joseph Louis Gay-Lussac (en 1802) poursuivent ces travaux pour enfin démontrer clairement qu'à une **pression donnée**, le **volume** d'un gaz augmente **linéairement** avec l'augmentation de la **température**. De plus, Charles détermina que le changement de volume d'un gaz, suite à une augmentation de la température de 1°C, correspondait à 1/273 du volume initial du gaz, et ce pour une pression donnée et une température de 0°C.

Un effet similaire est observé si le gaz est refroidi. Par conséquent, une diminution de 1°C réduit le volume du gaz à 0 °C par un facteur de 1/273. L'information dans le Tableau 1 suggère par contre que l'augmentation du volume n'est pas directement proportionnelle à l'augmentation de la température exprimée en degrés Celsius.

TABLEAU 1
DONNÉES VOLUME-TEMPÉRATURE
(À PRESSION ET MASSE CONSTANTES)

Volume (mL)	Température (°C)	Température (K)	V / T (mL/°C)	V / T (mL/K)
1092	273	546	4	2
746	100	373	7.46	2
566	10	283	56.6	2
548	1	274	548	2
546	0	273	indéterminée	2
544	-1	272	-544	2
400	-73	200	-5.48	2
100	-223	50	0.45	2
0	-273	0	0	indéterminée

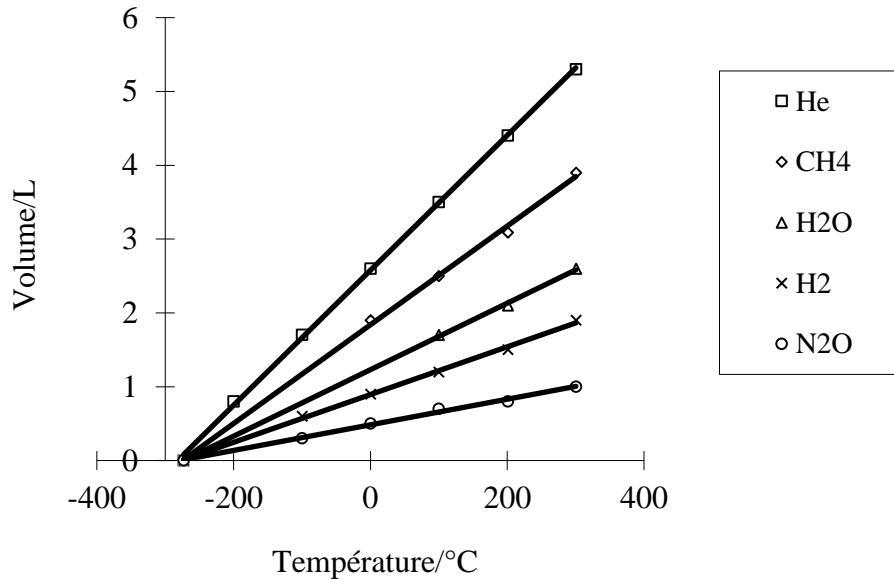
La loi de Charles et la Température

Si, pour une série de gaz, le volume est porté en ordonnée en fonction de la température, comme dans la Figure 1, le point d'intersection sur l'axe des x, **l'intercepte x**, correspond à une température de -273.15°C. Quelles sont les propriétés physiques du gaz à cette température ? Puisque l'axe des y et l'axe des x correspondent au volume et à la température respectivement, une température de -273.15°C indique que le volume du gaz est zéro ! De plus, cette observation est valide pour tout gaz et indépendamment de la quantité ! Bien entendu, en réalité, nous savons que ceci est impossible ! Pourquoi ? Avant que la température d'un gaz ne puisse descendre à -273.15°C, les forces intermoléculaires surpassent l'énergie cinétique des molécules et le gaz se condense pour se transformer en un liquide ou un solide. Étant donné que les molécules occupent un volume (peu importe si celui-ci est très petit!), le volume d'un gaz **réel** n'atteindra jamais zéro.

Détermination Graphique du Zéro Absolu

Néanmoins, le graphique du volume d'un gaz en fonction de la température peut être très utile.

