

# LA « RÉVOLUTION SCIENTIFIQUE » DE LA CLIMATOLOGIE PENDANT LA SECONDE MOITIE DU XX<sup>ème</sup> SIECLE : LE PARADIGME DE L'ÉTAT DU « SYSTEME CLIMATIQUE »

A. DOUGUEDROIT

*Institut de Géographie, UMR 6012 ESPACE, Université de Provence (Aix-Marseille I)  
29 Av. R. Schuman, 13621 Aix-en-Provence Cedex 1, France annickd@up.univ-aix.fr*

## Résumé

La climatologie a été définie depuis plus d'un siècle comme une « science des états de l'atmosphère » accompagnée du développement des recherches portant sur les études statistiques des éléments climatiques et, au niveau dynamique, sur les types de temps. Elle a vécu à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle une « révolution scientifique » (Kuhn, 1972) avec l'apparition d'un nouveau paradigme, celui de la « science des états du système climatique » propulsé par la reconnaissance du changement climatique actuel. Les deux climatologies coexistent en ce début de siècle avec une certaine répartition entre elles des échelles spatiales, l'utilisation du nouveau paradigme étant, du moins jusqu'à maintenant, surtout cantonné à l'échelle planétaire.

**Mots-clés :** Climatologie, états de l'atmosphère, système climatique, paradigme.

## Abstract

### **The « scientific revolution » of the climatology during the second half of the XX<sup>th</sup> century: the paradigm of the state of the “climate system”**

Climatology has been defined since more than a century as the « science of the states of the atmosphere » either as the average state of the atmosphere or as the series of the states of the atmosphere. This latter definition richer than the first one leads to the notion of climate variability. From that point of view two different types of researches have developed. The “analytic climatology” studies climatic parameters one by one; it has conducted to the development of the statistical climatology and the applied one. The “synthetic climatology” is defined by the definition of weather-types included in larger circulation types.

Climatology has been concerned at the end of the XX<sup>th</sup> century by a « scientific revolution » (Kuhn, 1972) when a new paradigm, the « science of the climatic states » (implying a climatic system with five components open to external forcings) has appeared. It has been propelled by the acknowledgement of a present climate change which will continue over the present century. Its study has been made possible by the development of new technologies. It has given rise to new types of research, particularly related to its impacts on the environment and on the socio-economic systems.

The two climatologies presently coexist with a kind of distribution of the concerned space scales between them, the new paradigm being mainly related to the global one.

**Keywords:** climatology, states of the atmosphere, climate system, paradigm.

## **Introduction**

Il ne s'agit pas ici de la climatologie historique ni de la paléoclimatologie mais de la climatologie instrumentale (mesure directe des éléments climatiques par des instruments). Une telle climatologie date d'environ un siècle et demi; on l'a fait en général remonter à 1860 date du début des mesures climatiques à l'échelle mondiale (IPCC, 2001). Son histoire pendant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle est marquée par ce que Kuhn (1972) appelle une « révolution scientifique », ce qui correspond à un changement de paradigme, c'est-à-dire de modèle explicatif devenu une référence commune à tous les climatologues. On est passé des concepts développés autour de la climatologie définie comme la « science des états de l'atmosphère » depuis Hann (1882) à ceux émergents avec la climatologie comme « état du système climatique » (Gates, 1979). Le climat, auparavant confiné à l'atmosphère est enrichi des inter-relations avec les différentes composantes de l'épiderme terrestre, eau (hydrosphère), roche et sol (lithosphère), végétation (biosphère) et glace (cryosphère), même si le rayonnement solaire et la tectonique des plaques demeurent les facteurs principaux des changements climatiques naturels (Berger, 1992).

