

Histoire des sciences : la pression

I) Etude d'une bande dessinée

Lire la bande dessinée « découverte de la pression atmosphérique » (voir ANNEXE) et répondre aux questions suivantes :



Les hémisphères de Magdebourg



L'expérience au Puy de Dôme

- 1) A quelle profondeur est-il possible de pomper au maximum de l'eau ?
- 2) Qu'est-ce que « Magdebourg » ?
- 3) Décrire rapidement l'expérience qui s'est passé là-bas.
- 4) Combien de chevaux ont tiré les hémisphères ? Ont-ils réussi à les séparer ?
- 5) Comment les hémisphères ont pu être séparés ?
- 6) Qui est responsable de la cohésion des deux hémisphères ?
- 7) Expliquer avec un schéma cette expérience des hémisphères de Magdebourg.
- 8) Quelle théorie expliquait à l'époque qu'il était impossible de pomper de l'eau à plus de 10m ?
- 9) Cette théorie a été énoncé par quel « savant » ?
- 10) Citez un autre contexte ou cette même théorie a été utilisé
- 11) Quel physicien a une hypothèse intéressante permettant de comprendre le pompage de l'eau ?
L'expliquer rapidement
- 12) Expliquer brièvement (avec un schéma) l'expérience de Torricelli.
- 13) Pourquoi réalise-t-il cette expérience avec du « vif-argent » et non de l'eau ?
- 14) Pourquoi le « vif-argent » se stabilise-t-il à 75cm dans le tube ?
- 15) Qu'a réussi à mettre Torricelli dans le haut de son tube ?
- 16) Aristote estimait que « la nature a horreur du vide ». Expliquer cette phrase et son idée.
- 17) Que pense Blaise Pascal de ce postulat d'Aristote ?
- 18) Comment Blaise Pascal va-t-il prouver que la pression de l'air a une action sur le « vif-argent » ?
- 19) Expliquer l'expérience réalisée sur le Puy de Dôme (montagne) ?
- 20) Qui d'Aristote ou de Torricelli avait raison ?
- 21) Comment appelle-t-on l'appareil capable de mesurer la pression atmosphérique ?
- 22) Que permet cet appareil ?

II) Exercices « historiques »

1) LE BAROMÈTRE DE TORRICELLI

a) l'expérience de Torricelli (1608-1647)

L'EXPÉRIENCE HISTORIQUE DE BLAISE PASCAL

En 1648, le savant Blaise Pascal émet l'idée que la pression atmosphérique, c'est-à-dire l'action exercée par l'air à la surface de la Terre, est due à la masse de l'atmosphère. Pour vérifier expérimentalement son idée, il fait effectuer

des mesures de pression à différentes altitudes à l'aide du tube de Torricelli (**Fig. 1**). Il constate alors que plus on s'élève en altitude, plus le mercure descend dans le tube et par conséquent plus la pression atmosphérique est faible.

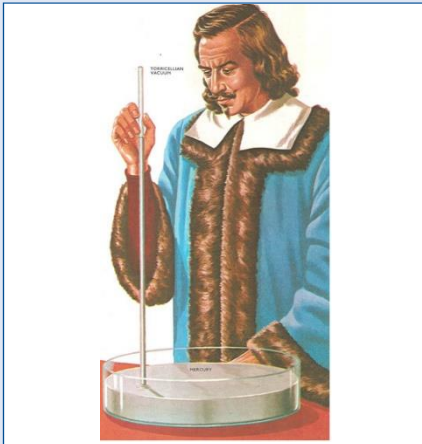


Fig. 1 • Baromètre de Torricelli (tube plein de mercure retourné sur une cuve à mercure).

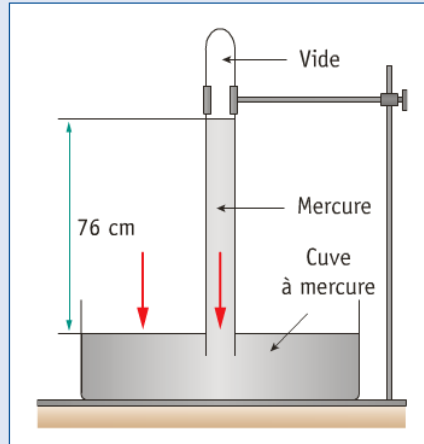


Fig. 2 • Pression au niveau de la mer : 76 cm de mercure.

