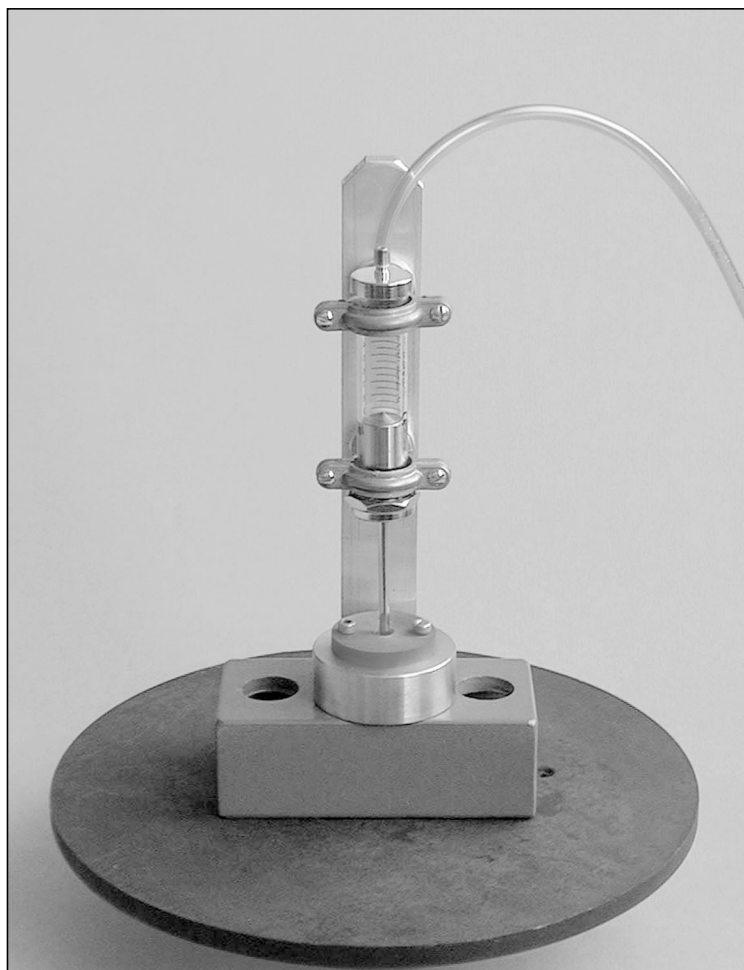


Pression atmosphérique et basses pressions Contre le mythe de la pompe «aspirante»

Une mise au point expérimentale

MF 1205 12542



Mode d'emploi



Centre technique et pédagogique
de l'Enseignement de la Communauté française

Bachelierus:

*Mihi a docto doctore
Domandatur causam et rationem quare
Opium facit dormire?*

*A quoi repondeo
Quia est in eo
Virtus dormitiva...*

Jean-Baptiste Poquelin
«Molière»
Le malade imaginaire
Troisième intermède
1673

Pression atmosphérique et basses pressions
Contre le mythe de la pompe «aspirante»
Une mise au point expérimentale

Montage de démonstration
MF 1205 12542

Avant-propos

Suivant une vieille tradition orale, voire écrite, les pompes usuelles, utilisées pour l'élévation des eaux, sont dites «aspirantes»¹.

L'ascension de l'eau dans les tuyaux verticaux a ainsi été longtemps attribuée à une propriété assez mystérieuse de la pompe, à savoir l'«aspiration», ou à une «horreur du vide», entière ou «dont la force est limitée»².

Il n'est pas simple de s'inscrire en faux contre cette façon de s'exprimer et les croyances un peu floues qu'elle sous-tend.

Celles-ci sont fermement appuyées par le langage courant [«aspirateurs», pompes «aspirantes», hauteur d'«aspiration», «aspiration» des limonades dans les chalumeaux (pailles)...] et paraissent si claires et si évidentes qu'elles ont cessé d'être mystérieuses.

