

premiers
pas

Première partie



L'exploration de l'atmosphère de Pascal à la première guerre mondiale

Les découvertes en météorologie, dans cette sphère, dans cette atmosphère, dans ce monde du XVII^e siècle, de la physique à la controverse lorsqu'il s'agit de attribuer la paternité à tel ou tel scientifique, dans cette époque où les restrictions que les savants se sont imposées, en conflit avec l'esprit de l'époque. La science n'avait pas encore approfondi ces questions. Pour se rendre compte de la mesure de la pression atmosphérique, l'aérodynamique et l'étude des caractéristiques de l'atmosphère. Il a été appelé à des techniques nouvelles de l'aérodynamique pour aborder la dynamique, c'est-à-dire les mouvements de l'atmosphère.

Le premier pas est de mesurer la pression atmosphérique. Pascal a été le premier à mesurer la pression atmosphérique. Il a inventé le baromètre à siphon. Il a découvert que la pression atmosphérique diminue avec l'altitude. Il a été le premier à mesurer la pression atmosphérique. Il a inventé le baromètre à siphon. Il a découvert que la pression atmosphérique diminue avec l'altitude.

Le premier pas est de mesurer la pression atmosphérique. Pascal a été le premier à mesurer la pression atmosphérique. Il a inventé le baromètre à siphon. Il a découvert que la pression atmosphérique diminue avec l'altitude.

connaissance de l'atmosphère qui s'est progressivement affinée avec le développement des techniques appropriées. Mais ces recherches s'adressaient plutôt aux scientifiques, parmi lesquels les météorologistes qui n'ont commencé à se spécialiser que vers la fin du XIX^e siècle. Même si la précision de temps était le but vers lequel ils tendaient, ils ne pouvaient s'en approcher faute de données mais aussi des bases théoriques indispensables.

Il nous reste appelée la deuxième partie l'opérationnelle car il s'est

France ne relève pas d'un excès d'orgueil national mais de la nécessité pratique de limiter la recherche documentaire aux archives facilement accessibles. Les travaux en aérologie à l'étranger ne sont donc cités que lorsqu'il est apparemment nécessaire de contrôler des techniques ou de préciser des dates.

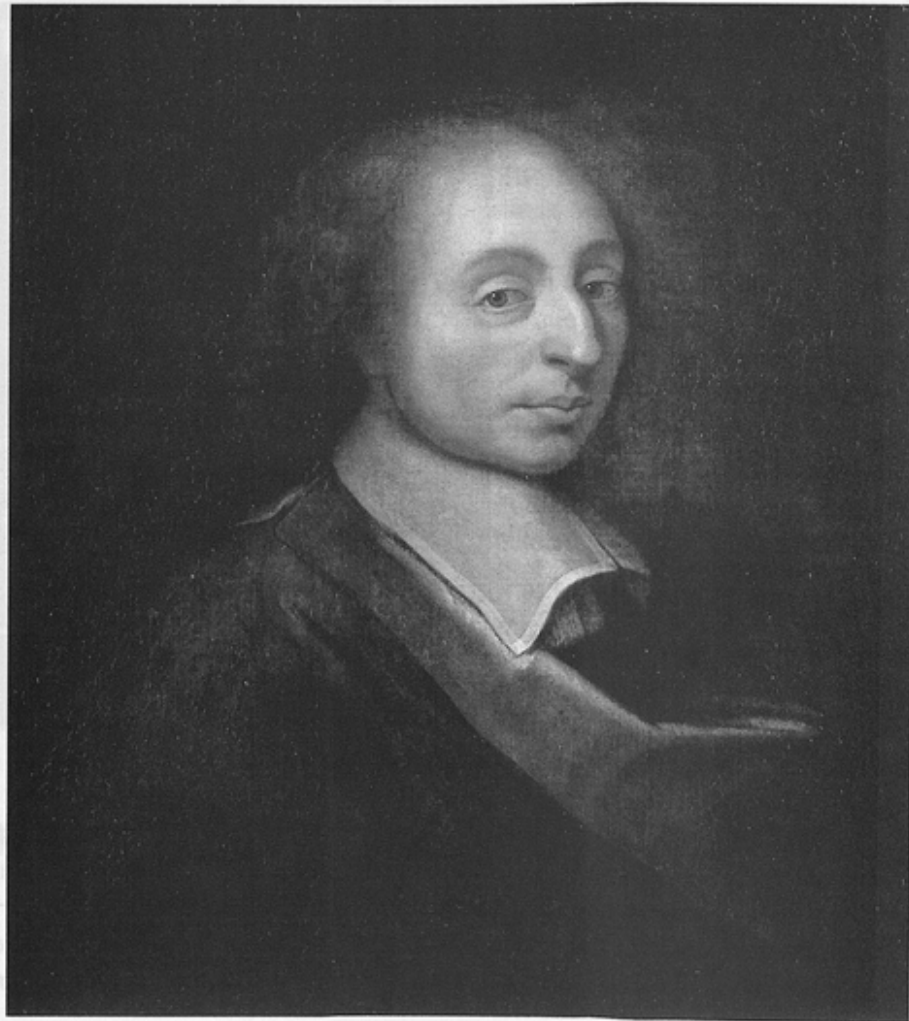
Enfin cet ouvrage étant destiné au public plutôt qu'à des spécialistes, ses auteurs se sont efforcés d'en assurer une lecture facile. Ils ont estimé pouvoir limiter la bibliographie aux titres qui leur ont paru les plus importants

