

L'ÉVOLUTION DE LA CLIMATOLOGIE

Annick DOUGUEDROIT

Institut de Géographie - Université de Provence

29, avenue Robert Schuman - 13621 Aix-en-Provence Cedex 1, France

Tél. : 04 42 95 38 71 Fax : 04 42 64 01 58 - e-mail : Annick.Douguedroit@up.univ-aix.fr

La climatologie est une science récente qui ne s'est développée qu'après la seconde guerre mondiale, même si l'on peut retrouver dans un passé plus ou moins lointain quelques intérêts, recherches et découvertes intégrées par la suite. Le mot climat à partir duquel son nom a été forgé (climatologie : science du climat) est ancien. D'origine grecque (Klima), il est passé en latin sous la forme "climatis" devenue au XIIème siècle "climat" dans la langue française. (Dictionnaire Robert, 2002). Des formes très voisines se rencontrent dans les langues romanes (clima en italien), voire anglo-saxonnes.

Mais pour les Grecs, le "Klima" n'avait qu'un rapport lointain avec le sens que nous lui donnons actuellement. Il s'agissait de l'inclinaison d'un point de la terre par rapport au soleil puis pour Eratosthène au IIIème BC des séries des latitudes moyennes et enfin, pour Ptolémée d'Alexandrie, un siècle plus tard, des largeurs (ou climats) de zones contiguës limitées par des parallèles entre l'équateur et les pôles (Encyclopedia Universalis 2002). D'où l'utilisation du terme dans la "Théorie des climats" qui prétendait expliquer les caractères attribués aux différentes sociétés humaines réparties latitudinalement sur la planète par les traits climatiques des espaces qu'elle occupent. Cette théorie que l'on qualifierait actuellement de raciste et dont la première formulation reviendrait à Hippocrate vers 400 BC a été reprise en Europe occidentale par différents auteurs jusqu'à Hegel au début du XIXème siècle comme l'a montré Mario Pinna dans l'essai qu'il lui a consacré (1988).

Jusqu'au XXème siècle, les prémisses de la climatologie ont été intégrés à ceux de la météorologie, avant que ne soit levée la confusion entre le temps et le climat, tous les deux associés à l'atmosphère. Le temps qu'il fait à un moment donné, le temps prévu (par les prévisions dites météorologiques développées grâce aux connaissances sur la physique de l'atmosphère) ne se différencie pas toujours très clairement dans les esprits, voir les écrits, du climat qui renvoie à la durée; Le climat est la prise en compte d'une accumulation de temps successifs du passé, aussi bien à l'échelle d'ères géologiques que de décennies, que du futur dans les scénarios pour un changement climatique lié principalement à l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (IPCC, 2001). Mais il nous faut distinguer 3 principaux types de climatologies, s'intéressant à des périodes de temps différentes et utilisant chacune des méthodes et techniques spécifiques : la paléoclimatologie (jusqu'à l'Holocène), la climatologie historique (pour la période historique comme son nom l'indique) et la climatologie (période instrumentale, c'est-à-dire depuis la seconde moitié du XIXème ou le

début du XXème selon les continents). Seule la climatologie repose sur des observations mesurées directement par des instruments adaptés.

L'histoire de la climatologie a peu intéressé les chercheurs aussi bien au plan international (Oliver et Fairbridge, 1987) que français (Pagney, 1996), même dans les encyclopédies (Encyclopedia Universalis, 2002) ou dictionnaires (Beltrando et Chemery, 1995). Après avoir présenté les prémisses de cette science, nous allons être amené à rappeler les principales définitions du climat telles qu'elles ont été données depuis un siècle. L'intérêt n'est pas seulement, dans ce cas, de montrer l'évolution de cette notion mais aussi de trouver la coexistence dans les travaux actuels de climatologie des strates reliées à chacune d'entre elles.

1. Temps et climat, météorologie et climatologie : les prémisses jusqu'au XIXème siècle.

1.1 Le temps, une préoccupation ancienne.

L'intérêt pour les phénomènes de l'atmosphère est ancien, tant il est évident pour des sociétés vivant de la terre, voire de la mer, que leur vie de tous les jours, si ce n'est leur destin en cas de "catastrophe naturelle", leur est lié. Et elle l'est d'autant plus qu'elles les subissent comme des contraintes sur lesquelles elles n'ont aucune prise. Aussi dans nombre de religions, l'atmosphère, en particulier ses aspects menaçants comme le tonnerre est-il associé aux dieux ; citons par exemple Thor, Zeus, Jupiter, Hidra... sans oublier que même au Moyen-Age, en Europe occidentale, on a multiplié les demandes d'intercession (processions par ex) aussi bien pour faire venir la pluie que la faire cesser.

