

- Histoire de la Physique -

Quelques considérations sur l'évolution des idées concernant le vide

par Nicole CHEZEAU
Faculté des sciences et techniques
Université de Haute Alsace 68093 Mulhouse Cedex

Les problèmes techniques d'hydrostatique ont progressivement, d'Archimède à Pascal (en passant par Stevin, Galilée, Torricelli) amenés ces esprits curieux à réfléchir sur ce que nous appelons maintenant la pression (de l'eau, de l'air), sur l'existence du vide, sur la possibilité et la manière de faire ce vide. On peut suivre ce cheminement en s'intéressant aux côtés techniques du problème, aux expériences successives et aux conclusions qui ont pu en être tirées.

Mais il faut en parallèle garder à l'esprit ce que nous pourrions appeler le concept métaphysique de vide, lié à la théorie de la matière et donc à une certaine vision de l'univers. Ces deux points de vue sur le vide : philosophique (nihil) et scientifique (vacuum) ont été complètement indissociables jusqu'au début du XVII^{ème} siècle et c'est Pascal qui fera réellement émerger le problème du vide dans l'actualité scientifique.

Nous allons d'abord évoquer brièvement les principales théories de la nature et de la matière, en faisant ressortir leurs conceptions contradictoires sur le vide.

Puis, nous étudierons plus en détail les précurseurs de Pascal et l'œuvre de Pascal lui-même concernant le problème scientifique du vide.

1. LE VIDE «MÉTAPHYSIQUE»

Au début du XVII^{ème} siècle deux théories de la nature sont parvenues de l'Antiquité : la doctrine d'Aristote qui domine la philosophie depuis 2 000 ans et l'atomisme d'Épicure et Démocrite.

Aristote : L'univers d'Aristote, dont la terre occupe le centre, est unique, éternel, fini. Il contient tous les corps qui se présentent dans la

nature et qui se laissent reconnaître par les sens. Hors du monde, il n'y a rien, ni lieu, ni mouvement, ni temps. Dans le monde il n'y a pas de vide. Pour Aristote le vide = le néant. L'espace vide n'étant ni substance ni accident ne peut être rien d'autre que du néant et le néant ne pouvant posséder d'attributs, ne peut être le sujet de mesures ; le volume, la distance ne peuvent mesurer le rien. Pour Aristote le mouvement dans le plein, peut se faire par tourbillons, dans le vide au contraire, le mouvement local serait impossible car il n'y aurait pas la moindre différence susceptible d'orienter le mouvement dans une direction plutôt que dans une autre ou de l'achever ici plutôt que là.

Atomistes : Pour les atomistes (Démocrite, Epicure, Diogène Laërce, Lucrèce) il existe une infinité de monde dans un vide infini.

Les atomistes fondent leur physique sur 2 concepts :

- le vide, condition nécessaire du mouvement
- les atomes (indivisibles, solides, pleins) qui se meuvent éternellement dans le vide.

La totalité du monde est constitué d'agrégats d'atomes dissociables et recomposables. Le monde n'est pas éternel, il peut se briser et se reconstituer à l'infini.

Aristote

Le vide n'existe pas

Le monde est fini, un,
éternel

La nature est divisible à l'infini

Atomistes

Le vide est essentiel
Pluralité des mondes

dans un vide infini
Le monde s'est formé et peut
se briser

Existence d'atomes indivisibles

L'atomisme va subir une longue éclipse au Moyen-Age chrétien à cause de son athéisme et c'est, au XVII^{ème} siècle avec Gassendi que l'on assiste à une résurrection de l'atomisme antique revu et corrigé mais dont il garde le principal : les atomes et le vide.

Descartes : Descartes rejette aussi fortement qu'Aristote l'idée d'espace vide. Pour lui l'étendue est substance et inversement, la matière se réduit à l'étendue.

«Pour ce qui est du vide, au sens que les Philosophes prennent ce mot, à savoir pour un espace où il n'y a point de substance, il est évident qu'il n'y a point d'espace en l'Univers qui soit tel, parce que l'extension de l'espace ou du lieu intérieur n'est point différente de l'extension du

corps» (Descartes, Principia philosophiae, part II, art 4, art 10. Dans Oeuvres, éd. C. Adam et P. Tannery, Paris 1897-1913 VIII p. 42-45).

Pour lui le concept de vide absolu résulte de ce que l'on étend à tort l'usage du mot qui en réalité ne désigne pas un lieu ou un espace où il n'y a rien du tout,

«mais seulement qu'il n'y a rien de ce que nous présumons y devoir être. Ainsi parce qu'une cruche est faite pour tenir de l'eau, nous disons qu'elle est vide lorsqu'elle ne contient que de l'air ; et s'il n'y a point de poisson dans un vivier, nous disons qu'il n'y a rien dedans, quoiqu'il soit plein d'eau.