Nous ne sommes pas sûrs que tous nos élèves soient immunisés contre ces travers et que leurs idées sur le sujet soient parfaitement claires.

Le petit montage que nous présentons ici, cité par le Centre technique et pédagogique sous la référence MF 1205 12542 de son catalogue (ou de son supplément) permet de démontrer que, même si l'on appelle «aspiration» la propriété que possède une pompe d'abaisser la pression de l'air dans son propre corps, il faut encore, si l'on veut construire une explication de son comportement, tenir compte de la pression atmosphérique qui règne autour de l'appareil.

Ce dernier permet en effet de montrer que son comportement change si, dans un volume borné et étanche à l'air où on l'a enfermé, on supprime artificiellement la pression «atmosphérique». La pompe qui fait partie du montage et qui «aspire» n'a cependant pas cessé d'«aspirer».

À partir de là, explication peut être donnée du fonctionnement (limité) des pompes «aspirantes», des chalumeaux «aspirants», etc.

Nous ne nous faisons aucune illusion! Il y aura encore des pompes «aspirantes»!

Tout au plus avons-nous eu le plaisir d'attirer l'attention sur la question et de concevoir, de réaliser et de présenter un petit appareil nouveau.

A. Frère
Octobre 2002

¹ Aspirer: «attirer les fluides en faisant le vide», *Dictionnaire de la langue française*, par Paul Robert.

² Blaise Pascal: *Abrégé des expériences nouvelles touchant le vide*, Paris, le 8 octobre 1647.

