

Sommaire

Préface de Georges Courtès

Avant-propos

Introduction

L'héritage

- ▶ Le socle grec
- ▶ Le réveil de l'Europe

Premières études de l'atmosphère

- ▶ L'électricité et le magnétisme terrestre
- ▶ La morphologie de l'atmosphère
- ▶ Encart : Foucault, la rotation de la Terre
- ▶ Les propriétés mécaniques de l'air
- ▶ La composition chimique de l'atmosphère

Des bases pour aller plus loin

- ▶ La lumière
- ▶ Encart : Michelson ; l'éther, au sens mécanique de Fresnel, n'existe pas
- ▶ L'électromagnétisme
- ▶ Encart : Cavendish, le poids de la Terre
- ▶ Encart : Le CCD, détecteur à haute sensibilité pour le traitement des images
- ▶ La chaleur, l'énergie
- ▶ La chimie

Nouvelles investigations

- ▶ Les gaz rares et l'ozone
- ▶ L'ionosphère
- ▶ Encart : C.T.R. Wilson, les trajectoires des particules
- ▶ Dynamique de l'atmosphère, météorologie

L'ère spatiale

- ▶ Les températures et les vents au-dessus de 80 km d'altitude
- ▶ Encart : L'amplification des photons, le photomultiplicateur
- ▶ La magnétosphère : Explorer 1
- ▶ Encart : Geiger, le comptage des particules
- ▶ Le jet-stream : Eole
- ▶ Terre sans frontière : la lumière zodiacale
- ▶ Les perturbations orbitales : Starlette, Cactus

▶ Le point des connaissances

- L'atmosphère neutre
- L'ionosphère
- La magnétosphère

▶ Le temps des prévisions

- Le temps à venir, la prévision météorologique
- Les temps à venir, la prévision climatique

▶ Les atmosphères des autres planètes

Conclusion

Bibliographie, glossaire

Avant-propos

La conquête de l'espace est l'une des grandes épopées du XXe siècle. Les générations successives de fusées et satellites et, à partir de 1961, l'aventure des vols humains, ont fait vibrer adultes et adolescents de l'époque. Aujourd'hui, les satellites géostationnaires de télécommunications pourraient susciter moins d'étonnement mais les derniers développements des technologies spatiales, avec stations habitées et navettes, restent suivis avec un intérêt soutenu.

Avec les prouesses technologiques, c'est la science qui progresse. Les ballons-sondes de haute altitude, les fusées, les satellites, ont profondément renouvelé la compréhension de l'environnement de la planète -atmosphère, ionosphère, magnétosphère- et même l'étude de la Terre elle-même.

C'est l'un des artisans de cette passionnante aventure qui nous la fait revivre et nous en révèle les ressorts, techniques, scientifiques, parfois politiques : Bernard Authier, 30 ans comme ingénieur principal au Laboratoire d'astronomie spatiale du CNRS, autant d'années à préparer de nouveaux épisodes avec les meilleurs scientifiques de diverses disciplines.

Se dégageant de l'obsession de l'exhaustivité et du risque de redondance, l'auteur construit son propos sur les avancées les plus significatives, sur des missions exemplaires dans lesquelles il nous entraîne. Le fil rouge qui donne sa cohérence à l'ouvrage est l'étude des enveloppes externes de notre planète -atmosphère, ionosphère, magnétosphère- travaillant ainsi les interrogations toujours renouvelées sur l'air

qu'on respire, le temps qu'il fera, etc. Bernard Authier prend en compte les données les plus récentes, par exemple quant au changement climatique en cours. Dans un travail pédagogique remarquable, il explicite tous les acquis scientifiques.

