

Introduction

Cet ouvrage présente les méthodes développées aux XVII^e et XVIII^e siècles pour estimer la hauteur de l'atmosphère, méthodes pour l'essentiel fondées sur l'observation de la lumière réfractée et réfléchie par l'atmosphère et de certains météores, et les résultats auxquels ces méthodes conduisent, générant contradictions et avancées. Cette question de la hauteur de l'atmosphère est indissociable de celle de sa représentation, l'atmosphère passant d'un statut d'objet idéalisé et purement mathématique, ceci jusqu'au milieu du XVII^e siècle, à celui d'un objet physique complexe, éminemment variable, dont la nature fait l'objet d'une multitude d'hypothèses, que les savants du XVIII^e siècle tentent de concilier au sein d'une vision d'ensemble cohérente. La quête du sommet de l'atmosphère, que les différents phénomènes étudiés ne placent pas tous à la même hauteur, est durant cette période un aiguillon puissant de la recherche, du débat et de la nécessaire synthèse qui en résulte. Plutôt que d'aborder, une par une, les différentes méthodes utilisées pour estimer la hauteur de l'atmosphère, nous adopterons dans cet ouvrage une approche transversale en examinant les diverses matières subtiles introduites par les savants de l'époque pour expliquer les phénomènes dont ils dérivent cette hauteur, comme autant de jalons dans la construction de la représentation de l'atmosphère en tant qu'objet physique. Ces matières subtiles, s'inscrivant pour la plupart dans l'héritage de René Descartes, offrent un terrain d'investigation large qui permet de planter le décor dans lequel s'inscrit l'évolution de la pensée scientifique de l'époque, relativement à la compréhension des phénomènes atmosphériques. Il existe une cohérence d'ensemble forte entre les hypothèses faites à cette époque, bien au-delà de la question du bien-fondé de ces hypothèses au regard des connaissances d'aujourd'hui, montrant à quel point leur foisonnement et la confrontation des points de vue permettent à la connaissance de mûrir, jusqu'à ce que se produise le saut conceptuel qui renverse les anciennes idées et permet une avancée objective. L'échelle de temps du processus est longue, de l'ordre du siècle. C'est ce travail de maturation progressive, dans la tension permanente entre l'héritage des anciens et les idées nouvelles résultant d'observations toujours plus nombreuses, riches et précises, que nous présenterons dans cet ouvrage.

Le chapitre 1 sera consacré à l'analyse du sens des mots utilisés au XVIII^e siècle pour caractériser l'air, l'atmosphère, l'éther et plus généralement les matières subtiles. Comprendre la littérature de l'époque sur l'atmosphère et les matières subtiles requiert en effet de bien comprendre le sens exact des termes utilisés, qui diffère souvent du sens qu'on leur donne aujourd'hui. Par exemple, le terme « vapeur », que nous appliquons aujourd'hui à un gaz, est alors employé pour désigner une composante de petites particules émanant de la Terre ou de l'eau, dont l'union peut éventuellement conduire à la formation de nuages, ou de brouillards. Le terme « air » prend des significations différentes, suivant qu'il s'agit, par exemple, de l'air grossier, ou de l'air élémentaire. Il existe pareillement de multiples définitions de l'éther qui englobe et, selon certains, pénètre l'atmosphère, dans ce dernier cas lui conférant, par exemple, son élasticité. Le foisonnement des idées scientifiques au XVIII^e siècle s'accompagne d'une multiplicité des sens donnés aux mots, qu'il est nécessaire d'avoir bien à l'esprit pour comprendre pleinement la nature des mécanismes invoqués. Le chapitre 1, qui ne se veut pas exhaustif, apportera un éclairage basé sur l'analyse d'un certain nombre d'articles sur des mots concernant l'atmosphère dans plusieurs dictionnaires : le *Dictionnaire universel* de Furetière, dont la première édition date de 1690, *L'Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, éditée à partir de 1751 et, à titre de comparaison entre les termes utilisés par les communautés scientifiques française et anglaise, le *Lexicon Technicum*, dont la première édition remonte à 1704. On trouve de nombreuses analogies entre les mots utilisés en France et outre-Manche, les articles des dictionnaires de l'un ou l'autre pays citant fréquemment des auteurs de l'autre pays, mais également des différences qui tiennent aux conceptions scientifiques qui sous-tendent l'utilisation des mots, celles-ci étant imprégnées côté français de la doctrine cartésienne. L'utilisation des trois dictionnaires permettra également de noter certaines évolutions qui ont lieu dans la définition des mots scientifiques entre l'aube et le milieu du siècle des Lumières, dans une période de développement rapide de la pensée scientifique.