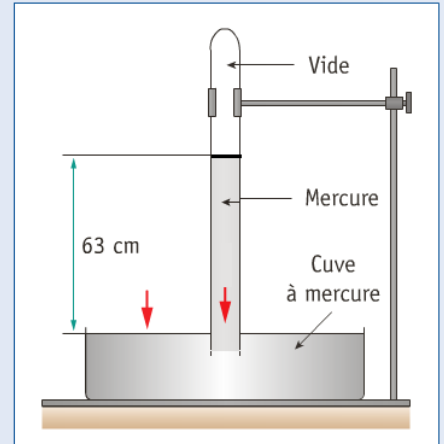


Fig. 3 • Pression au sommet du Puy de Dôme (1 467 m) : 63 cm de mercure.

A cette époque, Blaise Pascal (1623-1662) jeune physicien français, reproduisit l'expérience de Torricelli. Le résultat lui suggère une hypothèse : si la hauteur de la colonne de mercure est liée à la pression atmosphérique, alors cette hauteur doit varier avec l'altitude. Pour vérifier son hypothèse, Pascal demande à son beau-frère (F. Perrier) demeurant en Auvergne, de monter sur le Puy de Dôme avec un baromètre. La hauteur de mercure diminue au fur et à mesure que l'on s'élève en altitude. A la hauteur de 1000 m Perrier constate une baisse de 8 cm ! La pression atmosphérique ne vaut plus que 680 mm de mercure.



Dans son "Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air", il détruit définitivement l'hypothèse couramment admise depuis Aristote selon laquelle "la nature a horreur du vide" et conclut :

"La nature n'a aucune répugnance pour le vide ; elle ne fait aucun effort pour l'éviter ; tous les effets qu'on a attribués à cette horreur procèdent de la pesanteur et pression de l'air ; elle en est la seule et véritable cause, et, manquant de la connaître, on avait inventé exprès cette horreur imaginaire du vide, pour rendre raison."

- 1/ Qu'est-ce que la pression atmosphérique ?
- 2/ Compare les résultats des deux figures 2 et 3. Dans quel cas la pression est-elle la plus faible ?
- 3/ Explique, à l'aide de tes connaissances, pourquoi le niveau de mercure est plus bas dans le tube de la figure 3.
- 4/ Pourrait-on remplacer le mercure par de l'eau, en sachant que le mercure pèse 13.6 fois plus que l'eau ?
- 5/ A la pression atmosphérique, trouve la hauteur de la colonne d'eau qui appuierait autant que la colonne de mercure de 76 cm.
- 6/ Application : Dans un verre de sirop, pourquoi le niveau de la menthe à l'eau monte-t-il dans la paille ?

b) le baromètre

La dénivellation moyenne du mercure dans le tube est $H = 76,0$ cm.

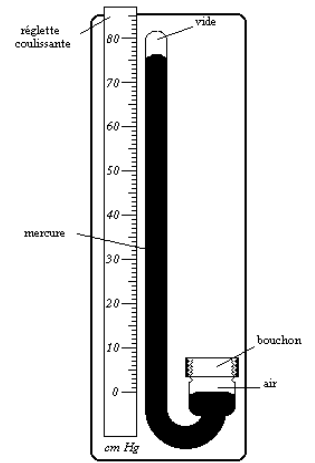
Dans chaque branche du tube (au niveau 0 de la règle) la pression est la même :

Dans la branche gauche, la pression exercée par la colonne de mercure équilibre la pression exercée, dans la branche droite par la colonne d'air.

Calculons la pression exercée par la colonne de mercure (qui est égale à la pression atmosphérique)

Le diamètre du tube de verre employé est $d = 1,0$ cm.

$$\rho_{\text{mercure}} = 13,6 \text{ g/cm}^3$$



Calculer :

- volume de la colonne de mercure
- masse de la colonne de mercure
- poids de la colonne de mercure
- surface S du tube du baromètre :
- pression p (en Pascals)

2) Le CREVE-TONNEAU de Pascal

Un tonneau de 1 m de hauteur est surmonté d'un tube de 9 m de longueur et de 1 cm de diamètre. Le diamètre du fond du tonneau est 0,76 cm.

