Nous nous sommes quittés la semaine dernière en plein débat sur le vide, débat où les philosophes de l’antiquité cherchaient à savoir si le vide existe ou pas, si le vide est nécessaire ou au contraire impossible. Un débat purement métaphysique où les arguments pour ou contre l'existence du vide relevaient du seul raisonnement logique qui pouvait aussi bien conclure à l’existence qu’à la non-existence du vide.

Si les hypothèses et les arguments de rhétorique concernant le vide étaient nombreux, était néanmoins absente du débat une méthode scientifique s’appuyant sur l’expérience qui aurait permis de valider une hypothèse plutôt qu’une autre. Et c’est ainsi qu’un système purement rationnel, à la logique implacable et d’une parfaite cohérence interne imposa l’ hypothèse fausse de Platon et d’Aristote, une hypothèse qui se mua en dogme : le vide n'existe pas, le vide est impossible !

Le dogme de l’impossibilité du vide

Mille ans plus tard ce dogme est plus que jamais d’actualité. Dès le haut Moyen Age, les matières relevant de l'origine du monde et de la nature du monde physique sont enseignées dans les universités du monde chrétien en s'appuyant sur une synthèse de la pensée de Platon (le Timée) et du dogme chrétien, c’est la scolastique latine forgée par Saint Augustin (4-5ème siècle) : le démiurge de Platon est un avatar acceptable du Dieu créateur de la Bible.

A l'occasion des invasions arabes du 12ème siècle, les ouvrages d'inspiration aristotélicienne des Avicenne, Averroès et Maimonide sont introduits en occident et traduits en latin. Dès lors, la physique d'Aristote pénètre l'enseignement théologique, souvent au prix de synthèses acrobatiques.

Comment en effet réconcilier le dogme du vide et le monde incréé d'Aristote avec la toute puissance de Dieu créateur du monde à partir du néant (faire passer le monde de l'état d'inexistence à l’existence, « AU COMMENCEMENT, Dieu créa le ciel et la terre ») (Saint Thomas d'Aquin, 13ème siècle, père de l'Eglise).

La négation du vide reste cependant un dogme, comme une nécessité, entre autres, pour expliquer l'unicité et l'immobilisme du monde :
- Une pluralité de mondes, supposés sphériques, créerait des espaces vides entre les convexités des sphères contiguës ;
- Un Monde en mouvement devrait laisser du vide derrière lui et pénétrer du vide devant lui.

La Nature a horreur du vide

Roger Bacon, XIII^{ème}

Le très influent philosophe et savant anglais, Roger Bacon (13ème siècle), pour interpréter d'une nouvelle façon les expériences des mécaniciens de l'Antiquité, va renforcer le dogme de l'impossibilité du vide en complétant les principes de la dynamique d'Aristote.

En plus des mouvements naturels et violents dont les corps sont animés, il ajoute une nouvelle loi de la nature, celle qui force un corps à rester contigu aux autres corps qui se déplacent avec lui. Ainsi aucun vide ne peut exister entre les corps, c'est la loi de l'horreur du vide.

Cette loi se manifeste par une véritable force capable d'agir sur les objets :

- Prenez une paille aspirez l'air par un bout, l'air entre par l'autre bout ;
- Bouchez l'un des bouts, aspirez l'air par l'autre bout, la paille s'écrase sur elle-même;
- Plongez le bout ouvert de la paille dans un liquide, aspirez l'air par l'autre bout, le liquide, comme collé à l'air, prend la place de l'air aspiré.

Une autre manifestation de cette loi de la nature : remplissez une bouteille d'eau, posez la sur le rebord de fenêtre par une nuit d'hiver glaciale. L'eau en gelant se contracte (nous sommes au Moyen-Âge et on pensait que l'eau était plus dense dans sa phase solide que dans sa phase liquide) et la nature, par horreur du vide, casse la bouteille pour empêcher le vide de se manifester. On n'avait pas compris à l'époque que l'eau est le seul corps plus dense dans sa phase liquide que sa phase solide (le glaçon flotte dans l'eau) : [masse volumique = $998\ {\mathrm kg/cm^3}$ à $2°C$; $1000\ {\mathrm kg/cm^3}$ à $4°C].

Et dans la même veine :
- elle assure la cohésion de deux plaques de marbres parfaitement lisses appliquées l’une sur l’autre
- etc...

Pour freiner l'influence de la pensée aristotélicienne, le pape Jean XXI charge en 1270, l'évêque de Paris, Etienne Tempier, de relever ce qui chez Aristote est incompatible avec la foi chrétienne. Parmi les 219 propositions à bannir, deux réhabilitent le vide ... en quelque sorte :

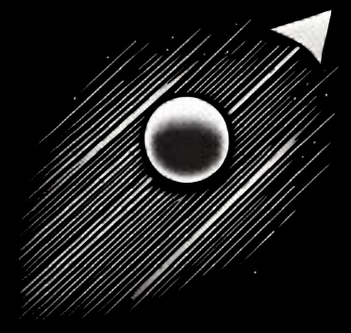
- *Que la Cause Première (Dieu) ne pourrait pas faire plusieurs mondes* -> Dieu peut très bien créer un autre monde et que cet autre monde serait produit dans le néant entourant notre monde et qu'entre les deux mondes s'intercalerait un vide d'une dimension bien déterminée. (art 34)

- *Que Dieu ne pourrait mouvoir les cieux d’un mouvement rectiligne. La raison est qu’alors un vide subsisterait* -> Dieu pourrait réaliser un espace vide mais on ne rencontre jamais dans la nature un lieu privé de tout corps, parce que les forces naturelles empêchent qu'il soit produit. (art 49)

Le vide devient théoriquement/théologiquement possible bien qu'il n'existe pas dans la nature qui en a toujours horreur.

L’impetus, un début de révolte

Jean Buridan, XIV^{ème}



L'Eglise ayant fendillé le dogme de l'impossibilité du vide, certains penseurs se risquèrent à s'y attaquer à leur tour.

Parmi ceux-ci, le philosophe français Jean Buridan, remet en question la dynamique d'Aristote qui soulignait l'impossibilité du vide : lorsque la cause du mouvement cesse (pierre lancée) l'air déplacée pousse par derrière la pierre qui peut ainsi continuer son mouvement, ce qui est conforme à l'observation. Dans le vide, rien ne peut pousser la pierre, donc le mouvement dans le vide est impossible, donc le vide n'existe pas.

Buridan ressort des armoires de l'histoire la théorie de l'impetus imaginée au 6ème siècle par Jean Philopon d'Alexandrie :

"Tandis que le moteur meut le mobile, il lui imprime un certain **impetus** qui permet au mobile de se déplacer, une certaine puissance capable de mouvoir ce mobile dans la direction même où le moteur meut le mobile. Plus grande est la vitesse avec laquelle le moteur meut le mobile, plus puissant est l'impetus qu'il imprime en lui." Il considère l'impetus proportionnel au poids du corps.

Du coup le mouvement dans le vide devient possible, même si Buridan nie l'existence du vide.

Il faudra encore attendre 300 ans avant que la doctrine de “l'horreur du vide” soit sérieusement ébranlée. En attendant il était admis que seul Dieu pouvait produire le vide, mais non les êtres créés ni la nature.

La renaissance du vide

Au 16ème siècle, en pleine Renaissance, les idées vacuistes de l'Antiquité s'immiscent à nouveau dans les débats sur le vide.

- Comme les atomistes, on invoque le vide se confondant avec l'espace receptacle pour les corps ;
- Comme les stoïciens, on place le monde fini dans un univers infini totalement vide et antérieur à l'existence du monde ;
- Comme les mécaniciens, on considère l'existence de minuscules espaces vides entre les particules de matière

Giordano Bruno est le plus virulent et le plus hardi des rebelles à l'encontre de l'enseignement d'Aristote, qui selon lui "n'a rien compris à la nature du mouvement et de l'univers".

Il identifie un espace infini au vide :

"Il y a un seul espace universel, une seule et vaste immensité que nous pouvons librement appelé le vide ; en celui sont d'innombrables globes pareils à celui sur lequel nous vivons et croissons."

Et il réinvente l'éther de l'antiquité : l'univers infini est rempli par un mystérieux fluide qui entoure les corps et les mondes mais les pénètre également et s'insinue en toute chose.

On sait les misères fatales que lui a causées l'Inquisition.

C'est au 17ème siècle que le vide va jouer un rôle prépondérant dans le renouvellement des sciences et de la naissance de la physique. Les grands artisans de ce chamboulement, vous les connaissez, Galilée et Newton.

Galilée et Newton imaginèrent d'abord le vide de la physique que nous allons distinguer du vide commun dont nous allons parler par la suite.

Leur objectif était d'établir les lois fondamentales de la physique à partir desquelles il est possible de rendre compte qualitativement mais aussi quantitativement des processus observés.

Pour ce faire, ils imaginent un environnement idéalisé, débarrassé de tout ce qui modifie dans la réalité le processus étudié, dans lequel s'expriment les lois fondamentales.

Quitte ensuite, de compléter les lois fondamentales par des lois phénoménologiques afin de rendre compte de l'expérience dans le monde réel.

Cet environnement idéalisé est ce que j'appelle le vide de la physique, et peu importe si ce vide existe dans la nature ou non ou même si on peut le réaliser.

Ainsi pour concevoir les lois fondamentales du mouvement, Galilée place son expérience de pensée dans un vide théorique fictif, caractérisé par une densité nulle et l'absence de résistance au mouvement. Peu lui en chaut qu'il existe ou non.

Rappelez-vous qu'Aristote avait, uniquement par le raisonnement, conclut à l'inexistence du vide pour éviter que les corps en chute libre dans le vide acquièrent une vitesse infinie.

Galilée commence par remettre en cause cette loi de proportionnalité inverse entre vitesse d'un corps et densité du milieu dans lequel il se meut, en faisant des mesures, ce qu'Aristote n'a certainement pas fait. Et finit par énoncer la loi de la chute libre.

