

La météorologie

Du pluviomètre à la fonte des calottes polaires

Michel Rochas, Conseil général des ponts et chaussées
michel.rochas@equipement.gouv.fr

Cet article est la version écrite d'une conférence donnée le 8 décembre 2005 sous l'égide du Comité d'histoire du Conseil général des ponts et chaussées, sous le titre : « La météorologie, du baromètre au satellite ». Outre le fait que le titre de la conférence correspondait à celui d'un livre publié en 2000 (voir la bibliographie), il s'avère que le titre de cet article est beaucoup plus proche de son contenu. Il est vrai que celui de la conférence avait été défini bien avant que son contenu ait réellement été arrêté.

Nous n'aborderons évidemment ici que quelques petits points de la longue histoire de la météorologie. Nous nous intéresserons à la naissance de cette science, aux coopérations que son développement a nécessitées, à l'évolution du service météorologique en France, à la naissance de la météorologie moderne et aux climats, passés, présents et à venir.

Météorologie

Le mot météorologie vient du grec *meteôros* qui désigne tout ce qui est haut dans le ciel. Toutefois, les grecs se sont rendus compte qu'il y avait deux catégories différentes d'objets dans le ciel, ceux qui occupent le monde sublunaire, où se trouvent les météores, et ceux qui se trouvent dans le monde céleste. Aujourd'hui, certains persistent encore à appeler météores les objets qui sont à l'origine des étoiles filantes et que l'on retrouve parfois sur le sol sous le nom de météorites. Pour les météorologistes, le mot *météore* désigne tous les phénomènes qui se déroulent dans l'atmosphère terrestre, à l'exception des nuages. Ils sont divisés en hydrométéores, comme la pluie, photométéores, comme l'arc-en-ciel ou le rayon vert, lithométéores, comme les sables transportés par le vent, et électrométéores comme la foudre. Mais les nuages et les météores, qui offrent souvent un spectacle merveilleux à ceux qui savent les regarder, n'intéressent plus les météorologistes : ils ne s'occupent plus



Le pluviomètre dit « Association », qui a été diffusé par l'association scientifique de France, fondée par Le Verrier en 1864. Certains de ces pluviomètres sont encore utilisés dans le réseau climatologique de Météo-France.

(photo Météo-France)

que de leurs conséquences économiques et sociales. Ils ont renoncé à la poésie pour les ordinateurs, comme s'il y avait incompatibilité entre les deux.

La naissance d'une science

Les premières mesures de paramètres météorologiques sont remarquablement anciennes. Nous possédons des informations écrites sur des mesures de pluie au IV^e siècle avant notre ère en Inde et au II^e siècle au Moyen orient, sans que l'on sache vraiment à quoi elles servaient. Il est vrai que le pluviomètre est un instrument simple, un simple récipient suffit comme le montre la figure 1. Au XIV^e siècle de notre ère, en Corée le roi Séjo a fait construire des pluviomètres, qu'il a fait installer dans tout son royaume : les impôts étaient assis sur la quantité d'eau recueillie dans

L'expérience de Torricelli. (photo Météo-France)



les pluviomètres, supposés être un bon indicateur de la richesse produite. Dès ses origines, la météorologie se voulait une science appliquée.

Mais effectuer des mesures ne suffit pas pour qu'on puisse parler de science, même si la mise au point d'instruments de mesure peut être le prélude à l'essor d'une discipline scientifique. À cet égard, un moment important du développement de la météorologie se situe à Florence au XVII^e siècle, sous le règne de Ferdinand II de Toscane.

