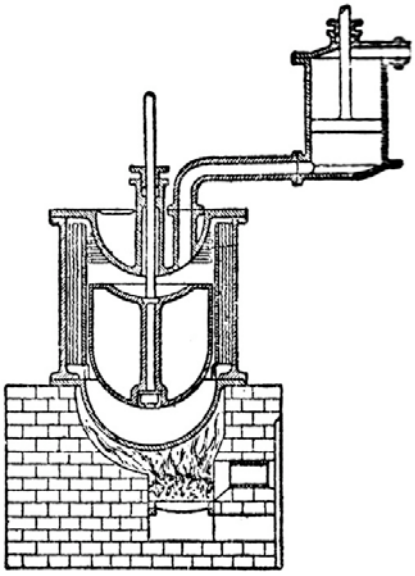
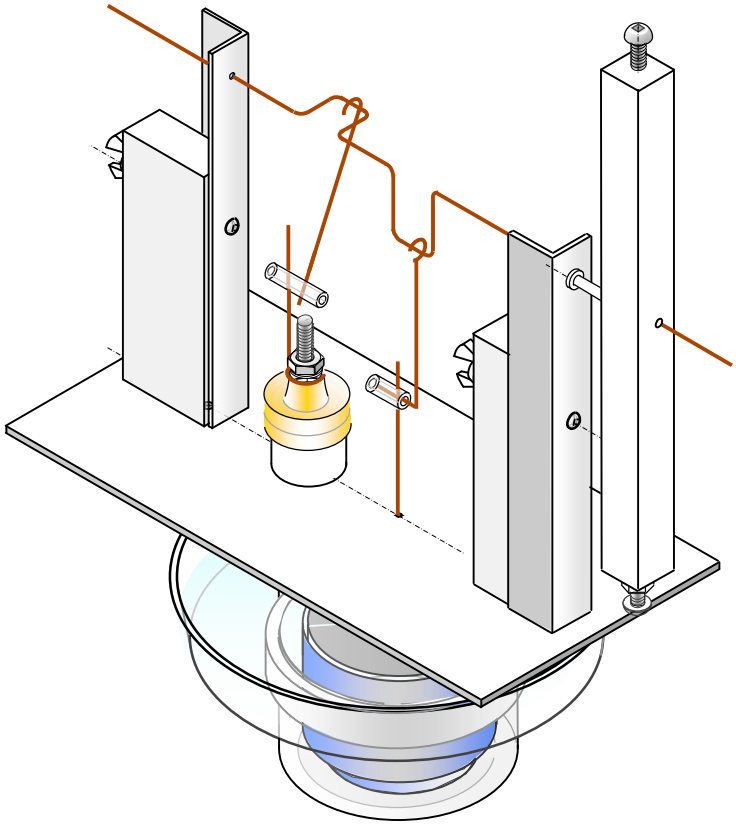
centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

Document de travail

LE MOTEUR STIRLING





GUIDE DU MAÎTRE ET DU TTP

Janvier 2009

Table des matières

Vidéo historique sur le moteur Stirling 3

Théorie cinétique des gaz 3

Nombre de molécules et volume d'un gaz 6

Effet de la température sur le volume d'un gaz (La loi de Charles)..... 10

Effet de la pression sur le volume d'un gaz (La loi de Boyle-Mariotte)..... 15

Fonctionnement d'un manomètre à eau (facultatif) 19

Effet de la température sur la pression d'un gaz (La loi de Gay-Lussac).....22

Questionnaire sur la loi générale des gaz.....27

Mandat de l'élève.....28

Analyse du moteur Stirling de laboratoire 29

Intégration et réinvestissement..... 31

Webographie..... 31

POUR LE PERSONNEL ENSEIGNANT

NOTE **Cette activité a été élaborée dans le cadre de sessions de formation. Elle nécessite des adaptations avant de l'utiliser auprès d'élèves.**

Vidéo historique sur le moteur Stirling

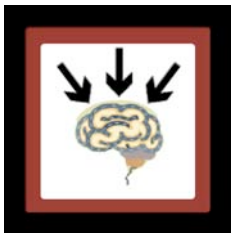
L'essentiel de la science (e=m6)

Ces inventions insolites !
Le moteur Stirling…

Disponible sur le web
http://www.amazon.fr/E-M6-Ces-inventions-insolites/dp/B000AP1L5I/ref=sr_1_19?ie=UTF8&s=dvd&qid=1236624017&sr=8-19



Théorie cinétique des gaz



Question : De quelle façon les gaz se comportent-ils?

Observer les démonstrations et compléter les textes suivant de façon à retenir l'essentiel.

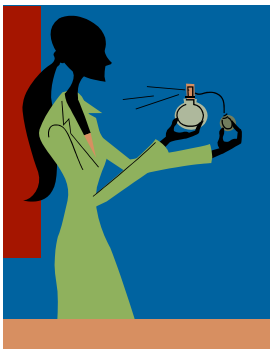
Expansion d'un gaz (mouvement moléculaire des gaz)



Démonstrations sur les mouvements de translation, de rotation et de vibration.

Les molécules d'un gaz sont comme des petites **billes** qui se déplacent dans toutes les directions. Normalement, ces particules se déplacent en ligne **droite** à moins qu'ils ne frappent d'autres particules de gaz, de liquide ou de solide. De cette façon, les gaz **remplissent** toujours leur récipient en prenant tout l'espace disponible. Le ballon de soccer ci-contre en est un bon exemple. Finalement, un gaz n'a ni **forme** ni volume précis contrairement aux solides par exemple.

Diffusion d'un gaz



Démonstration sur la diffusion d'un doux parfum dans la classe.

Les molécules d'un gaz se déplacent dans **toutes** les directions. Un certain gaz peut, de cette façon, se répandre à travers un autre gaz. La **diffusion** d'un gaz dans une pièce prend un certain temps. Combien de secondes prend le **parfum** pour se rendre à tes narines? Que faire si l'**odeur** devient insupportable?

Compression d'un gaz



Démonstration sur la quantité d'un gaz qui peut sortir d'une bombonne aérosol.

Contrairement aux **liquides**, les gaz sont compressibles. Il est possible de faire varier considérablement le **volume** d'un gaz en modifiant la pression que l'on exerce sur lui. Cette augmentation de **pression** rapproche les molécules du gaz les unes des autres. C'est pourquoi on peut envoyer un grand volume d'air à l'intérieur d'une **petite** chambre à air d'un vélo par exemple.

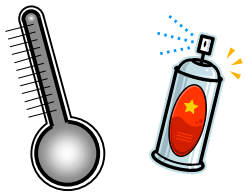
Pression d'un gaz



Démonstration sur l'implosion d'un bidon métallique rempli de vapeur d'eau.

