

# Notions abordées en cours de physique-chimie et situations de la vie courante

## III. L'air qui nous entoure

Notion	Illustrations/Situations
<p><b>1-Du macroscopique au microscopique.</b> Description d'un gaz à l'échelle microscopique. Mouvement Brownien. Description de l'état gazeux par des grandeurs macroscopiques. Notion de pression : forces pressantes, pression exercée sur une paroi, instrument de mesure (manomètre...), unité, pression d'un gaz : origine et interprétation microscopique. Phénomènes physiques renseignant sur l'état thermique d'un corps : dilatation des gaz et liquide, variation de la résistance électrique, émission d'un rayonnement, température.</p>	<p>- <a href="#">Pascal et la pression atmosphérique</a> - <a href="#">Ventouses</a></p>
<p><b>2-Lien entre agitation thermique et température : équation d'état des gaz parfaits.</b> Agitation moléculaire d'un gaz caractérise son état thermique et pour les faibles pressions permet de définir la température du gaz. Echelle de température Kelvin. Unité kelvin. Zéro absolu : absence d'agitation thermique. Relation entre température en Celsius et température absolue.</p>	<p>- <a href="#">De la plongée sous-marine</a> - <a href="#">Pressions et températures interstellaires</a> - <a href="#">L'ultra froid et l'ultra chaud</a></p>

**Préambule :** les amateurs trouveront de très nombreuses simulations en physique sur le site suivant, entièrement téléchargeable : <http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/index.html>

## 1-Du macroscopique au microscopique.

Pascal et la pression atmosphérique.

Dans *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air* — consultable en ligne sur le site <http://num-scd-ulp.u-strasbg.fr:8080/195/> — publié en 1663, Blaise Pascal (1623-1662) recense toutes les manifestations de la pesanteur de l'air atmosphérique et démontre que cette pesanteur « *produit tous les effets qu'on a jusqu'ici attribués à l'horreur du vide* ». A titre d'exemple, voici ce que dit Pascal du baromètre à mercure inventé en 1644 par l'italien Evangelista Torricelli (1608-1647) et de la célèbre expérience du Puy de Dôme — conversions : 1 toise=1,949 m, 1 pied=0,325 m, 1 pouce=2,71 cm, 1 ligne=2,25 mm :

*« L'instrument le plus propre pour observer toutes ces variations est un tuyau de verre bouché par en haut, recourbé par en bas, de trois ou quatre pieds de haut, auquel on colle une bande de papier divisée par pouces et lignes. Car si on le remplit de vif-argent [de mercure], on verra qu'il tombera en partie et qu'il demeurera suspendu en partie. Et on pourra remarquer exactement le degré auquel il sera suspendu. Et il sera facile d'observer les variations qui y arriveront de la part des charges de l'air par les changements du temps [météorologique], et celles qui y arriveront, en le portant en un lieu plus élevé. Car en le laissant en un même lieu on verra qu'à mesure que le temps changera, il haussera et baissera. Et on remarquera qu'il sera plus haut en un temps qu'en un autre, d'un pouce six lignes, qui répondent précisément à un pied huit pouces d'eau, que nous avons donné dans l'autre chapitre pour la différence qui arrive de la part du temps. [Le rapport des deux mesures indiquées par Pascal donne 13,34, en bon accord avec la densité du mercure par rapport à l'eau, aujourd'hui de 13,58.]*

*Et en le portant du pied d'une montagne jusque sur son sommet, on verra que quand on sera monté de dix toises, il sera baissé de près d'une ligne ; quand on sera monté de vingt toises, il sera baissé de deux lignes ; quand on sera monté de cent toises, il sera baissé de neuf lignes ; quand on sera monté de cinq cents toises, il sera baissé de trois pouces dix lignes ; et redescendant, il remontera par les mêmes degrés.*