Mais le "ciel", c'est-à-dire l'atmosphère, fut très tôt l'objet d'observations. En dehors du monde occidental, des chroniques climatiques ont été notées en Chine au XIIIème siècle BC mais sans suite. L'antiquité gréco-romaine est marquée par Hippocrate (fin Vème-début IVème siècles BC) considéré comme l'initiateur des observations climatiques en Europe puis, comme dans d'autres domaines, par la place prise par Aristote. Ce dernier décrit dans ses "Météorologiques" les quatre éléments constitutifs de la planète (le feu, l'air, l'eau, la terre). Son œuvre est complétée par le "Traité des vents" de Théophraste qui fera autorité pendant des siècles (Encyclopedia Universalis, 2002).

1.2 Les prémisses de l'apparition de la climatologie.

Le développement de l'esprit scientifique dans le domaine climatique a dépendu de la création des instruments de mesures et des connaissances en mathématiques nécessaires à l'élaboration des lois de la physique. Les savants de la Renaissance italiennes ont été à l'origine de la mise au point des appareils de mesures nécessaires à la climatologie : la température par les thermomètres (les recherches de Galilée à Pise fin XVIème furent poursuivies sous les auspices du Grand-Duc Ferdinand II de Toscane avant une mise au point considérée comme

achevée par Réaumur en France au XVIIIème siècle), les pluies par les pluviomètres (Castelli, 1639), la pression par les baromètres (Torricelli 1643) etc. (Encyclopedia Universalis 2002).

Ces recherches, prémisses nécessaires au développement ultérieur de la climatologie, sont, pour nombre d'entre elles, le fait d'astronomes. Habités à observer soleil, étoiles et planètes, ils se sont intéressés à l'atmosphère et ont commencé par installer les appareils de mesure des phénomènes atmosphériques sur le toit des observatoires à côté des télescopes. Ce qui complique, à côté d'autres problèmes instrumentaux, les conditions techniques d'homogénéisation des longues séries de mesures commencées par les astronomes à l'époque moderne. On assiste alors à une association par les savants des balbutiements qui mèneront ultérieurement à trois sciences distinctes, astronomie, climatologie et météorologie.

De courtes séries de mesures climatologiques ont été faites dès le XVIIème siècle en Angleterre ; elles n'ont été reconstituées sans lacune qu'à partir de 1698 (Manley, 1959) puis de 1671. Les autres séries continues les plus anciennes commencent début XVIIIème : De Bilt (1706), Berlin (1719), Paris (1732)...

Les bateaux qui, à partir de la fin du XVème siècle, traversent l'Atlantique ou longent les côtes de l'Afrique à la suite du mythique voyage de Christophe Colomb imposent un élargissement nécessaire à la navigation du champ spatial de l'intérêt pour l'atmosphère. C'est bien, semble-t-il, la plus ancienne carte climatique du monde qui fut élaborée par Halley en 1688, celle des vents dominants sur les océans aux basses latitudes, 30°N - 30°S (Halley in Philosophical Transactions d'ap. Péguy 1970). Il avait établi deux ans plus tôt une théorie thermique de la circulation atmosphérique autour de la planète, celle de la "cheminée équatoriale" qui sera reprise, en tenant compte de la rotation de la terre, par Hadley en 1735. Rappelons que ces deux savants sont avant tout connus pour leurs travaux d'astronomie. La climatologie fut aussi un des centres d'intérêt de ce savant protéiforme que fut Humbolt au début du XIXème siècle. Suivant Halley, il établit une carte mondiale des températures de la terre par isothermes. A la suite de son voyage le long des côtes d'Amérique du sud et de sa traversée du continent, en particulier de l'ascension de plusieurs volcans, il montre l'importance du rapport terre-mer pour le climat et développe la notion de ce qui sera plus tard appelé la topoclimatologie (climats locaux sous la dépendance du relief).

1.3 L'essor de la météorologie dans la seconde moitié du XXème siècle.

Dans cette période se mettent en place, au sein de la météorologie et sous l'impulsion d'astronomes, les conditions techniques et scientifiques nécessaires au développement ultérieur de la climatologie.

Il s'agit d'abord de la constitution de réseaux de mesures, d'abord aux Etats-Unis puis en Europe. En France, à la suite de la catastrophe survenue le 14 novembre 1854 à la flotte en route pour la Crimée, Napoléon III demande à Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris

d'étudier si on aurait pu éviter ce désastre. Après avoir constaté qu'il s'agissait d'un phénomène dont il avait pu reconstituer la trajectoire, celui-ci proposa d'établir en France un réseau de 124 stations d'alerte pour les phénomènes dangereux ; ce qui fut fait en 1856. C'est à ce milieu du XIX^{ème} siècle que remontent les longues séries de températures, et précipitations d'Europe et d'Amérique du Nord mesurées dans des conditions rendant possibles une homogénéisation relativement fiable rendue aussi possible par les progrès de l'instrumentation et des installations des instruments hors des bâtiments, au-dessus du sol. C'est le début de la "période instrumentale" de la climatologie reposant sur des observations directes des éléments climatiques.