La pression **atmosphérique** que nous subissons présentement est le résultat d'innombrables collisions que font les molécules d'air avec notre corps. Chaque molécule d'air qui nous **frappe** possède une masse et une vitesse et produit une petite poussée sur notre peau. C'est la somme de toutes ces petites **poussées** qui engendre la pression atmosphérique. Dans le cas de l'air comprimé dans les bouteilles d'un plongeur, ces collisions sont **plus** nombreuses puisque les molécules d'air sont entassées dans un plus petit volume. La pression est une mesure de la force par unité de surface (Newton par mètre carré par exemple).

Chauffage d'un gaz



Démonstration sur le chauffage d'un sac à ordure noir rempli d'air puis éclairé avec une lampe.

Le mercure du thermomètre ci-contre nous rappelle que le chauffage d'une substance provoque une **augmentation** de son volume. De plus, chacun sait que ce n'est pas une bonne idée de jeter au feu une bombonne aérosol. L'augmentation de température engendrerait donc aussi une **augmentation** de la pression d'un gaz.

Nombre de molécules et volume d'un gaz



Questions : De quelle façon varie le nombre de molécules gazeuses (le nombre de moles) lorsqu'on fait varier le volume d'un gaz? Quelle sorte de courbe peut-on tracer expérimentalement? Quelle relation mathématique unit ces deux grandeurs physiques?

Prouver expérimentalement et démontrer mathématiquement.

La capsule de sécurité ci-dessous peut être distribuée aux élèves.

centre de développement pédagogique

Capsules de sécurité

(12) Solutions acides











1. Attention! Les acides sont des substances corrosives.
2. Porter des lunettes de sécurité pour se protéger contre les éclaboussures. En cas de contact avec les yeux, rincer immédiatement avec la douche oculaire de la classe.
3. Attacher ses cheveux et prendre garde à ses manches pour éviter tout contact avec l'acide ou provoquer un renversement.
4. Ne jamais sentir directement les émanations. Orienter les vapeurs vers le nez avec les doigts.
5. Porter des vêtements de protection contre les projections accidentelles.
6. Laver la peau avec de l'eau en cas de contact et se laver les mains à la fin des manipulations.
7. Nettoyer la surface de travail après les manipulations pour bien retirer de possibles éclaboussures.
8. Prendre son temps de façon à bien penser à chacun de ses gestes.

S'assurer que les modifications à cette capsule ne compromettent pas la sécurité des élèves. La personne fautive devra assumer ses choix.











Laboratoire dirigé

Tableau de données (exemple)		
	Masse du magnésium (gramme)	**Volume d'hydrogène (millilitre)**
Bout de magnésium de 2 cm	***0,018***	***19***
Bout de magnésium de 3 cm	***0,027***	***30***
Bout de magnésium de 4 cm	***0,036***	***36***
Bout de magnésium de 5 cm	***0,045***	***55***
Bout de magnésium de 6 cm	***0,054***	***58***
Bout de magnésium de 20 cm	***0,180***	

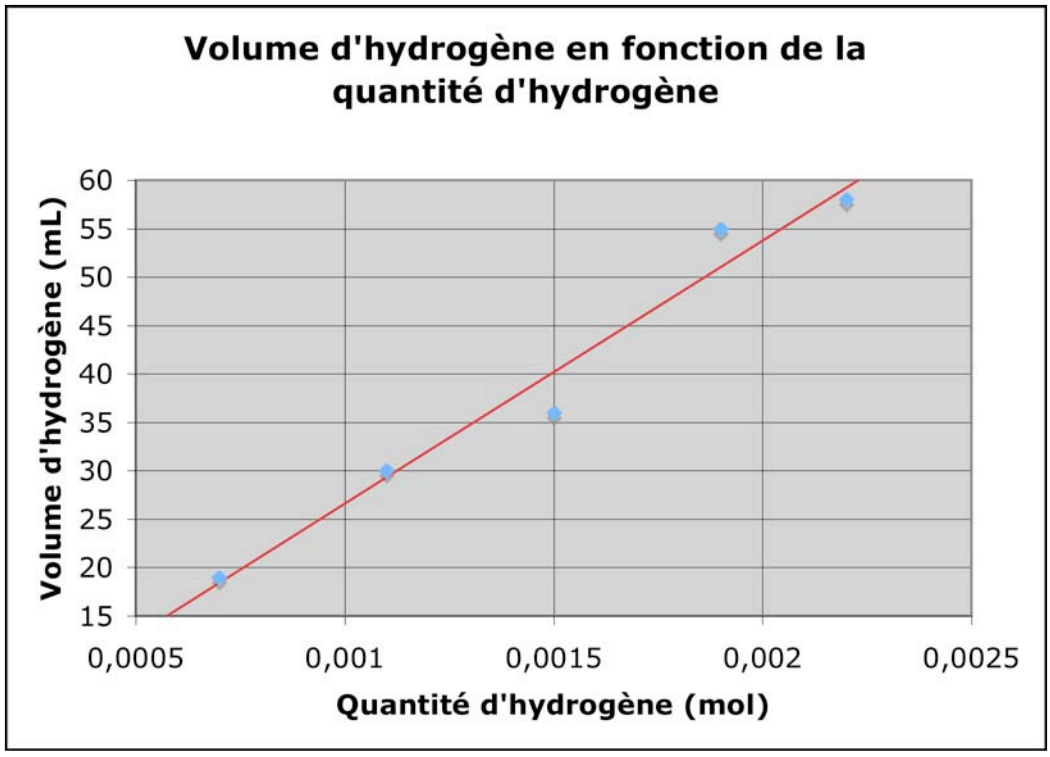
Analyser les résultats (exemple)

Traitez vos données.

Question 1 $Mg_{(s)} + 2\ HCl_{(aq)} \longrightarrow MgCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

Question 2 Voir les quantités d'hydrogène calculées dans le tableau ci-dessous.

	Quantité d'hydrogène (mole)
Bout de magnésium de 2 cm	***0,0007***
Bout de magnésium de 3 cm	***0,0011***
Bout de magnésium de 4 cm	***0,0015***
Bout de magnésium de 5 cm	***0,0019***
Bout de magnésium de 6 cm	***0,0022***



Faites ressortir les tendances.

Question 3

Il s'agit d'une relation mathématique linéaire.

Question 4

Taux de variation ≈ 27182,3 mL/mol (ordonnée à l'origine : -0,63)

Tirez vos conclusions

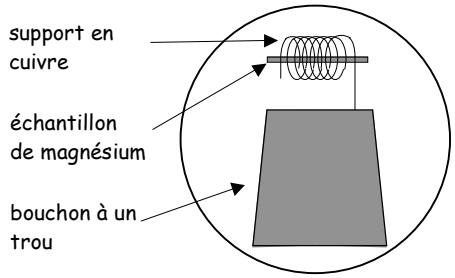
Question 5

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

Question 6

En augmentant le volume de gaz intérieur du moteur Stirling, le nombre d'atomes de gaz disponibles pour faire un travail est plus grand. Notre moteur serait donc plus puissant.