Les chapitres 2 à 6 seront dévolus à cinq matières subtiles importantes pour notre sujet, à savoir la matière réfractive (chapitre 2), proposée notamment par Jacques Cassini au tournant du XVIII^e siècle pour lever les incohérences de la théorie attribuant aux vapeurs et exhalaisons un rôle majeur dans la réfraction, la matière solaire (chapitre 3) à laquelle fait appel Jean-Jacques Dortous de Mairan pour expliquer les aurores boréales, sur la base des observations de la lumière zodiacale faites par Jean-Dominique Cassini quelques décennies auparavant, la matière magnétique (chapitre 4), initialement proposée par Descartes selon sa théorie de l'aimant, et que Edmund Halley invoque pour donner sa propre explication des aurores boréales, la matière électrique (chapitre 5) qui sera proposée pour rendre compte des météoroïdes, s'enflammant à leur entrée dans l'atmosphère (les « globes de feu », parfois appelés aussi « feux volants », ainsi que nous les nommerons), et des étoiles filantes (les « étoiles tombantes », comme nous les désignerons dans cet ouvrage), objets qui demeurent mystérieux durant la plus grande partie du XVIII^e siècle, et auxquels on prêterait une origine électrique, ainsi d'ailleurs qu'aux aurores boréales postérieurement aux théories de Mairan et de Halley,

enfin l'air subtil (chapitre 6), invoqué par Mairan en soutien à sa théorie de l'aurore boréale pour expliquer la mise en suspension à de grandes hauteurs de la matière solaire.

Le chapitre 2 sera consacré à la matière réfractive. Après avoir posé le contexte en termes de représentations de l'atmosphère à la fin du XVII^e siècle, après la découverte de son caractère pesant et de l'élasticité de l'air qui font entrer l'atmosphère au rang d'objet physique directement observable et mesurable au laboratoire et dans la nature, nous analyserons les arguments utilisés au début du XVIII^e siècle en faveur de l'existence d'une matière réfractive spécifique échappant aux mesures du baromètre, pour expliquer les observations de la réfraction de la lumière des astres par l'atmosphère. Nous montrerons que cette idée d'une matière réfractive s'inscrit bien dans la pensée d'inspiration cartésienne alors dominante à l'Académie des sciences et ses contradictions, naissant notamment de l'incohérence entre le rôle supposé majeur, sur le plan théorique, des vapeurs condensées dans le processus de réfraction atmosphérique, et l'observation qui, au contraire, ne fait pas apparaître de lien entre réfraction et présence de particules en suspension. Cette idée n'a pas été reprise et développée outre-Manche où, dès la fin du XVII^e siècle, Isaac Newton a compris le rôle essentiel joué par la température de l'air, et Halley le rôle des vents dans la modulation de la pression atmosphérique, sans avoir besoin de recourir à l'effet des vapeurs et des exhalaisons. Un effet collatéral bénéfique de l'introduction de la matière réfractive a été le développement de modèles paramétriques, utilisant l'approche différentielle, de la réfraction, comme celui de Pierre Bouguer. Ces modèles, développés au départ par les savants français et anglais, ont permis l'élaboration de modèles détaillés, incluant à partir du milieu du XVIII^e siècle la prise en compte précise de la température, et débouchant à la fin du siècle sur le modèle totalement cohérent de Pierre Simon de Laplace qui scelle l'abandon définitif de la matière réfractive.

Le chapitre 3 traitera de l'atmosphère solaire. Nous poserons d'abord le cadre, riche et foisonnant à la fin du XVII^e siècle, des conceptions relatives aux taches solaires, à la lumière zodiacale et aux comètes, vues comme des phénomènes en relations étroites les uns avec les autres par le biais d'une atmosphère solaire active dans de nombreux compartiments de l'espace interplanétaire et des planètes. Puis nous nous intéresserons à la théorie des aurores boréales élaborée par Jean-Jacques Dortous de Mairan au début du XVIII^e siècle, à savoir la précipitation épisodique dans l'atmosphère terrestre d'une matière solaire subtile supposée se mélanger à la matière atmosphérique et devenir lumineuse du fait de ce mélange. Nous montrerons comment cette théorie s'inscrit dans le cadre de pensée issu des deux siècles précédents, donnerons les estimations de la hauteur des structures aurorales faites par Mairan et d'autres savants, replacerons la théorie dans le contexte des grands courants de pensée de l'époque, en particulier la tendance des cartésiens à majorer considérablement la hauteur de l'atmosphère au début du XVIII^e siècle et détaillerons les théories concurrentes élaborées par Edmund Halley et Leonhard Euler. Nous examinerons également l'impact de l'existence d'une

atmosphère solaire sur la hauteur de l'atmosphère déduite de la durée des crépuscules, question adressée au début du siècle précédent par Johannes Kepler, qui ne donnait pas à l'atmosphère une hauteur supérieure à quelques kilomètres, et à laquelle Philippe de La Hire, un siècle plus tard, apporte des éléments de réponse.