"Un caillou qui tombe dans la mélasse est très vite stoppé, mais la résistance à son mouvement s'affaiblit dans l'eau et plus encore dans l'air. S'il n'y a plus du tout de résistance au mouvement du milieu alors tous les corps tomberaient à la même vitesse [...] Nous avons vu que l'écart des vitesses entre mobiles de poids spécifiques différents augmentent avec la densité des milieux [...] C'est alors qu'il me vint à l'esprit que si l'on supprimait totalement la résistance du milieu, tous les corps descendraient avec la même vitesse.[...] Un grain de sable tombe à la même vitesse qu'une meule de moulin" écrit-il dans dans "Discours et démonstrations mathématiques appartenant à deux sciences nouvelles".

Ainsi, à l'inverse d'Aristote qui s'était intéressé au mouvement dans le vide uniquement pour démontrer l'impossibilité du vide, Galilée se sert de l'idée du vide comme un laboratoire fictif idéalisé pour établir les lois mathématiques du mouvement , faisant ainsi abstraction de ce qui dans une expérience réelle modifie le mouvement idéal, comme le frottement ou la poussée d'Archimède.

Il s'est bien entendu abstenu de se prononcer sur l'existence du vide ...

Laissons là pour l'instant le vide de la physique, nous y reviendrons la semaine prochaine. Intéressons-nous au vide commun.

Alors que la scolastique affirmait que le vide peut exister mais que ni la nature, ni les misérables mortels que nous sommes pouvons créer le vide, une poignée de savants vont au contraire démontrer par l'expérience la possibilité de créer un vide, le vide commun considéré comme l'absence de toute chose matérielle et ainsi acter la mort du vide métaphysique.

Les héros de cet exploit ont pour noms Galilée, Torricelli et Pascal.

vide commun

Les fontainiers de Florence

Galilée, *Discours et démonstrations mathématiques appartenant à deux sciences nouvelles*, 1638

Dans *Discours et démonstrations mathématiques appartenant à deux sciences nouvelles*, nos trois compères vénitiens, Sagredo, Simplicio et Salviati discutent dès la première des quatre journées de la problématique du vide.

Sagredo soulève le problème rencontré par les fontainiers en général et en particulier les fontainiers de Florence. Ces derniers étaient renommés pour réaliser de spectaculaires fontaines à l'aide de pompes à eau aspirantes installées sur les ponts de l'Arno. Cependant, dès que la hauteur entre le pont et le niveau d'eau de l'Arno atteignait environ 10 mètres, l'eau ne montait pas plus haut, même si l'on continuait à pomper.

De même, pour siroter votre boisson favorite à l'aide d'une paille, n'essayez pas d'utiliser une paille de plus de 10 mètres de long .... vous pourrez aspirer autant que cela se peut, le liquide n'atteindra jamais votre bouche.

Pourquoi cette limite de 10 mètres ?

Sagredo : "*La première fois ou j'assistais à cet incident, je crus que l'appareil était détérioré ; mais l'artisan que j'avais trouvé pour faire la réparation me dit qu'il n'y avait aucun défaut, sinon du côté de l'eau qui, étant trop basse, ne souffrait plus d'être élevée aussi haut. Aucune pompe, ni aucune machine agissant par aspiration n'avait le pouvoir de faire monter l'eau d'un cheveu au delà de 18 coudées, ce chiffre représentant la hauteur maximale, quelque soit la largeur des pompes [...] Car ce qui est attiré dans la pompe n'est-il pas, en somme, un cylindre d'eau qui, attaché par le haut, s'allonge de plus en plus, atteignait finalement ce point au delà duquel, tiré par son propre poids devenu excessif, il se rompt*"

Galilée comprend que le problème ne vient pas d'une limitation technique de la pompe, mais que cette observation est due aux lois de la physique. Et pourtant l'explication qu'il met en avant est de façon surprenante empreinte de reliquats scolastiques qu'il a tant combattus.

Il attribue d'abord l'élévation de la colonne d'eau à la répulsion qu'éprouve la nature pour le vide, répulsion qui se manifeste par une force qui entraine l'eau avec l'air aspirée. Mais quand la colonne d'eau dépasse une certaine hauteur c'est-à-dire dépasse un certain poids, la liaison eau-air rompt sous l'effet de son propre poids, comme le fil rompt lorsqu'on lui attache un poids, une fois une certain poids atteint.

Ainsi la gravité peut devenir suffisante pour vaincre l'horreur du vide et la nature a donc une horreur limitée du vide.

Salviati : "*[...] et comme cette hauteur de 18 coudées fixe par avance la limite jusqu'à laquelle peut se maintenir une quantité d'eau quelconque, que les pompes soient larges, étroites ou minces comme un fétu de paille, chaque fois que nous pèserons l'eau contenue dans un tube de 18 coudées, qu'il soit large ou étroit, nous obtiendrons la valeur de la résistance due au vide pour tous les cylindres pleins, quelque soit leur matière dont le diamètre est identique à celui de la concavité du tube examiné*" (p 19 #65)

Comment Galilée a-t-il pu passer à côté de la bonne explication alors qu'il avait toutes les éléments en main pour interpréter correctement le phénomène ?

Ainsi Isaac Beeckman, que nous avions déjà rencontré l'année dernière à propos de la vitesse de la lumière, fermement opposé au dogme de l'horreur du vide avait exposé en 1629 une théorie sur la pression de l'air.

Rappelons-nous, pour Aristote l'air, élément premier, n'a pas de gravité mais de la légèreté ce qui explique que l'air monte vers son état inné de repos. Plus il y a de l'air, plus il y a de la légèreté et plus elle a tendance à se mouvoir vers le haut. C'est pour cela qu'une outre gonflée flotte, et une outre vide d'air coule !

Pour Beeckman, au contraire, l'air est pesant.

Isaac Beeckman : "J'ai montré que l'air était grave, qu'il nous pressait de tous côtés d'une manière uniforme, en sorte que nous ne souffrons pas de cette pression et que cette gravité est la cause de ce qu'on nomme la fuite du vide [...] L'air repose sur les choses à la manière de l'eau et il les comprime selon la hauteur du fluide qu'elles supportent. Les choses se précipitent avec une grande puissance en un lieu vide, à cause de la grandeur de l'air, qui les surmonte et du poids qui en résulte"

Connaître le poids de l'air

Giovanni Battista Baliani, *1630*

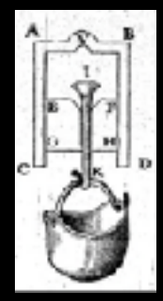
Giovanni Battista Baliani, un ami de Galilée, avait lui aussi attiré son attention
sur le rôle de la pression atmosphérique dans une lettre d'octobre 1630. Il suggère que, l'air ayant un poids, il devrait donc être possible de le mesurer et d'en déduire la force à appliquer pour créer du vide.

"*J'étais parvenu à l'idée suivant laquelle il n'y a pas de répugnance dans la nature des choses à ce que le vide se fasse. Il est cependant difficile à faire, notamment à faire sans violence ; or nous pouvons trouver quelle doit être la valeur de cette violence. Nous sommes au fond de l'immensité (de l'air) et ne ressentons ni son poids ni la compression qu'il exerce de tous côtés sur nous, car notre corps a été fait par Dieu de manière telle qu'il puisse résister à cette compression. (Ce poids), qui doit être très grand, n'est cependant pas infini : il est donc déterminé. Avec une force de proportion convenable, on devrait pouvoir le dépasser et provoquer ainsi le vide. Celui qui voudrait trouver cette proportion devrait connaître la hauteur de l'air et son poids aux différentes hauteurs*"

En fait, il suggère de construire un baromètre !

vide commun

L’eau est 400 fois plus lourde que l’air



Galilée, *Discours et démonstrations mathématiques appartenant à deux sciences nouvelles*, 1638

Galilée, dans son ouvrage rédigé à partir de 1633, a bien suivi la suggestion de Beeckman et Baliani, non seulement admet-il que l'air possède une gravité positive, c'est-à-dire un poids, mais aussi mesure-t-il le poids volumique de l'air. Il trouve que l'air est 400 fois plus légère que l'eau, le chiffre actuel est 773 fois.

Mais il ne fait pas le lien avec le problème rencontré par les fontainiers. Pourquoi ? Galilée vieillissant, âgé de 69 ans, assigné à résidence par l'Inquisition à Arcetri petite commune au sud de Florence, a peut être perdu un peu de son sens de la provocation.

Ou alors Galilée a-t-il pratiqué le "en même temps" avant l'heure.

En effet, les péripatéticiens sont satisfaits puisque l'horreur du vide est démontrée expérimentalement même si la possibilité du vide les inquiète.
Les atomistes eux aussi sont satisfaits puisque l'idée de l'existence du vide est accréditée même si l'obscure cause de son existence les trouble.

Sacré Galilée !

Restent les fontainiers de Florence qui n'ont toujours pas la solution à leur problème : pourquoi n'arrive-t-il pas à faire monter l'eau à l'aide de leur pompe aspirante à plus de 10,3 m de haut ?

vide commun

Premières expériences

Gasparo Berti et Raffaello Magiotti, 1643

Expérience de Gaspare Berti au Couvent des Minimes à Pincio.
Gaspar Schott, *Technica curiosa, sive, Mirabilia artis*, Würzburg 1664

Devant l'insistance des fontainiers, Torricelli va étudier le problème avec des collègues romains Gasparo Berti et Raffaello Magiotti : ils réalisent des expériences à Rome démontrant qu'une colonne d'eau ne peut effectivement pas monter à plus de 10,30 m.

L’étude de la propagation du son dans le vide n’est pas concluante.

Evangelista Torricelli (1608-1647) est un mathématicien et physicien italien, ami fidèle et disciple de Galilée et depuis octobre 1641 son secrétaire jusqu'à la mort de Galilée.