Préparation du matériel (Nombre de molécules et volume d'un gaz)

Matériel	**Schéma du montage**
• Lunettes de protection • 1 bouchon #5 **(non étanche sur le cylindre)** • 15 cm de fil de cuivre #18 • 1 règle • 1 pince coupante • 1 crayon • 1 épingle	

Méthode de préparation du fil de cuivre :

1. Enrouler le fil de cuivre autour d'un crayon de façon à former un support en forme de boudin.
2. Pratiquer un petit trou d'une profondeur d'environ 5 mm à l'aide d'une épingle sur le côté intérieur (petit diamètre) du bouchon de caoutchouc.
3. Enfoncer une extrémité du fil de cuivre dans ce trou et modeler le fil pour former un support à magnésium comme sur le schéma ci-dessus.

Remarques :

- Le bouchon numéro #5 plein utilisé ici doit permettre à la solution acide de s'écouler dans le becher. Habituellement, le bec du cylindre fait en sorte que le bouchon ne ferme pas complètement l'ouverture du cylindre et c'est très bien ainsi. Dans certain cas, l'utilisation d'un bouchon #5 à un trou peut être nécessaire. Attention cependant à ne pas trop agrandir l'ouverture car l'air pourrait alors entrer lors du renversement du cylindre.
- Prévoir des contenants de récupération pour les acides afin de pouvoir en disposer d'une façon adéquate après la manipulation (soit aux postes de travail ou au bureau de l'enseignant(e)).
- Il est important de faire manipuler le renversement du cylindre quelques fois avec de l'eau avant de faire l'opération avec l'acide. Noter qu'il est préférable d'orienter le bec du cylindre vers le bas lors du renversement (cela évite l'entrée d'air).

Effet de la température sur le volume d'un gaz (La loi de Charles[1])



Questions : Quel est l'effet d'une variation de température sur le volume d'un gaz? Quelle sorte de courbe peut-on tracer expérimentalement? Quelle relation mathématique unit ces deux grandeurs physiques?

Prouver expérimentalement et démontrer mathématiquement.

La capsule de sécurité ci-dessous peut être distribuée aux élèves.

centre de développement pédagogique

Capsules de sécurité

(10) Plaque chauffante









1. Attention aux brûlures : la plaque peut rester chaude un bon moment.
2. Attacher ses cheveux et prendre garde à ses manches pour ne pas qu'ils entrent en contact avec la plaque et prennent feu.
3. Porter des lunettes de sécurité pour se protéger contre les projections.
4. Porter des vêtements de protection contre les projections accidentelles. (Ne jamais diriger l'ouverture d'une éprouvette vers soi-même ou vers quelqu'un d'autre.)
5. Utiliser les pinces appropriées pour manipuler la verrerie de laboratoire (pinces à bécher, à éprouvette, etc.)
6. Prendre son temps de façon à bien penser à chacun de ses gestes.
7. Savoir où se trouve l'équipement de sécurité et apprendre à l'utiliser (couverture ignifuge, extincteur, douche oculaire, alarme d'incendie, etc.)
8. Ne jamais utiliser de substances inflammables près d'une flamme ou d'une plaque chauffante chaude.







S'assurer que les modifications à cette capsule ne compromettent pas la sécurité des élèves. La personne fautive devra assumer ses choix.

[1] Dans certains ouvrages, les lois de Charles et de Gay-Lussac ne sont pas associées aux mêmes relations reliant le volume, la pression et la température. La contribution historique de chacun de ces scientifiques ne semble pas reconnue de la même façon par tous les auteurs.

Laboratoire dirigé

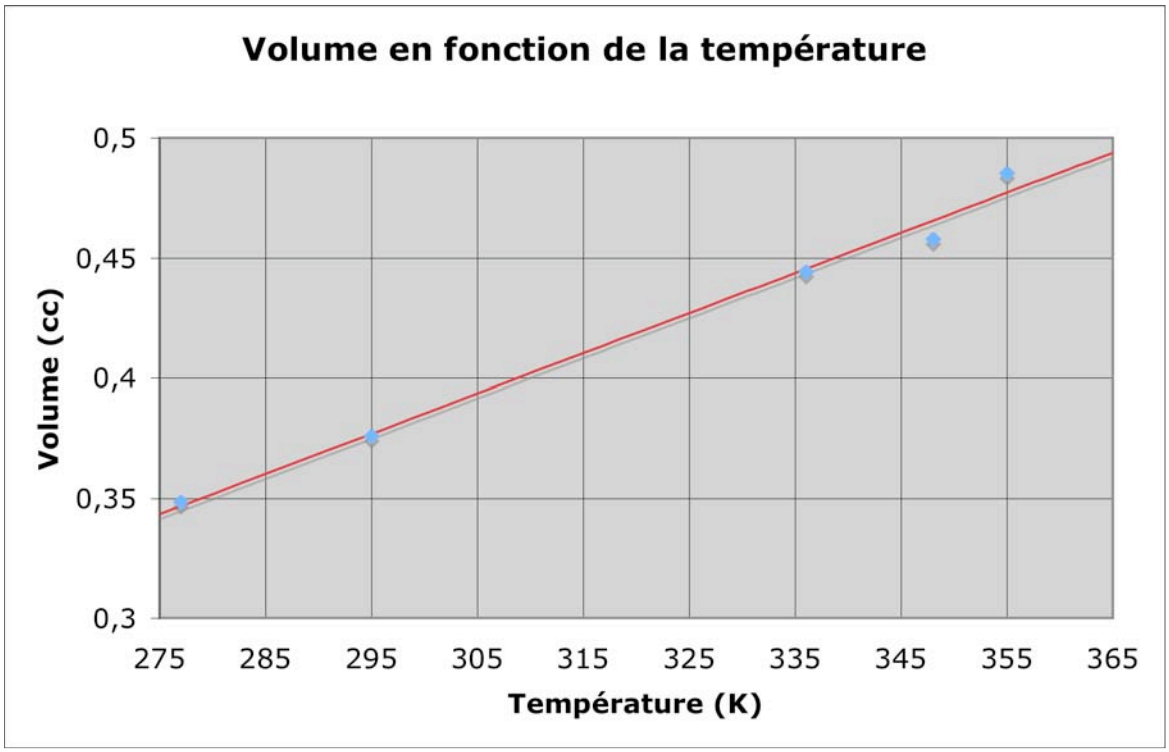
Tableau de données (exemple)		
	Température de l'air emprisonné (°C)	**Hauteur du volume d'air emprisonné (cm)**
Dans la glace fondante	***4***	***5,1***
À la température de la pièce	***22***	***5,5***
À environ 50 °C	***63***	***6,5***
À environ 75 °C	***75***	***6,7***
Dans l'eau bouillante	***82***	***7,1***

Analyser les résultats (exemple)

Traitez vos données.