C'est pourquoi, si on nous demande ce qui arriverait, en cas que Dieu ôtât tout le corps qui est dans un vase, sans qu'il permît qu'il en rentrât d'autre, nous répondrons que les côtés de ce vase se trouveraient si proches qu'ils se toucheraient immédiatement. Car il faut que deux corps s'entre-touchent, lorsqu'il n'y a rien entr'eux deux, parce qu'il y aurait de la contradiction que ces deux corps fussent éloignés, c'est-à-dire qu'il y eût de la distance de l'un à l'autre, et que néanmoins cette distance ne fût rien : car la distance est une propriété de l'étendue qui ne saurait subsister sans quelque chose d'étendu» (Descartes, idem, art 17 - art 18, VIII p. 49-59).

Ayant ainsi écarté le vide, Descartes rejette la notion d'atome. Il admet la divisibilité infinie de l'étendue donc de la matière.

Le mouvement au sens cartésien est «le transport d'une partie de la matière, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement et que nous considérons comme au repos, dans le voisinage de quelques autres».

Le monde est un ensemble de parties en mouvement (tout mouvement en provoque un autre et ainsi de suite), un monde tourbillonnant et sans vide.

Gassendi : C'est contre cette identification de la matière et de l'espace que s'élève Gassendi dès qu'il en a connaissance.

Au «plenisme» cartésien Gassendi oppose résolument l'existence des atomes et du vide.

Pour Gassendi l'espace est nécessaire, immense, immobile, incorporel. L'espace occupé par un corps est le lieu du corps. Le temps de même que l'espace est illimité, incorporel, incréé.

Il adopte le principe d'Epicure «de nihilo nihil». Il existe donc une matière première commune à tous les corps, ingénérable, incorruptible, de quantité constante, ce sont les atomes. Ces atomes sont pesants c'est-à-dire qu'ils ont la faculté de se mouvoir eux-mêmes.

«Le mouvement étant défini comme le passage d'un lieu dans un autre, est impossible dans le plein : «Représentez-vous le monde entier, s'il n'y avait aucun vide entre ses parties, comme une masse très compacte qui ne pourrait recevoir aucun nouveau corpuscule, si petit soit-il... Aucun des corps rangés dans cette masse n'est capable de quitter son lieu pour envahir le lieu d'un autre. En effet, le corps qui doit se mouvoir se heurtant à un lieu plein, il faudra qu'il en chasse le corps qui l'occupe ; mais où celui-ci pourrait-il se retirer, si tout le reste est plein ? Est-ce que lui-même expulsera un autre corps ? Mais la même difficulté se reproduira, et ainsi de suite indéfiniment. Donc si le premier corps ne peut sortir de son lieu, aucun mouvement ne pourra commencer et rien ne pourra se mouvoir». (Opera Gassendi, Lyon 1658, tome I, p. 193).

On ne pourrait, d'autre part, en l'absence de vide interstitiel, comprimer les corps. Gassendi invoque, pour affirmer l'existence du vide, la dissolution des sels dans l'eau, la dilatation de l'eau en vapeur et l'expérience de Torricelli.

C'est l'utilisation intelligente de l'atomisme qui permettra à Gassendi l'interprétation des expériences de Torricelli et Pascal (cf. chap. II).

De Descartes à Newton : Dans l'Angleterre d'environ 1650, la philosophie cartésienne suscite un vif intérêt où se mêlent de violentes critiques. On peut citer Hobbes qui, en ce qui concerne le vide, est d'accord avec Descartes contre Gassendi, ce qui le conduit à admettre l'éther.

«Je suppose en premier lieu que l'espace immense, que nous appelons le monde, est un agrégat de corps visibles, comme la terre et les astres, et d'atomes très petits, disséminés dans les pores de la terre et des astres, et enfin, d'un éther extrêmement fluide, remplissant intégralement l'espace resté disponible dans l'univers, en sorte qu'aucun lieu n'est laissé vide» . (De corpore, Londres 1650, chap. XXVI, § 5).

Henri More (1614-1687), opposé à Descartes refuse d'identifier la matière avec l'étendue.

More est convaincu de l'existence d'un espace absolu homogène immuable qui est le cadre dans lequel s'exécutent les mouvements. Cet espace est infini incorporel et doué seulement d'étendue. C'est donc une substance spirituelle d'essence divine. Afin de résoudre la question du vide, il offre, pour combler celui-ci, «l'étendue divine» capable d'empêcher les parois d'un vase de se rejoindre.

Malgré ses préoccupations théologiques, More préfigure le concept newtonien d'espace absolu.