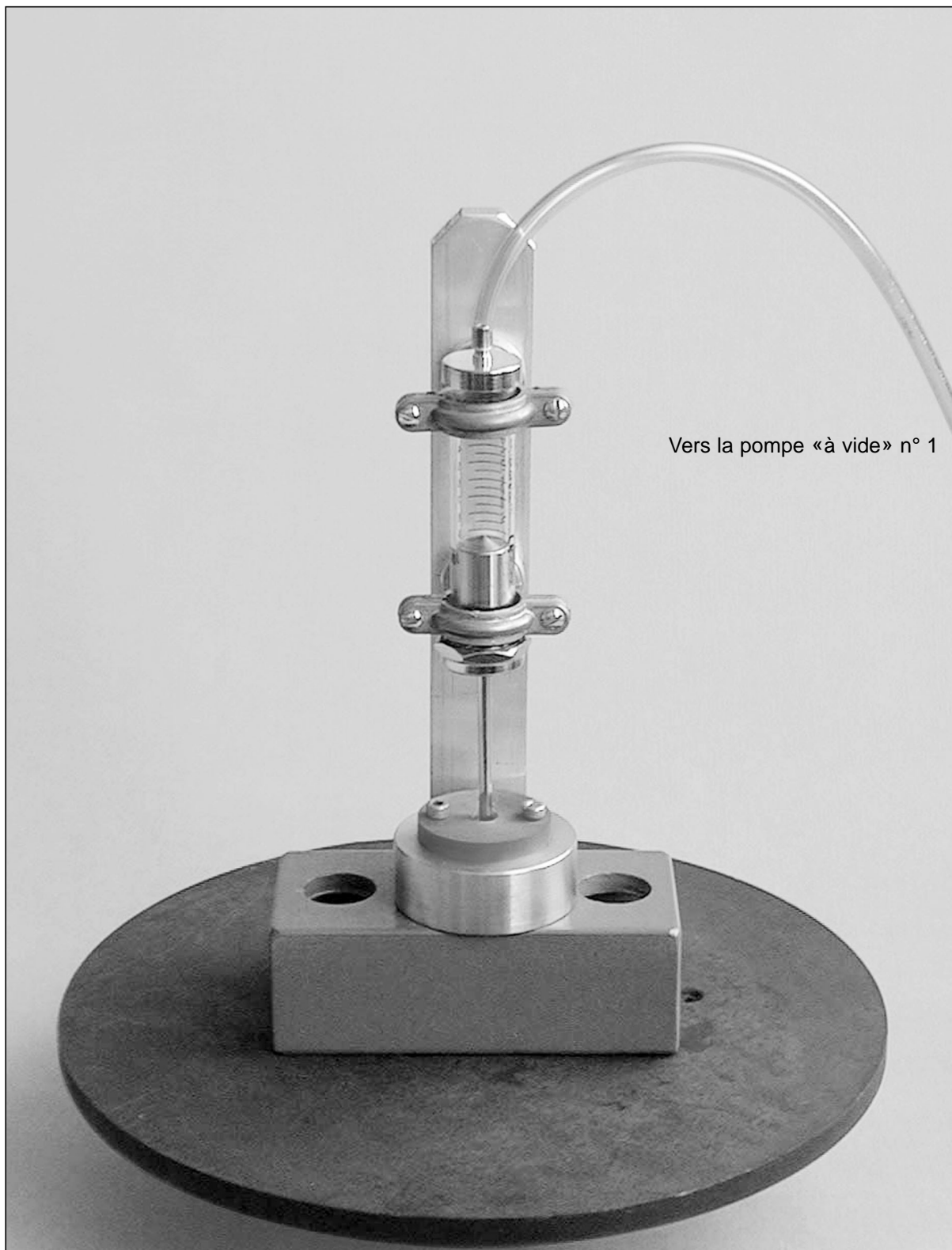
Sommaire

Pression atmosphérique et basses pressions. Contre le mythe de la pompe « aspirante »

Une mise au point expérimentale

Montage de démonstration

1. Description du montage	5
2. Principe de la démonstration	6
2.1. Expérience fondamentale et hypothèses explicatives	6
2.1.1. Explication du XVII ^e siècle (l'horreur du vide)	6
2.1.2. «Aspiration» de la pompe.....	6
2.1.3. «Aspiration» de la pompe et pression atmosphérique	7
2.2. Examen des hypothèses précédentes	7
2.2.1. L'horreur du vide	7
2.2.2. L'«aspiration»	7
2.2.3. L'«aspiration» et la suppression de la pression atmosphérique	7
3. Matériel nécessaire (si l'on dispose d'une cloche à vide avec ajustage supérieur , sinon voir § 7, page 11)	8
4. Mise en œuvre	8
5. Entretien de l'appareil	10
6. Transport de l'appareil - Préparation à l'utilisation	10
7. Complément: Réalisation de l'expérience si l'on ne dispose que d'une cloche sans ajustage supérieur	11
7.1. Matériel nécessaire	11
7.2. Montage	12



Vers la pompe «à vide» n° 1

Plateau de la pompe «à vide» n° 2

Pression atmosphérique et basses pressions

Contre le mythe de la pompe « aspirante »

Une mise au point expérimentale

Montage de démonstration

1. Description du montage³ (voir photo page 4)

Destiné à être placé sur le plateau d'une pompe à air⁴ («à vide») (pompe n° 2 de la photo), soit à l'air libre, soit sous une cloche, l'appareil comprend:

- un socle en acier, en forme de U renversé, de 12 cm de long, 6 cm de large et 4 cm de haut, suffisamment lourd que pour tenter de résister à une rentrée de l'air, brutale et malencontreuse, sous la cloche à vide;
- une barre plate en aluminium, boulonnée sur l'une des faces latérales du socle en U, portant deux colliers de fixation;
- une seringue verre-métal, de 10 ml, placée dans ces colliers, tubulure d'injection (là où l'on peut fixer une aiguille) vers le haut, tête du piston vers le bas. Lorsque le socle de base en U est posé sur le plateau, réputé horizontal, d'une pompe «à vide» (pompe n° 2), la barre, l'axe de la seringue et la tige de son piston sont donc en position verticale;
- un cylindre de laiton, attaché, de manière non rigide, à l'extrémité inférieure de la tige du piston de la seringue. Au repos il est posé, par sa base inférieure, sur la face supérieure du socle en acier;
- un tuyau en matière plastique «tenant le vide». Il est destiné à relier, dans des conditions qui seront précisées plus loin, la tubulure d'injection de la seringue à une autre pompe «à vide» (pompe n° 1 de la photo). Son diamètre intérieur doit donc être d'environ 4 mm, diamètre moyen de la tubulure d'injection de la seringue. Nous avons utilisé un tuyau en matière plastique translucide dit tuyau «cristal»;
- **éventuellement** (voir § 7, page 11), deux tronçons du même tuyau, l'un de 0,35 mètre, l'autre de 1 mètre.