En 1631, les fontainiers florentins ont interrogé Galilée à propos du fait que les pompes aspirantes ne peuvent pas élever l'eau au-delà de dix mètres. Son explication paraît dans les Discorsi et après sa mort (1642), Evangelista Torricelli conçoit une expérience ambitieuse : il remplit de vif-argent (de mercure) un tube de verre fermé à une extrémité qu'il renverse sur une cuve contenant le même liquide (Figure 2). Le résultat remarquable est connu de tous actuellement, le mercure descend dans le tube jusqu'à une certaine hauteur que nous liions actuellement à la pression atmosphérique. La condamnation de Galilée en 1633 réfrène le zèle des expérimentateurs en Toscane et à Rome. Mais Torricelli fera connaître son expérience à l'étranger et elle sera alors largement diffusée en Europe par le père Marin Mersenne. Blaise Pascal la réédite à Rouen et demande à son beau-frère Florin Périer de la recommencer au pied et au sommet du Puy-de-Dôme. Il en conclut que le poids du mercure dans le tube vertical équilibre exactement celui de la colonne d'air de même base au-dessus du point de mesure. Cette expérience est fondamentale pour la météorologie, mais aussi pour la géographie, qui en tire un moyen pour « mesurer » les altitudes.

À Florence aussi, à la même époque, est mis au point le thermomètre. Après de longs errements au cours desquels des instruments dont les mesures étaient perturbées par l'influence de la pression atmosphérique ont été inventés, le thermomètre scellé, utilisant le principe de la dilatation d'un liquide, de l'esprit de vin et ultérieurement du mercure, est finalement mis au point. Sous l'impulsion de Ferdinand II, l'Academia del cimento diffuse un grand nombre de ces thermomètres, correctement étalonnés et gradués, à travers l'Europe, dont les mesures sont centralisées jusqu'en 1667, année qui marque la fin de l'académie. Mais il faudra attendre plus de deux siècles, et l'invention de l'abri météorologique, pour que l'on sache réellement faire des mesures de la température de l'air comparables entre elles.

La multiplication de ces mesures ne donnera pourtant aucun résultat. Par contre, l'observation, sans instruments, de phénomènes persistants et les tentatives pour les expliquer créeront un début de science. Parmi ces phénomènes, il en est deux qu'il faut citer, les alizés et l'arc-en-ciel, en particulier parce que les premières tentatives sérieuses d'explication de ces phénomènes se situent à la même époque.

Descartes, dans sa Dioptrique, publiée comme annexe au Discours de la méthode (1637), présente la première explication cohérente de l'arc-en-ciel, le fait qu'il soit double et que la zone qui sépare les deux arcs, la bande d'Alexandre, soit sombre. Mais c'est Newton qui en expliquera les couleurs, notamment l'inversion du sens des couleurs entre les deux arcs.

Les alizés ont été découverts sans avoir besoin d'instruments de mesure. Les marins connaissaient leur existence bien avant que Christophe Colomb les utilise pour « découvrir » l'Amérique.

De nombreux philosophes se sont penchés sur leur explication, mais il a fallu attendre Mariotte et Halley pour qu'un début d'explication cohérente en soit donné. La convergence des alizés est due à l'échauffement de l'air au nadir du soleil, qui provoque une ascendance avec une forte nébulosité le long de ce que nous appelons maintenant la zone de convergence intertropicale, le pot au noir sur les océans. Par contre, le mouvement vers l'ouest des alizés, s'il a été très tôt associé à la rotation de la Terre, n'a été expliqué correctement que beaucoup plus tard. Il est d'ailleurs surprenant que l'existence des alizés n'ait pas été présentée comme une preuve de la rotation de la Terre.

Les débuts de la coopération

L'invention du télégraphe a permis aux États-Unis, bien avant l'Europe, de concentrer des observations météorologiques lointaines, bien qu'à l'intérieur de leurs frontières, et d'émettre des bulletins de prévision. Malheureusement, la guerre de sécession (1861-1865) ruina ces initiatives pour longtemps. C'est donc vers l'Europe que nous allons nous tourner, car l'entreprise va, de ce côté de l'Atlantique, devoir revêtir une dimension supplémentaire, celle d'une coopération internationale.