Figure 1. Détermination de la Valeur du Zéro Absolu à partir de la Représentation Graphique du Volume en fonction de la Température pour Différents Gaz



Sachant que l'équation qui décrit une droite est de la forme:

$$y = mx + b \quad [1]$$

où **m** est la **pen**te de la droite et **b** est l'**intercepte y**. D'une façon similaire, on peut exprimer la relation linéaire entre le volume d'un gaz et la température (Figure 1):

$$V = mT + b \quad [2]$$

Dans la Figure 1, l'intercepte est $T = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$ et $V = 0$. En remplaçant ces valeurs dans [2] on obtient :

$$b = 273.15 m \quad [3]$$

L'équation [2] peut maintenant être réorganisée pour que :

$$\begin{aligned} V &= m T + 273.15 m \\ &= m (T + 273.15) \end{aligned} \quad [4]$$

La température de l'équation [4] peut être redéfinie comme,

$$T_K = T_C + 273.15 \quad [5]$$

la relation entre la température exprimée en **Celsius** et en **Kelvin**, où T_K est la température en Kelvin et T_C la température en Celsius. Comme la valeur du zéro absolu est égale à $T_K =$

o, on en déduit de l'équation [5] que cette même valeur est égale à $T_c = -273.15$ °C. Donc, l'équation [4] peut être réécrite comme,

$$V = m T_K \quad [6]$$

Ceci est la Loi de Charles qui stipule que le volume occupé par n'importe quel gaz à une pression constante est directement proportionnel à la température exprimée en Kelvin.

La loi de Boyle

Pour un gaz enfermé dans une enceinte, tout changement de volume de l'enceinte entraîne un changement de la pression exercée sur le gaz. Historiquement, cette relation est exprimée par la loi de Boyle, établie au 17^e siècle par Robert Boyle. Boyle a ajouté une condition importante : la température du gaz doit rester constante.

Concept de l'expérience

Dans cette expérience, vous vérifierez deux lois de gaz : la loi de Charles et la loi de Boyle. La procédure pour la vérification de la loi de Charles avec deux températures est donnée, car elle est plus complexe. La loi de Boyle consiste à l'étude de la relation entre la pression et le volume d'un gaz restreint. Vous accomplirez votre recherche en piégeant un volume de l'air **que vous détermineriez** dans une seringue de 20 mL reliée à une sonde de pression de gaz (Figure 2). En poussant l'injecteur de la seringue, la pression du gaz restreint changera et sera mesurée par la sonde de pression de gaz. Notez que, même si on traite les gaz comme des gaz idéaux, ils sont **réels**!

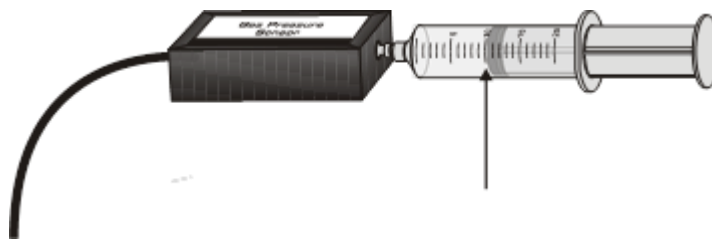


Figure 2. Connexion entre la seringue et la sonde pour mesurer la pression de gaz

Choses à faire

- Faire les exercices préparatoires avant de venir au laboratoire.
- Selon la procédure ci-dessous, vérifier la loi de Charles.
- Avec votre partenaire, déterminer quelles variables il faut mesurer. Décider quelle variable sera dépendante et quelle sera indépendante. Expliquer comment vous avez décidé.
- Sélectionner les valeurs de votre variable indépendante à mesurer. Est-ce qu'il y a des défis/limitations/raisons qu'il faut prendre en considération pour mesurer les variables d'une telle façon? Expliquer les raisons.
- Une fois décidé (vos choix de variables et les valeurs), écrire une procédure détaillée (sans LabQuest 2) dans votre cahier de laboratoire. Utilisez les Critères d'Évaluation comme guide. Une fois complétée, montrer la procédure et l'évaluation à votre TA. Après avoir son approbation, commencer la partie expérimentale.
- À l'aide de l'équipement au laboratoire, recueillir les données qui vous permettront de vérifier la loi de Boyle.
- Aux besoins, après avoir examiné vos données, réviser votre procédure ou votre choix des valeurs. Expliquer les raisons pour le(s) changement(s).