Ces deux derniers tronçons sont fournis avec l'appareil. Ils conviennent et suffisent aux deux manières d'utiliser ce dernier (voir § 3, page 8 et § 7 page 11).

³ Remarque: la démonstration, dans son ensemble, implique l'utilisation de deux pompes «à vide». Elles seront appelées pompe n° 1 et pompe n° 2, dans l'ordre de leur utilisation (consulter la photo de la page 4).

⁴ Il nous semble essentiel d'insister, auprès des élèves, sur le fait que la pompe «à vide», ainsi qu'elle est partout désignée, est en réalité une pompe «à air», susceptible d'évacuer l'air d'elle-même et du récipient auquel elle est raccordée.

2. Principe de la démonstration

2.1. Expérience fondamentale et hypothèses explicatives

Si, le montage étant à l'air libre, on extrait l'air de la seringue (grâce à la pompe n° 1), on constate que le piston monte jusqu'au fond de la seringue, entraînant dans son mouvement le bloc de laiton qui lui est attaché.

Pour expliquer ce phénomène, on peut tenter trois explications.

2.1.1. Explication du XVII^e siècle: l'horreur du vide

Elle prétend, comme on le faisait au temps de Pascal, que «la nature a horreur du vide» et que le piston, voyant devant lui le vide créé par la pompe (n° 1) dans la partie haute de la seringue, s'est précipité pour le remplir.

Une première brèche dans ce raisonnement peut être créée en montrant que l'on peut recréer ce vide, soit en déposant des blocs pesants supplémentaires sur la face supérieure du cylindre de laiton ou, plus simplement, en lui appliquant, avec deux doigts, une force verticale, dirigée vers le bas et suffisamment intense.

L'horreur présumée du vide devient donc une horreur «*dont la force est limitée*» (Pascal) ce qui ne rend pas les choses plus claires ni l'«explication» moins scolastique!

2.1.2. «Aspiration» de la pompe (n° 1)

Cette «explication» ne sera, à notre avis, qu'un mot sans signification claire pour nos jeunes élèves, qui l'accepteront probablement, tant ils sont habitués à entendre parler de pompes aspirantes et d'aspirateurs.

Si, avec beaucoup de bonne volonté, on admet que le mot indique la capacité de la pompe à abaisser, peu ou prou, la pression de l'air dans sa tubulure d'admission, sans qu'il soit question du rôle de la pression atmosphérique, on n'arrive cependant pas à donner une explication convaincante, sauf à retomber dans l'horreur du vide!

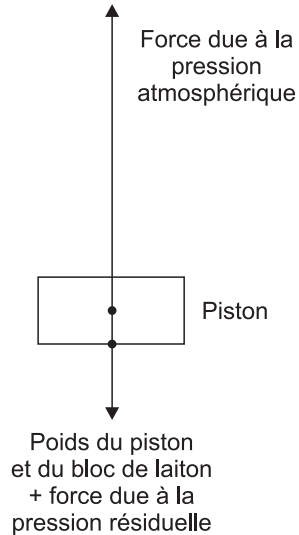
Il est d'ailleurs possible de jeter un doute supplémentaire sur l'hypothèse 2.1.2. en constatant que le piston de l'appareil, une fois soulevé, reste en place ou du moins ne retombe pas immédiatement si l'on arrête la pompe (n° 1).