En Europe, tout débute avec la guerre de Crimée, un chef-d'œuvre de la bêtise humaine, au cours de laquelle le froid, la faim et les épidémies ont fait plus de morts que les armes. Le 14 novembre 1854, une tempête détruit la flotte franco-anglaise qui participe au siège de Sébastopol. Cette catastrophe a conduit le maréchal Vaillant, ministre de la guerre de Napoléon III et membre de l'Académie des sciences, à poser à son collègue Le Verrier la question de la possibilité de prévoir une telle tempête. L'illustre astronome a interrogé tous les observatoires d'Europe pour connaître le temps qu'il avait fait les jours précédant la catastrophe. Il en a conclu que la tempête s'était déplacée d'ouest en est et qu'elle aurait donc pu être prévue. C'est ainsi que débute une grande épopée, dans laquelle Le Verrier, pourtant dépourvu de crédits pour cela, réussit à concentrer progressivement à l'observatoire de Paris les observations de l'Europe entière. Mais il avait oublié une chose : s'il est important de réaliser des observations et de les réunir, cela est très insuffisant ; il a pu découvrir Neptune grâce à son génie, certes, mais aussi à la loi de la gravitation universelle. Malheureusement, il n'existe alors aucune loi qui permette de prévoir le déplacement des masses d'air.

Son manque de résultats en matière de prévision du temps, conjugué avec ses méthodes autoritaires, le feront écartier de la direction de l'observatoire et accéléreront la séparation de la météorologie et de l'astronomie en France.

La création du service météorologique en France

Après sa mort, en 1878, est créé le Bureau central météorologique avec le physicien Éleuthère Mascart à sa tête. Jusqu'à sa dissolution, en 1920, il n'a eu que deux directeurs - Angot (le savant Cosinus), déjà en poste au BCM, ayant pris la suite de Mascart - ce qui n'est certainement pas un signe de dynamisme. Un des plus brillants collaborateurs du BCM, Léon Teisserenc de Bort qui dirige l'un de ses quatre départements, le quitte en 1892 car il manque de moyens pour ses recherches. En 1896, il fonde l'observatoire de météorologie dynamique, à Trappes, avec ses propres deniers, où il découvre la stratosphère.

En 1921, la création de l'Office national météorologique devait répondre au besoin de regrouper en un seul organisme les différents services s'occupant de météorologie dans les différents ministères. Hélas, l'instabilité ministérielle qui prévalait à cette époque a précipité la publication d'un texte incomplet puisque l'Algérie et les colonies échappent à la tutelle de l'ONM. Ce n'est que partie remise puisqu'après la seconde guerre mondiale, en 1945, est créée la direction de la météorologie nationale (au sein du ministère des Travaux publics) qui réunit toutes les composantes météorologiques françaises, y compris l'Algérie et l'outre-mer. Elle sera ultérieurement rattachée au secrétariat général à l'aviation civile (SGAC) dont elle se séparera, devenant la direction de la

météorologie. Mais, le développement de ses activités commerciales l'obligera à changer de statut et elle devient en 1993 l'établissement public Météo-France. De son passage sous la tutelle du SGAC, devenu la Direction générale de l'aviation civile (DGAC), il reste des corps communs, administratifs et ouvriers d'état, une action sociale commune, et jusqu'en 2005, une inspection générale commune.

La coopération internationale

En 1853, le roi des Belges convoque à Bruxelles une conférence des nations maritimes pour adopter un système de collecte des observations météorologiques en mer, qui sont échangées même en temps de guerre. Cette conférence a au moins eu comme avantage de permettre de créer des carnets d'observations météorologiques, alors qu'auparavant elles étaient inscrites sur le carnet de bord avec tous les événements qui émaillaient la vie à bord des navires, comme les maladies ou les accidents.