Cette histoire récente de la climatologie instrumentale, appelée ici ultérieurement « climatologie », a peu intéressé jusqu'à maintenant les climatologues et les historiens de sciences (Beltrando et Chemery, 1995, Douguédroit, 2003a et b, Miller, 1987, Pagney, 1996)

### **1. La climatologie au milieu du XX<sup>e</sup>ème siècle : la science des « états de l'atmosphère »**

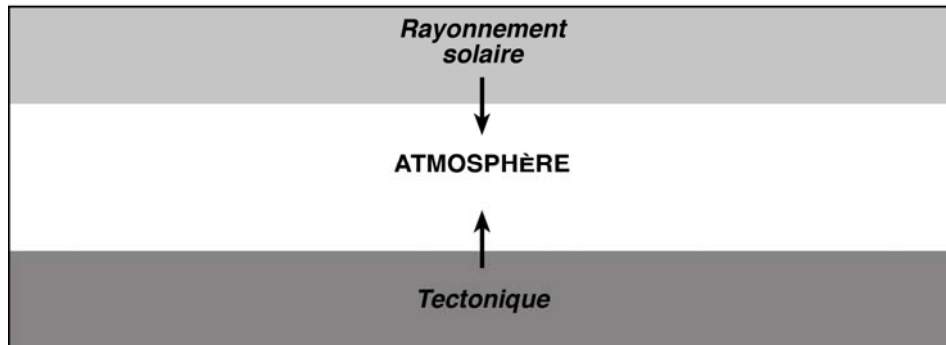
#### **1.1 La climatologie, science de l'atmosphère**

Le climat est caractérisé par des mesures faites au moyen d'instruments spécifiques (thermomètres, anémomètres etc.) installés essentiellement dans des stations en principe conformes aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), à 1.50, 2 mètres au-dessus du sol ou plus haut. Il est considéré comme représentatif de l'état de l'atmosphère au moment et au lieu des mesures. D'où la définition de la climatologie comme la science des états de l'atmosphère. Mais même si le climat est bien dans l'atmosphère, il n'en reçoit pas moins toute son énergie de la radiation solaire qui provient de bien au-delà de la dizaine de kilomètres d'épaisseur de la couche atmosphérique (figure 1).

Définir ainsi la climatologie comme la science des états de l'atmosphère et pas simplement une science de l'atmosphère était en même temps, du moins à l'époque de Hann (1882), l'affirmation de son autonomie par rapport à la météorologie avec laquelle elle avait été longtemps confondue, des météorologues étant à l'origine de la création de cette nouvelle science qu'était alors la climatologie. Hann lui-même était un météorologue (Douguédroit, 2003). L'OMM, même si elle avait mis sur pied auparavant une Commission

de Climatologie, n'a lancé qu'en 1979 un « Programme mondial de recherche sur le climat » et continue à porter un nom faisant uniquement référence à la météorologie alors qu'elle concerne les deux sciences.

Dans la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle la climatologie « science des états de l'atmosphère » a fait preuve d'un remarquable dynamisme (Douguédroit, 2003). Elle présente alors un ensemble scientifique cohérent sur l'état de l'atmosphère et stimulant dans de nouvelles directions de recherche au point de donner naissance à d'autres sciences. On est bien face à une « science normale » (Kuhn, 1972), c'est-à-dire solidement fondée pour fournir le point de départ d'autres travaux et être développée dans les manuels universitaires. (Godard et Tabeaud, 1993 par ex.).



**Figure 1:** Le climat « science des états de l'atmosphère » (2 forçages extérieurs subis par l'atmosphère). *Climate as « Science of the states of the atmosphere » (the atmosphere is subjected to two external forcings).*

## 1.2 Deux définitions principales

La climatologie est la science des états de l'atmosphère. Mais une telle définition que l'on fait généralement remonter au traité de climatologie de Hann (1882), se présente sous deux formes différentes dans ce traité.

La première renvoie à « l'état moyen de l'atmosphère en un point quelconque de la terre ». On y trouve des traits qui vont perdurer : la référence à l'atmosphère et la nécessité d'une localisation à la surface terrestre. Dès que la climatologie s'individualise, elle marque combien le monde est caractérisé par la diversité des climats à laquelle la fin du XIX<sup>ème</sup> et le début du XX<sup>ème</sup> siècles, période pendant laquelle l'exploration de la terre étant pratiquement en cours d'achèvement, il fallait faire le point sur les connaissances nouvelles rapportées des expéditions lointaines en les intégrant dans une classification mondiale des climats (Trewartha, 1943). 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 mais également facile à calculer, ce qui correspond à l'état de l'évolution des méthodes et techniques de