Question 1 Voir les températures et les volumes calculés dans le tableau ci-dessous.

	Température de l'air emprisonné (K)	Volume de l'air emprisonné (cm^3)
Dans la glace fondante	***277***	***0,349***
À la température de la pièce	***295***	***0,376***
À environ 50 °C	***336***	***0,444***
À environ 75 °C	***348***	***0,458***
Dans l'eau bouillante	***355***	***0,485***



Analyser les résultats (exemple)

Faites ressortir les tendances.

Question 2
Il s'agit d'une relation mathématique linéaire.

Question 3
Le taux de variation est : 0,0017 cm^3/K (ordonnée à l'origine : -,0,1162)

Tirez vos conclusions

Question 4

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Question 5
Dans notre cas, -204 °C (69 K) (devrait être près de -273 °C ou 0 K)

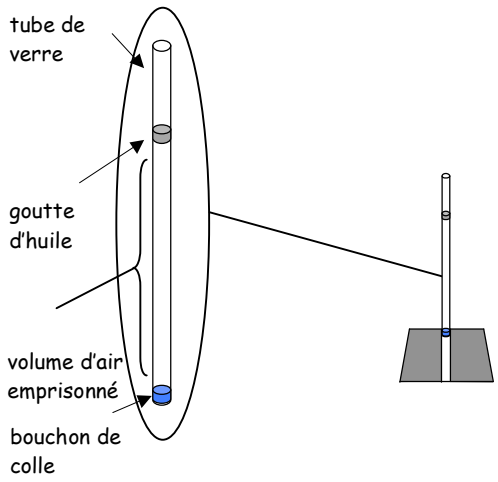
Question 6
Au zéro degré kelvin (zéro degré absolue).

Question 7
T = 273 + (-10) = 263 K

Question 8
Il n'y a jamais de valeurs négatives.

Question 9
$T_2 = V_2 * T_1 / V_1$
$T_2 = 1\ L * 300\ K / 10\ L$
$T_2 = 30\ K$

Préparation du matériel (Effet de la température sur le volume d'un gaz)

Matériel	**Schéma du montage**
• Lunette de protection • 1 tube de verre flint de 5mm de diamètre et de 10 cm de long • 1 coupe-verre • 1 règle • Colle «epoxy» pour le verre • Huile minérale (pas de glycérine) • 1 compte-gouttes • Bouchon de caoutchouc #8 avec un trou	

Méthode de préparation du tube de verre :

1. Ajouter une goutte d'huile minérale dans le tube de verre.
2. Faire glisser la goutte d'huile en penchant le tube. La goutte devrait parcourir un quart de la longueur totale du tube (voir le schéma du montage).
3. Boucher l'extrémité non souillée par l'huile à l'aide de colle.
4. Introduire le tube de verre dans le trou du bouchon de caoutchouc. S'assurer d'aligner le bouchon de colle avec le bord du bouchon.

Si l'enseignant prévoit utiliser de l'eau bouillante, il faudra prévoir des tubes de verre plus long afin d'éviter que l'huile ne déborde.

Effet de la pression sur le volume d'un gaz (La loi de Boyle-Mariotte)



Questions : Quel est l'effet d'une variation de pression sur le volume d'un gaz? Quelle sorte de courbe peut-on tracer expérimentalement? Quelle relation mathématique unit ces deux grandeurs physiques?

Prouver expérimentalement et démontrer mathématiquement.

Laboratoire dirigé

Tableau de données (exemple)		
	Masse (g)	**Volume d'air (mL)**
1	**100**	***0,44***
2	**200**	***0,34***
3	**300**	***0,28***
4	**400**	***0,22***
5	**500**	***0,19***

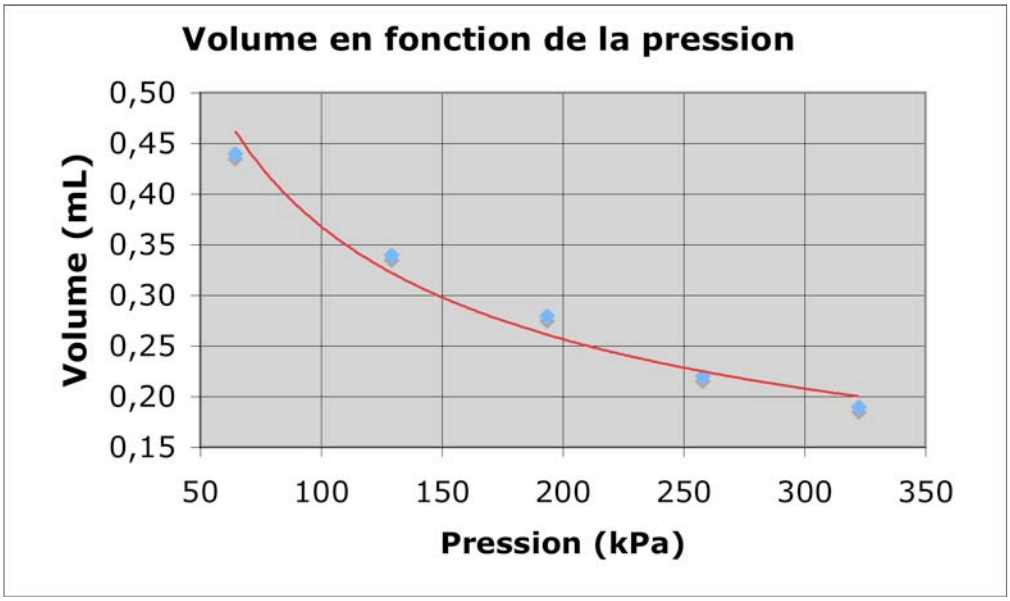
Analyser les résultats

Traitez vos données.

Question 1 Voir les forces calculées dans le tableau ci-dessous.

Question 2 Voir les pressions calculées dans le tableau ci-dessous.

Masse (g)	Force (N)	Pression (kPa)
100	***0,98***	***64***
200	***1,96***	***129***
300	***2,94***	***193***
400	***3,92***	***258***
500	***4,90***	***322***



Faites ressortir les tendances.

Question 3

Il s'agit d'une relation mathématique inverse.

Question 4

Si l'on prolonge la courbe vers un volume très petit, la pression devrait devenir très grande.