Ces découvertes ne se font pas sur un terrain vierge. L'auteur nous montre la lente élaboration, avec ses tâtonnements, de la connaissance de l'atmosphère. La Grèce antique ouvre la marche, avec ses mythes et aussi avec des observations d'une extraordinaire subtilité et une liberté d'esprit qui sera longue à retrouver. En Occident, après une longue période moins productive, la Renaissance éclate, superbe ; le magnétisme terrestre, la morphologie de la planète et de son atmosphère ainsi que sa composition sont découverts, mais la machine va s'essouffler. Les avancées fondamentales du XIXe siècle tant en optique qu'en électromagnétisme, en thermodynamique ou en chimie fournissent les bases pour la suite et, le progrès technique aidant, la machine pourra repartir. Les gaz rares et l'ionosphère sont découverts tandis que la météorologie fait, en hésitant, ses premiers pas. Vient la conquête spatiale, un regard au-dessus du toit ; l'atmosphère livre ses derniers secrets, la magnétosphère se dévoile et on se demande si la météorologie ne pourrait pas devenir parfaitement fiable. Une histoire racontée en plaçant, à chaque étape, le lecteur dans la situation d'apprécier les difficultés et l'originalité des démarches scientifiques dans le contexte de l'époque.

Chemin faisant, l'auteur nous expose les acquis fondamentaux -dans la mesure où ils sont nécessaires à son propos- de disciplines aussi diverses que la mécanique, l'optique, l'électromagnétisme, la thermodynamique, la chimie, etc. Le livre est ainsi un exposé des sciences de l'atmosphère et de l'espace parfaitement adapté aux lycéens et aux jeunes étudiants. Grâce à des notes et passages d'approfondissement, il intéressera aussi les enseignants physiciens et chimistes. Une telle synthèse était devenue nécessaire au moment où s'imposent dans nos lycées les travaux pluridisciplinaires, TIP et TPE, alors que se développent à juste titre les préoccupations environnementales et que chacun tend à faire le bilan tantôt des deux millénaires précédents tantôt du XXe siècle.

En effet, ce texte comble une lacune. Si l'aventure spatiale a été observée avec passion par beaucoup de nos lecteurs potentiels et a suscité de nombreux livres, aucune publication, à notre connaissance, n'a retenu le fil directeur choisi par Bernard Authier. C'était un exercice risqué que de montrer avec simplicité et rigueur la cohérence de domaines aussi difficiles à maîtriser simultanément, relevant de la physique, de la chimie, de la météorologie, de la climatologie, de technologies de pointe.

Tel qu'il est construit, le livre de Bernard Authier, sans prétendre remplacer un manuel de thermodynamique, de météorologie, ... est accessible à un large public. Les notions les plus complexes sont identifiées et plusieurs niveaux de lecture sont possibles. L'ouvrage permet d'acquérir ou de réactiver l'essentiel des savoirs relatifs aux sciences de l'atmosphère et de l'espace, de mieux saisir les concepts essentiels en nous plongeant dans l'histoire de leur élaboration. Relation d'une conquête passionnante, il s'adresse à tous ceux que l'aventure de la science intéresse.

Alain Prevot,
éditions Adapt-Snes

Préface

Bernard Authier a participé, au sein du Service d'Aéronomie du CNRS, aux tout premiers débuts de la recherche spatiale, alors que les premières expériences sur la haute atmosphère cherchaient déjà à " quitter le sol " grâce aux sondages télescopiques optiques et aux ballons stratosphériques.

L'atmosphère, dans les années soixante était très peu connue du grand public et totalement ignorée de l'enseignement secondaire et même supérieur. Dans les années suivantes, malgré le développement fabuleux de l'exploration de l'atmosphère, de la stratosphère et de l'environnement de la Terre, cette attitude n'a guère changé.

On ne parlait pas non plus de la logique continuité spatio-temporelle de ces sciences avec l'astronomie et l'astrophysique dont elles sont un sous-ensemble évident et dont elles subissent les inévitables contraintes.

C'est ce vide d'information que Bernard Authier a voulu combler en s'adressant surtout aux lycéens, aux étudiants et à leurs professeurs mais aussi à un public curieux et désireux de comprendre, au lieu de se contenter de subir les descriptions superficielles, souvent sensationnelles mais irréfléchies de la télévision ou de la presse en général.