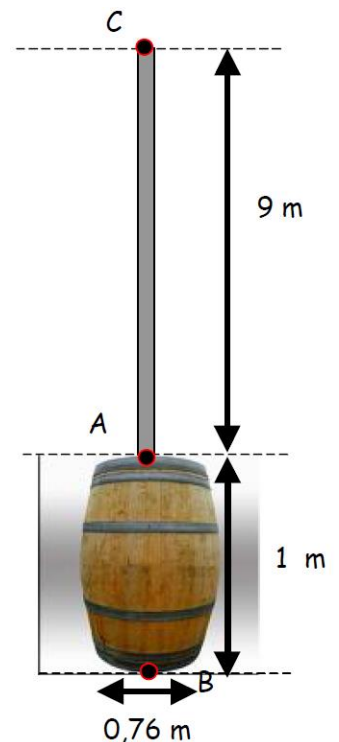
1) Le tonneau est rempli d'eau, le tube est vide.

- Calculer l'aire du fond du tonneau.
- Déterminer la différence de pression due à l'eau entre les points A et B. ($g = 10 \text{ N/kg}$; $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$)
- Déterminer la force pressante qui s'exerce sur le fond du tonneau.

2) Le tonneau et le tube sont remplis d'eau.

- Déterminer la quantité d'eau ajoutée pour remplir le tube.
- Déterminer la différence de pression due à l'eau entre les points C et B.
- Déterminer la force pressante qui s'exerce sur le fond du tonneau.

3) Conclure.



ANNEXE : Bande dessinée « La découverte de la pression atmosphérique »

Scénario : Emmanuel Deslouis / Illustrations : Loïc Derrien pour SVJ

LA DÉCOUVERTE DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

Au XVII^e siècle, il était impossible de pomper l'eau d'un puits à plus de 10 mètres. En essayant de comprendre pourquoi, trois savants, Torricelli, Pascal et von Guericke, vont mettre en évidence la force colossale de la pression de l'air.

Magdebourg, 1661. La foule est venue en nombre sur la grand-place pour assister à une expérience étonnante. Un savant, Otto von Guericke, a fait le pari que deux trains de chevaux n'arriveraient pas à séparer deux hémisphères de bronze, joints par un simple anneau de cuir.

Ma parole, ces chevaux n'ont rien dans les jarrets!

HUUE!!

EN AVANT!!

Qu'est-ce que c'est que cette diablerie?

Plusieurs membres éminents de la noblesse du Brandebourg* ont été conviés à ce spectacle. Ils contemplent, ébahis, la scène.

C'est prodigieux! Herr von Guericke, comment un joint de cuir arrive-t-il à résister à la force d'autant de chevaux?

C'est simple. J'ai aspiré tout l'air qui se trouvait à l'intérieur de la sphère grâce à une pompe de mon invention.

Mais en quoi cela permet-il de coller ces demi-sphères l'une à l'autre?

En pompant l'air, j'ai fait le vide. Ainsi, plus rien n'exerce de pression à l'intérieur de la sphère. En revanche, l'atmosphère presse la boule de tous côtés à l'extérieur.

Qu'est-ce que vous me racontez là? Ce serait le poids de l'air qui collerait les deux hémisphères l'un contre l'autre?

Pas tout à fait, Votre Excellence. C'est la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de la sphère qui importe...

Et d'ailleurs, je vais vous en faire la démonstration tout de suite. Vous allez voir : si je laisse entrer l'air dans la sphère, il va à nouveau exercer une pression à l'intérieur, sur les parois, qui viendra contrebalancer celle qui est à l'extérieur... Et instantanément, les hémisphères vont se détacher!

* À l'époque, l'Allemagne était un empire divisé en plusieurs centaines d'États. Le Brandebourg était l'un de ces États.

Sous les vivats de la foule, Guericke quitte alors l'estrade pour se rendre au beau milieu de la place. Arrivé devant la sphère, il ouvre un robinet fixé à sa surface...