Comme, alors, celle-ci n'«aspire» plus, il est clair qu'un élément supplémentaire doit intervenir et que l'«aspiration» de la pompe, si elle est essentielle, ne suffit pas.

Insistons sur le fait que tout ceci implique un montage «à vide» correct, sans fuites, en particulier en ce qui concerne l'état de la pompe et l'étanchéité de l'ensemble piston-seringue (voir § 5, page 10).

2.1.3. «Aspiration» de la pompe (n° 1) et pression atmosphérique

Prenons en compte le fait que, dans les conditions de l'expérience précédente, le piston ne subit plus une pression (la pression atmosphérique, dont l'existence a été montrée) que sur sa face inférieure (à supposer le vide parfait sur sa face supérieure) ou alors une pression plus grande sur sa face inférieure que sur sa face supérieure.



Les forces correspondantes sont alors, dans les deux cas, plus grandes vers le haut que vers le bas. Leur résultante, dirigée vers le haut, est alors, les éléments du montage étant ce qu'ils sont, supérieure en module au poids du piston et du bloc qui lui est suspendu.

2.2. Examen des hypothèses précédentes

Pour porter un jugement sur ces trois hypothèses, on peut:

- 2.2.1. se pencher sur l'«horreur du vide»;
- 2.2.2. se pencher sur l'«aspiration» (voir page 6);
- 2.2.3. empêcher la pression atmosphérique d'agir sur la face inférieure du piston.

Pour ce faire, on peut, par exemple, mettre l'appareil tout entier sous une cloche de pompe «à vide» et ôter l'air qui se trouve sous celle-ci, faisant ainsi le vide autour de la seringue et du reste du montage (ceci grâce à la pompe n° 2).

On supprime ainsi, en principe, toute pression, aussi bien sur la face inférieure que sur la face supérieure du piston, celui-ci restant seulement soumis à son poids et à celui du bloc de laiton.

Insistons sur le fait que, ce faisant:

- on ne modifie en rien le dispositif initial;
- on n'empêche en rien la pompe (n° 1) d'«aspirer».

On verra alors si le phénomène cité en 2.1. persiste.

3. Matériel nécessaire (si l'on dispose d'une cloche à vide avec ajutage supérieur)⁵

- ◆ L'appareil réf. MF 1205 12542.
- ◆ Une pompe «à vide» (dite pompe n° 2), munie de son plateau et du disque de caoutchouc, percé d'un ou deux trous, destiné à le couvrir.
- ◆ Une cloche en verre, adaptée au plateau de la pompe n° 2. La hauteur intérieure de cette cloche doit être d'au moins 25 centimètres et son diamètre d'au moins 20 centimètres. Elle doit comporter, à sa partie supérieure, un ajutage destiné à recevoir un bouchon.
- ◆ Un bouchon en caoutchouc, adapté à l'ajutage précédent, percé d'un trou⁶ permettant le passage, à frottement doux, du tuyau en matière plastique (tronçon de 1 mètre) cité précédemment au § 1 (page 3).
- ◆ Une autre pompe «à vide» (dite pompe n° 1), sans plateau, munie des accessoires permettant de la raccorder au tuyau en matière plastique cité ci-dessus. En cas de difficulté, il est commode d'utiliser les raccords réf. CC 0432 36691 et CC 0432 25482 mentionnés dans le catalogue du Centre technique et pédagogique (ou dans son supplément). La mini-pompe à air réf. MF 1302 15543 du Centre technique et pédagogique convient bien pour cette utilisation.

4. Mise en œuvre

La mise en œuvre du montage et la démonstration qui en résulte impliquent d'abord l'usage de la pompe dite n° 1, seule. Il faut ensuite déposer le montage entier sur le plateau de la pompe n° 2, le couvrir d'une cloche et employer alors les deux pompes.