Dans ce foisonnement du développement des sciences expérimentales caractéristique de cette époque, savants et amateurs éclairés prennent l'habitude de se réunir pour discuter entre eux de leurs centres d'intérêt commun. De multiples "Sociétés savantes" ont été alors créées dans différents pays, parmi lesquelles des sociétés météorologiques. En France, elle fut la seconde société scientifique qui vit le jour, et ce en 1852. Il n'est pas utile de les nommer toutes mais notons quand même au passage le nom de la "Société royale de Belgique d'astronomie, de météorologie et de physique du globe" créée en 1892 qui rappelle l'origine de l'intérêt pour l'atmosphère. Le souci des échanges dépassa vite les frontières nationales puisque l'Organisation Météorologique, Mondiale (OMM) apparut en 1873.

Ces différentes sociétés vont diversifier ultérieurement leurs activités en direction de la climatologie mais sans jamais modifier leur nom ; ce qui va sans doute contribuer à perpétuer la confusion fréquente entre météorologie et climatologie. Elles seront aussi à l'origine de la création des siècles suivants de revues à référence météorologique comme le "Bulletin of American Meteorological Society" en 1920 ou "La Météorologie" en 1925. Et ces revues accueilleront ultérieurement des travaux de climatologie et le font encore.

Car ce n'est qu'à partir du milieu du XX^{ème} siècle que la climatologie va s'ériger en science particulière, même si quelques pionniers montrent la voie dès la fin du XX^{ème} siècle.

2. La climatologie, science des états de l'atmosphère.

2.1 L'éclosion de la climatologie.

La première moitié du XX^{ème} siècle est marquée par l'existence de pionniers remarquables mais isolés, même s'ils sont en relation les uns avec les autres. Englobés dans

des milieux nationaux, voire internationaux, de la météorologie, ils n'en définissent pas moins un champ scientifique particulier pour la climatologie, celui des états de l'atmosphère. Ils ouvrent des pistes diverses qui ne seront reprises qu'ultérieurement. On peut citer von Hann en Autriche et Voeykov en Russie qui furent à cheval sur la fin du XIX^{ème} et le début du XX^{ème}. Le premier, météorologue, publia dès 1883 un "Handbuch der Klimatologie" suivi de livres sur la météorologie. Le second, également météorologue d'origine, mais plus exclusivement

climatologue est connu pour son livre dont le titre traduit en anglais est "Climates of the Earth, Particularly Russia" (1884). En France, à la même époque, Angot, tout en faisant des recherches de météorologie, rassemble les observations faites en France depuis plusieurs décennies et en calcule les moyennes 1851-1900. Il établit ainsi, à partir de l'exemple français le fondement de l'étude régionale des climats (in Peguy, 1970).

La première moitié du XXème siècle est marquée à la fois par le détachement de la climatologie par rapport à la météorologie (les climatologues sont plutôt géographes) et par l'existence de quelques individualités marquantes qui élargissent le champ de la climatologie dans un milieu scientifique bien développé, même s'il s'agit encore du stade de l'émergence de la discipline. Les manuels apparaissent peu à peu avec de nouvelles éditions. Celui de Hann est republié au début du siècle dans la même période que le Traité de géographie physique de Martonne qui comprend une partie sur la climatologie (1909). Dans les années 30 sortent ceux de Köppen et Geiger en Allemagne et de Kendrew en Grande Bretagne. La première thèse française de doctorat d'état de climatologie est soutenue par Bénévent en 1926 sur le climat des Alpes françaises. On note aussi les débuts de la climatologie appliquée dans deux directions, les écosystèmes naturels ou cultivés. Des tentatives de définition de la sécheresse impliquant une comparaison avec les besoins en eau du vivant, utilisés pour des classification des climats et reposant sur l'élaboration d'indices ont donné alors naissance à une abondante littérature : Köppen (1918), de Martonne (1923), Emberger (1932 pour le climat du Maroc, étendu par la suite par les botanistes aux autres régions du Bassin méditerranéen). L'application du climat à la santé apparaît alors (Piery, 1934).