Enchanté par l'expérience, un des aristocrates a invité le savant dans sa demeure.

En 1641, le jeune mathématicien Evangelista Torricelli est venu aider le savant Galilée à rédiger le compte-rendu de ses recherches, car le vieil homme est malade et presque aveugle. Torricelli va devenir son disciple.



Comment avez-vous découvert la force incroyable de la pression de l'air?

À vrai dire, je me suis inspiré des travaux de l'italien Torricelli...

Racontez-moi cela!

Tout a commencé il y a vingt ans, en Italie...

Dans le tuyau d'une pompe, c'est la même chose : l'eau du puits monte pour remplir le vide créé par l'aspiration de l'air. Le problème, c'est que cette explication ne permet pas de comprendre pourquoi il n'est pas possible de puiser de l'eau avec une pompe au-delà de 10 mètres de profondeur.

Vous qui aimez les défis, Torricelli. J'en ai un pour vous : depuis toujours, les fontainiers n'arrivent pas à pomper l'eau des puits lorsque la pompe est située à plus de 10 mètres* au-dessus de la surface de l'eau. À votre avis, à quoi cela est dû?

Je connais comme vous l'explication classique du fonctionnement d'une pompe, qui s'appuie sur les théories du grand Aristote**. Selon lui, le vide n'existe pas dans notre Univers. Et lorsqu'il s'en crée, il est immédiatement remplacé par l'un des quatre éléments : terre, air, eau ou feu...

Aristote se trompe! L'eau doit s'élever dans le puits pour une autre raison, mais laquelle? Je ne sais...

Votre conclusion?

Au lieu d'être attirée par le vide, l'eau est peut-être poussée dans le tuyau par une autre matière... Un de mes disciples, Jean-Baptiste Baliani, a émis l'hypothèse que ce pourrait être la colonne d'air dans le puits qui pèse à la surface de l'eau. Ce n'est pas idiot car j'ai démontré que l'air a un poids. Étudiez donc la question et nous en discuterons.

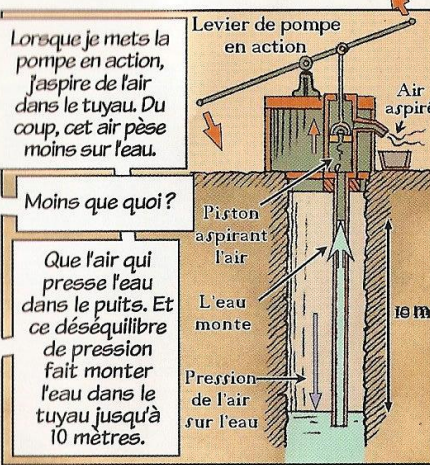
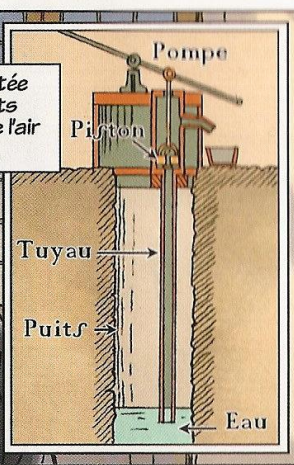
* Pour faciliter la lecture, toutes les mesures en pieds (l'unité de l'époque) ont été converties en mètres.

** Philosophes grecs de l'Antiquité, dont les théories n'ont jamais vraiment été remises en question jusqu'à la Renaissance.

Le lendemain, Torricelli soumet une solution à son maître.



J'ai bien relu l'hypothèse de Baliani, et je l'ai adaptée à notre problème. Au départ, nous avons un puits avec une pompe au repos. Dans ce cas, le poids de l'air est le même dans le tuyau et dans le puits.