On ne s'étonnera pas du rappel historique des intuitions et des expériences de base, le plus souvent relatives aux sciences physiques, que l'auteur a volontairement introduit au début de chaque chapitre. Il s'agit

le plus souvent de l'œuvre de scientifiques, grands et aussi plus modestes, qui honorent les divers cheminements de la pensée humaine. Nous avons un " devoir de mémoire " (comme la fin du millénaire nous en fait prendre conscience dans d'autres domaines). Les grands noms qui jalonnent l'histoire des sciences ne doivent pas être l'objet du refoulement systématique qui se pratique depuis un bon nombre d'années.

Enfin, et c'est le sujet de la deuxième partie de l'ouvrage, l'étude de l'atmosphère a complètement changé en nature comme en nombre de données en " temps réel " avec l'avènement de la recherche spatiale. Bernard Authier en décrit les débuts et son épanouissement, faisant partager au lecteur son expérience vécue dans ce nouveau domaine de recherche et de réalisations techniques. Un domaine où, dans le cadre de sa large culture scientifique, il a fait preuve d'une grande rigueur qui n'a en rien affecté l'enthousiasme dont ce livre est l'expression.

Georges Courtès

Membre de l'Académie des sciences,

Fondateur, directeur honoraire du Laboratoire d'Astronomie Spatiale du CNRS

Introduction

L'atmosphère, en deux mots, qu'est ce que c'est ?

Bien peu de chose si l'on s'en tient à la masse, à peine un millionième de celle de la Terre, d'une importance capitale si l'on considère l'équilibre thermique de la planète, la protection de la vie et son entretien. La partie la plus basse, la troposphère, concentre dans les 10-15 premiers kilomètres les 9/10 de la masse gazeuse. Là se trouve la quasi totalité de l'eau atmosphérique et une large fraction des autres gaz à effet de serre. Ces gaz, essentiellement le dioxyde de carbone et le méthane sont avec l'eau, sous toutes ses formes, à l'origine des échanges radiatifs et des brassages atmosphériques qui régissent, pour une grande part, le temps à venir et les temps à venir.

Vient ensuite la stratosphère avec sa couche d'ozone, découverte il y a moins d'un siècle. Une couche formée par l'action des rayons solaires du proche ultraviolet sur l'oxygène et qui protège notre vie en arrêtant les rayonnements nocifs. Au-dessus, jusqu'à 85 km environ, c'est la mésosphère où les chocs sont encore suffisants pour maintenir une composition homogène, mais, comme on le verra, ne permettent plus un échauffement local par effet de serre.

Notre fine couverture gazeuse de 500 millions de km² n'est donc pas seulement le théâtre des manifestations météorologiques brutales, mais est aussi le centre de processus vitaux qui justifient qu'elle ait de tous temps focalisé la curiosité humaine. Une curiosité teintée de crainte quand nos ancêtres les Gaulois redoutaient, dit-on, que le ciel leur tombât sur la tête. Comme s'ils pressentaient combien l'atmosphère est fragile.

Et l'ionosphère, et la magnétosphère ?

Au-dessus de l'atmosphère neutre, l'ionosphère est constituée de gaz raréfiés, ionisés par les rayons solaires ultraviolets de très courtes longueurs d'onde qu'ils arrêtent. Encore au-delà, la magnétosphère, zone d'influence du champ magnétique terrestre, canalise et détourne le flux solaire de protons et d'électrons, tout aussi redoutable pour les espèces vivantes que le rayonnement UV solaire. Faute d'indices directs trahissant leur présence, ces deux boucliers, resteront longtemps ignorés.