Mesures de sécurité

1. **Portez en tout temps des lunettes de sécurité ou des lunettes étanches.**

PROCÉDURE

Équipement et produits requis

Équipement :

Fiolle Erlenmeyer de 125 mL

Bécher de 600 mL ou 1 L

Bouchon de caoutchouc percé (trou suffisant pour le thermomètre)

Thermomètre électronique

Bain de glace

Pince à extension

LabQuest 2

Sonde de pression de gaz fabriquée par Vernier

Seringue plastique de 20 mL

Clé USB

Vérification de la loi de Charles

1. Cherchez une fiole Erlenmeyer de 125 mL et assurez qu'elle est bien propre et **sèche**. Sinon, rincez-la avec 2 à 3 mL de l'acétone (déposez l'acétone dans le contenant pour les déchets organiques) et la sécher au four pour 5 min.
2. Fermez la fiole Erlenmeyer avec un bouchon de caoutchouc percé. À l'aide d'un stylo-feutre ou une étiquette, indiquez la position du bas du bouchon.
3. Préparez un bain-marie en remplissant un bécher de 600 mL/1L avec de l'eau du robinet aux deux tiers.
4. Mettez le bécher sur la plaque chauffante.
5. Attachez une pince d'extension à la fiole Erlenmeyer et mettez la fiole dans le bain-marie. Abaissez la fiole Erlenmeyer jusqu'à ce qu'elle soit immergée en grande partie dans le bain-marie. L'eau ne doit pas couler sur la plaque chauffante (l'eau peut être ajoutée au bain-marie au besoin). L'eau **ne doit pas rentrer** dans la fiole Erlenmeyer!
6. Faites chauffer le bain-marie sur la plaque chauffante jusqu'à ce que l'eau bouille. Une fois que l'eau bout, laissez la fiole Erlenmeyer dans le bain-marie pendant 6 à 7 minutes.
7. Préparez un bain de glace (dont la température est inférieure à 6 °C).
8. En attendant, travaillez avec votre partenaire pour écrire une procédure détaillée (étape-par-étape) dans votre cahier de laboratoire. Il faut définir des variables, identifier les variables dépendent et indépendant, spécifier les valeurs du départ et la fin, et indiquer combien de mesures à prendre et à quel intervalle. Utilisez les Critères d'Évaluation pour vous guider.
9. Fermez le trou du bouchon avec un doigt et enlevez la fiole Erlenmeyer du bain-marie après avoir déconnecté la pince d'extension. **Ne touchez pas** la fiole Erlenmeyer directement, car elle est **chaude**.
10. En gardant le doigt sur le trou du bouchon, abaissez la fiole Erlenmeyer dans le bain de glace (bouchon vers le bain de glace). Une fois que le bouchon et l'embouchure de la fiole sont complètement immergés, enlevez votre doigt. L'eau rentrera dans la fiole Erlenmeyer. Si des bulles d'air sortent de la fiole Erlenmeyer, il faut recommencer l'expérience.
11. Laissez la fiole Erlenmeyer dans le bain de glace pendant 5 à 6 minutes, jusqu'à ce que la température de l'air devienne équilibrée avec la température du bain de glace.

-
12. Mesurez et notez la température du bain de glace.
 13. Toujours en gardant le bouchon et l'embouchure de la fiole dans le bain de glace, faites monter ou descendre la fiole dans le bain de glace jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans la fiole soit égal au niveau de l'eau dans le bain de glace.
 14. Quand les niveaux d'eau sont pareils, couvrez le trou du bouchon avec votre doigt et retirez la fiole du bain de glace.
 15. Transférez l'eau dans la fiole Erlenmeyer dans un cylindre gradué et notez le volume; appelez ce volume V_{cw} . V_{cw} représente le volume à la température T_2 (la température du bain de glace mesurée dans l'étape 12). Le volume, V_2 , que le gaz occupe à la température T_2 correspond à la différence entre le volume total, V_1 (décrit ci-dessous) et V_{cw} .
 16. Remplissez la fiole Erlenmeyer de 125 mL avec de l'eau distillée jusqu'à la ligne faite avec le stylo-feutre/étiquette. Transférez l'eau dans un cylindre gradué. Mesurez et notez son volume; appelez ce volume V_1 . V_1 représente le volume à la température T_1 (la température de l'eau bouillante qu'on constate est 100 °C).
 17. Répétez l'expérience au moins une fois (deux fois, si le temps le permet).
Rassurez-vous que la fiole Erlenmeyer est complètement sèche avant de commencer le prochain essai.