Newton : La structure de la matière est pour Newton, comme pour les atomistes, fondée sur des particules indivisibles.

Dès la première édition des Opticks (1704), Newton affirme que tous les corps sont extrêmement poreux : «L'eau a au moins quarante fois plus de vides que de pleins».

Et il ajoute, dans la seconde édition (1717) : «Nous imaginons que les Particules des Corps sont disposées de telle manière que les Intervalles ou Espaces vides occupent un volume égal à celui des Particules ; et que ces Particules sont composées d'autres Particules beaucoup plus petites, qui auraient autant d'Espaces vides entre elles... et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on parvienne à des Particules solides n'ayant plus entre elles de Pores ou d'Espaces libres... Mais la Constitution interne de ces Particules nous demeure inconnue» (Newton, Opticks, éd. 1704, p. 69, éd. 1717, p. 243).

Il s'oppose complètement à Descartes et par des considérations sur le mouvement fonde l'existence nécessaire du vide.

«Si les Cieux étaient aussi denses que l'Eau, ils n'auraient pas beaucoup moins de Résistance que l'Eau ; s'ils étaient aussi denses que le Mercure, ils auraient sensiblement la résistance du Mercure ; s'ils étaient pleins de Matière sans aucun Vide, même si la Matière en était aussi subtile et fluide que possible, ils auraient plus de Résistance que le Mercure. Un Globe solide dans un tel Milieu perdrait à peu près la moitié de son Mouvement en se déplaçant de trois fois son Diamètre et un Globe non solide (comme le sont les Planètes) serait retardé davantage. Et par suite, pour rendre compte des Mouvements réguliers et permanents des Planètes et des Comètes, il est nécessaire de vider les Cieux de toute Matière, sauf peut-être de quelques Vapeurs très rares, effluves s'élevant des Atmosphères de la Terre, des Planètes et des Comètes, et d'un Milieu Ethéré excessivement rare... Un fluide dense ne peut servir à rien pour expliquer les Phénomènes de la Nature et les Mouvements des Planètes et des Comètes sont mieux expliqués sans lui.

... Et si on le rejette, les Hypothèses suivant lesquelles la Lumière consiste en une pression ou un mouvement propagé à travers un tel Milieu doivent être aussi rejetées.

Et pour un tel Milieu, nous avons l'Autorité des plus anciens et des plus célèbres Philosophes de Grèce et de Phénicie, qui firent du Vide et des Atomes, et de la Gravité des Atomes les premiers Principes de

leur Philosophie, admettant tacitement pour Cause de la Gravité autre chose qu'une Matière dense» (Newton, idem, p. 28).

Plus tard dans les «Principia», il donnera la définition du temps et, de l'espace absolu, lieu du mouvement.

I - Le temps absolu, vrai et mathématique, qui est sans relation à quoi que ce soit d'extérieur, en lui-même et de par sa nature coule uniformément : on l'appelle aussi «durée».

II - L'espace absolu, qui est sans relation à quoi que ce soit d'extérieur, de par sa nature demeure toujours semblable et immobile.

L'espace vide a-t-il un sens ? Critique de Newton par Einstein

Écoutons Einstein lui-même parler de l'espace (absolu) de la physique classique (introduction au livre de M. Jammer, Concepts of Space, Harvard Univ. Press, 1954) :

«Quant au concept d'espace, il semble bien qu'il ait été précédé par celui d'«emplacement», plus simple à saisir psychologiquement. L'«emplacement» désigne d'abord une (petite) portion de la surface terrestre à laquelle on attribue un nom. La chose dont l'«emplacement» est ainsi spécifié est ce que l'on appelle un « objet matériel », un corps... Le mot «emplacement» lui-même a-t-il (ou peut-il avoir) un sens indépendamment de cet objet matériel. Si l'on répond négativement à cette question, on est amené à penser que l'espace (ou l'emplacement) n'est en somme qu'une espèce d'ordre des objets matériels. Lorsqu'on s'est forgé un tel concept d'espace, limité de cette façon, il devient impossible de parler d'espace vide ; cela n'a plus de sens. Et comme, par ailleurs, la formation des concepts a de tout temps été instinctivement régie par des soucis d'économie mentale, on est alors tout naturellement amené à rejeter l'idée même d'espace vide».