Ce n'est qu'au XXe siècle que l'ionosphère sera véritablement identifiée. A partir des déviations périodiques de l'aiguille aimantée on soupçonne rapidement de mystérieux courants électriques, comme une marée réglée par la position du Soleil. Qui dit courant, dit charges électriques, et c'est contre toute attente que ces charges se révéleront comme de véritables miroirs pour les ondes radio. On constatera ensuite, avec les fusées-sonde, qu'au-dessus de 85 km, la composition de l'air n'est plus homogène. Au fur et à mesure qu'on s'élève, les chocs se font rares, tandis que les molécules, de plus en plus légères, sont ionisées et même dissociées en radicaux et atomes par un rayonnement solaire ultraviolet lointain impossible à observer du sol.

La découverte de la magnétosphère sera encore plus tardive. Bien que les magnifiques aurores polaires aient été observées depuis longtemps, leur corrélation aux orages magnétiques (ainsi qu'aux taches solaires), tout comme leur nature même, ne trouveront une explication qu'avec les études, en laboratoire, des constituants atomiques. Déclenchées par un flux de protons et d'électrons, d'origine solaire, les aurores polaires vont dévoiler le rôle protecteur de la cavité formée par le champ géomagnétique. Un champ dont l'influence s'étend jusqu'à des milliers de km, au contact du champ magnétique interplanétaire. L'exploration spatiale confirmera les hypothèses et fera découvrir la morphologie de la magnétosphère.

Pour comprendre, gagner en altitude est nécessaire

Les études de l'atmosphère en altitude commencent, à l'instigation de Pascal, avec l'ascension du Puy de Dôme. Au début, on mesure la pression et la température, avant d'aborder la composition chimique. On prend de l'altitude avec les aérostats du XIXe siècle. Dès 1804, au péril de sa vie, Gay-Lussac établit le record à 7 000 m. Néanmoins, pour une exploration systématique, il faut attendre le début du XXe siècle, avec l'apparition d'enregistreurs et la confection de ballons stratosphériques pouvant atteindre 23 000 m. Très vite les météorologistes en comprennent l'intérêt, d'autant que la télémesure, fille naturelle de la radio, conduit dès 1927 à la mise au point de ballons-sonde munis d'émetteurs. à partir de cette époque, les mesures en continu se multiplient, la récupération des enregistrements n'étant plus nécessaire. Depuis, grâce aux immenses feuilles de matières plastiques de fabrication industrielle, on sait construire de gigantesques ballons ouverts où l'hélium a remplacé l'hydrogène trop dangereux. Ces ballons, de plus d'une tonne de charge utile, peuvent rester en l'air plusieurs dizaines d'heures, atteignant couramment l'altitude de 35, voire 45 km. Entre temps, à l'issue de la deuxième guerre mondiale, les fusées-sonde font leur apparition, puis les satellites à partir de 1957. La suite est d'actualité : l'observation permanente de la couverture terrestre et les mesures in situ, jusqu'aux confins du champ magnétique terrestre, ont radicalement changé notre perception de l'environnement de la Terre.

Des mesures qui ouvrent la porte à de nombreuses applications

Plusieurs fois par jour, les cartes météo de la télévision nous rappellent la grande conquête spatiale, mais l'arbre cache la forêt, l'étude de la haute atmosphère a ouvert la voie à bien d'autres applications, transformant profondément notre vie. Le GPS (global positioning System) par exemple, ce dispositif qui permet à chacun de connaître immédiatement sa position en n'importe quel point du globe est indissociable de l'étude très fine des perturbations des trajectoires des satellites ; perturbations liées aux micro-variations de la gravité, à l'atmosphère résiduelle à haute altitude et à la pression de radiation. D'autres retombées sont inattendues, comme ce système d'interrogation par satellite, initialement conçu pour l'étude des vents d'altitude et appliqué aujourd'hui à la localisation de toutes sortes de balises, pour des applications aussi diverses que l'interrogation des sondes météorologiques, le suivi des navires, la migration des espèces animales ou encore la dérive des continents. Mais gagner en altitude ne suffit pas, avant d'en arriver où nous en sommes, il a fallu, de l'Antiquité à nos jours, construire laborieusement un socle scientifique.