infrarouge, sondeur micro-ondes, etc. fonctionnant à partir du sol ou embarqués sur différents vecteurs.

Une suite a cependant été ébauchée. Elle reste à la disposition de ceux qui désirement couvrir la période allant jusqu'à nos jours.

Sous l'impulsion de Patrick Brochet, qui était président de l'Association lorsque fut prise la décision de rédiger cet ouvrage, un groupe de travail s'est réuni pour mener à bien cette tâche.

La publication présentée est donc une oeuvre collective, à laquelle ont contribué : Yves Agnoux, Roger Béving,



Portrait en buste de Pascal. École française (17^e siècle). Photo Réunion des Musées nationaux, Musée de Versailles.

Georges Chabod, Pierre
Dernier, Henri Dreusart
et, tous membres de
cet organe, ont reçu l'aide de col-
leagues en activité, et
de météorologistes. Je
ne puis citer mais je les remer-
cie pour leur appui.
C'est présente le risque d'un
de doublons en de
Devergé a accepté
l'ordination des travaux
même une grande parte
sans à rendre ici hom-
grâce auquel je pense
à l'Association des météorologistes.
En terminant, remercier
Beysson, président
de Météo-France, qui
scepter que cet ouvrage
organisme qu'il dirige.
Précisément cette nou-
l'intérêt que j'ai à
son. Elle me permet
donc que les Anciens
apporter quelque chose
à leur maison.

Le président de l'AVMT

Jean Labrousse

Les premiers pas

Les découvertes concernant l'atmosphère, dans cette première moitié du XVII^e siècle, donnent encore lieu à controverse lorsqu'il s'agit d'en attribuer la paternité à tel ou tel savant, en particulier dans cette période dominée par des personnalités telles que Galilée, Descartes et Pascal. À cela, s'ajoutent les restrictions que certains de ces savants se sont imposées afin de ne pas rentrer en conflit avec les positions de l'Église de l'époque. Le lecteur qui désirerait approfondir ces problèmes d'antériorité pourra se reporter au livre *Invention of the meteorological instruments* de Middleton (1969).