On aura reconnu dans cette première conception de l'espace, l'étendue de Descartes ;

«Mais - continue Einstein dans l'introduction au livre de Jammer - on peut aussi raisonner différemment. Imaginons une boîte dans laquelle nous pouvons placer un certain nombre de grains de riz, ou des cerises... Il (le fait que nous puissions placer les grains de riz ou des cerises) s'agit là d'une propriété qui doit être considérée comme tout aussi réelle que la boîte elle-même. Rien n'empêche d'appeler cette propriété «espace» de la boîte (on aura reconnu dans cette boîte l'espace absolu de Newton) . Il existe par ailleurs d'autres boîtes (les espaces

relatifs de Newton), de même type, qui donc auront un «espace» de même grandeur. Avec cette conception de l'«espace», la signification du mot «espace» s'affranchit de tout lien avec toute espèce d'objet matériel particulier. On en arrive ainsi, par une extrapolation toute naturelle au concept d'espace indépendant (absolu), d'extension illimitée, et dans lequel se trouvent placés tous les objets matériels. Alors, il n'est plus possible d'envisager un objet matériel qui ne soit situé dans l'espace ; par contre, avec une telle conception de l'espace, l'idée qu'il puisse exister un espace vide devient tout à fait concevable».

«Ces deux conceptions de l'espace diffèrent radicalement en ce sens que dans la conception a) l'espace désigne une qualité topologique du monde des objets matériels, alors que dans la conception b), l'espace est le réceptacle de tous les objets matériels. Dans le cas a), on ne peut concevoir d'espace sans objet matériel ; dans le cas b), un objet matériel ne peut être conçu qu'en tant qu'il existe dans l'espace ; l'espace apparaît alors comme une réalité qui en quelque sorte transcende le monde matériel. Ces deux conceptions de l'espace constituent toutes deux des créations libres de l'imagination humaine, des moyens destinés à faciliter la compréhension de nos expériences sensibles».

Le problème posé par le choix entre ces deux conceptions (si tant est qu'il s'agisse d'une question de choix) est celui des relations qu'entretiennent l'espace et la matière, ou, ce qui revient au même, celui de l'existence du vide. Problème philosophique s'il en est, auquel Einstein n'a cessé de réfléchir, et auquel - disons-le tout de suite - il a répondu de façon claire :

«Il n'existe pas d'espace vide».

Il apparaît donc que la «révolution» opérée par Einstein est en fait une «restauration» un retour à la conception a), une fois détrônée la conception b), celle de Newton ; ce dont Einstein feint de s'excuser.

Il est clair, cependant, que la question de l'existence de l'espace vide ne peut être disjointe de celle des constituants ultimes et fondamentaux de la matière. Les débats sur l'espace ne sauraient donc être dissociés de ceux relatifs, d'abord à la théorie atomique, puis à la théorie quantique (dans la mesure où celle-ci traite précisément du monde physique microscopique et de la structure de la matière). C'est ce qu'Einstein n'a cessé de répéter, y compris dans le texte cité ici :

«Il me semble quant à moi que les théories atomiques de l'Antiquité, où les atomes étaient supposé exister séparément les uns

des autres, présupposaient un espace de type b)», (celui de Newton et de la physique classique). «La victoire remportée dans cette lutte contre l'espace absolu... n'a été possible que parce que le concept d'objet matériel a été progressivement remplacé par le concept fondamental de «champ».»

Il montre que la vitesse de la lumière

«n'est pas une vitesse comme les autres et que ce n'est que par abus de langage que l'on parle de vitesse à propos de la lumière ; pour une raison bien simple d'ailleurs, c'est que la lumière n'est pas un mobile... mais une onde, ou, suivant une terminologie plus rigoureuse, un «champ». Einstein a montré que cette vitesse de la lumière (que nous noterons c pour éviter de parler de vitesse à son propos et pour manifester qu'elle garde une valeur constante) était en fait une caractéristique de l'espace... liée précisément au fait que l'espace vide n'a aucune réalité mais est toujours le lieu de champs électromagnétiques dont la lumière n'est qu'un cas particulier (F. Balibar, Galilée, Newton, lus par Einstein, PUF 1984, p. 96, 103 à 106, 110).

Le problème philosophique du vide auquel les hommes ne cessent de réfléchir depuis deux mille ans est plus que jamais d'actualité au XX^e siècle

2. LA CONCEPTION SCIENTIFIQUE DU VIDE

Les précurseurs de Pascal

Héron d'Alexandrie, dans «les Pneumatiques» décrit les expériences de ses prédécesseurs et les siennes propres. Il pense qu'un vide absolu et continu ne peut être produit qu'artificiellement, bien que de petits vides innombrables existent entre les particules des corps et même dans l'air. Il le prouve par la possibilité de raréfier ou de comprimer les corps, y compris l'air. Il constate que le résultat de la création d'un vide revient toujours à l'attraction des corps adjacents.