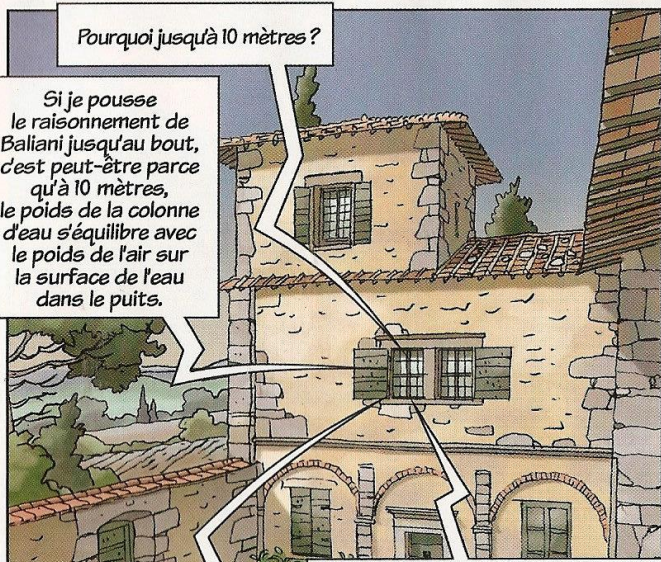
Lorsque je mets la pompe en action, j'aspire de l'air dans le tuyau. Du coup, cet air pèse moins sur l'eau.

Moins que quoi ?

Que l'air qui presse l'eau dans le puits. Et ce déséquilibre de pression fait monter l'eau dans le tuyau jusqu'à 10 mètres.

Pourquoi jusqu'à 10 mètres ?

Si je pousse le raisonnement de Baliani jusqu'au bout, c'est peut-être parce qu'à 10 mètres, le poids de la colonne d'eau s'équilibre avec le poids de l'air sur la surface de l'eau dans le puits.



Ça se tient, mais il faudrait le prouver par une expérience.

Pas évident, car je peux difficilement manipuler l'énorme quantité d'eau d'un puits. Je vais voir s'il existe un moyen plus pratique.

Deux ans plus tard, Torricelli a réussi à mettre au point une expérience convaincante. La nouvelle se répand comme une traînée de poudre chez les savants européens. L'un d'eux, Marin Mersenne, un religieux français intéressé par toutes les nouveautés scientifiques, se rend en 1645 chez Torricelli, pour voir l'expérience de ses propres yeux.



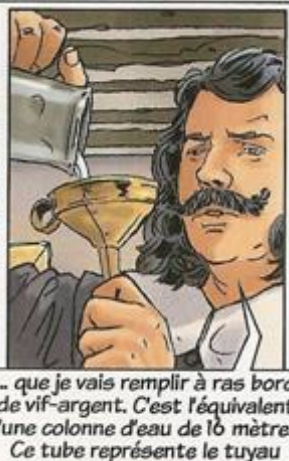
J'ai eu l'idée de remplacer l'eau par du vif-argent*, parce qu'il est beaucoup plus dense. Ainsi, pour simuler le poids d'une colonne d'eau de 10 mètres, il me suffit d'utiliser une colonne de vif-argent de 75 centimètres.

*mercure

J'utilise pour ce faire ce tube de verre d'une longueur d'environ 1,2 mètre...



... que je vais remplir à ras bord de vif-argent. C'est l'équivalent d'une colonne d'eau de 10 mètres. Ce tube représente le tuyau qui relie la pompe au puits.



Je le bouche hermétiquement avec mon doigt, pour éviter que de l'air y entre.



Puis, je plonge le tube dans le bol de vif-argent, qui représente le puits. Une fois que l'extrémité est bien immergée, j'enlève mon doigt pour libérer son ouverture.



Le vif-argent chute d'une quarantaine de centimètres.

Regardez comme le vif-argent est en train de s'écouler dans le bol sous l'effet de son poids.

Il va s'écouler complètement ?

Non, voyez. Il se stabilise à environ 75 centimètres de hauteur.

Pour quelle raison ?

J'ai une hypothèse : le poids du vif-argent s'équilibre avec celui de l'air.

Comment ça ?

Selon moi, l'air qui nous entoure exerce une pression sur le vif-argent à la surface du bol. Il s'oppose ainsi à la pression de la colonne de vif-argent qui essaye de s'écouler hors du tube. Les deux pressions finissent par s'équilibrer, et le vif-argent se stabilise à 75 centimètres de hauteur.