calcul au début du XX<sup>e</sup> siècle. Aussi les limites d'une telle définition ont-elles vite été dépassées ; dès 1926 Bénévent affirme que « l'année moyenne est précisément celle qui ne se réalise jamais » et en 1932 Musset montre, à propos du climat breton, que la moyenne d'un trimestre efface la diversité des 3 mois associés. Et le mois peut être subdivisé en jours, eux-mêmes en heures... C'est la prise en compte des emboîtements d'échelles temporelles. Une telle définition du climat est encore usitée dans deux domaines principaux. Pour les physiciens de l'atmosphère, le "climat" reste l'état moyen de référence (Berger, 1992). 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 (Godard et Tabeaud, 1993).

Dans son même traité, Hann (1882) affirmait aussi que le climat est « la série des états de l'atmosphère ». Cette définition a été reprise et développée par un certain nombre de climatologues parmi lesquels nous retiendrons la plus souvent citée par la communauté française, celle de M. Sorre (1934) : « le climat est la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ». Elle souligne la répétitivité interannuelle des saisons mais surtout insiste sur la sensibilité aux écarts à la moyenne; elle mène droit à la notion de variabilité climatique beaucoup plus riche pour la recherche que celle de moyenne. Elle va elle-même donner naissance à deux écoles de climatologie, qui vont s'opposer dans les milieux scientifiques, les climatologies appelées analytique ou séparative d'une part, et synthétique, dynamique ou compréhensive de l'autre.

### **1.3 La climatologie « analytique »**

La climatologie appelée « analytique » repose sur l'étude des éléments climatiques pris un à un pour caractériser leur variabilité climatique. Ceux-ci étant représentés par des séries en chiffres, la modélisation statistique s'est imposée peu à peu pour leur traitement. Dès 1947, Péguy dans sa thèse secondaire (publiée en 1948) sur "Introduction à l'emploi des méthodes statistiques en géographie physique" avait montré, en même temps que certains anglo-saxons, l'intérêt des études de variabilité ou de fréquence. Il a été très peu suivi en France alors que dans d'autres pays les climatologues ont employé beaucoup plus tôt des méthodes et techniques statistiques et tiré parti des ordinateurs. C'est en effet, avec le développement en puissance des ordinateurs, que la modélisation statistique s'est imposée. Ultérieurement, Gibbs (1987) a ainsi 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 techniques statistiques.

Les études analytiques ne visent pas seulement les éléments du climat les plus mesurés comme températures ou précipitations ; elles sont appliquées

également à l'élaboration de nouveaux types de données nécessaires à l'interprétation du climat comme les échanges et les bilans énergétiques par l'Ecole russe de St Pétersbourg, les flux hydriques qui ont mené aux recherches sur l'humidité des sols et l'évapotranspiration auxquelles sont particulièrement associés les noms de Thornthwaite, Penman et Budyko et le développement de la climatologie locale, en particulier urbaine avec Yoshino, ainsi que la microclimatologie initiée par Geiger (voir Miller, 1987).

De tels résultats ont permis la transition vers ce que certains ont appelé la climatologie "appliquée" composée par les secteurs dans lesquels la climatologie exerce une influence, qu'il s'agisse d'une potentialité exploitable ou d'une contrainte subie. L'agriculture fut sans doute la première touchée, elle qui est particulièrement sensible aux questions d'humidité des sols liée à l'activité photosynthétique de la plante (pour les besoins de l'agronomie la température est exprimée en somme de degrés jour et la disponibilité en eau interprétée en terme d'évapotranspiration). On retrouve ces aspects appliqués résumés dès 1941 dans « Climate and Man » (US Department of Agriculture, 1941). La bioclimatologie humaine a élaboré très tôt, à partir de données climatiques, des indices simples de confort comme ceux de Terjung (1966). D'autres secteurs d'activité concernés par le climat (tourisme, transport etc.) se sont progressivement ajoutés aux précédents qui, plus en avance dans l'étude de leur relation avec le climat, ont forgé des sciences quasiment à part, comme l'agroclimatologie ou la bioclimatologie humaine. Mais une intégration de la composante climatique en économie mène aux problèmes de coût: 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 (Maunder, 1970).