Vérification de la loi de Boyle

1. Montrez les procédures que vous avez écrit dans vos cahiers de laboratoire à votre démonstrateur (TA) (Étape 8).
2. Votre TA complètera les Critères d'Évaluation.
3. Si votre TA approuve, utilisez votre procédure pour faire l'expérience. Ci-dessous, vous trouverez les instructions pour l'utilisation du LabQuest 2.

Expérience : Comment utiliser l'équipement

1. **Préparer la sonde de pression de gaz et un échantillon d'air.**
 - a. Reliez la sonde de pression de gaz au LabQuest 2. Allumez le LabQuest 2 et sélectionnez **Nouveau** du menu **Fichier** au coin supérieur gauche. (Vous utilisez la sonde de pression de gaz et une seringue. Quelles sont les deux variables que vous mesuriez? Quelles sont les unités qui serviront à mesurer cette variable?)

-
- b. Poussez l'injecteur d'une seringue plastique de 20 mL au volume initial choisi (vous et votre partenaire devez décider ce volume avant de commencer).
Décidez quelle partie de l'injecteur vous alignez avec la marque de volume.
Utilisez la même méthode pour prendre toutes les données.
 - c. Attachez la seringue de 20 mL à la valve de la sonde de pression de gaz.
IMPORTANT : la moitié d'un tour est suffisante pour verrouiller la seringue à la sonde; ne tournez pas plus, sinon vous allez abîmer le filetage de la seringue et/ou la sonde.

2. Établir le mode récolte des données sur LabQuest 2.

- a. Sur l'écran, tapez **Mode**. Changez le mode à **Évènements avec Entrées**.
- b. Entrez le **Nom** (votre variable) et **Unités** (de votre variable). Sélectionnez **OK**.

IMPORTANT : Tout volume mesuré de la seringue nécessite d'une correction. Si vous avez positionné l'injecteur à la marque de 10 mL, le volume total du gaz n'est pas 10 mL, car il y a 0.8 mL d'espace dans la sonde de pression de gaz. **N'oubliez pas d'ajouter 0.8 à chacune des mesures de volume.**

3. Recueillir les données et faire les graphiques

- a. Commencez à recueillir les données.
- b. Gardez l'injecteur à la marque de votre volume initial.
- c. Une fois la pression est stable, tapez **Garder** et **entrez votre volume + 0.8**, le volume du gaz en mL. Sélectionnez **OK** pour continuer.
- d. Bougez l'injecteur afin de changer le volume d'air dans la seringue et gardez l'injecteur en place. Après stabilisation de la pression, tapez **Garder** et entrez votre volume (+ 0.8, n'oubliez pas). Sélectionnez **OK** et continuez.
- e. Continuez de même façon jusqu'à ce que vous ayez mesuré la pression dans la seringue pour 6 à 8 volumes différents. Finalement, mesurez de nouveau la pression au volume initial (il y a une raison qu'on vous demande de mesurer le même volume deux fois). Arrêtez la récolte de données.

4. Décider quelle mesure initiale à garder (peut être fait hors du laboratoire avec Logger Pro aussi).

- a. Examinez soigneusement les points sur le graphique et décidez lequel parmi les deux points de volume initial est mieux. N'oubliez pas d'expliquer les raisons de votre choix dans le rapport.

-
- b. Tapez l'**icône du tableau** (coin supérieur droit de l'écran). Choisissez le point de volume initial **que vous vouliez enlever** du graphique en tapant dessus.
 - c. Ouvrez le menu du tableau en tapant le mot **Tableau**. Sur le menu qui devient visible, choisissez **Rayonner Donnée**. Si les données sont rayonnées, ceci veut dire qu'elles ont été enlevées du graphique.
 - d. Tapez l'**icône graphique** pour retourner à l'écran qui contient le graphique.
5. Analyser le graphique de vos variables afin de déterminer le rapport mathématique. Essayer plusieurs fonctions mathématiques (peut être fait hors du laboratoire avec Logger Pro aussi).
- a. Tapez **Analyser** et choisissez **Curve Fit ► (votre variable)** du menu Analyser.
 - b. Ouvrez le menu au-dessous de **Fit Equation** et choisissez une fonction à appliquer aux données.
 - c. Sélectionnez **OK** pour retourner à l'écran du graphique, où la fonction que vous avez choisie sera appliquée.
 - d. Répétez les étapes a à c aux besoins si vous voulez essayer d'autres fonctions.