L'aérologie¹ a pour but la détermination et l'étude des caractères physiques de l'atmosphère. Il a été convenu de limiter son domaine à l'altitude maximale atteinte par les radiosondages, soit 30 kilomètres environ. Au-dessus, on entre dans le domaine de l'aéronomie qui fait appel à des techniques spécifiques. Les données de l'aérologie sont indispensables pour aborder la météorologie dynamique, c'est-à-dire l'étude des mouvements de l'atmosphère ; ses progrès au cours de la période qui nous intéresse ont permis l'avènement des méthodes modernes de prévision du temps.

Mais où et quand faire débiter l'aérologie ? *L'Encyclopædia universalis* assure que les savants grecs étaient arrivés à la conclusion, qu'« il n'y a de science que par la mesure et par l'intervention de relations mathéma-

tiques ». La Renaissance renoua rapidement avec cette pensée. Dès 1440, dans *Docte Ignorance*, de Cues déclarait : « La mesure est la clé de la Physique », et Galilée, dans *Il saggiatore - L'essayeur*, enseignait à ses élèves : « Mesure ce qui est mesurable et rend mesurable ce qui ne peut être mesuré ».

L'expérience de Pascal

Nous sommes donc tout naturellement conduits à commencer notre étude par Pascal qui démontra l'existence de la pression atmosphérique et la mesura. Nous le considérons comme le « père de l'aérologie ».

On sait qu'à l'automne 1646, deux ans à peine après l'expérience de Torricelli, il participa à « l'expérience du vide ». Elle fut exécutée à Rouen, par Petit, ingénieur des fortifications royales, d'après les indications du père Mersenne, qui, alerté par le père Ricci, s'était rendu en Italie où il s'était informé sur les travaux de Torricelli. Pascal est dès lors convaincu de l'existence de la pression atmosphérique et, par suite, du poids de l'air. À partir de 1647, il conçut et réalisa une série d'expériences faciles et spectaculaires qui confirmèrent sa théorie de l'air pesant ; citons le crève-tonneau, l'arache-pavé et surtout le « vide dans le vide » qui lui permit, en travaillant sous vide, de remplir entièrement un tube de mercure plus long que les 76 cm fatidiques. Pascal



Expérience de Pascal à Rouen en 1746. Pascal retrouva les problèmes des puisatiers de Rome, en utilisant des tubes de verre de plus de 10 mètres. Les verriers de Rouen étaient réputés. Photo Météo-France.



Portrait de Torricelli. Photo Météo-France.

1 - Le terme « aérologie » daterait de 1696 alors que celui d'atmosphère remonterait à 1655. (Dictionnaire historique de la langue française, Alain Rey, éditions dictionnaires Le Robert). Mais en 1647 Dominico Panarolo avait publié, en Italie, une « Aérologie ».



Portrait de Galilée. Photo Météo-France.



Baromètre et électricité statique

Il est intéressant de signaler une retombée inattendue de l'expérience de Pascal. Vers 1670, l'abbé Jean Picard¹ (1620-1682) a constaté que le tube de mercure du baromètre devenait lumineux quand on agite le mercure. Cette première observation des effets de l'électricité sur un gaz raréfié rejoignit les phénomènes d'électricité statique déjà connus et servit de base aux travaux de Stephen Gray (1666-1736) et de Charles de Fay (1698-1739) qui semblent avoir été les premiers à chercher une explication à ces phénomènes. Certains les considèrent comme les « pères de l'électricité ».

1 - Astronome géodésien, il collabora avec Jean Cassini à l'observatoire de Paris et effectua, au sud d'Amiens, la première mesure d'un arc de méridien.

1 - C'est peut-être Descartes qui avait donné à Pascal l'idée de l'expérience, en écrivant, dans une lettre adressée le 18 décembre 1647 au père Mersenne, qu'il serait utile « d'expérimenter si le vif-argent monte aussi haut lorsqu'il est au-dessus d'une montagne que lorsqu'il est en bas ». Mais Pascal n'a jamais collaboré avec Descartes.