Bien au fait des idées de Beckman et de Baliani, il adopte un point de vue différent de celui de Galilée et attribue l'élévation de l'eau dans une pompe aspirante à une cause extérieure qui pourrait être la pression atmosphérique.

Il va les reproduire à partir de 1643 mais a l'intuition géniale de remplacer l'eau par du mercure.

En effet, si la cause de l'élévation s'exerce sur un liquide de plus grande densité volumique, l'élévation devrait être proportionnellement moindre.

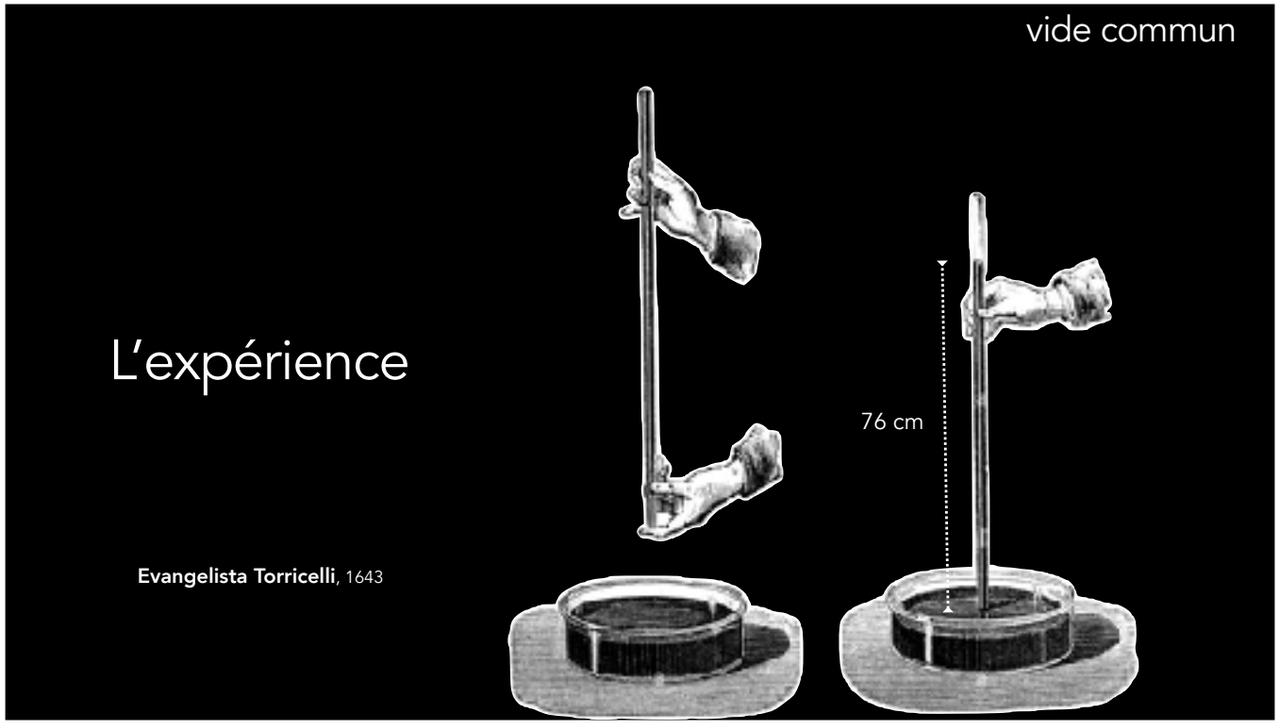
Et il fait le calcul.

vide commun

$$\left.\begin{aligned}\rho_{\text{eau}} &= 997\ \text{kg/m}^3\\ \rho_{\text{Hg}} &= 13579\ \text{kg/m}^3\end{aligned}\right\} \Rightarrow h_{\text{Hg}} = h_{\text{eau}} \times \frac{\rho_{\text{eau}}}{\rho_{\text{Hg}}} = 76\ \text{cm}$$

Evangelista Torricelli, 1643

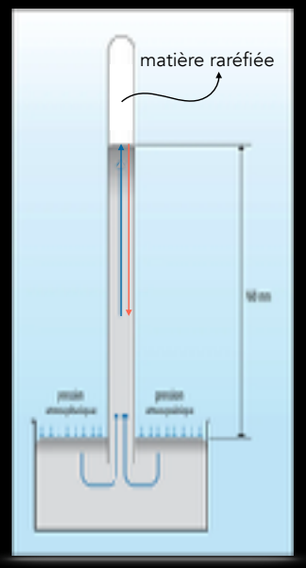
Et il fait le calcul. Hg 13 fois plus dense que l’eau, donc hauteur de Hg d’actant plus petite, soit 10.33/13.6 = 76 cm.



Il fait réaliser un tube en verre de 1m de long fermé à un bout, le remplit de mercure, puis bouchant le bout ouvert, il le plonge dans une cuve remplie de mercure : il observe que le tube se vide partiellement, le mercure restant toujours à une hauteur d'environ 76 cm au-dessus du niveau de mercure dans la cuve .... exactement la hauteur prédite en supposant que la hauteur est inversement proportionnelle à la densité du fluide.

vide commun

L'explication



$$P_{air} = P_{mercure}$$

Evangelista Torricelli, 1643

Il donne l'explication suivante du phénomène observé : l'espace abandonné par le mercure est vide ; la suspension du mercure dans le tube n'est pas due à l'horreur du vide mais à une cause extérieure, à savoir le poids de l'air qui pèse sur le mercure dans la cuve et qui fait équilibre au poids de la colonne de mercure.

- Ainsi une colonne de mercure haute de 76 cm pèse autant une colonne d'eau haute de 10,33 m ou une colonne d'air d'environ 8km c'est-à-dire la pression atmosphérique.

- Dans une lettre à son ami Ricci : »Nombre de personnes sont d'avis qu'il est impossible de créer un vide ; d'autres pensent que c'est possible, mais très difficilement, car il faut surmonter une résistance naturelle [...] Pour ma part, j'estime que s'il existe une résistance à la création d'un vide, on ne doit certainement pas l'attribuer au vide lui-même. Cette résistance doit dépendre de circonstances extérieures [...] Nous vivons submergés dans un océan d'air, et nous savons par des expériences incontournables que cet air exerce un poids. En fait, l'air est environ 400 fois moins lourd que l'eau à la surface de la Terre [...] Le poids de l'air déterminé par Galilée est correct aux altitudes où résident la majorité des hommes et des bêtes, mais ne l'est plus aux hautes cimes des montagnes : là, l'air est extrêmement pur et considérablement plus léger que les quatre centièmes du poids de l'eau."

- A la question de savoir ce qui se trouve dans le haut du tube, Torricelli très méfiant vis-à-vis de l'Inquisition se contentera de dire qu'il s'y trouve "une matière extrêmement raréfiée".

- Pour la première fois dans l'histoire des sciences, Torricelli réalise une expérience de physique sur le vide, non pas simplement pour faire le vide, mais pour avoir un instrument qui peut indiquer les changements de l'air, tantôt plus lourd et plus épais, tantôt plus léger et plus subtil.

- Lettre de Torricelli à Ricci (11 juin 1644) : "on faisait une sorte d'expérience philosophique concernant le vide, non pas simplement pour faire le vide mais pour faire un

instrument qui indiquât les changements de l'air, tantôt plus lourd et plus dense, tantôt plus léger et plus ténu. Nous avons fait de nombreux vases de verre, grands, avec des cols longs de deux brasses (=1,166m). On les remplissait de vif-argent puis, en fermant l'extrémité avec un doigt, on les retournait dans un vase où se trouvait du vif-argent; on les voyait se vider, et il n'arrivait rien dans le vide qui se vidait. Le col restait toujours plein jusqu'à une hauteur d'une brasse un quart et un doigt. Pour montrer que le haut du vase était parfaitement vide on remplissait la cuvette inférieure avec de l'eau et, soulevant petit à petit le vase jusqu'à ce que son extrémité arrive au niveau de l'eau, on voyait alors le vif-argent descendre du col et celui-ci se remplir d'eau avec une force terrible. Je prétends moi que la force vient de l'extérieur. Sur la surface de la liqueur qui se trouve dans la cuvette pèse une hauteur d'air de cinquante milles ; quelle merveille y-a-t-il alors à ce que le vif-argent, qui n'a ni inclination ni répugnance à être dans le verre puisqu'il n'y a rien, s'y élève jusqu'à se trouver en équilibre avec le poids de l'air extérieur qui le pousse ? Dans un vase semblable, mais beaucoup plus long, de l'eau montera jusqu'à presque dix huit brasses, c'est-à-dire d'autant plus haut que le vif-argent que celui-ci est plus lourd que l'eau, pour s'équilibrer par la même cause qui les pousse l'un et l'autre."

vide commun

$$m = \frac{2\pi a^2 f}{g} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} < p_S(\phi) > \cos\phi d\phi = 5.1480 \times 10^{18} \text{ kg}$$

The Mass of Atmosphere: a constraint on global analysis, Journal of Climate 18:6 (2005) p. 864