Commençons par le début

Pour cette histoire, nous suivrons un fil conducteur, de la Terre à l'espace, en nous cantonnant à l'étude de l'environnement de notre planète, du sol jusqu'aux limites du champ géomagnétique, sans trop nous écarter des découvertes faciles à expliquer. D'abord il a fallu observer, c'est évident, mais aussi imaginer. Imaginer un ordonnancement mathématique de l'univers, imaginer qu'une force agisse à distance, que l'air soit pesant, qu'un courant électrique parcourt la très haute atmosphère... Des concepts aujourd'hui familiers, mais dont la découverte a exigé des trésors d'intuition, d'observation et de déduction, avec des rebondissements dignes d'enquêtes policières. Le génie et une pincée de chance ne suffisent pas, l'épanouissement de la science suppose des conditions matérielles et surtout un état d'esprit qui ont marqué deux grandes périodes de notre Histoire, suivant une chronologie qui ne doit rien au hasard. La première s'achève avec l'affaissement de la civilisation grecque tandis que la seconde s'étend de la fin du Moyen âge à nos jours.

La construction des mythes

Tout commence avec l'Antiquité grecque, depuis sa naissance, six siècles av. J.-C., jusqu'à sa disparition au IIIe siècle. Les idées circulent grâce à un socle linguistique commun, à l'usage du papyrus venu de la vallée du Nil et à cette voie de communication naturelle que constitue la mer Egée. Une voie commode car le ciel y est clair et la mer, sans écueil ni marée, baigne de nombreuses îles entre lesquelles il est facile de naviguer "à vue". Le grand mérite des Grecs est d'avoir bâti des théories à partir d'observations irréfutables, c'est-à-dire permanentes et indépendantes de l'observateur. "Sauver les apparences", (tout en ayant conscience d'une nature plus complexe du réel), tel était le mot d'ordre et pendant plusieurs siècles, l'effervescence sera grande autour de petits groupes de philosophes, enseignant et discutant pour essayer de comprendre le monde qui les entoure. Chaque cité aura son centre, le flambeau de la renommée passant de l'une à l'autre pour aboutir finalement à Alexandrie. Sur la base de l'universalité et de l'intemporalité des lois de la nature, les Grecs vont construire progressivement une interprétation cohérente du monde. Pour eux l'espace et le temps sont invariables et l'univers existe depuis toujours car rien ne révèle une quelconque évolution, pas plus la ronde des astres dans un ciel immuable que le cycle de la nature, année après année. Dans cette

construction, la Terre sphérique est au centre, puisque les astres tournent autour et que tous les objets tombent verticalement. Apparemment, tout concorde à ce que l'homme soit au cœur de l'univers et qu'il en soit la finalité. Pour compléter le tableau, l'air et l'eau, qu'on ne sait pas décomposer, sont des éléments c'est-à-dire, avec la terre et le feu, les briques primordiales dont le monde est construit, comme seront les atomes, quelques siècles plus tard. Au-dessus de l'air qu'on respire, l'éther est énigmatique : un vide qui n'en est pas un puisque la lumière le traverse. Certains le considèrent comme le cinquième élément, la " quinte essence ", dont les forces répulsives tiennent les astres en place dans leur course éternelle, tandis que pour d'autres, le ciel et les planètes roulent sur des sphères transparentes. Cette construction trouvera son couronnement avec le système de Ptolémée où le Soleil et les planètes tournent sur des cercles qui roulent les uns sur les autres, la Terre immobile près du centre. Mais cette ronde, pourtant compliquée, ne rend compte qu'imparfaitement du mouvement des planètes. Là, comme ailleurs, le système finit par être à bout de souffle et appelle une remise en question dont les Grecs sont incapables, faute d'instruments de mesure nouveaux. Est-ce un hasard si la civilisation grecque s'éteint lorsque ses mythes ne sont plus controversés ? La remise en cause, n'est-elle pas la jouvence d'une civilisation ? Il reste que l'apport est de taille. Positif avec un ordre universel découlant de l'observation et de théories suffisamment robustes pour convaincre les esprits logiques de l'époque, négatif aussi, avec des concepts, comme le phlogistique ou l'éther, qui sont autant de chemins où la science va se fourvoyer pendant des siècles.