2 - Il existe deux comptes rendus de l'expérience du puy de Dôme, l'un de Perier, l'autre de Pierre Gassendi, d'après l'abbé Monsnier, témoin direct. Les relevés cités diffèrent quelque peu. P. Humbert, en 1942, a montré que les unités utilisées n'étaient pas les mêmes !

3 - La communauté scientifique internationale a rendu hommage à Pascal en donnant son nom à l'unité de pression du système international.

demanda alors à son beau-frère Perier, qui résidait à Clermont-Ferrand, d'organiser une ascension au puy de Dôme, pour vérifier¹ si la pression diminuait avec l'altitude. Elle fut réalisée le 19 septembre 1648, mais Pascal ne put y assister en raison de son mauvais état de santé².

Pour convaincre les beaux esprits parisiens, il renouvela cette expérience, à une échelle réduite, dans l'église Saint-Jacques-de-la-Boucherie, dont il reste l'actuelle tour Saint-Jacques, qui avait donc une vocation météorologique certaine. La preuve fut formelle : la pression diminuait avec l'altitude ! Elle était donc due au poids de la colonne d'air surmontant le point de mesure. Enfin, Pascal organisa, de 1649 à 1651, des mesures simultanées de la pression à Paris, à Clermont-Ferrand et à Stockholm. Ainsi, fut mise en évidence la variabilité de la pression atmosphérique à la surface du globe. En cela, Pascal est également un précurseur de la météorologie synoptique.

Le *Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, rédigé entre 1651 et 1653, constitue l'aboutissement des recherches de Pascal en la matière³. Il précise ainsi ses conclusions :

- « Remarquons donc :
- que la masse de l'air est pesante ;
- qu'elle a un poids limité ;
- qu'elle est plus pesante en un temps qu'en un autre ;

- qu'elle est plus pesante en certains lieux qu'en d'autres, comme les vallons ;
- qu'elle presse par son poids sur tous les corps qu'elle enferme et d'autant plus qu'elle a de pesanteur ».

Pascal prit soin également d'indiquer un moyen extrêmement simple de vérifier ses dires : « Si l'on prend un ballon à demi plein d'air flasque et mol et qu'on le porte au bout d'un fil sur une montagne haute de 500 toises, il s'enflera de lui-même, et quand il sera en haut, il sera tout plein et gonflé comme si on y avait soufflé de l'air de nouveau ; et en redescendant, il s'aplatira peu à peu par les mêmes degrés ; de sorte qu'étant arrivé en bas, il sera revenu à son premier état. Cette expérience prouve tout ce que j'ai dit de la masse de l'air, avec une force toute convaincante ».

Par ailleurs, dans son *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*, Pascal a proposé d'utiliser le baromètre comme altimètre, pour déterminer l'altitude des lieux. Enfin, il a calculé le poids total de l'atmosphère !

De nombreuses expériences, faites à l'étranger, vinrent rapidement confirmer les travaux de Pascal et affirmer sa gloire³. La plus importante peut-être est celle de von Guericke qui, en 1654, réalisa « les hémisphères de Magdebourg » qui deviennent très difficiles à séparer lorsque le vide est fait dans la sphère.

Les antécédents

En fait, tout est venu d'Italie avec le constat que les pompes ne pouvaient élever l'eau au-delà d'une hauteur voisine de 10 mètres. Il semble qu'un jeune élève ait demandé une explication, concernant cette limitation, à Galilée, tandis que Giovanni Batista Baliani, dans une lettre très déférente, datée du 27 juillet 1630, posait au maître la question du non-fonctionnement du siphon qu'il avait construit, lorsque la dénivellation était de quelque dix mètres. Galilée et ses élèves étudièrent le problème. Galilée lui répondit dans une lettre du 6 août 1630.

L'explication ne lui paraissait pas convaincante : il doutait du vide et ne semblait pas avoir conscience de la pression exercée par l'air. Les recherches continuèrent, recherches auxquelles, entre autres, Torricelli participait. On peut penser qu'à la fin de cette année 1630, la notion d'existence du vide, au sommet du siphon, commençait à être admise par tous. Par contre, la « pesanteur de l'air » n'était pas acquise.