Aujourd'hui on peut connaître très précisément quel est le poids de l'air

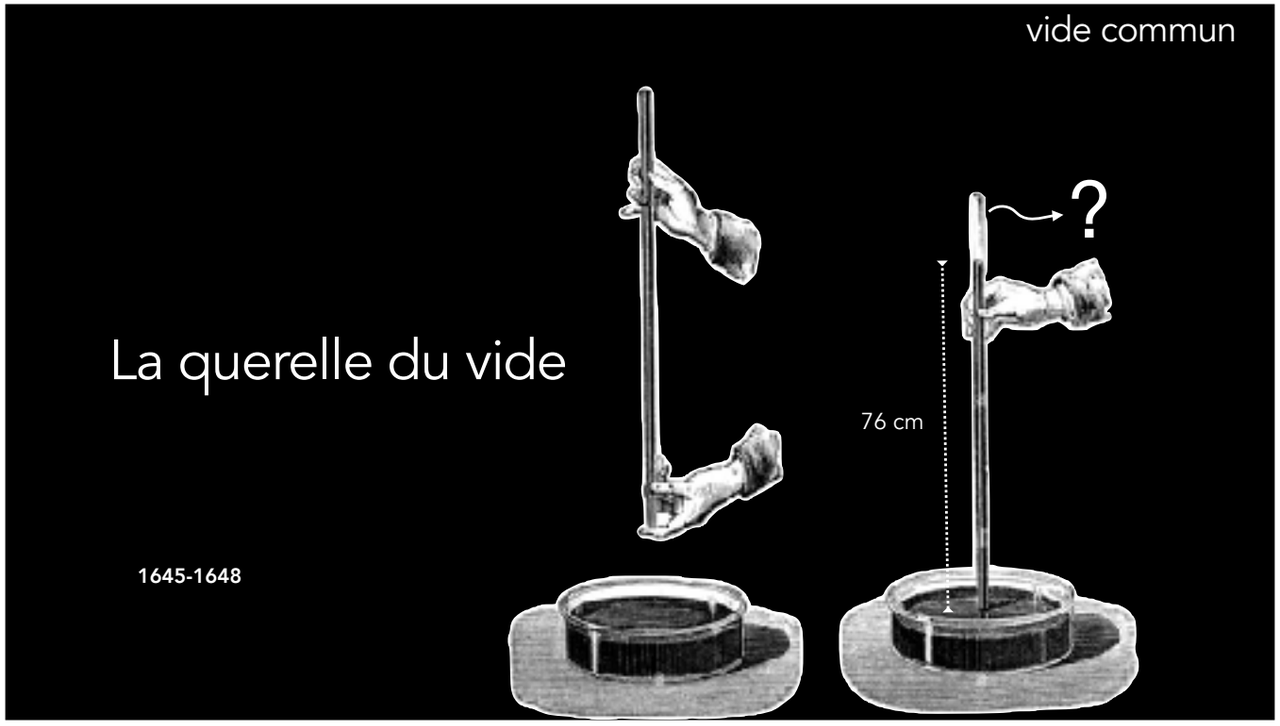
f = 1.0020 décrit l'effet de la forme de la Terre et la variation de la gravité avec la hauteur et la latitude ;
a = 6378.39 km rayon de la Terre à l'équateur
g =9.80665 m/s gravité à 45° de latitude
<p_S> est la pression atmosphérique moyenne à la surface de la Terre

Connaissant la superficie de la Terre = 5.10067420 x 10^{14} , on peut déduire la pression de l'atmosphère égale à 10 tonnes /m^2, valeur qui correspond à 760 mm de Hg (masse volumique = 1.2 kg/m3 à 21°C)

Si nous ne percevons pas la force que l'air exerce sur nous, c'est parce que la pression interne de notre corps compense exactement la pression engendrée par cette force.

En revanche, lorsque vous aspirez l'air dans la paille par une des extrémités alors que l'autre extrémité est bouchée, la paille s'écrase à cause de la différence de pression entre celle sur les parois extérieures et celle plus faible sur les parois intérieures.

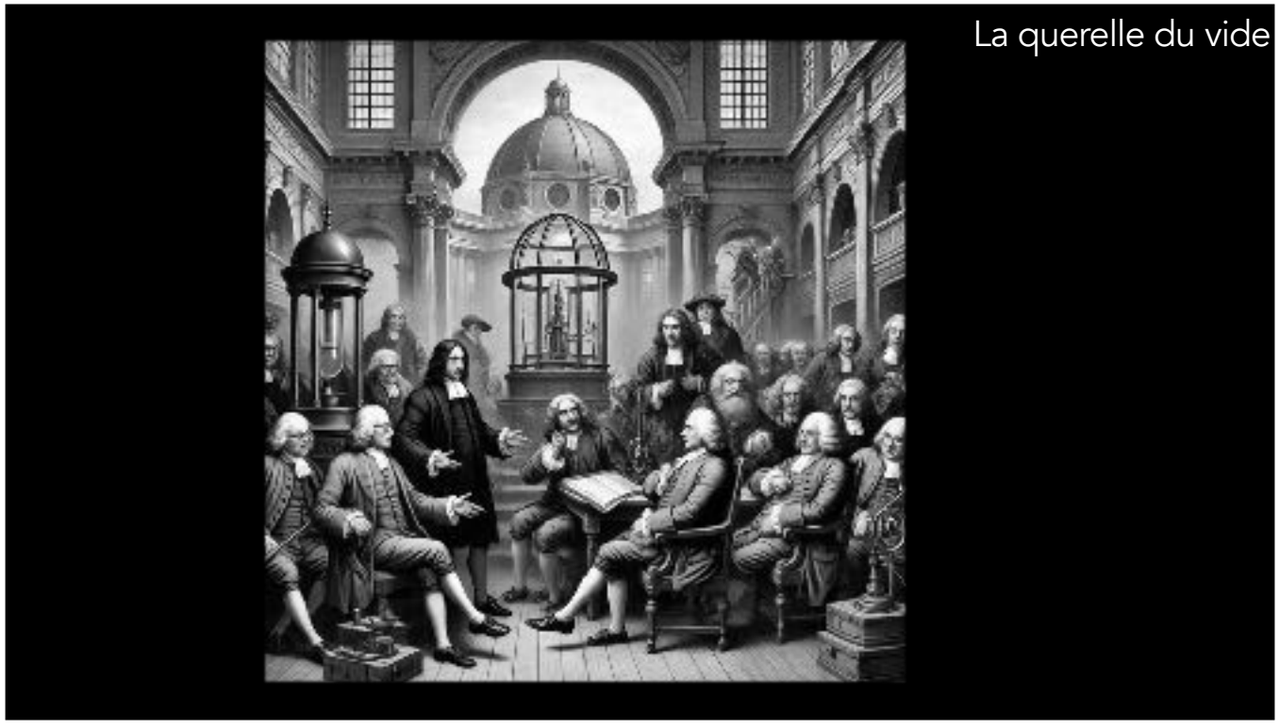
La même chose en plus spectaculaire. Lorsque dans un wagon citerne est créée par accident une dépression (0,35 bar)



Suite à cette expérience de Torricelli, et il y en aura bien d'autres dont le résultat sera toujours expliqué sans ambiguïté par le rôle joué par la pression atmosphérique, toute l'Europe savante va s'intéresser au vide. Elle déclenche, en particulier en France, un débat homérique entre vacuistes et plénistes, la querelle du vide (1645-1648).

Une seule question est posée qu'y-a-t-il dans le haut du tube ? les vacuistes répondent un espace vide de toute substance et les pleinistes un plein de quelque chose sans savoir de quoi : vapeurs, matière subtile, éther, air raréfiée.

Le débat, finalement très bref, va également soulever une diversité d'enjeux théoriques qui vont nourrir la réflexion scientifique jusqu'à nos jours :
quelle est la nature du mouvement ?
quelle est la nature de la pesanteur ?
quelle est la structure de la matière, est-elle continue ou est-elle discontinue ?
quel est le rôle du vide dans la dynamique de l'univers ?



Dans les universités françaises du 17ème siècle, la seule physique enseignée était celle de la scolastique. Les idées nouvelles, celles de Copernic, Galilée, Newton pour ne citer qu'eux, étaient débattues au sein de sociétés savantes privées, des sortes de clubs d'échange.

Parmi celles-ci, celles dites Académie de Paris ou Académie du Père Mersenne a été créée en 1634 par un religieux français de l'ordre des Minimes, Marin Mersenne. C'est un physicien, pro-galiléen mais prudent (il ne prend pas position vis-à-vis des sujets qui fâchent). On y rencontre tout le gratin de la société éclairée couvrant un très large champ disciplinaire. Parmi les plus connus, citons Huygens, Gassendi, Pascal père et fils, ... Elle comptera plus de 180 membres et correspondants.

La question du vide y était ainsi âprement débattue.

Descartes qui n'a jamais fait partie de l'Académie du Père Mersenne adopte les idées d'Aristote concernant le vide.
Le corps étant défini par son étendue géométrique, partout où l'on perçoit de l'extension, celle-ci est nécessairement occupée par un corps, fut-il imperceptible aux sens. Par conséquent, le vide absolu, c'est-à-dire un espace où il n'y a pas de substance, n'existe pas.

S'il y a corps, il y a étendue et s'il y a étendue il y a corps. Vouloir concevoir le vide est une impossibilité logique

Descartes rejette la théorie du vide, car il n'est pas possible que "ce qui n'est rien ait de l'extension". Ainsi, selon Descartes, si un vase est vide d'eau, il est plein d'air, et s'il était vide de toute substance, ses parois se toucheraient.

Ce rejet fait des dégâts collatéraux :
- la chute des corps de Galilée : "« Tout ce qu'il dit de la vitesse des corps qui descendent dans le vide, etc. est bâti sans fondement; car il aurait dû auparavant déterminer ce que c'est que la pesanteur ; et s'il en savait la vérité, il saurait qu'elle est nulle dans le vide. »"
- le mouvement n'a pas besoin du vide : « Tous les mouvements qui se font au monde sont en quelque façon circulaires, c'est-à-dire, quand un corps quitte sa place, il entre toujours en celle d'un autre, et celui-ci en celle d'un autre et ainsi de suite jusqu'au dernier, qui occupe au même instant le lieu délaissé par le premier : en sorte qu'il ne se trouve pas d'avantage du vide parmi eux »
- pas de vide dans les interstices de la matière : « Mais d'autant qu'il ne saurait y avoir d'espace vide en aucun endroit de l'univers, et que les parties de la matière, étant rondes, ne sauraient se joindre si étroitement ensembles, qu'elles ne laissent plusieurs petits intervalles au recoin entre elles : il faut que ces recoins soient remplis de quelques autres parties de cette matière. »

Pierre Gassendi, membre de l'académie du Père Mersenne se pose comme le principal rival de Descartes. Il remet au goût du jour l'idée atomique antique : la réalité dans sa totalité est composée de deux éléments, les atomes et le vide.