Les conditions d'une révolution scientifique

► Le dégel européen des échanges

Dès le Moyen âge les architectes des églises et des monastères se jouent des frontières, mais les déplacements restent limités. Le développement de l'économie de marché, avec l'essor des villes, des circuits marchands et des foires, va faciliter les échanges et transformer les voies de communication. Le latin, commun aux élites, et bientôt l'imprimerie vont donner aux relations culturelles une densité nouvelle. L'Europe, qui s'ouvre à la modernité, va devenir progressivement un espace culturel de liberté. Si bien qu'à partir du XVIIe siècle et surtout du XVIIIe les élites, qu'elles soient artistiques ou scientifiques, vont parcourir l'Europe dans une liberté de mouvement que même les guerres n'entraveront que partiellement. Certes, les trafics commerciaux dépassent le cadre de l'Europe, mais les échanges scientifiques n'y jouent qu'un rôle très limité et les autres continents resteront, pour longtemps, en dehors de la révolution scientifique qui se prépare.

► Le soutien des Princes

Sans la faveur des Princes, pas de science possible. La richesse nouvelle et l'appétit de prestige les poussent à entretenir les savants. L'exemple de Frédérique II de Danemark qui, au XVIe siècle, installe somptueusement Tycho Brahé dans son observatoire d'Uranibourg est emblématique. A l'attrait du prestige, s'ajoute bientôt l'intérêt mercantile et militaire de la navigation au long cours. Les états vont intervenir. D'abord l'Espagne (1598) offre une prime énorme pour la solution du problème de la longitude en mer, bientôt suivie de la Hollande et de l'Angleterre, tandis qu'en France, Colbert crée l'Académie royale des sciences et l'Observatoire de Paris. Au retentissement des découvertes répond l'aide accrue des Etats. En France la Convention crée l'école normale et l'école centrale des travaux publics (future école polytechnique) tandis que les universités développent leurs activités de recherche. Les enjeux deviennent industriels et, pour encourager les inventions, le brevet, parti de Venise en 1474, est accordé aux inventions nouvelles. Les résultats ne tardent pas. Au XIXe siècle, les établissements industriels vont éclore, à commencer par les ateliers de chimie en France, suite à l'impulsion de Lavoisier (savon, eau de javel, gaz d'éclairage etc.).

► L'autre dégel, celui des idées

" En Europe, la période médiévale qui succède à l'Antiquité commence mal. Bâtie sur les écritures, la pensée chrétienne s'interroge mais reste dogmatique. La Bible est là pour décrire le monde avec des concepts proches de ceux des Grecs, à l'exception néanmoins de l'univers, qui n'est plus éternel mais relève désormais d'une création divine. "L'œuvre scientifique grecque, délaissée par les Romains, l'est plus encore par les Chrétiens. Heureusement, les Arabes ont récupéré les textes à la faveur de leurs conquêtes, des textes qu'à leur tour, les chrétiens retrouvent, enrichis, lors de la reconquête de la péninsule ibérique. Plus d'un millénaire après le déclin d'Alexandrie, la Réforme semble donner le signal des remises en question scientifiques, mais concomitance n'est pas forcément corrélation. Les premières contestations scientifiques sont avant tout personnelles. Elles portent sur le ciel et sont le fait de personnalités passionnées, généralement ombrageuses, dont les rares associations, comme celle de Tycho Brahé et Kepler, tournent souvent à l'orage. Portées par la curiosité d'une élite, les découvertes se répandent et les conflits avec l'église vont devenir inévitables, symbolisés par le procès de Galilée.