À la suite des travaux de Le Verrier, une conférence internationale des météorologistes est réunie à Leipzig en 1872 qui prépare une conférence plus formelle qui se réunit à Vienne en 1873, et initie un début d'unification des pratiques. En particulier sont proscrites les unités de mesure comme la ligne (l'observatoire de Paris utilise encore la ligne de Paris) au profit du millimètre de mercure. De conférence en conférence, les météorologistes créent une Organisation météorologique internationale, dotée d'un

secrétariat permanent, qui organisera les échanges, la standardisation des mesures, ..., jusqu'en 1950 où elle cède la place à l'Organisation météorologique mondiale (OMM), qui dépend du système des Nations unies. L'OMM participe à l'organisation de l'Année géophysique internationale, hérite du programme de la veille météorologique mondiale proposé par le président Kennedy à l'ONU, puis du programme mondial de recherche sur le climat (avec le Conseil international des unions scientifiques). Sous son égide ont été organisées de nombreuses campagnes de mesure, comme le GARP (Global Atmospheric Research Programme) et plus récemment MAP (Mesoscale Alpine Programme), FASTEX (Fronts and Atlantic Storm-Track Experiment) et AMMA (Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine), pour ne citer que des expériences récentes dont les leaders étaient des français.

La conquête de l'atmosphère

L'exploration de l'atmosphère s'est déroulée dans deux directions, au sol vers les régions les plus éloignées de l'Europe, les régions arctiques puis antarctiques, et en altitude vers le sommet de l'atmosphère. L'exploration verticale de l'atmosphère a commencé avec les frères Montgolfier et le physicien Charles en 1783. Charles est le premier à avoir utilisé un instrument, le baromètre, pour « mesurer » l'altitude qu'il a atteint, 3000 m. L'académie des sciences a organisé en 1804 les deux premiers vols scientifiques ; Laplace et Berthollet ont envoyé Gay-Lussac et Biot pour mesurer la température et la composition de

l'atmosphère en altitude. Au cours de ce premier vol, Gay-Lussac ayant oublié de prendre des échantillons de l'atmosphère est reparti plus tard pour un vol au cours duquel il est monté à plus de 7000 m. Ce record ne sera battu qu'en 1850 par Barral et Bixio. L'exploration scientifique de l'atmosphère par des ballons « montés » a toutefois des limites, les vols coûtent cher, sont dangereux et les altitudes qu'ils peuvent atteindre restent limitées.



Gay-Lussac et Biot lors de leur ascension en commun, le 20 septembre 1804.
(photo Météo-France)

Pour résoudre ces problèmes, Hermite et Besançon, tous deux aéronautes, inventent le ballon-sonde, un ballon qui emporte des enregistreurs graphiques des mesures de la température et de la pression qu'il faut retrouver après leur retour au sol, et démontrent par l'expérience que l'on peut retrouver les ballons, les instruments de mesure et les enregistrements.

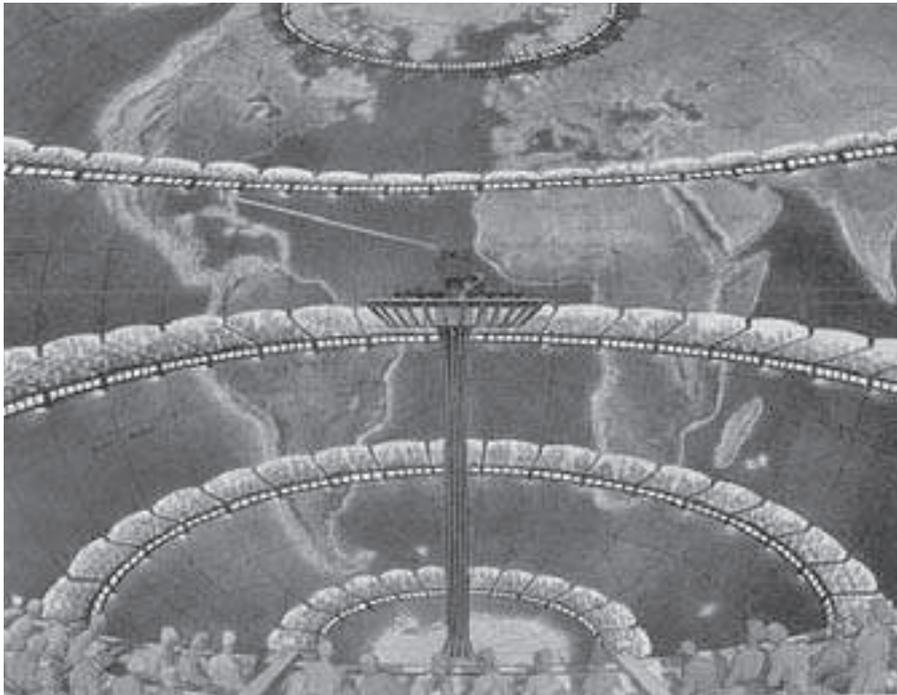
Il a fallu attendre que Léon Teisserenc de Bort crée son observatoire à Trappes (qui est encore aujourd'hui un centre d'instruments de Météo-France) pour que la méthode se développe. Après avoir lancé plusieurs centaines de ballons-sondes, il présente en 1902 à l'académie des sciences l'évidence que la température se met à croître avec l'altitude après avoir décré dans la troposphère, mot qu'il forgera en 1907, comme celui de stratosphère, qu'il avait découverte cinq ans auparavant.