Il nous paraît plus élégant, moins perturbant et plus rapide d'installer d'abord la pompe n° 2 et de s'en servir comme socle dans la première partie de l'expérience.

Si l'on a des objections, pédagogiques ou autres, on peut évidemment s'y prendre autrement.

1. Installer la pompe n° 2, la munir de son plateau et recouvrir celui-ci de son disque de caoutchouc, placé en position correcte.
2. Poser l'appareil MF 1205 12542, bien centré, sur le plateau.
3. Relier la tubulure d'injection de la seringue à la pompe n° 1, en utilisant le tuyau en matière plastique cité ci-dessus et, éventuellement, le raccord réf. CC 0432 36691 ou le raccord CC 0432 25482.
4. Mettre en marche la pompe n° 1. On constate alors, à moins que la pression atmosphérique ne soit exceptionnellement basse⁷, que le piston et le bloc de laiton qui lui est suspendu sont propulsés vers le haut.

⁵ Sinon, voir § 7, page 11.

⁶ Si l'on ne dispose que d'un bouchon en caoutchouc plein, mais adapté à la cloche du laboratoire de l'école, il est possible de le faire percer au Centre technique et pédagogique.

⁷ Ou que le piston soit coincé dans la seringue par de l'huile vieillie. Voir § 5, page 10: entretien de l'appareil.

5. Arrêter alors la pompe n° 1.

Si celle-ci est en bon état et si le montage est correct, rien ne change. Le piston et le bloc de laiton ne retombent pas, ou ne retombent qu'après un temps assez long (fuites inévitables). Ceci bien que la pompe «n'aspire plus». Cependant, elle a «aspiré» (l'air de la seringue).

Il nous semble revenir à «l'horreur du vide»!

Il est d'ailleurs possible à ce moment de rétablir un «vide», en forçant, avec deux doigts, le bloc de laiton à redescendre (voir § 2.1.1, page 6), ce après avoir remis la pompe n° 1 en marche.

6. Arrêter la pompe n° 1 et séparer le tuyau de la seringue.

7. Enfiler le bouchon en caoutchouc cité au § 3 sur le tuyau (dans le bon sens!), en faisant dépasser celui-ci, du côté de la petite base du bouchon, d'environ 40 centimètres.

8. Enfiler cette partie du tuyau dans l'ajutage supérieur de la cloche à vide et mettre le bouchon en place, sans l'enfoncer.

9. Tenir la cloche d'une main, raccorder l'extrémité libre du tuyau à la tubulure d'injection de la seringue et coiffer l'appareil réf. MF 1205 12542 de la cloche, en évitant de plier à angle aigu la partie du tuyau qui se trouve sous celle-ci.

10. Enfoncer correctement le bouchon en caoutchouc.

Il devient ainsi possible, en utilisant les deux pompes, de faire le vide:

- dans la seringue (pompe n° 1);
- autour de la seringue (pompe n° 2).

Pour cela:

- remettre la pompe n° 1 en marche. On retrouve ainsi la situation précédente;
- mettre ensuite en marche la pompe n° 2, enlevant ainsi l'air situé sous la cloche, y supprimant ainsi, progressivement, la pression «atmosphérique».

Constater alors que l'ensemble du piston et de sa charge, qui n'est plus sollicité que par son poids, retombe en position basse, toute pression gazeuse ayant pratiquement disparu sur ses deux faces.

Faire remarquer que l'on n'a pas touché au montage placé sous la cloche et que la pompe n° 1 «aspire» cette fois sans effet apparent.

Il devient donc évident que deux éléments entrent en jeu pour expliquer l'ascension du piston:

- l'action de la pompe n° 1, qui consiste à extraire l'air de la seringue donc à supprimer ou à abaisser la pression sur la face supérieure de son piston;
- l'action de la pression atmosphérique, qui se traduit par une force verticale exercée sur la face inférieure dudit piston, force, dirigée de bas en haut, qui s'oppose et éventuellement dépasse le poids du piston et du cylindre qui y est attaché.