Après la seconde guerre mondiale c'est l'éclosion de la climatologie telle que nous la connaissons. Travaux et recherches se multiplient, surtout dans les deux dernières décennies, propulsés par la perspective du changement climatique. Les atlas climatiques font leur apparition ainsi que les cartes à échelle moyenne (en 1967, Ch. P. Peguy commence l'élaboration de la Carte Climatique Détaillée de la France au 1/200 000ème). Rappelons seulement quelques jalons internationaux. En 1979, l'OMM lance le Programme mondial de recherche sur le climat et réunit la Conférence sur le climat et l'homme. Les premières revues de climatologie apparaissent depuis les années 80, à la suite du Journal of Climatology (devenu depuis International Journal of Climatology) lancé par S. Gregory à Manchester (R.U.) en 1981. En même temps, la communauté des climatologues éprouve le besoin de confronter ses points de vue au sein de réunions internationales. Le premier des "International Meeting on Statistical Climatology" triennaux se réunit en 1980 sous l'impulsion d'A. Murphy (Oregon, USA). En 1988, l'Association internationale de climatologie qui veut offrir un forum de rencontres annuelles à tous les climatologues francophones est créée à Aix-en-Provence (France) à l'initiative d'A. Douguédroit. Au sein de l'Union Géographique Internationale, la climatologie fait son apparition dans les années 80 avec les premiers groupes de travail de climatologie (Topoclimatologie autour de J. Paszynski et Variations climatiques récentes de S. Gregory) et la création de la Commission de Climatologie en 1988 (sous la responsabilité de M.M. Yoshino). Enfin l'ONU et l'OMM créent en 1989 le GIEC (Groupement International d'Etude du Changement climatique) ou IPCC en anglais.

2.2 Les définitions du climat, science des états atmosphériques.

Parmi les multiples définitions du climat, nous avons retenu celles qui nous ont paru présenter la meilleure formulation d'une évolution dans le temps de la notion de climat. Elles restent toujours d'actualité, à condition de les replacer dans leur contexte.

La plus ancienne revient à Hann (1882). Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point quelconque de la terre. On trouve des traits qui vont perdurer : la référence à l'atmosphère et la nécessité d'une localisation sur la surface terrestre. Dès que la climatologie s'individualise elle marque combien le monde est caractérisé par la diversité des climats. C'est une époque où l'exploration de la terre était en cours d'achèvement ; il faut faire le point sur les connaissances nouvelles. D'où le souci général, dans la première moitié du XX^{ème} siècle, d'une classification des climats reposant sur des indices combinant les deux éléments les mieux connus, températures et pluies. La pauvreté de la définition précédente réside dans la limitation à l'"état moyen", état unique pour représenter un climat, état supposé "représentatif" comme toute moyenne. Une telle définition est encore usitée dans deux domaines principaux. Pour les physiciens de l'atmosphère, le "climat" reste l'état moyen de référence. Dans tous les enseignements universitaires, du moins en France, l'initiation à la climatologie repose plus ou moins explicitement sur la seule prise en compte du climat moyen.

Aussi les limites d'une telle définition ont-elles vite été dépassées même chez Hann, avant que Benevent n'affirme "l'année moyenne est précisément celle qui ne se réalise jamais" (1926) ou que Musset montre, à propos du climat breton, que la moyenne d'un trimestre efface la diversité des 3 mois associés (1932). Et on peut rappeler que le mois est subdivisé en jours, lui-même en heures... C'est la prise en compte de la variabilité à plusieurs pas de temps jusqu'à l'échelle journalière, en règle générale, pour le climatologue. Dès 1908, Hann affirmait que "le climat est la totalité des types de temps", ce que reprend Sorre (1934) : "le climat est la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle". Deux nouveautés font exploser la référence à l'état moyen au profit de la variabilité : la répétitivité interannuelle que l'on retrouve dans les régimes mensuels ou même les saisons et la spécificité de chaque jour exprimée par les types de temps. Ceux-ci vont représenter une tentative de "climatologie compréhensive" alors que la "série des états", va entraîner la climatologie définie comme "séparative" ou "analytique".

Les types de temps correspondent à un état de l'atmosphère à un moment donné et sont pour Pédelaborde (1970) "un pont entre le domaine de la météorologie dynamique et celui de la climatologie géographique par l'intermédiaire de la météorologie synoptique". Représentés par des mesures stationnelles d'éléments climatiques, principalement températures, précipitations et radiation solaire, des cartes de pression au niveau de la mer et de la hauteur du géopotential 500 hPa rassemblés dans les bulletins publiés par les services météorologiques nationaux (ou avec plusieurs niveaux de géopotential dans le bulletin européen), il servent à des classifications de types de temps locales ou régionales fondées sur

la distinction principales entre types anticycloniques ou perturbés. Ils sont intégrés dans les "types de circulation" à échelle plus vaste, supra-régionale, continentale ou océanique, dont le prototype sont les "grosswetterlagen" présentés par Hess et Brezewski pour l'Europe centrale (1933). Types de temps et de circulation servent d'outils de travail fondamentaux à une climatologie dite "dynamique", à base surtout régionale.