A l'époque de Galilée, les philosophes expliquaient le phénomène de succion, l'action des pompes et des seringues par «l'horreur du vide» (horror vacui). Ils pensaient que la nature avait le pouvoir de prévenir la formation d'un vide en utilisant la première chose adjacente, quelle qu'elle soit, pour remplir l'espace vide en formation.

On savait depuis toujours que l'air était pesant mais pour les gens

de cette époque, l'horreur du vide et le poids de l'air étaient des notions sans rapport direct.

Au début du XVII^{ème} siècle on va commencer à relier ces deux idées et dans une période assez courte vont se succéder des expériences et des réflexions qui vont donner au sujet une grande publicité.

Beeckman 1618

Baliani dans sa célèbre lettre à Galilée du 26 Octobre 1630

Galilée dans la 1^{ère} journée des Discorsi en 1638

l'expérience de Viviani-Torricelli en 1644

Pascal intervient 3 ans plus tard en Octobre 1647 : publications des Expériences Nouvelles touchant le Vide.

Isaac Beeckman : Dans sa thèse en 1618, Beeckman professe à la fois la pesanteur de l'air et l'existence du vide. Il explique ainsi la montée limitée de l'eau dans un corps de pompe : quand on tire le piston, il se produit au dessous un vide, l'eau ainsi attirée par succion n'est pas attirée par le vide, mais poussée dans l'espace vide par la pesanteur de l'air atmosphérique.

Baliani : Dès 1630, Baliani envisage la solution théorique exacte de l'existence du vide par le biais de la pesanteur de l'air.

«Voici donc mon opinion : il n'est pas vrai que le vide répugne à la nature des choses ; il est seulement vrai qu'il ne se peut produire sans une grande violence, et l'on peut déterminer quelle est cette violence requise pour obtenir le vide. D'ailleurs, si l'air est pesant, il n'y a entre l'eau et l'air qu'une différence de plus ou moins...»

«J'estime que plus l'air se trouve élevé au-dessus du sol, plus il est léger ; toutefois je crois son immensité si grande est dépit de la faiblesse de son poids spécifique, si l'on sentait la charge de tout l'air qu'on porte au-dessus de soi, (au lieu d'en ressentir, seulement la pression uniforme) on éprouverait un très grand poids ; il ne serait cependant pas infini ; il aurait une valeur déterminée, en sorte qu'au moyen d'une force proportionnée à ce poids, on pourrait le surmonter et produire le vide.

«Si l'on voulait trouver la grandeur de cette force, il faudrait que l'on connût la hauteur de l'atmosphère et le poids spécifique de l'air à une hauteur quelconque. Quoiqu'il en soit, je juge que cette valeur est telle que l'on pourrait produire le vide avec une violence égale à celle que peut produire l'eau dans un canal dont la longueur ne dépasse pas

80 pieds» (Lettre de Baliani à Galilée du 26 octobre 1630 dans Galilée Opere, tome IX, p. 210, trad. Duhem).

Le problème est donc de savoir si l'air est pesant et comment en mesurer le poids.

Seules des pratiques expérimentales pourront transformer cette hypothèse en certitude.

Galilée (Discorsi 1638) : Il n'y a pas à proprement parler dans l'œuvre de Galilée une théorie du vide. Nous sommes plutôt en face d'usages différents de différents types de vide. Nous pouvons dégager au moins deux usages du vide.

1) l'horreur du vide ou du moins une répugnance limitée au vide (*repugnanza al vacuo*) comme principe de la cohésion de la matière.

Cette répugnance doit être mesurable et Galilée propose un dispositif expérimental pour effectuer cette mesure qui comprend un cylindre fermé par un cylindre de bois relié par un fil de fer à un récipient contenant du sable.

«Le vide ayant été effectué, on pèsera alors ensemble l'obturateur, le fil de fer, le récipient et son contenu et on obtiendra la grandeur de la force du vide» (Galilée, Discorsi, trad. Clavelin, p. 17)

A ce propos, Sagredo rappelle un fait connu de tous les praticiens de l'hydraulique : aucune pompe aspirante ne peut élever l'eau au-delà d'une certaine hauteur, de l'ordre de dix-huit brasses.

Et Salviati conclut : «Si nous pesons le cylindre d'eau que contient un canal quelconque, large ou étroit, haut de dix-huit brasses, nous connaissons la valeur de la résistance du vide».

La 2^{ème} acception du vide s'introduit avec la critique du dogme aristotélicien d'impossibilité du mouvement dans le vide, puis l'énonciation du principe fondamental de l'égalité des vitesses dans un milieu où la résistance est nulle, à savoir le vide.

Galilée écrit :

«L'écart des vitesses entre mobiles de poids spécifiques différents augmente avec la densité du milieu».