Tirez vos conclusions

Question 5

$$p_1 . V_1 = p_2 . V_2$$

Question 6

Lorsque le volume quadruple, la pression devient quatre fois moins grande

Question 7

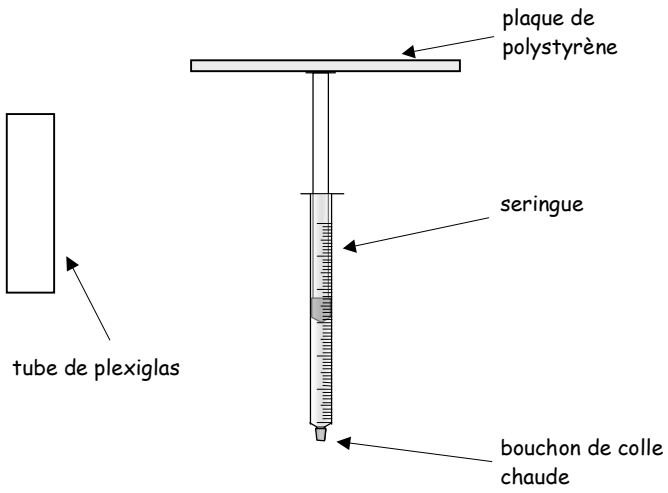
$$\frac{101{,}325 \text{ kPa}}{? \text{ kPa}} = \frac{760 \text{ mm de Hg}}{800 \text{ mm de Hg}}$$

Une pression de 800 mm de Hg correspond donc à 106,658 kPa.

Question 8

(Données)	(Équation)	(Calcul)
V_2 = ? mL p_1 = 101,3 kPa V_1 = 40 mL p_2 = 198,5 kPa	$p_1 . V_1 = p_2 . V_2$ $V_2 = p1 . V_1 / p_2$	V_2 = 101,3 kPa . 40 mL / 198,5 kPa
		(Réponse)
		V_2 = 20,4 mL

Préparation du matériel (Effet de la pression sur le volume d'un gaz)

Matériel	**Schéma du montage**
• Lunette de protection • Tube de plexiglas d'un diamètre de 1,6cm • Pièce de polystyrène d'une épaisseur de 3mm • 1 couteau à plastique • 1 scie à raser et boîte à onglets ou scie à ruban • 1 règle • 1 pistolet à colle chaude • 1 seringue graduée de 1 mL • 1 bouchon à seringue ou un peu de colle chaude	

Méthode de préparation de la seringue :

1. Couper une plaque de polystyrène de 6x6cm.
2. Fixer la plaque de polystyrène au poussoir de la seringue à l'aide de colle chaude.
3. Retirer complètement le poussoir de la seringue et obstruer son embout avec un bouchon ou à l'aide de colle chaude (attendre la solidification de la colle).
4. Remettre en place le poussoir et appuyer à fond.
5. Couper un tube de plexiglas de 7 cm de long (la coupe peut se faire avec la scie à raser et boîte à onglets ou la scie à ruban).

Fonctionnement d'un manomètre à eau (facultatif)



Question : Quelle variation de pression (en kPa) un manomètre à eau formé d'un tube en U de 60 centimètres peut-il mesurer?

Percevoir à l'aide d'une démonstration et démontrer mathématiquement.

Laboratoire dirigé

Notes
• Cette étude d'un manomètre à eau est facultative. Pour la mener à bien, l'élève doit manipuler beaucoup d'équations mathématiques. **Vous pouvez quand même utiliser un tel manomètre à eau, en laboratoire, sans l'étudier à fond. Dans ce cas, une équation vous donne directement la pression en kPa. Vous trouvez cette équation à la question 5 de la section « Tirez vos conclusions» ci-dessous.** • Ce type de manomètre n'est pas parfait. Sa précision est limitée par le fait que le déplacement de l'eau provoque une légère augmentation du volume du gaz. Cette augmentation de volume engendre une sous-estimation des pressions mesurées. Ce manomètre est cependant parfaitement adéquat pour découvrir expérimentalement la loi La loi de Gay-Lussac (voir le dernier laboratoire). • La pression mesurée par un tel manomètre est relativement faible. En effet, en soufflant simplement avec la bouche, il est facile d'éjecter l'eau colorée du tube en U. L'utilisation d'une simple paille en est une preuve.

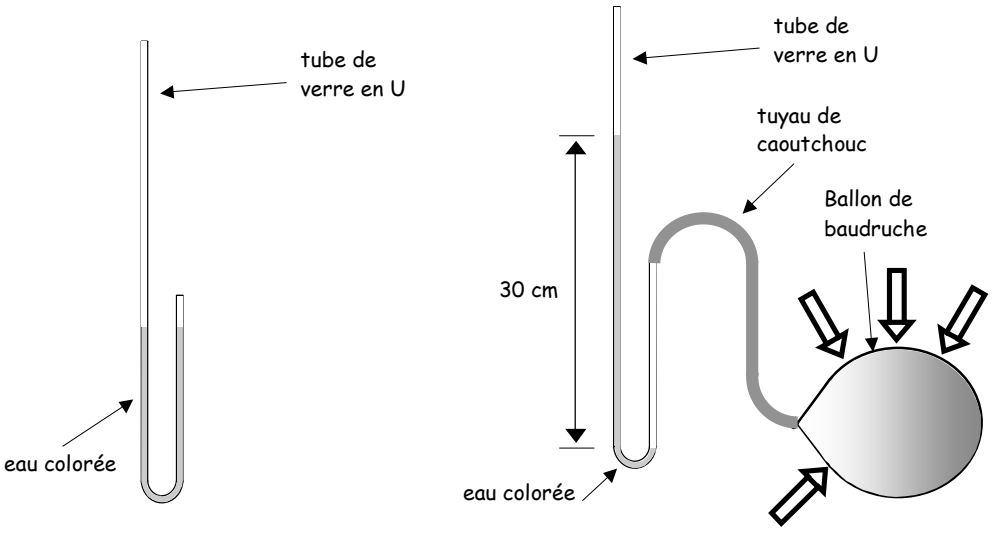
Analyser les résultats	
Question 1	$\mathbf{F_g = m \cdot g}$ **(équation 1)**
Question 2	$\rho = m/V \Rightarrow \mathbf{m = \rho \cdot V}$ **(équation 2)**
Question 3	$\mathbf{F_g = \rho \cdot V \cdot g}$ **(équation 3)**
Question 4	$\mathbf{V = h \cdot S}$ **(équation 4)**
Question 5	$\mathbf{F_g = \rho \cdot h \cdot S \cdot g}$ **(équation 5)**
Question 6	$p = F_p/S \Rightarrow \mathbf{F_p = p \cdot S}$ **(équation 6)**
Question 7	$F_g = F_p$
	$\mathbf{\rho \cdot h \cdot S \cdot g = p \cdot S}$ **(équation 7)**

Question 8

On remarque ici que la section (surface) du tube «**S**» est présente de chaque côté de l'égalité. Il est donc possible de simplifier l'équation 7 en retranchant de chaque côté la variable «**S**». Concrètement, ceci veut dire que la section du tube n'a pas d'influence sur la hauteur atteinte par l'eau colorée. La grosseur du tube utilisé n'a pas d'importance. L'équation devient donc : **$p = \rho \cdot h \cdot g$** **(équation 8)**

Question 9

Le premier dessin montre le manomètre au repos. Sur le deuxième dessin, une pression est appliquée. Dans ce cas, la hauteur de la colonne d'eau est de 30cm.