Cette notion était pourtant depuis longtemps dans les esprits.

D'après Fierro, l'Anglais Bacon (1214-1294) – peut-être le premier esprit scientifique de l'après Moyen Âge – établit, dans son *Opus Majus*, que la densité de l'air est variable. Deux cents ans plus tard, en 1450, de Cues, dans son traité *Des sciences statiques*, après avoir proposé un hygromètre-balance, reposant sur l'absorption de la vapeur d'eau par la laine¹, écrit : « *Appréciant ainsi les variations du poids de l'air, on pourrait faire des conjectures vraisemblables sur les changements de temps* ».

Parmi les précurseurs, on peut également citer Tartaglia et Beeckmann, un ami de Descartes et Descartes lui-même. En 1631, un de ses élèves lui demanda pourquoi le mercure ne s'écoulait pas d'un tube assez court, plongé dans le mercure. Descartes lui répondit : « *Vous ne devez pas penser que le mercure ne peut être séparé du fond du tube, mais que cela nécessite une force aussi grande que pour élever la totalité de l'air existant au-dessus de ce point jusqu'au-dessus des nuages* ».

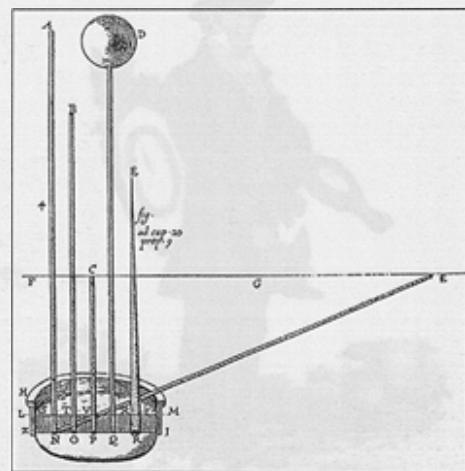
Berti fit une expérience intéressante en 1639 en utilisant un long tube de plomb. Il façonna, au-dessus du niveau maximal du liquide, une petite cavité dans laquelle il plaça une petite cloche qui tintait parfaitement quand on remuait le tube : le vide n'empêchait donc pas le son de passer. D'après Viviani, qui fut l'assistant de Galilée peu avant sa mort en 1642, ce dernier aurait envisagé de reprendre l'expérience de Berti avec des liquides plus denses que l'eau, pour

aboutir au mercure. Mais c'est finalement Torricelli qui réalisa l'expérience qui illustra son nom, à une date qui reste imprécise, sans doute en 1643. Il était surtout mathématicien et publia un seul ouvrage « *Opera geometrica* », en 1644, mais laissa des manuscrits qui furent édités longtemps plus tard. En fait, la fameuse « *expérience de Torricelli* » n'est connue que par une lettre fort intéressante qu'il écrivit à Ricci, le 11 juin 1644. Il indique qu'il recherchait « *un instrument pour montrer les modifications de l'air, tantôt lourd et épais, tantôt léger et plus subtil* ». Plus loin, il précise sa pensée : « *Nous sommes submergés au fond d'un océan d'air élémentaire, que l'on sait, grâce à des expériences incontestables, être pesant* ». Cette expérience fut très vite reprise par de nombreux opérateurs et notamment chez le Duc de Toscane, Ferdinand II, devant le Français Emmanuel Maignan, de Toulouse, qui en publia une relation détaillée en 1653.

Il fallait cependant donner, de cette expérience une explication décisive : c'est ce que l'on attribua à Pascal.