Il considère l'existence de plusieurs vides :

- Le vide séparé, préfigure l'espace absolu de Newton. C'est un espace tridimensionnel, infini et indépendant des corps qui l'occupent. Un corps est une étendue corporelle et matérielle et l'espace est une étendue incorporelle. Contrairement à la vue de Descartes, il peut exister une étendue sans être un corps. Ce vide a existé avant que Dieu ait créé le monde, donc forcément vide au départ et reste partiellement vide après la création

- Le vide disséminé est constitué de petits espaces vides répandus entre les corps de l'univers tels des interstices entre les grains qui forment un tas de blé. Ce vide est nécessaire au mouvement, car sans vide pas de mouvement.

Après ce bref retour à la métaphysique et au vide de la physique à la française, revenons au vide commun et au Père Mersenne.

La querelle du vide

Expériences parisiennes … ratées

Académie Mersenne, 1645

Peinture de Théobald Chartran ornant le péristyle du premier étage à la Sorbonne

Lors d'un voyage en Italie en 1645, Mersenne assiste aux expériences de Torricelli et en fait un compte rendu une fois rentré à Paris.

Les premières tentatives pour reproduire l'expérience, qu'on appelle déjà l'expérience du vide, échouent. Les verriers parisiens ne maitrisant pas leur art aussi bien que les verriers de Murano.

Etienne Pascal prend alors les choses en main. Collecteur d'impôt de son état , et physicien amateur éclairé.

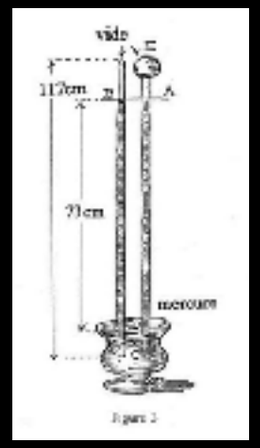
Originaire de Clermont-Ferrant, il est monté à Paris en 1631 à la mort de sa femme avec ses 3 enfants.

Dès lors, il fréquente assidûment les séances de l'Académie Mersenne, souvent accompagné de son fils, Blaise, âgé d'à peine 8 ans.

==========

Pascal en compagnie de Desargues (fondateur de la géométrie projective, ami de Descartes, membre de l’académie Mersenne) et du Père Mersenne expose à Descartes ses projets d’expérience sur la pesanteur de l’air, Place Royale 1645

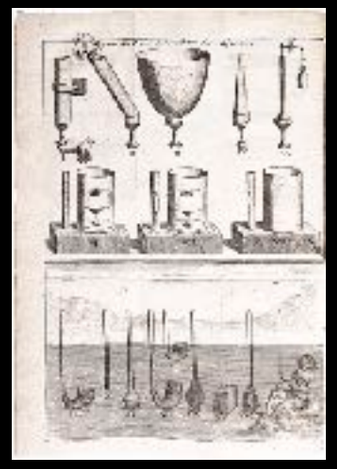
Les expériences de Rouen : #1



Etienne Pascal, 1645

En 1640, il est muté à Rouen pour y réorganiser l'impôt. Il se trouve que les verriers de Rouen sont plus doués pour fabriquer des tubes en verre capables de supporter de poids du mercure, ce qui lui permet, en 1646, de réaliser avec succès une première série d'expériences avec le Père Mersenne, Pierre Petit , considéré comme le plus habile expérimentateur du royaume, et bien-sûr son fils Blaise. Une première en France.

Les expériences de Rouen : #2



Blaise Pascal, 1646

Blaise Pascal (24 ans) reprend la première série d'expériences et les complètent avec pour principale motivation, savoir si le haut du tube est réellement vide ou non.

Il utilise diverses substances et des tubes de formes variées et de toutes dimensions.

La querelle du vide

Les expériences de Rouen : #3

Blaise Pascal, 1646

Avec une troisième expérience, Pascal veut faire taire ceux qui prétendent que le haut du tube serait rempli de vapeurs d'eau ou de mercure selon le liquide utilisé.

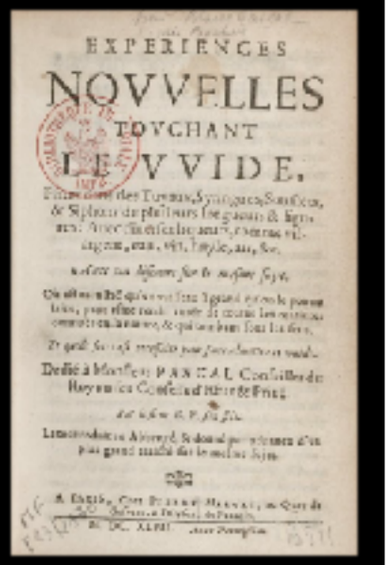
Il remplace l'eau dans le tube, par du vin: Son raisonnement est le suivant : le vin étant plus volatil que l'eau, la plus grande quantité de vapeur de vin dégagée dans le tube devrait occuper un plus grand volume dans le tube que la vapeur d'eau. En revanche si c'est la pression de l'atmosphère qui détermine la hauteur dans le tube au-dessus du liquide, le vin étant moins dense que l'eau (0,994 vs 1 g/cm^3), la colonne de vin devrait s'élever plus haut que celle d'eau.

Il fait réaliser deux tubes de 15 mètres, l'un rempli d'eau et l'autre de vin (du vin rouge, c'est beaucoup plus visuel)

Pascal qui a le sens du spectacle va réaliser une expérience devant 500 spectateurs, il retourne les deux tubes, suspendus à des mâts de navire, tout en bouchant les extrémités non scellées et les plonge dans des vases rempli d'eau.

Lorsqu'il débouche l'extrémité, devant 500 personnes, "le vin descend jusqu'à 32 pieds (=10,37m) depuis la surface de l'eau du vaisseau qu'il teint insensiblement, et se désunissant d'avec le haut du verre, laisse un espace d'environ 13 pieds vide en apparence", c'est-à-dire à la hauteur attendue avec l'hypothèse pression atmosphérique. Les vapeurs, s'il y en a, sont tellement diluées qu'elles n'ont aucun effet visible.

Les expériences de Rouen

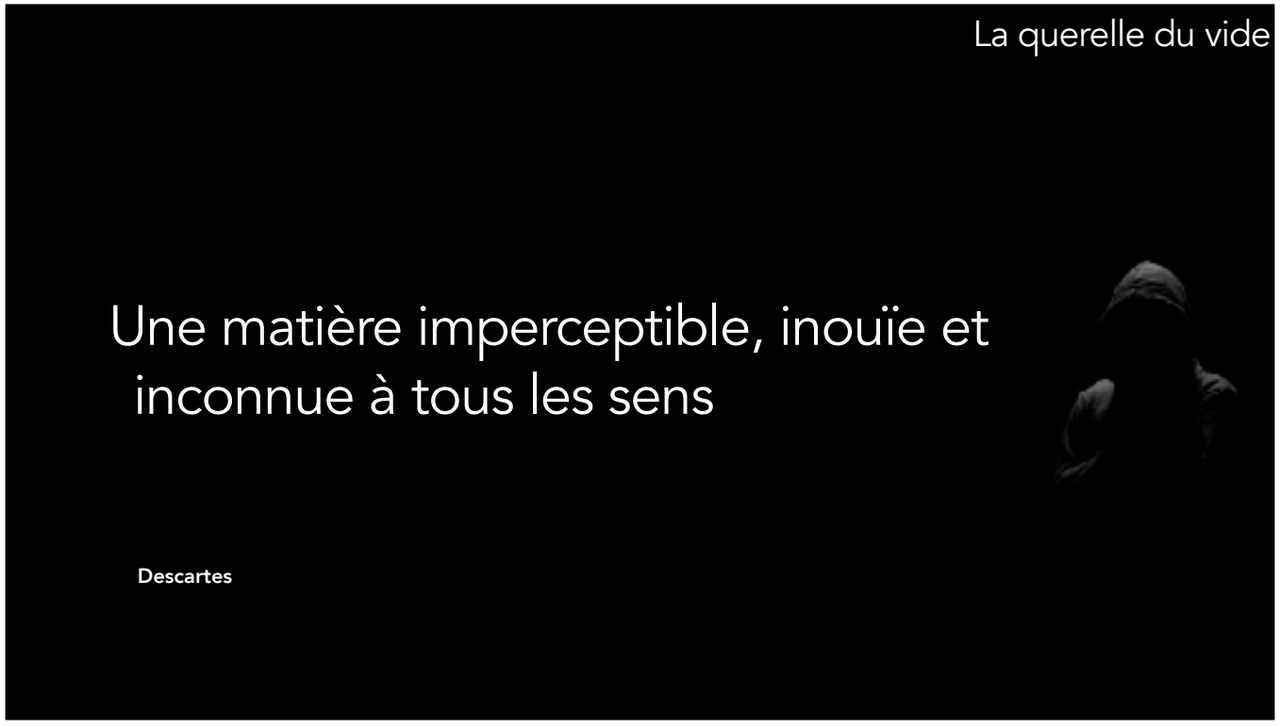

EXPERIENCES
NOVVELLES
TOVCHANT
LE VVIDE.