*Tout cela a été éprouvé sur la montagne du Puy-de-Dôme, en Auvergne. »*

L'expérience du Puy de Dôme n'a pas été réalisée par Pascal lui-même — pour raisons de santé —, mais par son beau-frère, Florin Périer. Voici une partie du compte rendu que ce dernier en fit à Pascal dans une lettre datée du 22 septembre 1648 :

*« Monsieur,*

*Enfin j'ai fait l'expérience que vous avez si longtemps souhaitée. Je vous aurais plus tôt donné cette satisfaction ; j'en ai été empêché, autant par les emplois que j'ai eus en Bourbonnais, qu'à cause que, depuis mon arrivée, les neiges ou les brouillards ont tellement couvert la montagne du Puy-de-Dôme où je la devais faire, que, même en cette saison qui est ici la plus belle de l'année, j'ai eu peine à rencontrer un jour où l'on pût voir le sommet de cette montagne, qui se trouve d'ordinaire au dedans des nuées, et quelquefois au-dessus, quoique au même temps il fasse beau dans la campagne...*

*Je vous donne ici une ample et fidèle relation [de l'expérience], où vous verrez la précision et les soins que j'y ai apportés, auxquels j'ai estimé à propos de joindre encore la présence de personnes aussi savantes qu'irréprochables, afin que la sincérité de leur témoignage ne laissât aucun doute de la certitude de l'expérience...*

*La journée de samedi dernier 19 de ce mois fut fort inconstante : néanmoins, le temps paraissant assez beau sur les cinq heures du matin, et le sommet du Puy-de-Dôme se montrant à découvert, je me résolus d'y aller pour y faire l'expérience. Pour cet effet, j'en donnai avis à plusieurs personnes de condition de cette ville de Clermont, qui m'avaient prié de les avertir du jour que j'irais, dont quelques-unes sont ecclésiastiques et les autres séculières...*

*Nous fûmes donc ce jour-là tous ensemble sur les huit heures du matin dans le jardin des Pères Minimes qui est presque le plus bas lieu de la ville, où fut commencée l'expérience en cette sorte.*

*Premièrement, je versai dans un vaisseau seize livres de vif-argent que j'avais rectifié durant les trois jours précédents et ayant pris deux tuyaux de verre de pareille grosseur, et longs de quatre pieds chacun, scellés hermétiquement par un bout et ouverts par l'autre, je fis en chacun de ceux-ci l'expérience ordinaire du vide dans ce même vaisseau, et ayant approché et joint les deux tuyaux l'un contre l'autre sans les tirer hors de leur vaisseau, il se trouva que le vif-argent qui était resté en chacun deux était à même niveau, et qu'il y en avait en chacun creux, au-dessus de la superficie de celui du vaisseau, vingt-six pouces trois lignes et demie. Je refis cette expérience dans ce même lieu, dans les deux mêmes tuyaux, avec le même vif-argent et dans le même vaisseau deux autres fois il se trouva toujours que le vif-argent des deux tuyaux était à même niveau et en la même hauteur que la première fois. Cela fait, j'arrêtai à demeure l'un de ces deux tuyaux sur son vaisseau en expérience continue. Je marquai au verre la hauteur du vif-argent et, ayant laissé ce tuyau en sa même place, je priai le R.P. Chastin, l'un des religieux de la maison, homme aussi pieux que capable, et qui raisonne très bien en ces matières, de prendre la peine d'y observer, de moment en moment, pendant toute la journée, s'il y arriverait du changement. Et avec l'autre tuyau, et une partie de ce même vif-argent, je fus, avec tous ces Messieurs, faire les mêmes expériences au haut du Puy-de-Dôme, élevé au-dessus des Minimes environ de 500 toises, où il se trouva qu'il ne resta plus dans ce tuyau que la hauteur de vingt-trois pouces deux lignes de vif-argent, au lieu qu'il s'en était trouvé aux Minimes, dans ce même tuyau, la hauteur de 26 pouces 3 lignes et demie, et ainsi, entre les hauteurs du vif-argent de ces deux expériences, il y eut trois pouces une ligne et demie de différence ce qui nous ravit tous d'admiration et d'étonnement, et nous surprit de telle sorte, que, pour notre satisfaction propre, nous voulûmes la répéter. C'est pourquoi je la fis encore cinq autres fois très exactement, en divers endroits du sommet, de la montagne, tantôt à couvert dans la petite chapelle qui y est, tantôt à découvert, tantôt à l'abri, tantôt au vent, tantôt au beau temps, tantôt pendant la pluie et les brouillards qui nous y venaient voir parfois, ayant à chaque fois purgé soigneusement d'air le tuyau il s'est toujours trouvé la même hauteur de vif-argent de 23 pouces 2 lignes, qui font les 3 pouces une ligne et demie de différence d'avec les vingt-six pouces trois lignes et demie qui s'étaient trouvés aux Minimes. Ce qui nous satisfît pleinement.*