Le ballon-sonde était relativement bien adapté à des travaux de recherche, mais il fallait souvent plusieurs jours voire des mois pour les récupérer et en extraire les mesures. Afin d'envisager une exploitation opérationnelle de ces données d'altitude, il était nécessaire d'inventer un dispositif de transmission en temps réel des mesures. Cela sera fait en 1929, à Trappes à l'observatoire créé par Teisserenc de Bort, par Robert Bureau avec la radiosonde. Cet appareil va révolutionner la météorologie, et

temps, ils ont mis en place un réseau de sondage inédit sur l'Atlantique nord. On sait que le débarquement en Normandie a été possible grâce à une bonne prévision météorologique, mais ce sont les radiosondages qui l'ont permise.

La météorologie moderne

C'est sans doute au météorologiste suédois Vilhelm Bjerknes que revient le mérite d'avoir posé le problème de la prévision du temps sur une base scientifique en 1904. Il écrit que : connaissant le temps qu'il fait à un instant donné et les lois qui régissent les évolutions des paramètres atmosphériques, alors il est possible de connaître les états de l'atmosphère à chacun des instants ultérieurs que l'on souhaite. Le premier à tenter de mettre en œuvre cette idée a été un quacker anglais, Lewis Fry Richardson, qui a fait manuellement ce que les météorologistes font actuellement avec des ordinateurs. Il a réussi à calculer l'évolution de la pression en un point de la Terre, au prix de six semaines d'efforts ; l'ordre de grandeur qu'il a trouvé est complètement irréaliste : 145 hPa en six heures au lieu de quelques uns dans la réalité. Néanmoins, il a publié un livre en 1922 pour présenter son approche de la résolution des équations qui décrivent les évolutions du temps et faire des progrès en météorologie dynamique pour éviter de renouveler son erreur. Richardson ayant indiqué la méthode, il restait quatre choses à faire : tout d'abord créer un réseau mondial d'observation, notamment en altitude avec les



L'usine à prévision de Richardson. Il a décrit dans son livre une usine dans laquelle 64000 calculateurs humains effectueraient des calculs et s'échangeraient les résultats, sous l'oeil vigilant d'un chef d'orchestre qui vérifie que les calculs avancent à la même vitesse dans toutes les parties du monde. (reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur, François Schuiten)

notamment la prévision du temps, mais cela prendra du temps. Pour le comprendre, il faut faire un bond jusqu'à la seconde guerre mondiale. Les américains avaient alors besoin d'établir un pont aérien et maritime entre les États-Unis et l'Europe et pour prévoir le

radiosondes, développer les moyens de télécommunication pour concentrer les observations dans un temps acceptable, disposer de moyens de calcul puissants.