Comptes-rendus, Blaise Pascal, 1647

Les résultats des expériences sont consignés dans un petit opuscule publié en 1647 et intitulé « Expériences nouvelles touchant le vide faites dans les tuyaux, seringues, soufflets et siphons de plusieurs longueurs et figures, avec diverses liqueurs, comme vif-argent, eau, vin, huile, air etc ; avec un discours sur le même sujet où il est montré qu'un vaisseau si grand qu'on le pourra faire, peut être rendu vide de toutes les matières connues en la nature et qui tombent sous les sens ; et quelle force nécessaire pour faire admettre ce vide : dédié à M. Pascal, conseiller du Roi en ses conseils d'Etat et privé, par le sieur B. Pascal, son fils ; le tout réduit en abrégé et donné par avance d'un plus grand traité sur le même sujet ».

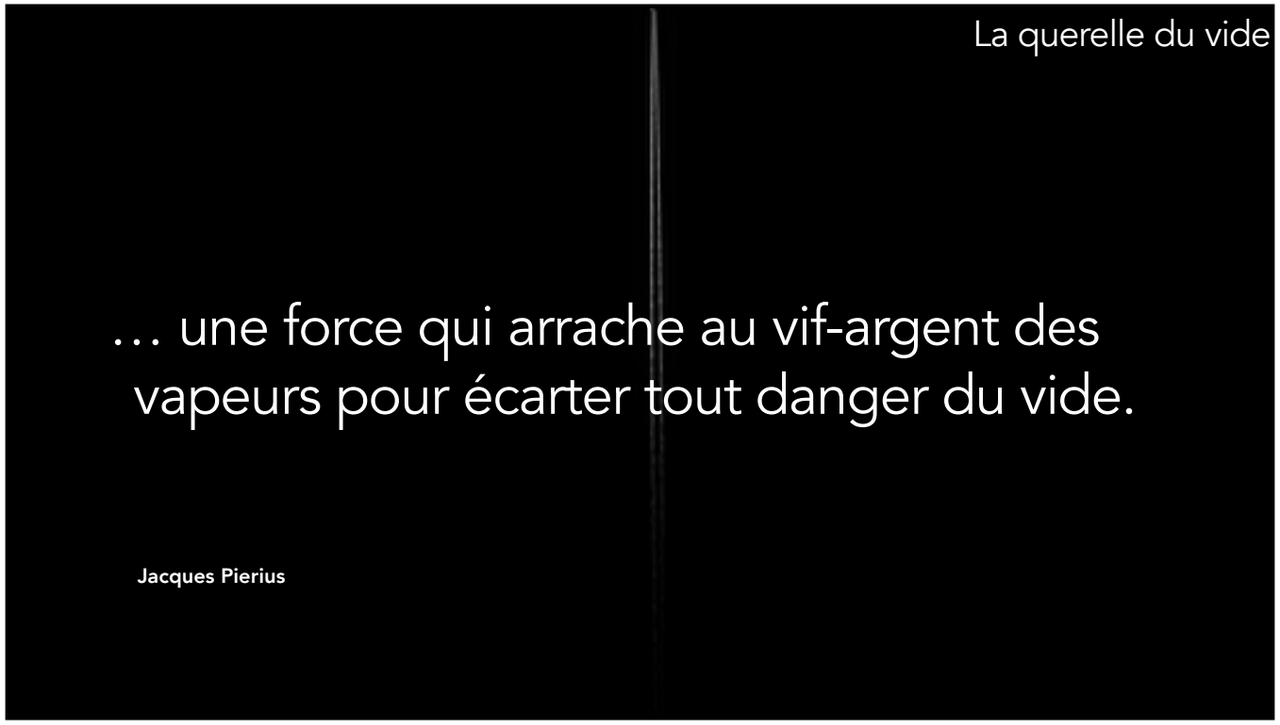
Ce titre très long constitue ce qu'on appellerait aujourd'hui l'"abstract" ou résumé et le format serait celui d'une lettre qui annonce la publication à venir. Pascal veut marquer le territoire car la concurrence sur le sujet est rude en Europe.

Ces expériences ont un grand retentissement à Paris et agitent le monde savant. Les questions débattues sont : L'espace au-dessus du niveau du mercure est-il purement vide ? comment la nature peut-elle tolérer ce vide ? quelle force empêche le mercure de s'écouler entièrement hors du tube ?



Malgré les démonstrations expérimentales convaincantes de Pascal, les plénistes ne lâchent pas prise, et ressortent toujours et encore leurs arguments de pure rhétorique. Descartes le premier.

Pour lui, tout espace étant nécessairement un corps, le haut du tube est forcément rempli d'un corps, une matière subtile ("matière imperceptible, inouïe et inconnue à tous les sens") capable de traverser les parois du tube.... Pascal quant à lui, parle prudemment de vide apparent n'excluant pas que ce vide puisse contenir une quelconque substance ... encore fallait-il démonter expérimentalement l'existence de cette substance.



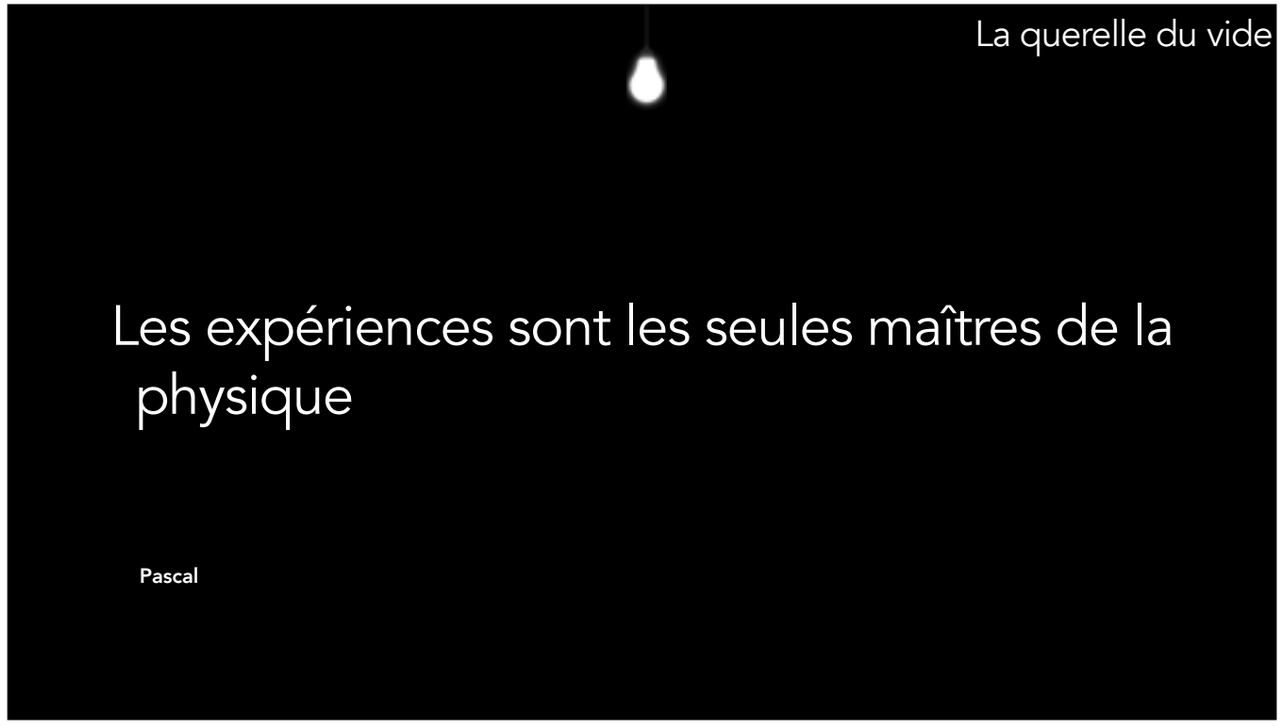
L'église elle aussi s'accroche au dogme du vide dans la plus pure logique aristotélicienne. Ainsi, ce texte de Jacques Pierius, régent du Collège de l'archevêché de Rouen, témoin des expériences de Pascal : "Le vide n'existe pas [...] et la répugnance de la nature au vide est illimitée [...] La partie supérieure du tube n'est vide qu'en apparence : elle est remplie de vapeur de vif-argent, corps bâtard qui, n'ayant pas encore reçu sa forme substantielle, ne sait quel est son mouvement naturel (monter ou descendre ?). La nature développe dans le haut du tube une force qui arrache au vif-argent des vapeurs pour écarter tout danger du vide."

et la réponse de Pascal : "Le vin étant plus spiritueux que l'eau, la colonne de vin fournira plus de vapeur que la colonne d'eau et devra descendre davantage*" ce qui contraire au résultat obtenu : "*la hauteur du liquide n'est pas raison inverse de sa volatilité"

L'argument de Pierius n'est pas faux, il s'agit de ce qu'on appelle aujourd'hui la pression de vapeur saturante qui est liée à la tendance des molécules à passer de l'état liquide (ou solide) à l'état gazeux (une substance possédant une pression de vapeur saturante élevée vis-à-vis de la pression atmosphérique) à température ambiante est dite volatile. Là où Pierius a tout faux c'est dans l'ordre de grandeur de la pression des vapeurs de mercure, négligeable par rapport à la pression atmosphérique.

Un air épuré

Le plus véhément des détracteurs de ces expériences est le jésuite, théologien catholique et grammairien français, ancien maître de Descartes, Etienne Noel, dit le Père Noel. Aristotélicien convaincu, il prétend dans un opuscule, intitulé ironiquement "Le plein du vide", que le haut du tube contient non pas du vide mais un air épuré qui aurait pénétré par les pores du tube, la matière subtile de Descartes.



Autres question : Pourquoi la lumière traverse-t-elle le vide ? A cette dernière question s'opposent deux points de vue :

- en acceptant la théorie corpusculaire de la lumière proposée par Newton, il devrait y avoir des corpuscules de lumière dans l'espace vide qui du coup ne serait plus vide

- en adoptant la théorie ondulatoire de la lumière de Huygens, la transmission de la lumière dans l'espace vide prouve qu'une matière différente de l'air se trouve dans le haut du tuyau.