Nous examinerons au chapitre 4 la question de la matière magnétique. Au début du XVIII^e siècle, Edmund Halley, spectateur d'une aurore boréale, a l'intuition que les figures lumineuses de l'aurore sont la manifestation visuelle de la matière magnétique qui circule, d'un pôle à l'autre, dans la haute atmosphère de la Terre, ou l'éther, suivant la représentation cartésienne du tourbillon de l'aimant. Cette intuition lui est dictée par la disposition que prend la limaille de fer répandue au voisinage d'un aimant, qui rappelle celle des faisceaux auroraux. Cette idée sera reprise par Charles François de Cisternay Dufay, étudiant quelques années plus tard les propriétés de l'aimant comme une preuve de la circulation de la matière magnétique dans un seul sens, et non pas dans les deux sens, comme le suppose Descartes dans son système du monde. Cette question de la circulation de la matière magnétique, et en particulier celle de son sens d'écoulement dans l'aimant qui est au cœur de la problématique de Halley, préoccupe durant cette période de nombreux savants qui réalisent des expériences pour essayer de mettre en évidence la matière magnétique et la caractériser. Ainsi, l'aurore boréale comme expérience grandeur nature révélant la matière magnétique terrestre prend une place centrale dans cette période d'évolution progressive de la conception de l'aimant qui va conduire dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle à l'abandon de la notion de circulation de la matière magnétique. Nous exposerons dans cet article le contexte hérité du XVII^e siècle dans lequel s'inscrit la pensée de Halley, les détails de son explication et les suites qu'aura son travail dans le domaine du magnétisme, ainsi que l'évolution plus générale de la conception de l'aimant à son époque et jusqu'à la fin du XVIII^e siècle.

Le chapitre 5 sera consacré à la matière électrique. L'élucidation de la nature des « globes de feu » (les bolides entrant dans l'atmosphère, ou météoroïdes dans la terminologie scientifique actuelle), dont les premières observations documentées remontent au XVII^e siècle, et qui fournissent des informations sur la hauteur de l'atmosphère, s'étend sur la totalité du XVIII^e siècle. L'origine extraterrestre de ces corps, pressentie dès la fin du XVII^e siècle, mais qui viole la doctrine cartésienne des météores héritée d'Aristote, met très longtemps à s'imposer, entre la première proposition scientifiquement étayée qui en est faite par Halley au début du XVIII^e siècle, et la théorie, pour l'essentiel exacte, proposée par Ernst Chladni à la fin du même siècle. Les quelques articles sur la question qui jalonnent le XVIII^e siècle font apparaître, vers le milieu du siècle, période de développement rapide de l'expérimentation de l'électricité atmosphérique par des pointes métalliques et des cerfs-volants et qui débouche sur la mise en évidence du caractère électrique des phénomènes orageux, le fluide électrique comme un agent essentiel des globes de feu et des « étoiles tombantes » (les étoiles filantes), ainsi que des aurores boréales, ces différents phénomènes

étant considérés par de nombreux savants de l'époque comme étroitement liés. La deuxième moitié du XVIII^e siècle est marquée par une tendance générale à attribuer de nombreux phénomènes faisant intervenir le feu à l'électricité, et les météores précédemment cités n'échappent pas à la règle. Le caractère électrique des globes de feu est âprement débattu durant cette période, l'hypothèse électrique ayant ses partisans farouches et ses détracteurs qui expriment des doutes sur la base des observations dont ils estiment certains aspects contradictoires avec une nature électrique du phénomène.

Le chapitre 6 traitera de la question de l'air subtil, plus délicat que l'air que nous respirons, mais moins subtil que l'éther, en relation avec la théorie des aurores boréales de Jean-Jacques Dortous de Mairan. La très grande hauteur estimée des structures aurorales, qui tournent avec la Terre et sont supposées par la plupart des savants de l'époque être immergées dans sa haute atmosphère, suggèrent que la matière aurorale, que Mairan suppose être issue de l'atmosphère solaire, se mêle avec un air très fin s'étendant bien plus haut que l'air grossier dont la pression nous est donnée par le baromètre à mercure. Nous analyserons dans ce chapitre le cadre conceptuel issu du XVII^e siècle dans lequel il faut replacer le système de Mairan, ainsi que les preuves expérimentales sur lesquelles lui et ses contemporains s'appuient pour postuler l'existence de l'air subtil : inégalité du niveau du mercure dans différents baromètres, suspension du mercure à grande hauteur dans des tubes renversés, « phosphore mercuriel » (les baromètres lumineux), degré d'adhérence considérable entre des plans polis joints, théories de la cohérence des corps solides. Nous montrerons en quoi l'hypothèse de l'air subtil permet à Mairan de s'affranchir de difficultés résultant d'estimations divergentes de la hauteur de l'atmosphère suivant différentes méthodes, et comment, grâce à l'introduction de l'air subtil, un tableau cohérent de la structure verticale de l'atmosphère se dégage des travaux réalisés dans la seconde moitié du XVII^e siècle et tout au long du XVIII^e siècle.