► L'instrumentation ouvre la voie

C'est donc à l'intérieur de l'Europe et d'elle seule que va commencer la révolution scientifique. à la base, il y a l'instrumentation de mesure. D'abord la mesure du temps, peu précise au début, mais suffisante pour comprendre le mouvement grâce à l'étude de la chute des corps, puis vient, toujours de Galilée, la Lunette. D'un coup la surface collectrice de l'œil, donc sa sensibilité, est multipliée par 50 (et ce n'est qu'un début), tandis que la résolution gagne un facteur dix. Ensuite, Newton décompose la lumière solaire dite lumière " blanche " en ses différentes couleurs, ouvrant la voie à la découverte du spectre électromagnétique auquel l'œil n'est sensible que dans une étroite bande de longueurs d'ondes. Enfin un peu plus tard, dans un tout autre domaine, la mesure précise des volumes et des poids des gaz ouvre la voie à la chimie. Cible de ces mesures : le système solaire, l'atmosphère et la nature de la lumière, avec comme motivation implicite, toujours la même : la place de l'homme dans l'univers. Le triomphe de la mécanique newtonienne semblera un moment décisif et donnera naissance à un déterminisme dont on reviendra par la suite, mais çà, les scientifiques de l'époque ne l'imaginent pas... Les premières découvertes sont extraordinaires : le champ magnétique terrestre, la morphologie de la Terre et de son enveloppe (résultat des lois de la mécanique et des observations astronomiques) et pour couronner le tout, la composition de l'air dans ses principaux gaz. Qui dit mieux !

► Mais la connaissance de l'atmosphère marque le pas

Pour la faire repartir, il faut que la physique fondamentale progresse, que la lumière, et plus généralement l'électromagnétisme, livre ses secrets, tandis qu'après le phlogistique, le calorique et les quatre éléments, l'éther, l'un des derniers mythes antiques, va enfin céder, après que Michelson ait montré l'invariance de la vitesse de la lumière dans le vide. La vision du monde en sera bouleversée jusqu'à remettre en cause l'intangibilité de l'espace et du temps. Autre concept qui s'écroule, celui d'un monde figé ou si vous préférez stationnaire. Il est contredit de toutes parts, en astronomie d'abord avec les explosions d'étoiles puis l'expansion de l'univers, suite à l'énigmatique Big Bang, enfin dans les sciences du vivant où l'évolution des espèces devient évidente. Alors que, l'un après l'autre, les éléments des mythes antiques s'effondrent, un nouveau venu entre en piste dans la plus grande circonspection tant ses prédécesseurs ont laissé un goût amer : l'atome revient comme constituant ultime de la matière, tel que Démocrite l'avait déjà suggéré.

► La reprise est dans l'air

Les bases acquises, l'étude de l'enveloppe terrestre peut reprendre. La composition de l'atmosphère, avec ses gaz rares et sa couche d'ozone, est approfondie, son histoire en partie élucidée et l'on va comprendre et surtout utiliser les propriétés électromagnétiques des couches supérieures de l'atmosphère, pourtant inaccessibles, où photodissociations et ionisations sont les phénomènes essentiels. Simultanément les détecteurs, qui couvrent désormais la totalité du spectre électromagnétique (des ondes hertziennes aux rayons X les plus durs), avec une résolution toujours plus fine, montrent les limites des études menées du sol, tant les hautes couches de l'atmosphère se révèlent opaques à la plus grande partie du spectre des rayonnements électromagnétiques. Autrement dit frustration : les rayons cosmiques qu'on ne peut observer qu'après qu'ils aient été dénaturés par des chocs avec les constituants atmosphériques, comme le montrent leurs trajectoires dans les chambres de Wilson (cf. encart : C.T.R. Wilson, les trajectoires des particules). Dépasser l'altitude des ballons-sonde, un rêve totalement inaccessible jusqu'à la fin de la deuxième guerre mondiale.