Descartes est considéré, par H. Howard Frisinger, dans son *History of Meteorology to 1800*, comme le premier constructeur de baromètres². Il s'appuie sur une lettre adressée au père Mersenne le 12 décembre 1647, par laquelle Descartes lui envoie une échelle en pieds, pouces et lignes « *de façon à ce que nous voyions si nos observations concordent* ». L'adjonction d'une échelle au tube de mercure en ferait un instrument de mesure : un baromètre. C'est, à notre sens, jouer un peu sur les mots, car il est bien certain que Pascal mesura la hauteur du mercure, ce que confirment les relevés effectués lors de l'expérience du puy de Dôme. Quoi qu'il en soit, cette discussion fait apparaître le rôle considérable du père Mersenne, qui assura, par sa volumineuse correspondance et ses déplacements, la liaison entre les savants de l'époque et la diffusion des résultats de leurs recherches.

On peut s'étonner que Galilée n'ait pas



L'expérience de Torricelli, en 1643, rapportée par Maignan.



« *Traité du baromètre* » par Louis Philippe La Brosse (1717). Photo Météo-France.

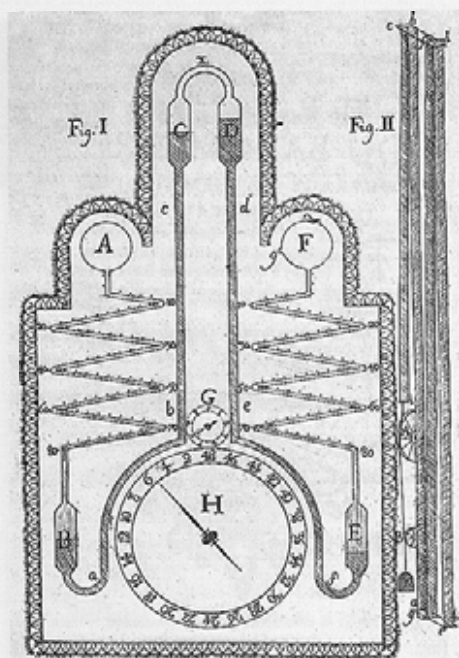
1 - Léonard de Vinci a décrit, cinquante ans plus tard, un hygromètre à balance reposant sur le même principe. Une maquette est exposée au Clos Lucé, à Amboise.

2 - W. E. K. Middleton, quant à lui, considère que l'on pourrait attribuer cette invention à Torricelli, qui aurait été le premier à vouloir mesurer les « variations de l'air ».



Marchand de Baromètres

Le marchand de baromètres. Gravure en couleur de la série « Les métiers de Paris » par Carle Vernet (1756-1836).



Le météoroscope de Grillet. Voir commentaire dans le texte. Origine : « Curiosités mathématiques de l'invention » par Grillet (1673).

1 - Les aristotéliens assurent maintenant qu'Aristote n'a jamais écrit cette ineptie qui viendrait d'un traducteur moyenâgeux ignorant. Il aurait simplement déclaré qu'aucun phénomène ne peut se produire dans le vide. L'un des supports de cette croyance était qu'il était admis que la lumière ne pouvait pas traverser le vide.

2 - Le refus de « l'horreur du vide » figure dans la liste des « deux cents erreurs exécrables » publiée en 1277 par l'évêque de Paris, Étienne Tempier.

3 - On pourra se référer, pour plus de détails, à l'expérience barométrique, ses antécédents et ses explications. Cornells de Waard (Thouars, 1936).

4 - Lavoisier s'est intéressé à la formation de l'atmosphère. Il conclut en regrettant « de n'avoir à présenter que des hypothèses et des conjonctures » ! (Recueil des Mémoires de Chimie, tome 2).

5 - La querelle entre les « émanationnistes » et leurs adversaires a également sévi en Angleterre. On sait que Voltaire se tenait soigneusement informé du mouvement des idées dans ce pays où il avait été exilé trois ans.

accepté la proposition de Baliani. Peut-être estimait-il qu'il avait eu suffisamment d'ennuis avec sa découverte de la rotation de la Terre autour du Soleil ! En effet, l'expérience de Torricelli a prouvé l'existence du vide, dans le tube, au-dessus du mercure. Or, ce fait était considéré comme impossible, et l'idée comme sacrilège, par la quasi-totalité des autorités tant universitaires qu'ecclésiastiques de l'époque, car, depuis Aristote, chacun savait que « la nature a horreur du vide ». Certains pensaient même que le concept de vide était incompatible avec les Saintes Écritures².