« C'est alors que, considérant ces faits, il me vint à l'esprit que si l'on supprimait totalement la résistance du milieu, tous les corps descendraient avec la même vitesse» (Galilée, *idem*, p. 61).

Ici Galilée traite le vide comme un cas limite de la diversification

des vitesses ; par là, il est amené à supposer l'existence d'un mouvement dans le vide, et a fortiori du vide.

Galilée a donc une approche du vide assez contradictoire et limitée puisque finalement Les Discorsi ne consacrent pas la liaison suggérée par Baliani entre pesanteur de l'air et résistance du vide.

Torricelli : Inspiré sans doute par les recherches de Galilée sur la «resistenza del vacuo» Torricelli a l'idée d'expérimenter sur une colonne de mercure au lieu d'une colonne d'eau. L'expérience à laquelle son nom est resté attaché a été en fait réalisée par Viviani en 1643. Elle nous est connue par une lettre de Torricelli datée du 11 Juin 1643.

«On peut supposer que la force qui empêche le vif-argent de tomber, en dépit de sa nature, a son siège dans l'intérieur du vase, soit qu'elle provienne du vide, soit qu'elle ait pour cause quelque matière extrêmement raréfiée. Mais je prétends que cette force est extérieure et qu'elle vient du dehors. Sur la surface du liquide contenu dans la cuvette pèse une colonne d'air haute de cinquante milles. Ce n'est donc point merveille si le vif-argent entre dans le tube de verre et s'y élève jusqu'à faire équilibre à la gravité de l'air extérieur qui le pousse. En un vase semblable, mais beaucoup plus long, l'eau montera à peu près à dix-huit brasses ; elle s'élèvera plus haut que le vif-argent dans le rapport où le vif-argent est plus lourd que l'eau, afin de faire équilibre à la même cause qui pousse également l'eau et le vif-argent» (Lettre de Torricelli à Ricci du 11 juin 1644, trad. Duhem dans Revue générale des sciences, t. 17, 1906, p. 809-810).

Torricelli découvre ainsi la pression atmosphérique et en observant les variations de hauteur de la colonne de mercure avec l'altitude les variations de la pression atmosphérique.

C'est le P. Mercenne qui fera connaître «l'expérience d'Italie» en France en 1644.

Pascal : Si Descartes ou Galilée ont rencontré le problème du vide, c'est par le biais d'une réflexion partant d'ailleurs et se dirigeant vers des synthèses, à l'intérieur desquelles le vide n'était qu'un élément. Pascal au contraire, l'a abordé directement par la pratique expérimentale.

Une des questions que pose l'expérience de Toricelli est la suivante :

quelle est la nature de «ce» que le mercure laisse derrière lui quand il descend dans le tube

Pascal va s'appliquer à montrer, en s'appuyant sur des expériences, en procédant par étapes, avec circonspection, qu'il s'agit du vide.

Il conçoit en vue de sa démonstration, une série d'expériences où il fait varier les facteurs pouvant avoir une influence sur le résultat et l'interprétation : nature du liquide, inclinaison et forme du tube. A la fin des «Expériences Nouvelles touchant le Vide», Pascal livre la conclusion de la 1^{ère} étape de sa démonstration : il n'y a pas de «matière connue et tombant sous le sens» en haut du tube qui est plein de vide apparent.

A ce stade de ses études sur le vide, Pascal affirme la conclusion déjà exposée par Galilée : la nature a une horreur du vide limitée. Mais il ne s'arrête pas là, et va tenter, toujours avec méthode, de répondre à la 2^{ème} question, que pose l'expérience de Torricelli, quelle est la cause de l'élévation du mercure dans le tube ? D'autres, comme nous l'avons vu ont déjà eu l'intuition de la vérité : c'est la pression de l'air qui appuie sur le liquide de la cuvette, mais ce n'est qu'une hypothèse et Pascal va en faire une réalité scientifique prouvée expérimentalement..

Quelles sont donc ces expériences décisives ?

D'abord, celle du «vide dans le vide», dont voici le principe (figure 1). L'expérience barométrique ordinaire est réalisée avec le petit tube qui est alors introduit dans le grand rempli de mercure et fermé par deux membranes. Lorsqu'on perce la membrane inférieure, le mercure du grand tube descend créant un vide dans la partie où se trouve le petit tube et l'on voit alors le mercure de celui-ci retomber rapidement.