Tube de verre

120 cm

75 cm

Pression du vif-argent

Pression de l'air s'opposant à la pression du vif-argent dans le tube de verre

vif-argent

Ce qui est, si je me souviens bien, l'équivalent d'une colonne d'eau de 10 mètres.

C'est ça. J'ai reproduit exactement ce qu'on observe dans la nature. Notez que si je rajoutais 1 mètre de vif-argent dans mon tube, il se stabiliserait encore à 75 cm. Voilà pourquoi on est incapable de faire monter l'eau au-delà de 10 mètres : la pression de l'air s'équilibre avec une colonne d'eau de 10 mètres, pas plus.

Et en haut de ce tube, que reste-t-il ?

Puisque le tube était plein de vif-argent à l'origine, ce ne peut être que du vide. Mais vous savez, comme moi, qu'Aristote a dit que le vide ne peut exister dans l'Univers. Hélas, ça me semble impossible à vérifier.

De retour en France, le père Mersenne parle de cette expérience à un ami ingénieur, Pierre Petit. Celui-ci arrive à la reproduire en 1646, à Rouen, chez des amis passionnés de sciences, Étienne Pascal et son fils Blaise. Un jeune homme surdoué qui, à 12 ans, avait déjà écrit un traité de géométrie !

L'expérience de Torricelli fonctionne à merveille et son explication sur l'équilibre des pressions se tient.

C'est bien là le problème. Car la majorité des savants, à la suite d'Aristote, estime que, dès que du vide apparaît dans la nature, il est aussitôt remplacé par de la matière.

Comment expliquent-ils alors que le vif-argent ne s'écoule pas complètement dans le tube ?

Oui, mais elle suppose qu'au sommet du tube, il y ait du vide.

Grâce à de petites particules d'air qui parviendraient à entrer dans le tube, en passant à travers le verre. Reliées à de grosses particules d'air bloquées à l'extérieur, elles auraient ainsi assez de force pour retenir le vif-argent et empêcher qu'un vide ne se crée.

Voilà une explication bien compliquée ! Avec de telles spéculations, on pourra toujours démontrer que le vide n'existe pas. Et il sera difficile de prouver qu'il y a de l'air ou pas dans le tube. Nous devrions plutôt établir de manière indiscutable que le vif-argent tient en équilibre sous le seul effet de pressions contraires. Du coup, le vide deviendrait une question secondaire.

L'année suivante, en 1647, Blaise Pascal a une idée dont il fait part à son ami, Marin Mersenne.

J'ai trouvé comment démontrer l'action de la pression de l'air sur le vif-argent.

Dites-moi vite !

Comment la faire varier ?

Pourquoi ne pas réaliser l'expérience en altitude ? On a moins d'air au-dessus de la tête lorsqu'on est en haut d'une montagne que lorsqu'on est en contrebas. Du coup, la pression y est forcément plus faible.

Bien vu ! Si la pression de l'air est la seule chose qui empêche le vif-argent de s'écouler complètement dans le bol, alors sa hauteur dans le tube devrait forcément être inférieure au sommet de la montagne à ce qu'elle est dans la vallée.

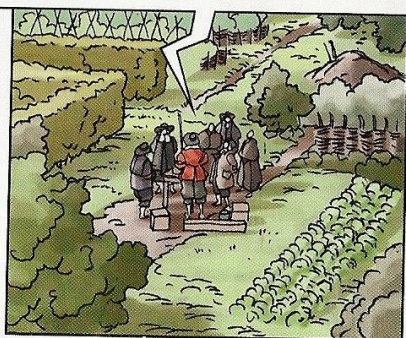
Reste à imaginer cette expérience indiscutable. Ce n'est pas évident !

Il faut que je fasse varier la hauteur de la couche d'air, autrement dit son poids, au-dessus du bol de vif-argent. Si c'est bien la pression de l'air qui stabilise le vif-argent dans le tube, en faisant fluctuer cette pression, le niveau de la colonne de vif-argent devrait bouger.

Tout juste. Et nos adversaires seront coincés : il n'y a aucune raison que les petites particules d'air retiennent moins le vif-argent au sommet qu'au pied de la montagne.