Dans la lettre par laquelle il demandait à Périer de faire l'expérience du Puy de Dôme, Pascal écrivait : « J'ai peine à croire que la nature, qui n'est point animée, ni sensible, soit susceptible d'horreur, puisque les passions présupposent une âme capable de les ressentir ».

Ainsi, la confirmation par Pascal, malgré sa ferveur religieuse, de l'existence du vide, a-t-elle remué bien des consciences, détruit bien des tabous et contribué à rompre les verrous mis par la scolastique au développement de la connaissance et de la science.

Le baromètre

Le baromètre³ doit son nom, en 1665, à l'Anglais Boyle qui critiqua Pascal, mais poursuivit ses expériences. Notre « Loi de Mariotte » est, outre-Manche, la « Loi de Boyle » qui revendiqua une antériorité d'une quinzaine d'années. Les physiciens de l'époque ont très vite répété les expériences de Pascal et les modèles de baromètre à mercure se sont multipliés. Ils ont même été associés à un thermomètre, à un hygromètre et même à un anémomètre comme le montre le curieux météoroscope, proposé en 1673 par le sieur Grillet, horloger à Paris. Les baromètres ont été rapidement munis d'un flotteur qui actionnait une aiguille se déplaçant sur un cadran, souvent richement orné. Son usage s'est très vite répandu, au point de deve-

nir une mode ; il était sans doute utilisé tout autant à des fins décoratives que scientifiques, bien qu'il ait été très tôt associé à la prévision du temps. Toutes les bonnes maisons et tous les esprits curieux se devaient d'en posséder. Neve, dans sa *Baroscopologia*, écrit à Londres en 1708 : « Peu de gentilshommes en sont dépourvus, peu d'entre eux comprennent son utilisation et son fonctionnement ». Dans sa série bien connue des « Métiers de Paris », le graveur Carle Vernet n'a pas oublié le « Marchand de baromètres » qui trimballe ses appareils, sans aucune précaution, sous son bras ! Dès 1708, paraît à Amsterdam, en français, un *Traité des baromètres, thermomètres, et notiomètres ou hygromètres*. L'auteur, d'Alencé, s'est caché sous l'anonymat, tout comme Descartes avant lui. Ce souci de discrétion rejoint nos dires concernant les retombées religieuses de l'expérience de Pascal.

Cependant, les idées concernant l'atmosphère ont mis longtemps à se clarifier. Jusque vers le milieu du XVIII^e siècle, beaucoup de bons esprits avaient des conceptions curieuses sur ce sujet : ils se fondaient sur l'étymologie du mot. En 1764, dans son *Dictionnaire Philosophique*, à l'entrée « Air », Voltaire écrivait : « Les Grecs appelaient l'enveloppe qui nous environne l'atmosphère, la sphère des exhalaisons, et nous avons adopté ce mot... Y a-t-il parmi ces exhalaisons (du sol) une autre espèce de matière qui ait des propriétés différentes ? J'ai toujours demandé pourquoi on admettait une matière invisible, impalpable, dont on n'avait aucune connaissance ? S'il existe de l'Air⁴, il faut qu'il nage dans la mer immense de vapeurs qui nous environne et que nous touchons au doigt et à l'œil ». En réalité, il fallut attendre le dernier tiers du XVIII^e siècle, avec les travaux de Lavoisier⁵, de Cavendish et de Priestley, et la détermination de la composition chimique de l'air, pour mettre un terme à une controverse qui opposa air et atmosphère, controverse qui nous paraît aujourd'hui parfaitement vaine⁵ !