Les états de l'atmosphère comprennent également une étude des éléments climatiques un à un, expression de leur variabilité climatique. Dans la mesure où chaque élément peut être représenté par une série de chiffres s'est imposée l'idée que la modélisation statistique était le meilleur moyen de les représenter. Dès 1947, Peguy dans sa thèse secondaire sur "Introduction à l'emploi des méthodes statistiques en géographie" avait montré, sans être suivi, l'intérêt d'études statistiques de variabilité ou de fréquences. Ce n'est que plus tard, avec le développement en puissance des ordinateurs, que la modélisation statistique s'est imposée. C'est pourquoi, ultérieurement, Gibbs (1987) a pu écrire que "le climat est la probabilité statistique d'occurrence de divers états de l'atmosphère en un lieu ou une région au cours d'une certaine période civile". Si l'on met à part la "certaine période civile" qui renvoie implicitement aux normales trentenaires de l'OMM, il affirme que l'étude du climat repose sur l'emploi de méthodes et techniques statistiques. La climatologie va tirer parti du développement rapide de la puissance des ordinateurs et des nouvelles technologies pour exploser. Impossible de tout passer en revue. Signalons seulement quelques aspects principaux. La couverture par des bases de données générales (hémisphère nord au nord de 20° N) se développe. Les analyses multivariées des anomalies des pressions ou des niveaux de géopotential lancent les études des configurations (patterns en anglais : Barnston et Livezey, 1987) équivalents à des types de circulation dont les principales sont considérées comme des clés de la circulation atmosphérique (ENSO, Oscillation Nord-Atlantique, Pacific-North-Atlantique ou PNA etc.). Elles sont aussi le fondement de régionalisations, comme dans le cas d'applications aux températures, précipitations... Elles offrent aussi la possibilité de revisiter des problématiques anciennes comme celle des échelles fines du climat (en particulier la topoclimatologie ou la climatologie urbaine). La connaissance de l'évolution temporelle est renouvelée par les analyses du signal (cycles etc.).

2.3 Les applications de la climatologie.

La prise de conscience du rôle de la climatologie dans la société et ses activités fut d'abord et à la plus grande échelle le fait du monde anglo-saxon. Elle permit la détection de tous les secteurs dans lesquels la climatologie exerce une influence, qu'il s'agisse d'une potentialité exploitable ou d'une contrainte subie : santé, agriculture, tourisme, transport etc. On assiste au développement de ce qui a été parfois appelé la climatologie "appliquée". Certains secteurs sont plus en avance que d'autres dans l'étude de leur relation avec le climat, au point de forger des sciences quasiment à part, comme l'agroclimatologie ou la bioclimatologie humaine, qui ne prendront véritablement leur plein développement, comme la climatologie, qu'à partir des années 80, avec une évolution méthodologique similaire, sous la dépendance de celle des techniques. La bioclimatologie humaine a élaboré très tôt des indices simples de confort

comme ceux de Terjung (1966) et poursuivi par la modélisation des réactions du corps humain. On a affaire alors, en agroclimatologie par exemple, à des modèles semi-empiriques, décrivant un système de fonctionnement de la plante réduit à quelques boucles de rétroaction jugées principales, comprenant le climat mais pas lui seul. Ce dernier interagit avec les caractéristiques génétiques de la variété, les conditions de sol et les pratiques agricoles (modèle CERES ou autres). Il est lui-même réduit aux besoins liés à l'activité photosynthétique de la plante (température exprimée en somme de degrés jour et disponibilité en eau interprétée en terme d'évapotranspiration).

Mais une intégration de la composante climatique en économie mène aux problèmes de coûts : combien font gagner les potentialités climatiques ? Combien font perdre les événements extrêmes, fortes pluies avec inondations, sécheresses etc. ? Un tel point de vue a été très tôt pris en compte dans certains pays comme la Nouvelle-Zélande sur laquelle Maunder appuie nombre des exemples dans son livre "The value of the weather" (1970). Il y montre la possibilité d'estimer le coût des événements climatiques, d'où découle très vite la nécessité de les prévoir et d'informer de la prévision pour limiter les risques. Mais nous glissons alors dans le domaine de la météorologie, celui du temps (weather en anglais) qu'il fait ou qu'il va faire.