*Après, en descendant la montagne, je refis en chemin la même expérience, toujours avec le même tuyau le même vif-argent et le même vaisseau, en un lieu appelé La Font de l'Arbre, beaucoup au-dessus des Minimes, mais*

beaucoup plus au-dessous du sommet de la montagne ; et là je trouvai que la hauteur du vif-argent resté dans le tuyau était de 25 pouces. Je la refis une seconde fois en ce même lieu, et le dit sieur Mosnier un des ci-devant nommés, eut la curiosité de la faire lui-même : il la fit donc aussi en ce même lieu, et il se trouva toujours la même hauteur de vingt-cinq pouces, qui est moindre, que celle qui s'était trouvée aux Minimes, d'un pouce trois lignes et demie, et plus grande que celle que nous venions de trouver au haut du Puy-de-Dôme d'un pouce 10 lignes et demie ce qui n'augmentait pas peu notre satisfaction, voyant la hauteur du vif-argent se diminuer suivant la hauteur des lieux.

Enfin, étant revenus aux Minimes, j'y trouvai le vaisseau que j'avais laissé en expérience continue, en la même hauteur où je l'avais laissé, de 26 pouces trois lignes et demie, à laquelle hauteur le R.P. Chastin, qui y était demeuré pour l'observation, nous rapporta n'être arrivé aucun changement pendant toute la journée, quoique le temps eût été fort inconstant, tantôt serein, tantôt pluvieux, tantôt plein de brouillard, et tantôt venteux.... »

A noter qu'une autre preuve d'une variation de la pression atmosphérique avec l'altitude est donnée par le fait qu'un ballon gonflé à l'hélium s'élève vers le ciel : en effet, la poussée d'Archimède représentant la résultante des forces pressantes atmosphériques s'exerçant sur le ballon, il y a donc plus de pression en dessous qu'au dessus du ballon de sorte que la résultante des forces pressantes est verticale et ascendante.

Voici un site qui peut donner des idées d'activités autour de la pression atmosphérique :

[http://sfp.in2p3.fr/auvergne/Graines/Graine\\_BlaisePascal.pdf](http://sfp.in2p3.fr/auvergne/Graines/Graine_BlaisePascal.pdf)

## Ventouses.

La ventouse permettant de fixer le GPS de l'observateur sur le pare-brise de son automobile a un diamètre de 9 cm. Si le contact entre le pare-brise et la ventouse était optimum, cette dernière subirait de la part de la pression atmosphérique (1 bar) une force de 636 N, ce qui correspond au poids d'une masse d'environ 65 kg : c'est largement suffisant pour soutenir un GPS de quelques centaines de grammes. Bien sûr, tout dépend de la qualité du contact entre la ventouse et le pare-brise ; en particulier, l'air sous la ventouse doit être chassé au mieux.