De santé fragile, Pascal ne supporte pas les longs voyages. Aussi il charge son beau-frère, Florin Périer, d'effectuer l'expérience. Celui-ci habite à Clermont-Ferrand, non loin du puy de Dôme, une montagne qui culmine à 1465 m. Le test décisif a lieu le 19 septembre 1648 dans le jardin du couvent des pères minimes, en présence de notables de la ville, qui font office de témoins. Mais Mersenne ne pourra y assister : il est mort - pas de chance ! - une quinzaine de jours avant l'expérience.

Prenez note, messieurs, la hauteur du vif-argent est de 71 centimètres à Clermont. Dépêchons-nous maintenant de ranger le matériel. Une rude ascension nous attend !



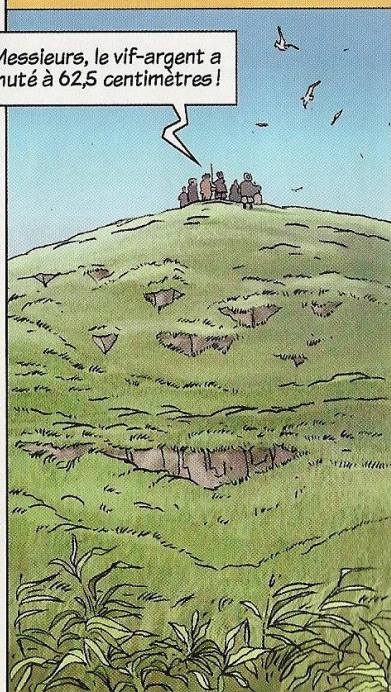
Périer et les témoins gravissent le puy de Dôme. L'ascension prend quelques heures.



Courage, messieurs, ce ne sera plus très long !

Enfin arrivés au sommet, ils installent le tube, le bol et le vif-argent. Le beau-frère de Pascal mesure aussitôt la hauteur du liquide dans le tube.

Messieurs, le vif-argent a chuté à 62,5 centimètres !

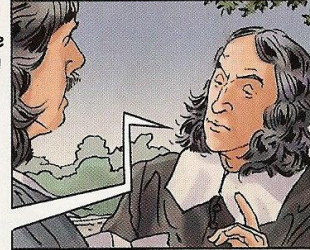


Comme l'avait supposé mon beau-frère, Blaise Pascal, en altitude, le vif-argent se stabilise plus bas que dans la vallée.

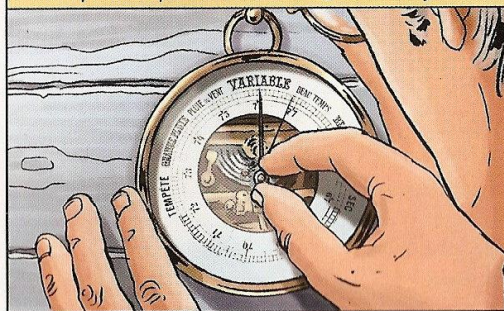


Une fois redescendu à Clermont, Périer envoie immédiatement à Pascal un compte-rendu détaillé.

Grâce au résultat de cette expérience, on en est sûr, c'est bien la pression de l'air, et elle seule, qui empêche le vif-argent de s'écouler dans le bol.



Pascal confirme ainsi de manière indiscutable la validité du raisonnement de Torricelli. Avec ce dispositif rudimentaire - l'ancêtre du baromètre - on va se rendre compte, dès la fin du XVII^e siècle, que la pression atmosphérique varie, selon qu'il fait sec ou humide. Et qu'il est donc possible de prévoir le temps qu'il va faire quelques heures à l'avance. Ce seront les premiers pas de la météorologie scientifique...



De son côté, von Guericke, avec ses hémisphères de bronze, a révélé la puissance de la pression atmosphérique. Une force qu'on ne soupçonnait pas puisque, par temps calme, on n'en ressent pas les effets. En fait, comme c'est souvent le cas, un problème technique - l'impossibilité de pomper de l'eau au-delà de 10 mètres - a fait progresser les connaissances théoriques. Une avancée scientifique rendue possible parce que des savants (Torricelli, Pascal...) ont élaboré des hypothèses, confronté leurs idées et mis au point des expériences pour les valider, jetant ainsi les bases de la science moderne.