3. La climatologie, science du système climatique.

L'idée s'est peu à peu établie que l'atmosphère n'est pas un milieu autonome fermé ; il est sous influence. Dès 1970, Pedelaborde écrivait que "le climat résulte des réactions combinées de trois milieux : l'atmosphère, le sol, les étendues liquides". On va très vite s'apercevoir qu'il s'agit de fait des interractions entre 5 milieux et formaliser le concept de système climatique.

3.1 Le système climatique.

Le système climatique est un système ouvert dont le fonctionnement représente les échanges entre cinq composantes (Fig. 1). Les 5 composantes correspondent à l'atmosphère et aux 4 milieux au contact avec la base de l'atmosphère : l'hydrosphère (près des 3/4 du total de la surface de contact), la lithosphère, la biosphère et la cryosphère. Les échanges entre les composantes peuvent être d'énergie (chaleur), de moment (mouvement plutôt en sens unique depuis l'atmosphère) et de masse (comme H₂O). Ils donnent lieu à des séries de cycles avec boucles de rétroaction. Le système est ouvert sous influences extérieures, parvenant de l'espace (radiation solaire), de la planète (tectonique et volcanisme) et des interventions anthropiques (modifications de la composition de l'atmosphère, de la biosphère, etc.). Le fonctionnement de ce système ne relève pas de la climatologie mais d'une physique, actuellement déterministe, de l'atmosphère qui développe des modèles de circulation générale.

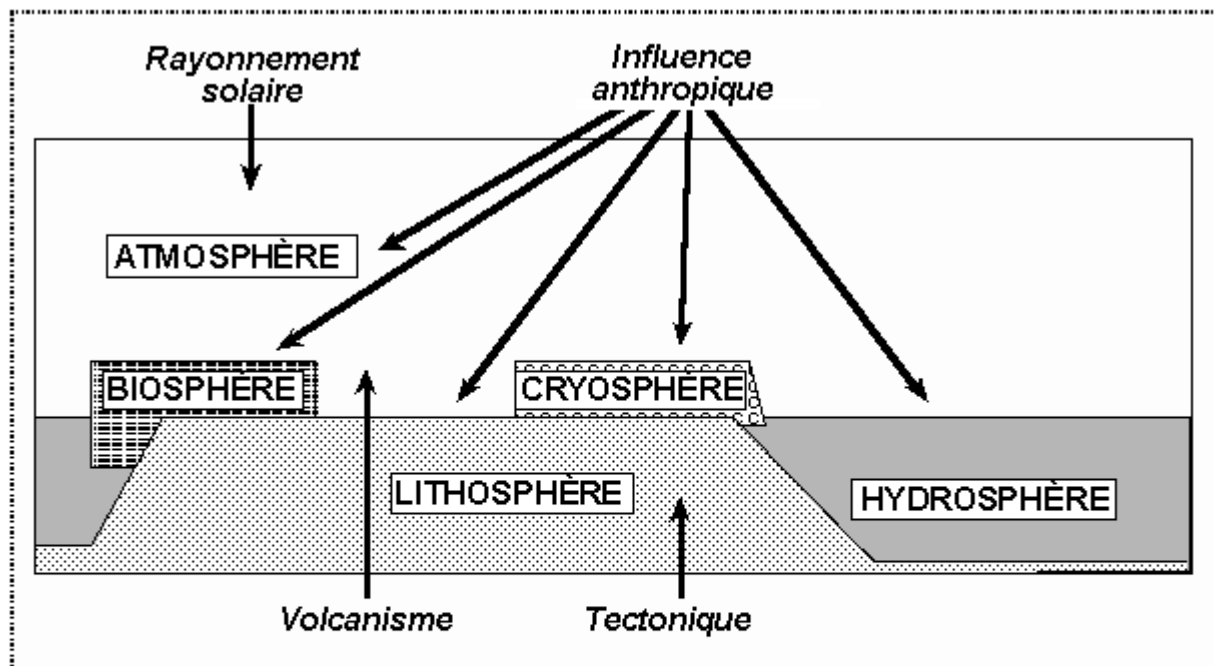


Fig. 1 - LE SYSTÈME CLIMATIQUE

En majuscule: les 5 composantes du système climatique



: forçage externe au système climatique

Les changements du système climatique peuvent alors dépendre de forçages internes (circulation océanique par exemple) ou externes. Le réchauffement constaté depuis plus de 20 ans est actuellement interprété en termes de la combinaison d'un forçage naturel, radiatif, et anthropique, l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (IPCC, 2001).