Faire éventuellement jouer l'un ou l'autre de ces deux facteurs et montrer que le piston ne s'élève que si les deux conditions sont réunies.

Remarque importante

Éviter soigneusement d'arrêter la pompe n° 2 en laissant la cloche en dépression. On risque, ce faisant, de provoquer, venant de la pompe, des remontées d'huile qui souilleraient alors tout le montage.

5. Entretien de l'appareil

Si l'appareil n'est pas souvent utilisé, il importe, avant de s'en servir, de s'assurer de la mobilité du piston dans sa seringue et de l'étanchéité du montage.

Si nécessaire:

- enlever les deux vis de fixation de la rondelle en matière plastique rouge posée sur le cylindre de laiton. On sépare ainsi celui-ci de la tige du piston;
- déposer le cylindre de laiton;
- enlever complètement les quatre vis de fixation des deux demi-colliers qui participent au maintien de la seringue. Enlever les demi-colliers extérieurs et recueillir les joints;
- déposer la seringue, **en ayant soin de ne pas plier la tige du piston**;
- dévisser la tête de la seringue et extraire le piston;
- nettoyer piston et corps de seringue à l'alcool et les essuyer soigneusement;
- enduire légèrement le piston d'une huile très fluide (huile de pompe «à vide»);
- replacer le piston dans la seringue, revisser la tête de la seringue;
- s'assurer de la liberté du mouvement du piston dans la seringue;
- remettre en place la seringue et replacer les demi-colliers de fixation;
- remettre en place le cylindre de laiton, la rondelle rouge et ses vis;
- vérifier encore la liberté de mouvement de l'ensemble du montage.

6. Transport de l'appareil - Préparation à l'utilisation

La tige du piston de la seringue, relativement fragile, risque d'être pliée lors des chocs qui accompagnent inévitablement un transport.

Pour pallier cet inconvénient, un petit boulon, visible sur la face intérieure du support en U, assujettit le cylindre de laiton à ce support.

Il faut, évidemment, enlever ce boulon, et sa rondelle, avant d'utiliser l'appareil.

Pour éviter de les perdre, un logement a été prévu à leur intention sur la face arrière du support en U (trou taraudé).

7. Complément: réalisation de l'expérience si l'on ne dispose que d'une cloche **sans ajutage supérieur**

Il faut, dans ce cas, utiliser un autre mode de raccordement de la tubulure de la seringue à la pompe n° 1.

7.1. Matériel nécessaire

- ◆ La table-support pour cloche à vide, mentionnée dans le catalogue du Centre technique et pédagogique (ou dans son supplément) sous la réf. MF 2650 12727.

- ◆ Le joint carré en caoutchouc para qui lui correspond réf. MF 2652 32727.

La table en question est une table carrée en matière plastique rigide, de 28 cm de côté, portée par quatre pieds cylindriques, eux-mêmes fixés à une planche de base en bois.

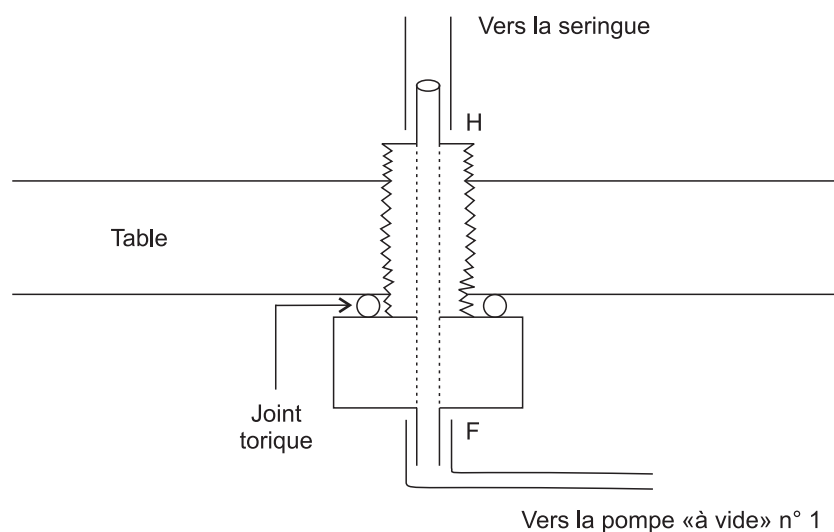
Elle joue, à une importante exception près, le même rôle que les plateaux des pompes «à vide» traditionnelles.