Le réseau d'observation en altitude s'est développé après la seconde guerre mondiale grâce au développement du transport aérien transatlantique. Il l'a été aussi à la suite de la décision d'organiser l'Année géophysique internationale de juillet 1957 à décembre 1958. Celle-ci est en outre l'occasion pour les soviétiques d'abord, les américains ensuite, de lancer les premiers satellites artificiels de la Terre. Le premier avril 1960 est lancé le premier satellite dédié à la météorologie quasi-opérationnelle, TIROS 1, qui est suivi de neuf autres jusqu'en 1965, quand le programme devient opérationnel. Les premières images de la couverture nuageuse enthousiasment les chercheurs mais laissent perplexes les prévisionnistes car leur qualité est très mauvaise. La NOAA poursuit toujours cette série de satellites défilants dont les caractéristiques ont été très fortement améliorées. Elle commence en 1974 une série de satellites géostationnaires qui transmettent alors une image du globe toutes les demi-heures, bientôt suivis par les européens, avec la série des satellites Météosat, et les japonais.

Les moyens de calcul indispensables pour mettre en œuvre l'idée de Richardson sont longs à venir. En 1950, sont réalisées les trois premières prévisions numériques, sur un monstre, l'ENIAC, composé de 18 000 tubes à vide, 70 000 résistances, 10 000 condensateurs..., et qui consomme 140 kW. Pour cela, il a fallu un mois de travail pour plusieurs personnes ! Et pourtant, les équations utilisées par Richardson avaient été simplifiées au maximum.

Les américains se dotent en 1955 du premier ordinateur commercial, l'IBM 701, et réalisent les premières prévisions numériques opérationnelles. Après bien des difficultés - les équations qu'ils utilisaient étant beaucoup trop simplifiées - ils peuvent néanmoins constater au bout d'un an que les prévisions réalisées par ordinateurs sont meilleures que celles des prévisionnistes manuels, d'après les scores utilisés par ces derniers.

Les moyens de télécommunication ont toutefois longtemps posé beaucoup de problèmes. Au début des années 1970, les observations provenant de l'hémisphère sud arrivaient souvent en France le lendemain, quand elles arrivaient.

L'Europe

Les pays d'Europe de l'ouest ont très tôt coopéré entre eux. Ils ont créé le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET), il y a plus de 25 ans. Au cours des deux dernières décennies, ils ont multiplié les axes de coopération, notamment dans le domaine de l'observation et de la recherche. Toutefois, même si ce n'est pas leur activité la plus coûteuse, en matière de prévision numérique opérationnelle il n'existe encore que peu de coopération. En Europe de l'ouest, tous les jours, quatre modèles globaux sont utilisés, certains plusieurs fois par jour. On peut se demander s'il est bien nécessaire que la France, l'Allemagne, le Royaume uni et le CEPMET opèrent simultanément des modèles globaux ? De même, est-il nécessaire que chaque pays d'Europe ait un (voire plusieurs) service météorologique qui réalise les

mêmes prévisions que celles de son voisin ? La météorologie européenne a encore de grands chantiers à ouvrir. Il faut cependant lui reconnaître qu'elle les a ouverts d'elle-même, mais ils avancent lentement.

Le climat

L'idée que le climat a pu évoluer au cours des temps a été longue à émerger car elle se heurtait aux croyances religieuses. Les créationnistes aux États-Unis encore aujourd'hui nient l'évolution en général. C'est dire que lorsque Louis Agassiz, en 1837, annonce à ses collègues de l'académie des sciences naturelles de Neufchatel qu'il préside, que les blocs erratiques que l'on rencontre dans les vallées alpines, et parfois très loin des glaciers actuels, ont été transportés par des glaciers beaucoup plus importants que ceux qui existent encore, il est très mal reçu. Néanmoins cette idée fera son chemin et l'on cherchera même ce qui aurait pu être la cause de ces glaciations. Dès 1842, le mathématicien français Adhémar propose comme mécanisme des glaciations la précession des équinoxes. La théorie astronomique est en train de naître. Mais d'autres mécanismes sont proposés, comme la dérive des continents, le volcanisme, ... et l'effet de serre. Les premiers calculs de l'effet d'un doublement de la concentration atmosphérique en gaz carbonique sont dus à Svante Arrhenius qui trouve un chiffre proche de celui que prévoient les modèles actuels, de l'ordre de 4°C. Au cours du XX^e siècle, la théorie astronomique des climats sera développée par le serbe Milutin Milankovitch, qui y consacra sa vie. La théorie de l'effet de