Il s'en suivit un échange stérile d'arguments, chacun campant sur ses positions. Le juge de paix sera l'expérience.

Pour Pascal, qui a bien assimilé la méthode scientifique de Galilée, cela ne fait aucun doute quand il dit sans ambiguïté possible que "les expériences sont les seules maîtres de la physique" en précisant pour ce qui concerne le vide :

"Après avoir démontré qu'aucune des matières qui tombent sous nos sens, et dont nous avons connaissance, ne remplisse cette espace vide en apparence, mon sentiment sera, jusqu'à ce qu'on m'ait montré l'existence de quelle matière qui le remplisse, qu'il est véritablement vide et destitué de toute matière."

Tout le contraire de Descartes qui s'embourbe dans un discours métaphysique, se satisfaisant de simples explications verbales et du raisonnement et restant indifférent aux enseignements de l'expérience.

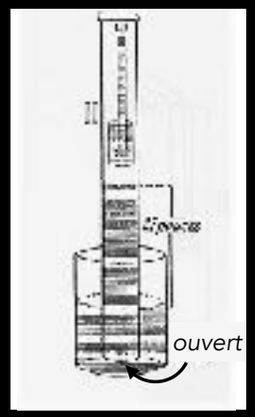
Mersenne propose d'enfermer dans l'espace vide une clochette actionnée par un aimant (le son n'est pas transmis dans le vide) ou une mouche, un oiseau, même un

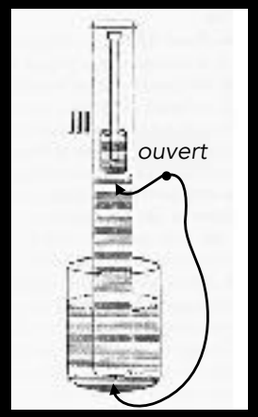
homme muni d'un marteau (pour briser le verre en cas de danger), un chat ou n'importe quel animal qui manifesterait par ses cris et ses mouvements ce qui se passe dans le vide.

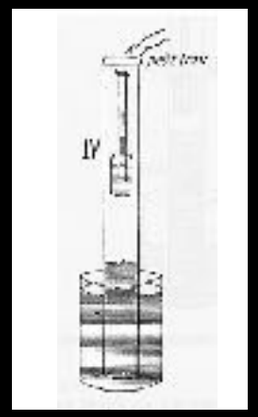
Je ne suis pas sûr que ces expériences aient réellement été réalisées.

En revanche, la suivante oui : Roberval introduit une vessie de carpe entièrement dégonflée. Dans le vide, la vessie se gonfle. Il conclut à la présence d'un air raréfié qui presse moins sur la vessie que l'air ambiant.

La querelle du vide







Le vide dans le vide

Une autre expérience astucieuse, mais qui certainement n'a pas été réalisée, est l'expérience dit du vide dans le vide.

Dans le vide, créé dans un tube en verre selon le protocole original de l'expérience du vide, est introduit un deuxième tube plus petit reproduisant l'expérience du vide en miniature.

Première configuration, grand tube ouvert, petit tube fermé : le mercure monte dans le grand tube à une hauteur de 760 mm, le petit tube reste rempli.

Deuxième configuration, grand tube ouvert, petit tube ouvert : le mercure dans le petit tube s'écoule et tombe au niveau du mercure dans la jatte.

Troisième configuration, comme précédemment mais on a percé un trou dans le haut du grand tube pour laisser entrer l'air : le mercure du grand tube descend au fur et à mesure que l'air entre alors que le mercure du petit tube monte.

La conclusion est sans appel : c’est donc bien la pression atmosphérique qui est responsable de la montée du mercure

L'expérience qui vraiment a été réalisée et qui permet de clore le débat sur la cause de la suspension du mercure dans le tube est celle dite du Puy du Dôme. L'idée vient de Pascal même si Descartes prétend lui l'avoir soufflée lors de leur unique entrevue. Pascal veut montrer que le vide est relié à la pesanteur et pression de l'air

Le 15 novembre 1647, Pascal écrit une lettre à son beau-frère, Florin Périer, demeurant à Clermont-Ferrand (s'appeler Périer dans le fief de Volvic, ça ne s'invente pas !), pour lui demander de réaliser des expériences selon le protocole suivant :

« faire l'expérience ordinaire du vide plusieurs fois en un même jour dans un même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt en bas et tantôt au sommet d'une montagne élevée pour le moins de 500 ou 600 toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans les deux situations [...] cette expérience est décisive de la question, et que s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'en bas de la montagne [...] il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne, que non pas sur son sommet ; au lieu qu'on ne saurait pas dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur son sommet »

La querelle du vide

Expérience du Puy du Dôme

Périer réalise l'expérience le 19 septembre 1648 au sommet du Puy du Dôme (1645m). Il laisse un tube témoin au pied de la montagne et emporte un tube indiquant la même hauteur de mercure au pied, soit 71,1 cm.

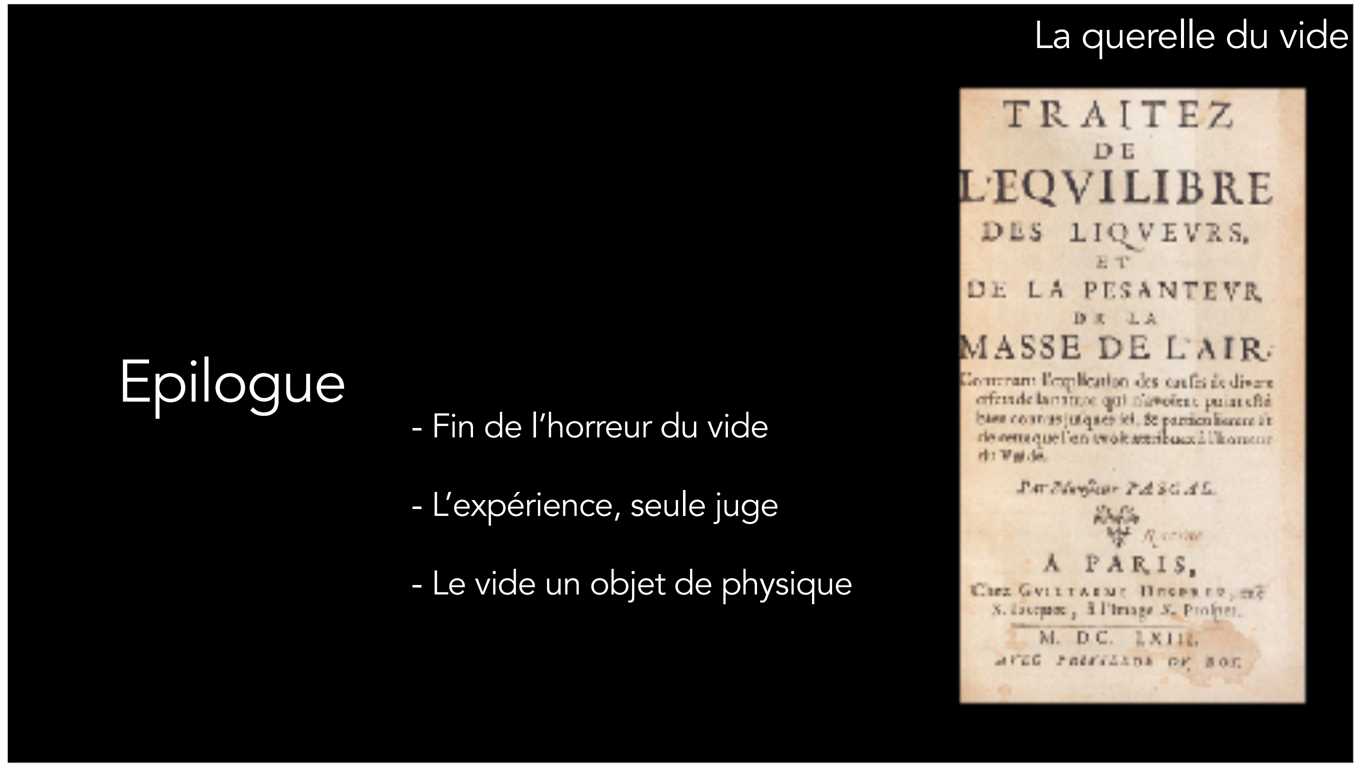
Pendant l'ascension il constate que la hauteur du mercure diminue jusqu'à une hauteur de 62,7 cm lorsqu'il arrive au sommet, soit une diminution de la hauteur du mercure de 8,3 cm pour un dénivelé de 900 m.

Il refait l'expérience au pied et au sommet de la tour de la cathédrale de Clermont-Ferrand haute de 39 m, là encore il mesure une différence de la hauteur du mercure, elle est de 2,3 mm.

En octobre de la même année, Pascal refait l'expérience à Paris au haut de la tour Saint Jacques au pied de laquelle se trouve aujourd'hui la statue de Pascal.

Cette invention du baromètre (baros = poids en grec) et de l'altimètre est publiée dans le « Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs » en octobre 1648.

Un sherpa au sommet de l'Everest (8848m, le mercure ne monte que de 25 cm) ressent une pression trois fois moindre qu'un marin en mer.



Pascal y décrète
- la fin de l'horreur du vide

« La nature n'a aucune répugnance pour le vide [...] tous les effets qu'on a attribué à cette horreur procèdent de la pesanteur »

- l'expérience est le fondement de la méthode scientifique

« Les secrets de la nature sont cachés ; quoiqu'elle agisse toujours, on ne découvre pas toujours ses effets : le temps les révèle d'âge en âge, et quoique toujours égale en elle-même, elle n'est pas également connue. Les expériences qui nous en donnent l'intelligence multiplient continuellement ; et, comme elles sont les seuls principes de la physique, les conséquences multiplient à proportion. »

- le vide existe en tant que milieu, c'est-à-dire à mi-chemin entre le néant et la matière. Le vide, ayant des dimensions, diffère du néant ; mais dépourvu de résistance et immobile, il se distingue également de la matière. Aux plénistes de démontrer par l'expérience que le vide est plein de quelque chose.