Il existe des ventouses pneumatiques de portage — pour vitres, tôles,... — munies d'une petite pompe à vide qui peuvent supporter des charges de 200 kg. Elles ont un diamètre de 20 cm, ce qui correspondrait à une borne supérieure de 320 kg de charge. La surface efficace de la ventouse est cependant inférieure à la surface géométrique et le constructeur se doit de donner une marge de sécurité à ces ventouses. Ethan Hunt interprété par Tom Cruise dans *Mission Impossible III* utilise de telles ventouses au cours de ses aventures mouvementées. On a même réalisé un dispositif tenant de l'usine à gaz, le *gekkomat*®, permettant à un être humain de grimper à l'aide de 4 ventouses sur une paroi verticale d'immeuble. La marque précédente fait référence au *gekko*, un type de lézard gecko, dont les membres sont pourvus de *setæ*, à savoir des poils à base de kératine, en densité de plusieurs milliers par mm<sup>2</sup> et qui se ramifient à leur extrémité en poils extrêmement fins, de l'ordre du demi-micromètre. Les forces de Van der Waals apparaissant alors entre les extrémités des *setæ* et un support offrent une qualité d'adhérence exceptionnelle permettant aux gekkos d'escalader pratiquement toutes les surfaces. Mais dans ce cas, la pression atmosphérique ne joue aucun rôle.

L'effet ventouse peut aussi être observé avec la cloche à vide : essayez de déplacer cette cloche une fois une fois le « vide » fait...



*Expérience des hémisphères de Magdebourg*

L'expérience la plus spectaculaire en la matière fut certainement réalisée en 1654 par le bourgmestre de Magdebourg, Otto von Guericke (1602-1686). S'aidant de la première pompe à vide digne de ce nom qu'il avait inventée quatre ans plus tôt, il fit en effet le « vide » entre deux hémisphères de 80 cm de diamètre soigneusement accolés. Il ne fallut pas moins de seize chevaux, huit par hémisphère, pour séparer ces derniers. En effet, la pression atmosphérique exerce sur chaque hémisphère une force de... 50265 N équivalente au poids d'une masse de plus de cinq tonnes. A noter qu'il aurait pu économiser huit chevaux en accrochant l'un des hémisphères à une muraille... Mais Newton n'avait alors que 11 onze ans et était encore loin d'énoncer le principe de l'action et de la réaction.

Et puis l'expérience eût été moins spectaculaire...

Dans l'un des épisodes d'*Alien*, le lieutenant Ellen Ripley jouée par Sigourney Weaver a raison de la bête en la collant contre un hublot qui se brise. La pression dans le vaisseau spatial étant de 1 bar, le dos de la bête donnant sur le « vide » intergalactique et la surface qu'elle offre à la pression dans le vaisseau étant d'un bon mètre carré, la force qui l'écrase alors est de l'ordre de 10<sup>5</sup> N, soit en gros le poids d'une masse de 10 tonnes. On a beau être un alien, c'est dur à supporter.

## 2–Lien entre agitation thermique et température : équation d'état des gaz parfaits

### De la plongée sous-marine

Lorsqu'on plonge au fond d'une piscine, on ressent nettement les effets de pression, en particulier sur les sinus et les tympans. L'air dans l'oreille interne étant en sous-pression par rapport au milieu extérieur, il y a déformation des tympans vers l'intérieur — on ressent un effet similaire en altitude, mais pour une raison inverse, les tympans se courbant vers l'extérieur. On rétablit en général l'équilibre en insufflant de l'air dans l'oreille interne par le biais des trompes d'Eustache.

En plongée plus profonde, les effets de pression sont plus notables et peuvent conduire à des accidents. En effet, pour chaque mètre supplémentaire de profondeur dans l'eau, la pression augmente en gros de 0,1 bar, si bien qu'à 10 m de profondeur, le corps humain subit une pression double de la pression atmosphérique, à 20 m triple, etc... Les cavités du corps humains voient donc leur volume diminuer en raison inverse de la pression conformément à la loi de Boyle-Mariotte ce qui peut avoir des répercussions physiologiques non négligeables — barotraumatismes.

Par ailleurs, les pressions partielles des composants de l'air — dioxygène, diazote, gaz rares,... — varient en augmentant avec la pression conformément à la loi de Dalton. Or, si la pression partielle de l'oxygène est de 0,2 bar dans l'atmosphère, elle passe à 0,5 bar à 15 m de profondeur et peut ensuite donner lieu à de l'hypéroxie — difficultés respiratoires, crises épileptiques,... C'est pourquoi les mélanges respiratoires utilisés par les plongeurs dépendent de la profondeur de plongée.