serre sera aussi mise en avant à plusieurs reprises, jusqu'à ce que l'on réalise que la température de la planète a baissé depuis le début des années 1940 jusqu'au milieu de la décennie 1970. C'est alors qu'est émise l'idée que ce refroidissement correspond au début d'une glaciation et qu'il est donc inutile de lutter contre la croissance de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre qui ne peut que produire l'effet inverse. Ce n'est que très récemment que André Berger a montré que l'interglaciaire actuel sera aussi long que celui d'il y a 400 000 ans, et donc que la future glaciation est encore très lointaine ; mais l'idée d'une glaciation proche continue néanmoins à circuler dans la littérature ; il est donc urgent de prendre des mesures pour lutter contre l'augmentation de l'effet de serre.

Les climats du passé

Il existe un nombre incroyable pour le profane de moyens de connaître les climats du passé selon les lieux. Il est évidemment hors de question de les discuter tous, mais il est important de signaler que, depuis les balbutiements de l'AGI, les carottes glaciaires nous ont apporté des renseignements très importants sur les conditions qui régnaient au cours des derniers cycles glaciaires.

Les négociations sur le climat

Les négociations sur le climat sont nées du fait qu'au milieu des années 1980 certains scénarios d'évolution prévoyaient une

augmentation du niveau des océans de l'ordre du mètre au milieu du XXI^e siècle. Une telle perspective, aujourd'hui exclue, était complètement inadmissible pour un très grand nombre de petits pays insulaires, mais aussi pour le Bangladesh où 100 millions de personnes vivent à deux mètres au-dessus du niveau de l'océan. Sous la pression des pays éventuellement menacés, qui sont nombreux même s'ils ne représentent qu'une proportion assez faible de la population mondiale, l'ONU prend deux décisions irréversibles.

En 1988, l'OMM et le PNUE créent le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, IPCC en anglais, Intergovernmental Panel on Climate Change) pour étudier le problème sous tous ses aspects, scientifiques, impact sur l'environnement et moyens de lutte. Il produira un rapport tout les cinq ans (1990, 1995, 2001 et bientôt 2007) qui auront un impact certain sur l'évolution des négociations dont il est question dans la suite. Ces rapports deviendront de plus en plus précis quant à la responsabilité de l'homme sur le réchauffement actuel et futur, notamment parce que les modèles de simulation du climat arrivent de mieux en mieux à représenter les évolutions passées du climat.

En 1990, une résolution des Nations unies crée la conférence des Nations unies pour une convention cadre sur les changements climatiques. Celle-ci aboutit en 1992 à Rio de Janeiro, au sommet de la terre, à la signature de la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC). Elle est signée par un très grand nombre de pays et sa ratification met en branle un processus complexe qui abouti au protocole de Kyoto en 1995, que les États-

unis ne ratifieront pas et qui n'entrera en vigueur qu'en 2005, après que la Russie l'ait finalement ratifiée.

Un fait absolument admirable dans ce processus est que la convention qui crée la CCNUCC prévoit qu'elle doit se doter d'un comité scientifique, qui n'a jamais été créé : cela montre la légitimité qu'a acquise le GIEC, grâce à la démocratie qui préside à l'établissement de ses rapports.

Les changements climatiques

Le climat de la Terre a beaucoup changé au cours des temps géologiques. On connaît des glaciations depuis l'archéen, il y a 2,9 milliards d'années. Le néoprotozoïque a connu deux glaciations très importantes, la glaciation sturtienne, il y a 750 millions d'années, et la glaciation varangienne, il y a 600 millions d'années. Ces deux glaciations sont remarquables, parce qu'elles semblent avoir concerné la Terre entière, même les régions équatoriales, ce qui pose la question de la survie des espèces qui vivaient à cette époque. Il y a 65 millions d'années, une glaciation dont les causes restent inconnues a entraîné la disparition des deux tiers des espèces vivantes, dont les dinosaures. Les glaciations les plus connues sont bien sûr les plus récentes, celles du quaternaire. Traditionnellement, au cours des derniers 500 millions d'années, quatre glaciations se sont déroulées. La fin de la dernière glaciation, Würm, a vu la disparition des mammoths. Les grandes glaciations du quaternaire sont bien expliquées par la théorie astronomique du climat, les