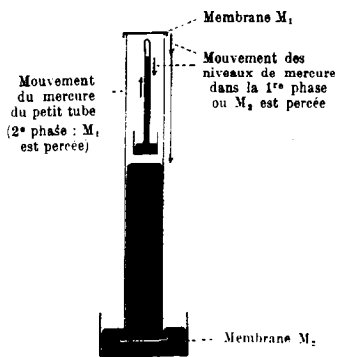


Figure 1

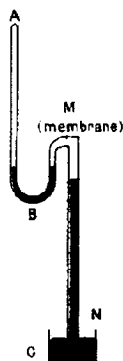


Figure 2

Cette expérience fut transformée pour devenir facile à réaliser et à montrer (dispositif décrit dans «Traité de la pesanteur de la masse d'air», figure 2.

Le tube AB remplace le petit tube et MN le grand. En M il y a une membrane, quand elle est fermée on n'observe aucune dénivellation dans le tube recourbé et le mercure est suspendu dans MN. Si M est percée le mercure retombe dans la cuvette C et s'élève dans AB.

Cette expérience qui montre la causalité de la pesanteur de l'air, ne lui semble pas à l'abri des critiques des tenants de l'horreur du vide, et il entreprend, pour avoir une preuve définitive d'organiser la célèbre expérience dite du Puy de Dôme, réalisée par F. Perier, son beau-frère.

«J'en ai imaginé une qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée de justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du Vide plusieurs fois en même jour, dans un même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt au bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq ou six cents toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà sans doute que cette expérience est décisive de la question, et que s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de la 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». (Pascal, Lettre du 15 novembre 1647 à Florin Perier, Oeuvres de Pascal, t. II, p. 153-162).

L'expérience eut lieu le 19 Septembre 1648. Cette expérience cruciale sera refaite un grand nombre de fois et lui permettra d'affirmer sa théorie avec force.

«Est-ce que la nature abhorre plus le vide sur les monts que dans les vallons ? Que tous les disciples d'Aristote assemblent tout ce qu'il y a de fort dans les écrits de leur maître, et de ses commentateurs pour rendre raison de ces choses par l'horreur du vide, s'ils le peuvent !» (Pascal, Oeuvres complètes, Pléiade 1954, p. 462).

Le fait expérimental révélé par l'expérience barométrique est en lui-même assez simple (variation de la hauteur de la colonne de mercure en fonction de l'altitude où le tube se trouve placé).

Mais son interprétation correcte implique la distinction dans l'effet produit, de l'action de deux facteurs : celle du poids, et celle de la pression élastique de la colonne d'air qui équilibre le mercure. Or, si ces deux notions sont présentes dans l'esprit des expérimentateurs, leur action est loin d'être clairement analysée.

Pascal explique l'apparition du vide dans le tube par un équilibre de poids (conception tirée de l'hydrostatique), et si dans l'interprétation de l'expérience barométrique la compression de l'air au niveau du sol et sa raréfaction au sommet d'une montagne sont nettement indiquées son analyse conceptuelle ne dépasse pas le niveau atteint par Torricelli.

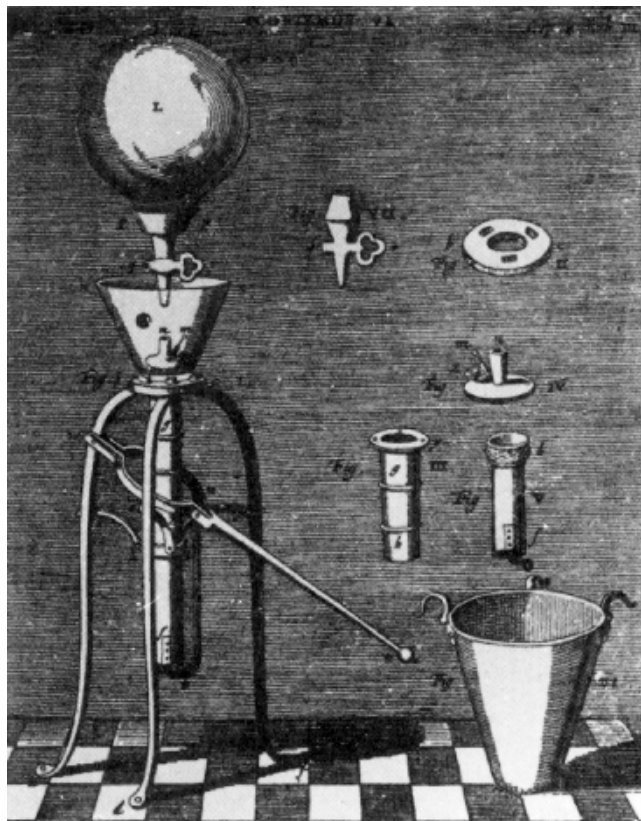
Les idées atomistes de Gassendi lui rendent plus compréhensibles les phénomènes de dilatation (expansion) et de condensation (compression) de l'air et le fait qu'une même quantité d'air (même nombre d'atomes et donc même poids) pouvait exercer selon son état de compression ou de dilatation des pressions très variables.