Le chapitre 7 sera consacré à une synthèse des estimations de la hauteur de l'atmosphère faites à partir des différentes méthodes utilisées, dont l'interprétation fait appel à une ou plusieurs des matières subtiles analysées dans les chapitres précédents : la réfraction atmosphérique (matière réfractive), la durée des crépuscules (matière solaire), les aurores boréales (matières solaire et magnétique, air subtil), les globes de feu et étoiles tombantes (matière électrique). Nous décrirons le contexte, en termes de représentations de l'atmosphère et d'interprétation des différents phénomènes utilisés pour estimer sa hauteur. Nous analyserons, à la lumière des représentations alors dominantes de l'atmosphère, notamment de la présence d'une composante jugée majeure, en termes de poids et de pouvoir réfractif, de vapeurs et d'exhalaisons, ou encore de l'existence d'une composante plus fine, voire subtile, de l'atmosphère s'étendant à très grande hauteur au-dessus de la Terre, et des conceptions développées au tournant du siècle sur les matières subtiles, les contradictions qui émaillent l'évolution de l'estimation de la hauteur de l'atmosphère par les différentes méthodes, et les arguments développés

pour les résoudre. Plus généralement, l'introduction de ces nombreuses matières subtiles suscite des débats très riches qui conduisent, à l'aube du XIX^e siècle, à une vision relativement unifiée, étayée scientifiquement, de l'atmosphère de la Terre et de son extension verticale. Les nombreux concepts développés à l'époque, qui suivent leur propre logique dans un cadre de pensée différent de l'actuel, se traduisent par des avancées à l'épreuve de l'observation de l'atmosphère toujours tendues vers la recherche d'une cohérence globale de la représentation de l'objet physique que constitue, pour les savants des Lumières, l'atmosphère qui nous entoure. On voit apparaître notamment l'idée d'une stratification verticale de l'atmosphère, non plus basée sur les catégories aristotéliennes, mais sur des critères de nature physique portant sur différentes caractéristiques comme la densité, ou l'état électrique par exemple.

Nous nous intéresserons au chapitre 8 à la question des atmosphères des corps terrestres qui se situe précisément à la charnière entre atmosphère et matières subtiles. Nous explorerons le champ vaste des divers processus d'échange envisagés à cette époque entre les corps solides et l'atmosphère terrestre, responsables d'atmosphères particulières entourant ces corps. Ces processus supposent une circulation de matière *via* les pores des corps, gros pores pour les vapeurs épaisses et l'air, petits pores pour les matières subtiles. La porosité des corps, en nature et en termes de caractéristiques physiques, est un aspect essentiel de cette question, et nous présenterons d'abord les différentes observations et théories de l'époque sur ce sujet. Puis nous nous intéresserons aux atmosphères des corps proprement dites, en détaillant là encore observations et théories, et en passant en revue les différentes matières impliquées dans la formation de ces atmosphères : air, vapeurs diverses, fluides électriques et magnétiques, fluides ignés ou caloriques, ou lumineux, etc. Ces théories s'appuient dans certains cas sur des représentations particulières de l'atmosphère et de l'éther, et sur des principes de physique tels que la dissolution, appliquée à l'éther, ou au fluide igné, comme solvants, et aux corps terrestres ou aqueux, comme substances dissoutes, au sein d'un air qui en serait le mélange, que nous nous efforçons de remettre en perspective dans le contexte de l'époque. On verra émerger du foisonnement d'idées en la matière un monde étroitement interconnecté, où les corps solides, leurs atmosphères particulières et l'atmosphère globale de la Terre interagissent en permanence à travers la circulation de matières subtiles ou épaisses au sein des corps solides et de leurs atmosphères, par lesquels ils sont en contact les uns avec les autres, échangeant matière et mouvement.

Il nous a paru nécessaire, pour nous pénétrer, à la fois du vocabulaire et des idées scientifiques de l'époque, d'illustrer notre propos par de nombreux extraits de textes. Ces extraits, concernant les sources en français, ont été retranscrits par l'auteur en français moderne. Concernant les sources en anglais, tous les extraits figurant dans cet ouvrage ont été traduits par l'auteur.