Voici donc le calcul de la pression maximale mesurable par ce manomètre :

(Données)	**(Équation)**	**(Calcul)**
p = ? kPa ρ = 1 g/cm^3 h = 30 cm g = 9,8 N/kg	$p = \rho \cdot h \cdot g$	$p = 1\frac{g}{cm^3} \cdot 30cm \cdot 9{,}8\frac{N}{kg} \cdot \frac{1kg}{1000g} \cdot \frac{10000cm^2}{1m^2}$ $p = 2940\frac{N}{m^2}$ $\quad p = 2940Pa \cdot \frac{1kPa}{1000Pa}$
		(Réponse)
		(Pression maximale) $\quad p \approx 2{,}9kPa$

Tirez vos conclusions

Question 1

Pour mesurer une plus grande variation de pression avec ce manomètre à eau, il suffirait d'augmenter la hauteur du tube. De cette façon, la force de gravité subie par la colonne d'eau serait plus grande.

Question 2

Oui il est possible de mesurer une variation de pression négative (succion) avec ce manomètre à eau. Il faudrait cependant allonger le tube du côté où la succion est appliquée.

Question 3

Le mercure a une masse volumique plus grande que l'eau.

$\rho_{mercure}$ = 13,6 g/cm^3 ρ_{eau} = 1 g/cm^3

La force de gravité subie par la colonne de mercure est donc plus grande. Un manomètre au mercure peut donc mesurer une plus grande pression sans avoir à allonger le tube de verre

Question 4

Pression réelle = pression du manomètre + pression atmosphérique
Pression réelle = 3 kPa + 100 kPa = 103 kPa

Question 5

$$p = \rho \cdot h \cdot g$$

$$p = 1\frac{g}{cm^3} \cdot h(cm) \cdot 9{,}8\frac{N}{kg} \cdot \frac{1kg}{1000g} \cdot \frac{10000cm^2}{1m^2}$$

$$p(Pa) = 98 \cdot h(cm)$$

$$p(kPa) = 0{,}098 \cdot h(cm)$$

Si nous mesurons la hauteur de la colonne d'eau d'un seul côté, l'équation devient : p(kPa) = 0,196 • h(cm)

Effet de la température sur la pression d'un gaz (La loi de Gay-Lussac[2])



Questions : Quel est l'effet d'une variation de température (en K) sur la pression d'un gaz (en kPa)? Quelle sorte de courbe peut-on tracer expérimentalement? Quelle relation mathématique unit ces deux grandeurs physiques?

Prouver expérimentalement et démontrer mathématiquement.

Laboratoire dirigé

Tableau de données (exemple)		
No.	**Température de l'air de l'erlenmeyer (°C)**	**Hauteur de la colonne d'eau colorée (cm)**
1	***26***	***3,17***
2	***27***	***5,10***
3	***28***	***6,62***
4	***29***	***8,07***
5	***30***	***9,25***
6	***31***	***11,07***
Pression atmosphérique (kPa)		**101,325**

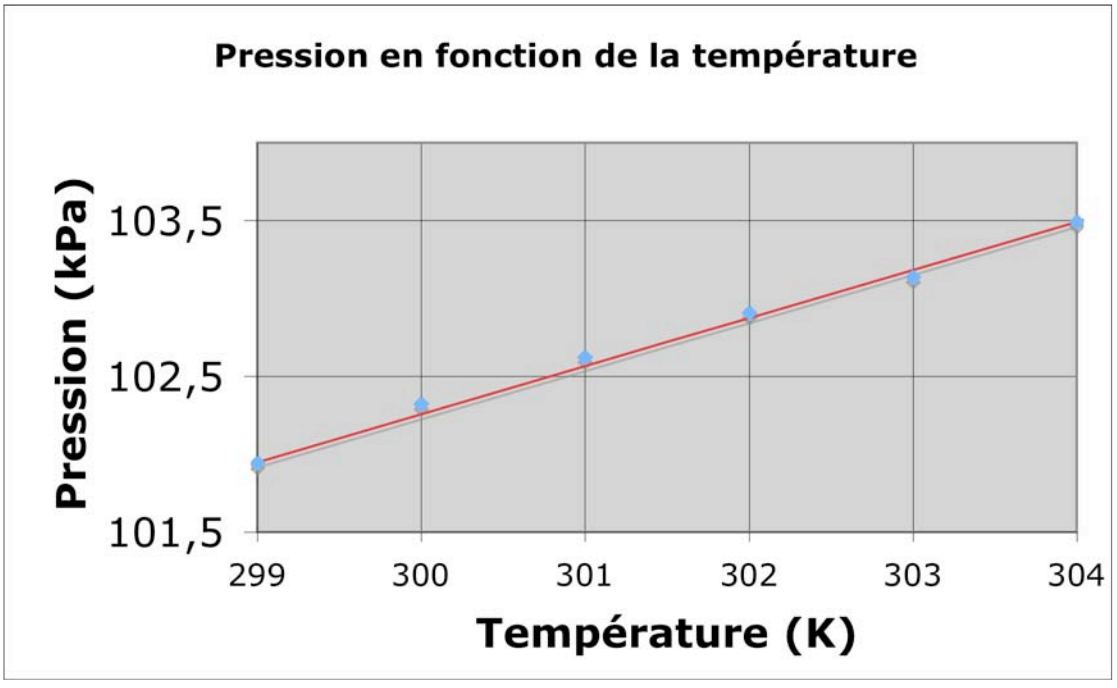
[2]Dans certains ouvrages, les lois de Charles et de Gay-Lussac ne sont pas associées aux mêmes relations reliant le volume, la pression et la température. La contribution historique de chacun de ces scientifiques ne semble pas reconnue de la même façon par tous les auteurs.

Analyser les résultats (exemple)

Traitez vos données.

Question 1 Voir les températures et pressions calculées dans le tableau ci-dessous.