Aussi est-ce dans cette compression, et la pression résultante, qu'il voit le facteur essentiel du phénomène révélé par l'expérience barométrique. Le poids de la colonne d'air comprime les couches inférieures et c'est cette pression qui fait monter le mercure dans le tube.

Otto Von Guericke : D'une manière complètement indépendante puisqu'il n'aura connaissance de l'expérience de Torricelli qu'en 1654, Otto von Guericke mène une étude originale et approfondie sur le vide qu'il publie en 1672 à Amsterdam. Il imagine divers dispositifs pour faire le vide et met progressivement au point une pompe à vide qui lui servira à réaliser toutes sortes d'expériences dans le vide. Pour son premier essai il utilise un tonneau rempli d'eau, relié à une pompe semblable à celle qu'utilisent les pompiers. Il espère qu'en pompant l'eau hors du tonneau il restera du vide, mais les joints du tonneau laissent passer l'air. Le bois n'étant pas le matériau adéquat, il recommence avec une sphère de cuivre dont il essaye de pomper l'air directement, ce qui s'avère si difficile que quatre hommes unissant leurs efforts arrivent à peine à bouger le piston. Finalement après tous ces essais, il arrive à fabriquer la pompe à vide. Il l'utilise pour faire des observations, de toute nature : - un violent courant d'air ou d'eau fait irruption dans un récipient vide lorsqu'on l'ouvre - des gaz s'échappent d'un liquide lorsqu'on fait le vide au-dessus - une chandelle s'éteint dans le vide, d'où il déduit que l'air est nécessaire à la combustion qui



Guericke First Experiments. (*Experim. Magdeb.*)



Guericke's Air-pump. (*Experim. Magdeb.*)

le transforme - un oiseau meurt dans le vide - une grappe de raisin reste fraîche six mois dans le vide, etc... etc...

Ses expériences les plus importantes sont la mesure du poids de l'air et celles qui montrent la force énorme que représente la pression atmosphérique.

En connectant un cylindre vide à un long tube rempli d'eau, il construit un baromètre à eau, et il explique tous les effets attribués avant à l'horreur du vide par la pression atmosphérique.

Boyle (1660) : Les investigations de Guericke déjà bien avancées en 1654, seront poursuivies par Robert Boyle en Angleterre qui réalisera aussi une pompe à vide et effectuera encore d'autres expériences sur le vide.

– propagation de la lumière dans le vide

-- action d'un aimant à travers le vide.

On peut mentionner l'expérience qui vient confirmer les idées de Galilée sur la chute des corps dans le vide.

Dans un tube de verre où l'on a fait le vide, il place une balle en plomb et en morceau de papier ; en tournant vivement le tube de 180°, il constate que les deux corps arrivent en même temps au fond du tube.

Il étudie aussi la force d'expansion de l'air (déjà remarquée par Guericke) et découvre avant Mariotte la loi $PV = cte$.

CONCLUSIONS

Nous arrêtons ces considérations sur le vide, aux succès des expérimentateurs du XVII^{ème} siècle qui ont définitivement éliminé l'idée que la nature a horreur du vide, mis en évidence le rôle de la pression atmosphérique dans les expériences sur le vide, et inventé des dispositifs ingénieux pour produire le vide. L'élan technologique en reste là et la pompe à piston va être le seul moyen de production du vide pendant deux siècles.

Le problème plus général du vide lié à la structure de la matière va rester en sommeil aussi pendant près de deux siècles, puis resurgir au XIX^{ème} siècle à propos d'études sur la lumière. Young, Fresnel vont postuler l'existence d'un éther luminifère pour expliquer la transmission de la lumière par le «vide apparent».

L'éther va passionner et diviser les scientifiques pendant des décennies mais lorsqu'il sera définitivement abandonné, le problème quasi philosophique de l'existence du vide n'en sera pas résolu pour autant, ainsi que le montrent les commentaires d'Einstein, précédemment cités, sur le concept de champ.

BIBLIOGRAPHIE

- René DUGAS, La Mécanique au XVII^{ème} siècle, Ed. du Griffon, Neufchâtel, 1954.
- Alexandre KOYRÉ,
 - Études d'histoire de la pensée scientifique, Gallimard, 1973
 - Étude Newtoniennes, Gallimard, 1968.
- Ernst MACH, The science of mechanics, Ed. 1974, The open court publishing company.
- L'œuvre scientifique de Pascal, Centre International de Synthèse, P.U.F. 1964.
- Pierre GUENANCIA, Du vide à Dieu, Ed. Maspero 1976.
- F. BALIBAR, Galilée, Newton lus par Einstein, P.U.F. 1984.