3.2 Quelle définition du climat pour un système climatique ?

On peut alors reprendre ce qu'en disait Gates (1979) : "A logical definition of climate would therefore be the complete statistical description of the state of the internal climatic system over a specific period", sans oublier les conditions aux limites. Ce serait un état du climat (a climatic state) ou du système climatique. Il s'agirait alors d'identifier "individual, monthly, seasonal or annual climatic states of the atmosphere, for example, in terms of the averages, variances and other statistics of atmospheric variables with the accompanying oceanic, cryospheric and land - surface data". Dans une telle perspective une variabilité climatique peut-être définie comme la variance à l'intérieur d'états de même type alors que le changement climatique implique le passage d'un état à un autre.

Une telle définition du climat reste actuellement purement théorique, tant elle est hors de portée de l'état actuel des connaissances du système climatique. Mais elle reste un objectif à atteindre dans l'avenir.

3.3 Quelle climatologie pour le système climatique ?

Cette conception du système climatique a été élaborée dans une période pendant laquelle se sont multipliées les recherches sur les échanges entre atmosphère et océan qui en ont consolidé le bien-fondé théorique et stimulé ensuite le développement. Les pays tropicaux ont été les régions privilégiées où ont commencé les études relatives à l'influence des océans sur les précipitations des continents voisins, exemples à la fois de téléconnexions et de climatologie diagnostique. Il s'agit bien de relation "à distance" associées aux courants atmosphériques qui assurent le transfert de H₂O évaporée des espaces liquides vers les continents au-dessus desquels elle se condense. Le caractère "diagnostique" souligne qu'une hypothèse est avancée à propos de l'origine des pluies, sans pour autant démontrer la relation physique sous-jacente.

La conception du système climatique simultanée à l'expansion ultra rapide de la puissance de calcul des ordinateurs a renouvelé la problématique en climatologie. Elle a d'abord permis, à partir de la modélisation physique de l'atmosphère, l'élaboration de bases mondiales de données nécessaires aux études de climatologie (pressions au niveau de la mer, géopotentiels à différents niveaux, températures, vents, etc.). Réparties en points de grille, ces bases ont été étendues à partir de 1980 sur toute la planète par les deux principaux centres qui les détiennent, le C.E.P.M.T. (Centre européen de prévision à moyen et long terme ou ECMWF en anglais, Reading, RU) et la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA). Ce dernier a, en 1996, unifié dans le temps et l'espace ses bases de données par "réanalyses" qui sont maintenant les plus utilisées à cause de leur accessibilité directe sur le web.

Le système climatique est avant tout le fondement théorique des modèles de circulation générale qui visent à reproduire son fonctionnement. Les plus récents couplent atmosphère-océan. Les forçages externes permettent de simuler les effets de changements climatiques sous influence "naturelle" (variations de la radiation solaire par exemple) ou anthropique (accroissement des gaz à effet de serre contenus dans l'atmosphère). Les sorties des modèles appliqués aux séries passées ou correspondant à des scénarios du futur sont devenues des sources de données pour la climatologie.

En même temps, l'hypothèse puis la certitude du réchauffement climatique a stimulé les recherches sur le climat de la période instrumentale correspondant à ce dernier siècle et demi. Il s'agissait d'en contrôler la véracité et de l'estimer. Aussi les travaux des climatologues relatifs à cette question ont-ils toujours été inclus dans les études sur le changement climatique actuel (IPCC, 2001).

De nouveaux moyens d'observation de la terre ont particulièrement attiré l'attention des climatologues en substituant à des mesures ponctuelles (les stations par exemple) celles de champs spatiaux ; il s'agit des satellites et des radars qui vont susciter beaucoup d'espoirs. Les satellites ont permis de voir les nuages, la neige, les glaces etc. et de mesurer des températures du sommet des nuages pour la convection et surtout de la surface de la mer très utilisée par les modèles. L'interprétation de leurs mesures en termes précipitations n'a pas réellement encore abouti. Les radars recherchent l'estimation de la quantité et de la répartition spatiale des précipitations. L'existence de relief limite considérablement leur utilité alors que l'interprétation de leurs mesures de réflectivité en termes de pluie au sol doit encore être améliorée.

Simultanément les branches dites appliquées de la climatologie prennent un nouvel essor leur assurant une autonomie croissante et en posant de plus en plus clairement, pour les équipes concernées, la question de la pluridisciplinarité qui suppose pour un fonctionnement efficace la participation de climatologues, ce qui n'est pas toujours le cas, loin de là. La perspective inévitable d'un réchauffement climatique, même à l'ampleur largement indéterminée actuellement, et des modifications climatiques associées, bien que mal connues, a poussé à la recherche de certaines hypothèses relatives à son impact sur nos économies et sociétés (voir les études du IIASA : International Institute for Applied Systems Analyses, Laxenburg, Autriche). Même les médias s'en sont emparé mais en le limitant à ses aspects spectaculaires, celui des risques liés aux phénomènes exceptionnels, fortes précipitations (inondations) ou tempêtes comme celles de fin 2000 en France, alors que les scientifiques clament bien haut qu'ils ne peuvent actuellement affirmer l'existence d'un lien entre de tels événements et le changement climatique.