No.	Température de l'air (K)	Pression relative de l'air (kPa)	Pression absolue de l'air (kPa)
1	*299*	*0,621*	*101,946*
2	*300*	*1,000*	*102,325*
3	*301*	*1,298*	*102,623*
4	*302*	*1,582*	*102,907*
5	*303*	*1,813*	*103,138*
6	*304*	*2,170*	*103,495*



Faites ressortir les tendances.

Question 2
Il s'agit d'une relation mathématique linéaire.

Question 3
Le taux de variation est : 0,3086 kPa/K (ordonnée à l'origine : 9,69)

Tirez vos conclusions

Question 4 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Question 5
Si p = 0 kPa, T = -31,4 K (C'est une valeur impossible qui se rapproche quand même de≈ 0 K)

Question 6 Au zéro degré kelvin (zéro degré absolue).

Question 7

(Données)	**(Équation)**	**(Calcul)**
T_2 = ? K p_2 = 1034 kPa T_1 = 253 K p_1 = 931 kPa	$T_2 = p_2 \cdot T_1 / p_1$	T_2 = 1034 kPa · *253 K* / 931 kPa **(Réponse)** T_2 = 281 K = 8 °C

Question 8

(Données)	**(Équation)**	**(Calcul)**
p_2 = ? mm Hg p_1 = 735 mm Hg T_2 = 304 K T_1 = 295 K	$p_2 = p_1 \cdot T_2 / T_1$	P_2 = 735 mm Hg · 304 K / 295 K **(Réponse)** P_2 = 757 mm Hg

Non, cette pression est encore plus petite que la pression atmosphérique. Les deux sphères resteront donc encore ensemble.

Question 9

(Données)	**(Équation)**	**(Calcul)**
p_2 = ? mm Hg p_1 = 760 mm Hg T_2 = 313 K T_1 = 310 K	$p_2 = p_1 \cdot T_2 / T_1$	P_2 = 760 mm Hg · 313 K / 310 K **(Réponse)** P_2 = 767 mm Hg

Préparation du matériel (Effet de la température sur la pression d'un gaz)

Matériel disponible

- Lunette de protection
- 1 coupe-verre
- 1 brûleur bunsen
- 1 règle
- 1 tube de verre en U de 60 cm
- 1 bouchon de caoutchouc no. 5 à deux trous
- 1 thermomètre
- 1 tube de verre de 5 cm de long et de 5 mm de diamètre
- Un peu de glycérine
- 2 aiguilles à grosse tête (longueur minimum : 3,5 cm)
- 2 petits bouts de fil rigide
- 1 ampoule de 12 volts (3 watts)
- 1 erlenmeyer de 125 mL
- 1 verre de polystyrène
- 1 rondelle de «foamcore» de 5 mm d'épaisseur de d'un diamètre de 8 cm
- Du ruban cache

N.B. Il est possible d'utiliser une pile 9V mais c'est plus dispendieux, peu écologique et moins stable (tension décroissante).

Méthode de préparation du tube de verre :

1. Mesurer une longueur de 60 cm de tube de verre.
2. Couper le tube et l'aide de la flamme du brûleur, faire chauffer le verre afin de former un U.

Méthode de préparation du bouchon de caoutchouc :

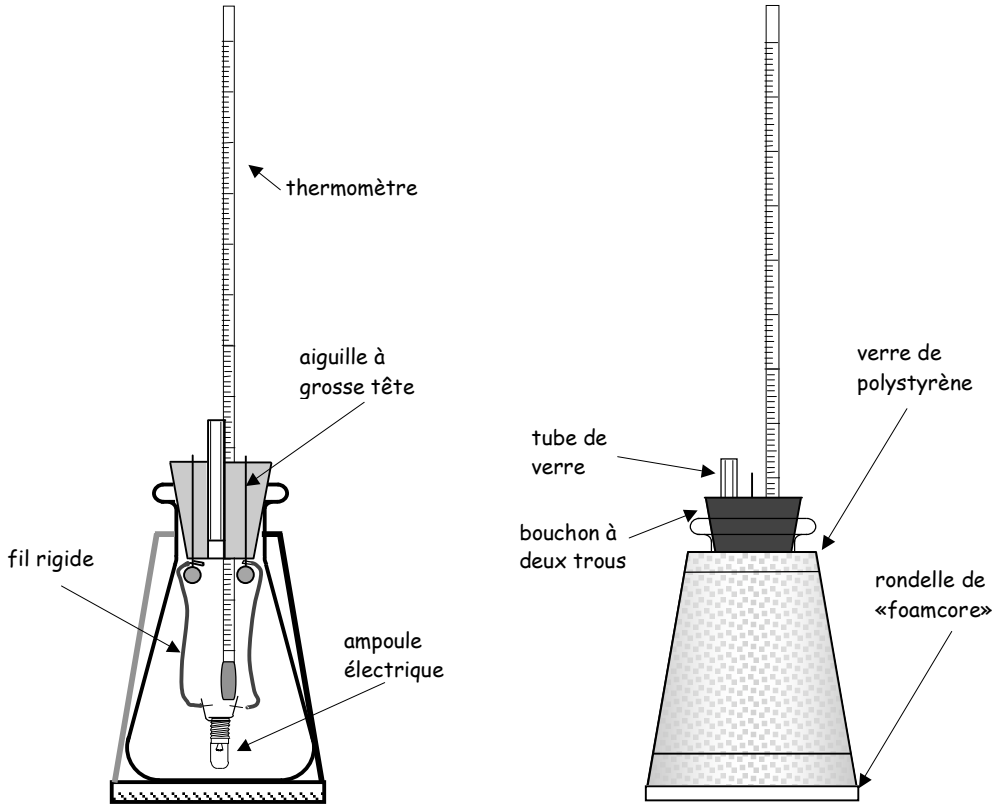
1. Piquer deux aiguilles à travers le bouchon de l'intérieur vers l'extérieur de l'erlenmeyer (voir le schéma du montage). De cette façon, les têtes d'aiguilles empêcheront les fils électriques de glisser. Il est aussi possible de souder les fils sur les aiguilles.

2. Introduire le thermomètre dans l'un des trous du bouchon de caoutchouc de façon à ce qu'il dépasse de 7 cm à l'intérieur de l'erlenmeyer (mettre un peu de glycérine au bout du thermomètre afin de l'aider à glisser dans le trou).
3. Introduire le petit tube de verre dans l'autre trou du bouchon (utiliser la glycérine pour faciliter l'introduction et éviter les blessures).
4. Brancher l'ampoule électrique aux deux extrémités intérieures des aiguilles à l'aide des fils rigides.

Note: Il est important de ne pas piquer le bouchon de caoutchouc plus d'une fois. Cela entraîne des fuites et rend le système non étanche.