Comme ceux-ci, elle comporte deux orifices⁸:

- l'un, central, est raccordé à une tubulure permettant sa jonction à la tubulure d'admission d'une pompe «à vide»;
- l'autre, qui sert à la réadmission de l'air sous la cloche à vide, peut être obstrué par un bouchon à visser.

En plus, et à la différence des plateaux traditionnels des pompes, un troisième orifice, taraudé, peut recevoir:

- soit un bouchon à visser qui permet de ramener la table à la fonction traditionnelle de plateau de pompe;
- soit une pièce spéciale tubulaire qui, traversant la tablette de la table, permet de réunir, en utilisant deux tronçons de tuyau à vide (diamètre intérieur 4 mm, voir plus loin):
 - d'une part la tubulure de la seringue à la partie supérieure H de la pièce en question (voir schéma ci-dessous),
 - d'autre part, la partie inférieure F de cette pièce à la pompe «à vide» n° 1.



⁸ En réalité, la table en question comporte cinq orifices. On n'en utilise ici que trois, l'orifice central et deux quelconques des quatre autres, les deux orifices restants devant être bouchés (voir le mode d'emploi qui accompagne la table-support réf. MF 2650 12727).

- ◆ Deux tronçons de tuyau en matière plastique translucide («cristal») de 4 mm de diamètre intérieur, l'un de 0,35 mètre de longueur, l'autre de 1 mètre environ.
- ◆ Un tronçon d'un mètre environ de tuyau «à vide» permettant de réunir, dans les règles de l'art, la tubulure d'admission de la pompe n° 2 à celle qui correspond au trou central de la table.
Remarque: les connexions des tuyaux «à vide» peuvent être grandement facilitées par l'emploi des raccords réf. CC 0432 25482, CC 0432 36691 et CC 0432 25592, cités dans le catalogue du Centre technique et pédagogique ou dans son supplément.

7.2. Montage

- ◆ Installer la table-support pour cloche à vide à l'endroit de la démonstration. La munir de la pièce spéciale de traversée de la tablette décrite ci-avant (page 11) et de son joint carré en caoutchouc réf. MF 2652 32727.
- ◆ Raccorder la tubulure qui correspond au trou central de la table-support à l'orifice d'admission de la pompe «à vide» n° 2.
- ◆ Boucher les trois derniers orifices de la table-support.
- ◆ Poser l'appareil réf. MF 1205 12542, bien centré, sur la table-support.
- ◆ Réunir, au moyen du tronçon de tuyau plastique «cristal» de 0,35 mètre de longueur, la tubulure d'injection de la seringue à l'extrémité H de la pièce spéciale citée plus haut (schéma page 11).
- ◆ Réunir l'extrémité F de la même pièce à la pompe «à vide» n° 1, en utilisant le tronçon de 1 mètre de tuyau «cristal».

Se trouve ainsi réalisé un montage qui équivaut à celui qui est décrit au § 4, montage que l'on utilise:

- d'abord sans la cloche et sans la pompe «à vide» n° 2;
- ensuite avec la cloche et les deux pompes.

Remarque

Une série de trous, percés près de l'un des bords de la plaque de base en bois de la table-support permet de recueillir ses divers accessoires. On évite ainsi de les égarer.