Conclusion

Je ne reviens pas sur les extraordinaires développements de la climatologie pendant ce dernier demi-siècle. Mais je voudrais souligner que maintenant, début XXIème siècle, les tendances récentes des études de climatologie, peut-être influencées par le questionnement du changement climatique, sont d'ordre planétaire. Et l'échelle spatiale, plutôt favorite des premiers travaux, la régionale ou infra-régionale est négligée alors que les impacts de l'évolution du climat, des climats, ne peuvent commencer à être abordés qu'à cette échelle là où interviennent les facteurs dits géographiques, essentiellement la répartition des terres et des mers et le relief. La communauté scientifique commence à en prendre conscience mais cherche encore comment régler cette question. Il lui faut d'abord élaborer les moyens de la traiter : quatre grands ensembles de techniques s'y emploient parallèlement dans les domaines des observations et de la modélisation. Les méthodes statistiques d'interpolation ont fait de grands progrès avec des techniques comme le traitement des résidus après krigeage mais ne peuvent pas reconstituer sans grandes incertitudes les vastes espaces au relief complexe et sans données. De nouveaux radars dont on promet des résultats plus fiables vont être mis en service dans les années à venir. Les sorties de modèles de circulation

générales pénalisées à l'échelle régionale par la taille des mailles, souvent 5° x 5°, sont l'objet de recherches de procédés fiables de changement d'échelle spatiale ("downscaling" pour les anglo-saxons). Les modèles eux-mêmes peuvent pour certains, offrir des emboîtements d'échelles spatiales permettant de réduire, sur une région donnée, la taille des mailles (passage au modèle ARPEGE par Météo-France par exemple) ce qui permet de mieux prendre en compte les facteurs géographiques mais sans changement du contexte de physique atmosphérique.

La certitude du réchauffement climatique en cours et de l'inéluctabilité de son prolongement au XXIème siècle, et même au-delà, avec les risques d'impacts dramatiques comme le relèvement du niveau marin de plusieurs dizaines de centimètres si l'accroissement du rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère continue à son rythme actuel (scénario dit BAU : Business As Usual en anglais) projette le climat sur la scène politique comme l'ont montré les réunions internationales de Rio de Janeiro (1992) et Kyoto (1997) dont les décisions ne sont d'ailleurs pas appliquées. Les impacts possibles de l'évolution du climat au XXIème siècle, voire même dans les siècles suivants, font maintenant de la climatologie une science cruciale pour l'avenir de l'humanité.

Bibliographie

BARNSTON A.G. and LIVEZEY R.E., 1987, Classification, Seasonality and Persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.

BELTRANDO G. et CHEMERY L., 1995, *Dictionnaire du climat*, Larousse, Paris, 344 p. *Encyclopedia Universalis*, 2002, version 6, CD-ROM.

GATES W.L., 1979, The Physical Basis of Climate in *Proceedings of the World Climate Conference, Geneva, 12-23/02/1979*, W.M.O. n° 537, 112-131.

HANN J. von, 1882, *Handbuch der Klimatologie*, Wien, 764 p.

IPCC, 2001, *Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 944 p.

MANLEY G., 1959, Temperature trends in England 1698-1957, *Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.*, B, 9, 413-4.

OLIVIER E. and FAIRBRIDGE R.W., 1987, *Encyclopaedia of Climatology*, in *Encyclopaedia of Earth Sciences Series*, XI, Van Norstrand Reinhold, New-York, 980 p.

PAGNEY P., 1996, La climatologie in Derruau M. et al. *Composantes et concepts de la géographie physique*, Armand Colin, Paris, 71-82.

PEDELABORDE p., 1970, *Introduction à l'étude scientifique du climat*, SEDES, Paris, 246 p.

PEGUY Ch., 1970, *Précis de climatologie*, Masson, Paris, 468 p.

PINNA M., 1988, La téoria dei climi : una falsa dottrina che non muta da Ippocrate a Hegel, *Mem. Soc. Geogr. Ital.*, 41, 396 p.

ROBERT P., 2002, *Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*, Société du Nouveau Littré, Paris, 1970 p.

SORRE M., 1934, Introduction in Piery M. et al., *Traité de climatologie biologique et médicale*, I, 2.

TERJUNG W.N., 1966, Physiologic climates of the conterminous United States : a bioclimatic classification based on man. *Annals Assoc. of Am. Geographers*, LVI, 141-179.