variations des paramètres de l'orbite de la Terre et son axe de rotation. Mais la Terre a connu depuis la fin de la dernière glaciation de nombreuses variations du climat. Les plus connues sont l'optimum climatique holocène, il y a 6000 ans, au cours duquel le Sahara verdoyant est le siège d'une civilisation florissante, l'optimum climatique médiéval, au cours duquel les vikings ont peuplé le Groenland (le pays vert), et le petit âge glaciaire qui concerne la période qui va de 1500 à 1850 environ.

Toutes ces variations imposent de se poser la question, en quoi le réchauffement actuel du climat est-il différent de ceux qui l'ont précédé ? Il se caractérise par une augmentation de la température de la Terre extrêmement rapide qui n'a rien à voir avec celle des variations passées et naturelles, de l'ordre du degré en dix ans au lieu d'un degré en un millénaire. Il est engendré par une augmentation importante, et surtout très rapide, de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre, gaz carbonique, méthane, oxyde nitreux, mais aussi chlorofluorocarbures d'origine entièrement anthropique. Un des problèmes que pose ce réchauffement est qu'il n'a aucune raison de s'arrêter, en effet, toutes les contre réactions qui concernent le climat sont positives, c'est-à-dire qu'elles amplifient les perturbations, du moins celles qui sont connues. En outre sa rapidité fait que les écosystèmes auront du mal à s'adapter, surtout les végétaux.

Mais, comme dans tous les problèmes de recherche, il reste forcément encore des inconnues, notamment le soleil (dont le rôle est souvent exagéré), les nuages et les aérosols qui font l'objet de recherches très importantes. Il est important de ne

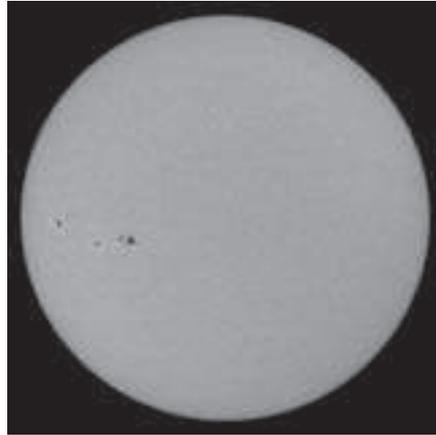


Image du soleil prise par le satellite SOHO de l'Agence spatiale européenne. Les taches sombres que l'on voit sur le soleil ont une température très faible par rapport au reste de celui-ci. Elles sont entourées de facules très brillantes et chaudes, ce qui fait que l'énergie émise par le soleil est plus forte lorsqu'il y a beaucoup de taches, ce qui n'est pas le cas ici. Le petit âge glaciaire correspond à une période où il y avait très peu, voir pas, de taches sur le soleil.
(Agence spatiale européenne- satellite SOHO)

négliger aucune piste pour s'approcher des certitudes d'un changement climatique que nous pouvons éviter. La différence entre la prévision du temps et la prévision climatique réside dans le fait que les résultats de la première ne permettent pas (localement diraient certains) aux hommes d'influer sur le temps qu'il fera alors qu'ils peuvent changer le climat global du futur.

C'est la première fois que l'homme est capable de créer un changement climatique dont beaucoup pensent qu'il vaudrait mieux l'éviter ou en limiter l'ampleur. ☆

Bibliographie

A. Fierro, 1991 : Histoire de la météorologie. Paris, Denoël, 315 p.

J-P. Javelle, M. Rochas, C. Pastre, M. Hontarrède, M. Beaurepaire et B. Jacomy, 2000 : La météorologie. Du baromètre au satellite. Lausanne, Paris, Delachaux et Niestlé, 170 p.

M. Rochas et J-P. Javelle, 1993 : La météorologie. La prévision numérique du temps et du climat. Paris, Syros, 262 p.