Enfin, l'augmentation de pression favorise la dilution des gaz dans les liquides du corps humains. Aussi, lorsque le plongeur remonte, ces gaz dilués se libèrent au fur et à mesure que la pression diminue. Si la remontée du plongeur est trop rapide, ce gaz se libère rapidement sous forme de bulles — phénomène analogue à celui observé lors de l'ouverture d'une bouteille d'eau gazeuse ou de champagne, la pression avant ouverture pouvant valoir jusqu'à six fois la pression atmosphérique. Cette libération de gaz peut être fatale au plongeur (accidents circulatoires, douleurs articulaires, paraplégie,...). C'est pourquoi il doit s'astreindre à limiter sa vitesse de remontée et à observer des paliers de décompression afin de rétablir l'équilibre mécanique entre son corps et son milieu extérieur. En tout état de cause, il lui est fortement déconseillé de prendre l'avion dans les heures suivant sa plongée.

Dans le film *Abyss* de James Cameron (1986), après une remontée d'une station sous-marine du fin fond d'une fosse océanique à la surface et ce en quelques secondes, l'un des personnages remarque opportunément qu'ils n'auraient pas dû survivre à un tel traitement. Mais la technologie extraterrestre est capable de tout...

*Pour en savoir plus, en n'oubliant pas de croiser les informations proposées :*

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Plong%C3%A9e\\_sous-marine](http://fr.wikipedia.org/wiki/Plong%C3%A9e_sous-marine)  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Ordre\\_de\\_grandeur\\_\(pression\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ordre_de_grandeur_(pression))

## Pressions et températures interstellaires

La loi des gaz parfaits sous la forme ancestrale  $pV=nRT$  n'est pas toujours adaptée aux problèmes posés. La forme  $p = R/M \rho_m T$ , où  $M$  est la masse molaire du gaz et  $\rho_m$  sa masse volumique, est parfois plus intéressante puisqu'elle ne met en jeu que des variables intensives. Et il existe une expression universelle de cette loi, indépendante du gaz considéré. En appelant  $n$  le nombre d'entités élémentaires par unité de volume (en  $m^{-3}$ ), on a en effet  $p = k_B n T$  où  $k_B = R/N_A \approx 1,4 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$  est la constante de Boltzmann et  $N_A$  le nombre d'Avogadro.



Nébuleuse diffuse NGC 604 dans la galaxie M33

L'important rayonnement ultra violet émis par une étoile a pour effet d'ioniser les atomes du gaz qui se trouve alentour et lorsque les ions se recombinent, il réémettent par fluorescence dans le domaine visible. L'astronome peut alors observer des illuminations splendides : ce sont les *nébuleuses*, les plus faciles à voir étant *diffuses*, à savoir résultant de la présence de nombreuses étoiles, comme par exemple celle montrée ci-contre. De telles nébuleuses peuvent couvrir plusieurs centaines d'années lumière. Le gaz qui les constitue est très dilué, de un à 10 millions d'atomes par mètre cube, cette densité variant d'un point à un autre. La température de ce gaz est elle aussi variable d'un point à un autre, mais elle reste de l'ordre d'une dizaine de milliers de kelvins

— ces atomes sont animés d'une vitesse de l'ordre de la dizaine de kilomètre par seconde. Ce qui nous permet d'évaluer la pression dans ces nébuleuses : de l'ordre de la centaine de femtopascals —  $1 \text{ fpa} = 10^{-15} \text{ pa}$ .

Entre les nébuleuses et les nuages moléculaires, on trouve aussi de la matière extrêmement diluée, d'une densité de l'ordre de 10 000 atomes par mètre cube et pour une température de l'ordre du million de degré — vitesse quadratique moyenne de ces atomes de l'ordre de la centaine de kilomètres par secondes. La pression dans ces zones est donc aussi de l'ordre de la centaine de femtopascals.