► L'éther enfin visité

Fille de la guerre, l'aventure spatiale va donner un nouvel élan à la recherche, ouvrant l'accès aux confins du bouclier magnétique terrestre et à l'observation globale de notre planète. Plus que jamais les états sont impliqués, car à l'intérêt industriel et militaire s'ajoute le prestige scientifique, arme de premier ordre dans les conflits médiatiques modernes. Le développement des communications et des échanges, tout comme l'énormité des budgets nécessaires ouvrent le jeu. L'Europe et sa cousine américaine, qui désormais la dépasse, ne sont plus seules en course, les coopérations entre laboratoires sont désormais mondiales. Autre aspect des choses, les domaines scientifiques longtemps bien distincts, sont aujourd'hui l'objet d'une approche globale. On ne conçoit plus d'étudier le comportement de l'atmosphère sans y inclure l'océan, la couverture végétale, l'action du rayonnement solaire dans les hautes couches et même l'évolution des activités humaines. Les publications rassemblent souvent plus de dix auteurs venus d'horizons différents et les paternités scientifiques deviennent collectives. Du croisement des disciplines scientifiques traditionnelles naissent des voies d'investigation nouvelles, c'est ainsi qu'on lit désormais l'histoire de l'atmosphère et des climats dans les roches et les glaciers. Comprendre le passé pour essayer de prévoir l'avenir, question d'une pressante actualité à l'heure où la composition de l'air évolue d'une façon aussi rapide qu'inquiétante.

► Quand le hasard intervient !

Pour les mouvements de l'atmosphère, et surtout leur prédiction, l'histoire est bien différente. Passé le stade des observations empiriques, on a cru un moment que les lois de la thermodynamique et de la dynamique des fluides permettraient d'étayer des prédictions à long terme. Il suffisait de disposer d'un réseau d'observation suffisamment dense et d'ordinateurs capables de les digérer mais, avec l'arrivée de ces moyens et l'ère des modélisations, il a fallu déchanter. D'abord, tout n'est pas modélisé, car avant il faut comprendre, et il reste à faire... Ce sera à nos plus jeunes lecteurs de nous expliquer l'influence sur le climat des variations de l'activité solaire et d'autres encore. Ensuite on s'est aperçu qu'une infime variation dans une situation météorologique initiale pouvait entraîner des évolutions complètement différentes. C'est le fameux " effet papillon " où un battement d'aile de papillon peut engendrer, longtemps après, un ouragan en Floride. Dans ces conditions, les prévisions au-delà de quelques jours paraissent bien aléatoires, soumises au contingent. Pour finir, mais jusqu'à quand ? Le développement des moyens de calcul fait rebondir la question. En assimilant l'atmosphère en mouvement à une multitude de tourbillons élémentaires, les modèles restituent de mieux en mieux l'évolution des grandes masses atmosphériques organisées en gigantesques structures dépressionnaires et anticycloniques, comme par exemple la dépression du sud de l'Islande ou l'anticyclone des Açores. La relative stabilité, prévisible, de ces grands centres laisse espérer, dans l'avenir, des prévisions à dix ou quinze jours. Dans ce récit, l'accent a été placé sur l'intuition et la rigueur à l'origine des grandes découvertes, ainsi que sur l'étroite soumission des observations aux techniques disponibles et, plus inattendu, aux mentalités. En d'autres termes, on a cherché à placer le lecteur dans la situation de l'époque et à lui faire suivre la construction progressive de la méthode scientifique, en réduisant les explications mathématiques au minimum.

Revue de presse

Inter-CDI, 11-12/2002

"L'auteur fut pour le CNES l'un des acteurs de cette passionnante aventure, l'une des grandes épopées du XX^e siècle, et nous la fait revivre en nous en révélant les ressorts techniques, scientifiques, parfois même politiques."