- A l'argument du Père Noel et Descartes

« l'espace vide n'existe pas, car il ne serait ni Dieu, ni créature, ni substance, ni accident, n'étant ni corps ni esprit »

Pascal répond

« Ne mêlons pas Dieu à ce débat. Cela est vrai si l'on entend par substance ce qui est corps ou esprit, car, en ce sens, l'espace ne sera ni substance, ni accident : mais il sera espace. comme, en ce même sens, le temps n'est ni substance, ni accident, mais il est temps, parce que, pour être, il n'est pas nécessaire d'être ou substance ou accident »

La physique retiendra de l'implication de Pascal dans le débat du vide, le Pascal, unité de mesure de la pression atmosphérique : 1 Pa = 1N/m^2 = 10^{-5} bar. Pression atmosphérique normale = 760 mm de Hg = 101325 Pa = 10,1325 tonnes/m^2

Ceci met fin à la querelle du vide. Pascal content de soi, passe à autre chose. Mais les divergences d'opinions restent. La question de savoir ce qu'il y a dans le vide reste ouverte.

La conséquence la plus marquante de cette querelle est que le vide cesse d'être un thème de métaphysique pour devenir un objet de physique.

Il faudra attendre l'invention de la pompe à vide pour expérimenter le vide et découvrir ses propriétés.

vide commun

Les pompes à vide

Le vide source de savoir

L'invention de la pompe à vide et ses constantes améliorations avec le temps démontrent que les percées technologiques sont souvent le point le point de départ d'avancées de la science fondamentale.

L'inverse est souvent vrai également établissant l'indispensable cercle vertueux reliant science fondamentale et science appliquée.

Cela est particulièrement bien vérifié dans le cas de la technique du vide. Dès la démonstration de l'existence du vide, et dès la réalisation des premiers instruments permettant de faire le vide, la science avance.

On distingue d'abord les vibrations qui se propagent dans les matériaux, tel le son et celles qui se propagent dans le vide, telle la lumière.

Avec la réalisation de vide de plus en plus poussé, on observe les aspects spectaculaires de la décharge électrique dans les tubes cathodiques

Puis Thomson découvre l'électron et Röntgen les rayons X.

Et finalement avec un système en cascade de pompes de diverses technologies, le vide qui se rapproche des conditions régnant dans l'espace interplanétaire, permette la construction d'accélérateurs de particules qui ouvre la voie à l'étude de la structure de la matière à sa plus petite échelle.

De toutes les manières de faire le vide, vous en apprendrez d'avantage avec le série de cours suivante

vide commun

Les hémisphères de Magdebourg

Otto von Guericke

En 1650 Otto van Guericke, ingénieur, bourgmestre de Magdebourg en Saxe, appelé aussi le Maître du vide, invente en 1650 une pompe pneumatique capable de vider un recipient fermé de l'air qu'il contient. Il réalise de nombreuses expériences et vérifie entre autres que

- le son ne se propage pas dans le vide

- en l'absence d'air une chandelle s'éteint.

As de la communication, tout comme Pascal, il réalise en 1656 son expérience la plus connue, celle dite des hémisphères de Magdebourg, dans le but de frapper l'imagination du public.

Deux hémisphères en bronze d'un peu plus de 50 cm de diamètre sont reliées pour former une sphère. Il demande d'abord à quelqu'un de l'assistance de séparer les deux hémisphères, ce qui se fait aisément.

L'une des hémisphères est munie d'un tube fermé par une vanne et relié à une pompe pneumatique permettant de pomper une certaine quantité d'air et réaliser un certain vide.

Une fois vidées de leur air, il demande de nouveau à quelqu'un de l'assistance de séparer les deux hémisphères, ce qui s'avère impossible.

Le clou du spectacle : elles ne peuvent être séparées par la force de deux attelages de huit chevaux.

En ouvrant la valve elles peuvent à nouveau être aisément séparées.

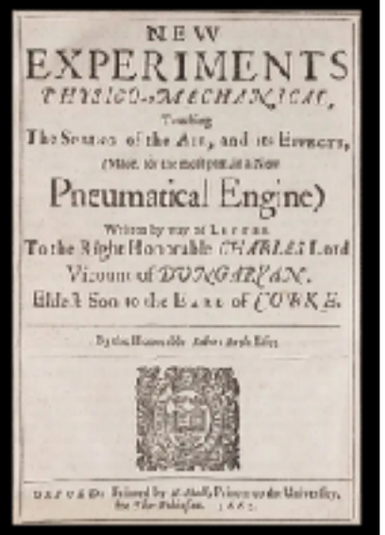
On peut calculer la force exercée sur les sphères vidées de leur air , une force équivalente à une masse de 2000 kg

$F=\pi r^2\Delta P$ où r est le rayon de la sphère et ΔP la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur de la sphère. Pour $r=25$cm et $\Delta P < 1$atm = 101325 Pa, $F=$ 19625 N (kg m /s^2) soit l'équivalent d'une masse $m=$ 19625 /9,81 = 2000 kg

vide commun

Expérimentation du vide

Robert Boyle


NEW
EXPERIMENTS
PHYSICO-MECHANICAL,
Touching
The Spring of the Air, and its Effects,
(Made for the most part in a New
Pneumatical Engine)
Written by way of LETTER,
To the Right Honorable CHARLES Lord
Viscount of DUNGARVAN,
Eldest Son to the Earl of CORK.

Celui qui aura au 17ème siècle le plus contribuer à la connaissance expérimentale du vide est sans doute Robert Boyle (1627-1691).

Auteur de « The Sceptical Chymist », il est néanmoins plus connu pour ses travaux sur les propriétés des gaz et pour être le premier à contester le système des 4 éléments d'Aristote.

Son atout majeur, en dehors d'une fortune personnelle conséquente consacrée à l'avancement des sciences, c'est d'être un adepte de la méthode expérimentale telle qu'elle a été prônée par Galilée.

Il réalisa ainsi 43 expériences avec une pompe à vide de Guericke grandement améliorée. Son but est de comprendre la nature de l'air, ses effets sur la respiration des animaux et la relation entre la pression et le volume des gaz dans un système clos.

vide commun

Biologie, chimie et physique

Robert Boyle

Il réalise dans une boule de verre de 28 litres, diamètre 38 cm un vide à 3% de la pression atmosphérique, soit 2,54 cm de mercure. Le vide de Boyle se rapproche du vide des physiciens actuels, une basse pression exploitable pour d'innombrables applications.

Un peu de biologie :
- Des insectes volants tombent dans le vide car il faut de l'air pour supporter le vol.

- Des oiseaux, souris, anguilles, ... s'évanouissent dans le vide mais reprennent connaissance une fois l'air remis : une portion d'air est nécessaire à la vie et s'il y en a moins la vie devient impossible.

Un peu de chimie :
- Une bougie allumée s'éteint dans ce vide : il s'attendait à ce que la bougie continue à brûler dans l'air raréfiée arguant que dans le vide il y aurait plus de place pour la vapeur résultant de la combustion (l'oxygène n'était pas connue à l'époque)

Un peu de physique :
- L'oscillation d'un pendule ne change pas dans le vide : la viscosité de l'air est indépendante de la pression

viscosité : ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide. La viscosité diminue la liberté d'écoulement d'un fluide. La viscosité ne s'accroit par forcément avec sa densité, e.g. l'huile de colza (ρ = 0.92g/cm^3) est plus visqueuse que l'eau (ρ=0.997g/cm^3). La viscosité d'un gaz est indépendante de sa pression.

An Experiment on a Bird in the Air Pump (littéralement Une Expérience sur un oiseau dans une pompe à air) est une peinture à l'huile de 1768 du Britannique Joseph Wright of Derby

Boyle semble regarder le spectateur du tableau droit dans les yeux pour lui dire de faire abstraction des émotions que suscitent ses expériences et illustrées par les attitudes des différents personages. Concentres-toi sur l’expérience et déduis en une interprétation scientifique. .

Si les expériences précédentes démontrent surtout que le vide réalisé par la machine pneumatique est vide d'air, quelques expériences simples semblent démontrer que l'éther reste encore présent dans le vide.

En effet, deux phénomènes, la propagation du son et la propagation de la lumière, interprétés comme un mouvement vibratoire sont modifiés différemment dans le vide.

Boyle constate que le tic-tac d'une montre dans le vide ne s'entend plus, le son a donc besoin de l'air comme support pour se propager

En revanche, puisqu'on peut voir les choses à l'intérieur, la lumière se propage dans le vide, et comme l'éther est le support supposé du mouvement vibratoire de la lumière, l'éther doit encore être présent dans le vide.

De plus, il observe que l'aiguille d'une boussole dans le vide bouge sous l'influence d'un aimant à l'extérieur de la sphère, le champ magnétique se propage donc également dans le vide.

D'où la conclusion : L'éther supposé transmettre la lumière et le magnétisme n'est pas éliminé avec l'air lorsqu'on fait le vide.

Un drôle de vide, plein d'éther!

Nous voici ainsi à la fin du 17ème siècle, avec un ardent débat sur le vide dont les braises couvent toujours. Et ce malgré le saut technologique qui a permis de réaliser un vide, plus exactement un vide d'air, dont les propriétés étudiées systématiquement intriguent encore.

Que reste-t-il lorsqu'on a enlevé l'air ? Le vide commun, plein d'éther indiquent les expériences interprétées à l'aide des connaissances de l'époque sur la lumière et le magnétisme, mais que dire de l'éther, objet matériel ou immatériel ?

Et si le vide était plein de bien d'autres choses immatérielles ?

Je vais répondre à ces questions, ou plutôt laisser l'histoire des sciences répondre, lors de mes prochains cours.