Bien sûr, la notion de pression ici n'a de sens qu'en relation avec les dimensions caractéristiques du système : il n'y aurait aucun sens à vouloir mesurer cette pression avec un manomètre usuel puisque dans un  $\text{cm}^3$  d'un tel milieu, il n'y a en moyenne aucun atome.

*Pour en savoir plus, en n'oubliant pas de croiser les informations proposées :*

<http://www.cosmovisions.com/phch.htm>

## L'ultra froid et l'ultra chaud

Si 0 K est une température théoriquement inatteignable, le dernier record en date en matière de basses température est de 100 picokelvins —  $10^{-10} \text{ K}$ , un dix milliardième de Kelvin ! — obtenu en 1999 par une équipe du laboratoire de basses températures de l'Université Technique d'Helsinki. A ce niveau de température, celle-ci ne traduit qu'une agitation résiduelle d'une population d'entités élémentaires. En l'espèce, la population était constituée de noyaux d'un monocristal de rhodium placé dans un champ magnétique pouvant atteindre la valeur de 7 teslas. Le refroidissement du cristal se fait en plusieurs temps. La première étape permet d'abaisser la température du cristal jusqu'à 4,2 K

grâce à un bain d'hélium liquide. Ensuite le mélange d'hélium 3 et d'hélium 4 permet d'extraire encore de l'énergie du cristal jusqu'à lui faire atteindre des températures de l'ordre du millikelvin. Enfin, après avoir appliqué un fort champ magnétique — ce qui oriente et donc ordonne les spins nucléaires du cristal —, on isole thermiquement l'échantillon cristallin de l'extérieur — pour que ce dernier ne puisse le « réchauffer » — et on le désaimante lentement pendant plusieurs heures ce qui « fige » l'ordre obtenu par voie magnétique — désaimantation adiabatique. Dans le cas de l'obtention du record de température de 1999, on effectua toute une série de désaimantations adiabatiques successives. Pour en savoir plus : [http://tl.tkk.fi/wiki/LT/%C2%B5KI\\_Group/Cryogenics](http://tl.tkk.fi/wiki/LT/%C2%B5KI_Group/Cryogenics). Se pose alors le problème de la mesure de température : il n'est pas question ici d'utiliser un thermomètre usuel. En fait, la température est déterminée par voie magnétique, chaque cycle d'aimantation-désaimantation conduisant à une température finale s'exprimant en fonction de la température initiale et du champ magnétique appliqué.

A l'autre bout de l'échelle, le record de plus haute température obtenue sur Terre a été obtenu au Japon en 2006 dans le cadre d'une collaboration entre une équipe japonaise, une française sise à Bordeaux — participant au projet *Laser Mégajoule* — et une australienne. Comment cela a-t-il été possible ? En focalisant un faisceau laser de 800 nm de longueur d'onde (rouge) délivrant des impulsions de 0,15 picoseconde ayant une énergie de 0,1 microjoule sur un saphir (riche en alumine). La température obtenue avec une vitesse de croissance de  $10^{18}$  kelvins par seconde au point de focalisation fut alors de 500 000 kelvins — soit près de 100 fois la température de la surface solaire — mais ce uniquement pendant quelques dixièmes de picoseconde. Ce record s'accompagne d'une seconde performance : avoir réalisé une densité surfacique d'énergie de 107 mégajoule par mètre carré, de l'ordre de ce que l'on peut trouver dans les étoiles.

*Pour en savoir plus, en n'oubliant pas de croiser les informations proposées :*

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Ordre\\_de\\_grandeur\\_\(temp%C3%A9rature\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Ordre_de_grandeur_(temp%C3%A9rature))

[http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/chimie-1/d/record-de-temperature-dans-un-cristal-chauffe-au-laser\\_8942/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/chimie-1/d/record-de-temperature-dans-un-cristal-chauffe-au-laser_8942/)