<u>Méthode de préparation du verre de styromousse</u> :

1. Découper une ouverture dans le fond du verre de styromousse afin d'y passer le goulot de l'erlenmeyer.
2. Couper une rondelle de « foamcore » ayant le diamètre de l'ouverture du verre.
3. Placer le verre sur l'erlenmeyer et fixer le «foamcore» à l'aide du papier cache afin de bien isoler l'erlenmeyer.



Questionnaire sur la loi générale des gaz

Question 1

Complète le tableau synthèse ci-dessous :

Grandeurs physiques	Équation
Effet de la variation de température sur le volume d'un gaz	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
Effet de la variation de pression sur le volume d'un gaz	$p_1 . V_1 = p_2 . V_2$
Effet de la variation de température sur la pression d'un gaz	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

Question 2

(Données)	**(Équation)**	**(Calcul)**
p_2 = ? kPa p_1 = 101 kPa T_2 = 275 K T_1 = 293 K V_2 = 7 L V_1 = 4 L	$p_2 = \frac{p_1 . V_1 . T_2}{T_1 . V_2}$	$p_2 = \frac{101\ kPa . 4\ L . 275\ K}{293\ K . 7\ L}$ **(Réponse)** P_2 = 54 kPa

POUR LE PERSONNEL ENSEIGNANT

Mandat de l'élève

Les élèves devraient:

S'approprier les concepts touchés par le fonctionnement du moteur Stirling (C_d3)

Les élèves doivent former des équipes de 2 personnes et se réunir pour compléter les activités d'apprentissage.

Mise en marche d'un petit moteur Stirling de laboratoire (C_d2)

Ajuster le moteur Stirling de façon à le faire fonctionner convenablement.

Analyser le fonctionnement du moteur Stirling (C_d2)

Expliquer le fonctionnement global du moteur à l'aide des concepts scientifiques touchés.

Réflexion sur le moteur Stirling (C_d3) (DGF)

Produire un texte réflexif portant sur :

- ses avantages et ses inconvénients, une comparaison avec les moteurs à explosion,
- une réflexion sur son avenir à la lumière de considérations environnementales ou sur les améliorations à y apporter.



Analyse du moteur Stirling de laboratoire

La capsule de sécurité ci-dessous peut être distribuée aux élèves.

centre de développement pédagogique

Capsules de sécurité

(11b) Lampion






1. Attention aux brûlures! La flamme peut être invisible à la lumière du jour.
2. Attacher ses cheveux et prendre garde à ses manches pour ne pas qu'ils entrent en contact avec la flamme et prennent feu.
3. Porter des lunettes de sécurité pour se protéger contre les projections.
4. Porter des vêtements de protection contre les projections accidentelles. (Ne jamais diriger l'ouverture d'une éprouvette vers soi-même ou vers quelqu'un d'autre.)
5. Utiliser les pinces appropriées pour manipuler la verrerie de laboratoire (pinces à bécher, à éprouvette, etc.)
6. Prendre son temps de façon à bien penser à chacun de ses gestes.
7. Savoir où se trouve l'équipement de sécurité et apprendre à l'utiliser (couverture ignifuge, extincteur, douche oculaire, alarme d'incendie, etc.)






S'assurer que les modifications à cette capsule ne compromettent pas la sécurité des élèves. La personne fautive devra assumer ses choix.

Le rôle de chaque composant

No.	Composant	Rôle du composant
1	**Becher de 400 mL**	**Enfermer un volume donné de gaz. La transparence du becher permet de voir bouger le déplaceur.**
2	**Déplaceur de gaz**	**Déplacer le gaz de la source chaude à la source froide et vice-versa.**
3	**Bac de refroidissement**	**Refroidir le haut du becher et dans une moindre mesure, protéger le mécanisme de la surchauffe.**
4	**Joint de colle chaude**	**Joindre le becher et la plaque support et étanchéifier le système de façon à éliminer toutes fuites de gaz.**
5	**Plaque support**	**Supporter le mécanisme en entier. Et avec le becher, enfermer le volume donné de gaz.**
6	Volant d'inertie	**Augmenter l'inertie du moteur. Il permet de garder le moteur en rotation même lorsqu'il n'y a pas de force appliquée.**
7	Vis et écrou d'ajustement	**Contrebalancer la masse du déplaceur de façon à ce que la vitesse de rotation soit uniforme lors d'une rotation complète.**
8	Vilebrequin	**Synchroniser le déplaceur avec membrane motrice de façon à obtenir une grande efficacité.**
9	Bielle du déplaceur	**Lier le vilebrequin, qui est en rotation, à la tringle du déplaceur qui se déplace en translation uniquement.**
10	Tubes de liaison	**Permettre l'ajustement de la position verticale du déplaceur et de la membrane. Permettre aussi une rotation limitée de la bielle du déplaceur.**
11	Tringle du déplaceur	**Relier le déplaceur à la bielle du déplaceur.**
12	Bielle de la membrane	**Lier le vilebrequin, qui est en rotation, à la tringle de la membrane qui se déplace principalement en translation.**
13	Tringle de la membrane	**Relier la membrane à la bielle de la membrane.**
14	**Membrane**	**Permettre à la pression du gaz de générer un travail (force et déplacement).**
15	**Chambre d'expansion**	**Permettre d'arrimer la membrane au reste du système d'une façon parfaitement étanche.**
16	**Source de chaleur (lampion)**	**Fournir l'énergie thermique (chaleur) nécessaire au bon fonctionnement du moteur.**

Explication Votre bande dessinée

Pour une description complète de cette section, consultez la présentation PowerPoint intitulée : Stirling_explications_chimie.ppt



Intégration et réinvestissement

La webographie ci-dessous peut servir à alimenter la réflexion des élèves.

Réflexion sur le moteur Stirling

Webographie

1. Moteur diesel et à essence (Principes, rendement, …) http://www.ifp.fr/espace-decouverte-mieux-comprendre-les-enjeux-energetiques/les-cles-pour-comprendre/automobile-et-carburants/les-moteurs-conventionnels
2. Moteur Stirling (Principes, rendement, …) http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling
3. Avantages et inconvénients du moteur Stirling http://www.moteurstirling.com/avanconvenient.php
4. Applications futures du moteur Stirling http://www.moteurstirling.com/applications2.php
5. Les applications actuelles ou passées du moteur Stirling http://www.moteurstirling.com/applications1.php

Pour le personnel enseignant, un peu de thermodynamique

1. Vous trouverez à l'adresse suivante une animation très intéressante décrivant, d'une façon théorique, le cycle Stirling. http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Thermo/Machines/Stirling2.html

2. Bien que le document ci-joint est de niveau universitaire, j'attire votre attention sur la figure 7 de page 15. On peut y voir le cycle théorique et le cycle réel qui lui est passablement plus arrondi. http://auditoires-physique.epfl.ch/uploads//393/393.pdf