TABLEAU DE DONNÉES

Variable indépendante (unités)	Variable dépendante (unités)

ANALYSE DES DONNÉES

Loi de Charles

1. Notez les données de volume et de température V_1 et T_1 de l'étape 15.

-
2. Calculez V_2 , le volume du gaz à T_2 (la température du bain de glace par la différence entre V_{cw} et V_1).
 3. Utilisez vos données pour vérifier la loi de Charles.
 4. Calculez une valeur moyenne (si vous avez fait plus qu'un essai).

5. Calculez le pourcentage d'erreur selon : $\% \text{ d'Erreur} = \frac{\frac{V_1 - V_2}{T_1 - T_2}}{\frac{V_1}{T_1}} \times 100\%$

La Loi de Boyle

1. Utilisez vos données pour trouver la constante de la loi Boyle. Expliquez comment vous avez calculé la valeur de cette constante.
2. Décrivez le rapport mathématique illustré par la loi de Boyle, et à l'aide de la constante calculée dans l'étape 1, écrivez une équation pour la loi de Boyle.
3. On vous a demandé de mesurer la pression du gaz au même volume deux fois. Émettez des hypothèses sur l'importance de prendre plusieurs mesures d'une variable dépendante pour la même valeur de la variable indépendante.
4. La loi de Boyle exige certaines conditions pour les autres variables qui décrivent les gaz. Avez-vous pris en compte ces variables? Qu'est-ce que vous avez fait pour vous assurer qu'elles restent constantes? Est-ce que ceci affecte vos résultats? Si oui, comment? Sinon, pourquoi?
5. Utilisez le logiciel Logger Pro (lien pour le logiciel disponible sur Brightspace) pour faire tous les graphiques.
6. Utilisez la Feuille de Travail pour l'expérience 1 (Brightspace, Dossier pour l'expérience 1) pour remettre votre rapport. Elle est en Word et elle peut être téléchargée et modifiée. Si le rapport est soumis dans un format différent, il ne sera ni accepté ni corrigé.

Critères d'évaluation pour la planification de la Vérification de la loi de Boyle

(imprimez et collez dans votre cahier de laboratoire avant de rentrer au labo)

Nom du TA:		Noms des étudiants dans l'équipe:	a.
			b.
		Date:	
Critères:	Points Possible	Évaluation	
		étudiant	TA
1. Variation d'une seule variable à la fois.	1		
5. Conditions pour les autres variables sont clairement constatées.	1		
6. Des erreurs expérimentales minimisées par le bon choix de la méthode ou de l'appareil.	1		
7. Méthode assez claire que d'autres étudiants peuvent la suivre.	1		
11. Essais multiples indiqués.	1		
13. Limitations dans le dessin expérimental incluses	1		
TOTAL:	6		

Rubrique pour la Correction d'Expérience 1

Procédure (1+3)	Protocole supérieur qui analyse les données, minimise les erreurs et inclut l'idée de la santé et la sécurité.	Protocole qui analyse les données, minimise les erreurs et inclut l'idée de la santé et la sécurité.	Protocole acceptable qui analyse les données/minimise les erreurs / inclut l'idée de la santé et la sécurité.	Protocole inacceptable.		
Graphiques (2)	Graphiques supérieurs	Graphiques complets	Graphiques partiels	Aucun/mauvais graphique		
Discussion (6+6)	<i>Comme décrit dans les Directives pour les Feuilles de travail :</i> Explication détaillée des résultats basés sur les observations et les données; explication raisonnable pour les erreurs; comparaison entre les essais; réponses à toutes les questions; liens clairs à la théorie; tableaux et graphiques avec des titres, contenant toute l'information nécessaire et bien arrangé.	Explication des résultats basée sur les observations et les données; explication raisonnable pour les erreurs; comparaison entre des essais; réponses aux questions; liens à la théorie; quelques tableaux ou graphiques bien fait.	Explication vague des résultats; manque des erreurs; mauvaise comparaison entre les essais; questions incomplètes; théorie vague; quelques tableaux ou graphiques.	quelques points importants manquants; tableaux ou graphiques qui manquent.	Plusieurs points importants manquants	Aucune discussion
Conclusion (1)	Résultats bien résumés.		Résultats résumés.	Résultats manquants.		
Au moins 1 référence dans la littérature (1)						
Calculs (2+2)	Un seul jeu complet des calculs		Quelques calculs	Aucun calcul		
Note pour les critères d'évaluation (6)						
Total (30)						