#### **1.4 La climatologie « synthétique »**

La climatologie « synthétique » *stricto sensu*, se développa en France et dans les pays anglo-saxons. Elle a tiré parti des progrès de la météorologie dans les domaines de l'analyse de la circulation atmosphérique et des fronts des perturbations réalisés pendant la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. Elle les a utilisés pour caractériser les climats en mettant au point des calendriers de masses d'air puis en généralisant, au milieu du siècle, une climatologie synoptique à l'échelle mondiale (Miller, 1987). Elle repose sur la notion de « types de temps », « Witterungen » en allemand et « Weather-types » en anglais, expressions synonymes montrant bien une certaine unité de la climatologie fondée sur une notion qui eut beaucoup de succès dans les années 1950-1970. Cette notion a servi de support aux études de climatologie régionale comme celles de Flöhn (1936) sur l'Allemagne, de Lamb (1950) pour les Iles britanniques et de Pédelaborde (1957) sur le Bassin parisien. Pour ce dernier elle prétend être « un pont entre le domaine de la météorologie dynamique et celui de la climatologie géographique par l'intermédiaire de la météorologie

synoptique ». Ces types de temps représentent l'état de l'atmosphère à un moment donné. Ils reposent, à la fois sur une description du temps à l'échelle régionale à l'aide de mesures stationnelles d'éléments climatiques, principalement température, précipitation et radiation solaire, et sur son « explication » par la circulation atmosphérique à une échelle plus vaste, à l'aide de 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). Ils servent à élaborer des classifications de types de temps locales ou régionales fondées sur la distinction principale 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 (1952). Types de temps et de circulation servent d'outils de travail fondamentaux à une climatologie dite aussi "dynamique", à base surtout régionale. Ils ont représenté pour nombre de climatologues, aussi bien en Europe occidentale qu'en Amérique du Nord, la clef de voûte de la climatologie pendant le troisième quart du XX<sup>ème</sup> siècle (Douguédroit, 2004a, Vigneau, 2004).

Une prise en compte globale du climat, appelée « climatologie compréhensive », fut également initiée par les climatologues soviétiques mais elle resta cantonnée à son pays d'origine, peut-être à cause du caractère particulièrement complexe de son élaboration (Mounier, 1977).

## **2. Un nouveau paradigme : l'état du « système climatique »**

Le paradigme de « l'état du système climatique » date des années 1970.

### **2.1 Les conditions de son apparition**

Son élaboration a dépendu de la rencontre entre certaines questions que se posaient les climatologues et l'évolution des théories scientifiques ; c'est l'époque de l'émergence de la théorie des systèmes.

L'autonomie de l'atmosphère par rapport à la surface de l'épiderme terrestre, bien que formalisée, n'était pas respectée de fait dans certaines recherches sans que des conséquences en soient tirées d'un point de vue épistémologique. Ainsi dès 1957, Pédelaborde écrivait-il que "le climat résulte des réactions combinées de trois milieux: l'atmosphère, le sol, les étendues liquides". Les recherches citées plus haut sur l'évapotranspiration supposent aussi l'existence d'échanges entre l'atmosphère et les sols. Et la célèbre Oscillation australe de pression entre Tahiti et Darwin définie dans les années 1920 par Walker fut associée après 1960 par Bjerknes à des variations de la température de la surface de la mer dans le Pacifique (Philander, 1983).

Si ces interdépendances n'étaient pas formalisées il ne faut pas seulement en tenir pour seuls responsables les climatologues mais également l'état de la recherche épistémologique en général. C'est en biophysique qu'est née avec Bertalanffy dans les années 1950 la théorie des systèmes qui s'est répandue ensuite dans les sciences biologiques et sociales mais dont l'ouvrage de présentation générale n'est paru qu'en 1968. L'application de la théorie générale des systèmes à la climatologie fut le fondement de l'élaboration du nouveau paradigme de cette science, celui de « l'état du système climatique ».

## 2.2 Le système climatique

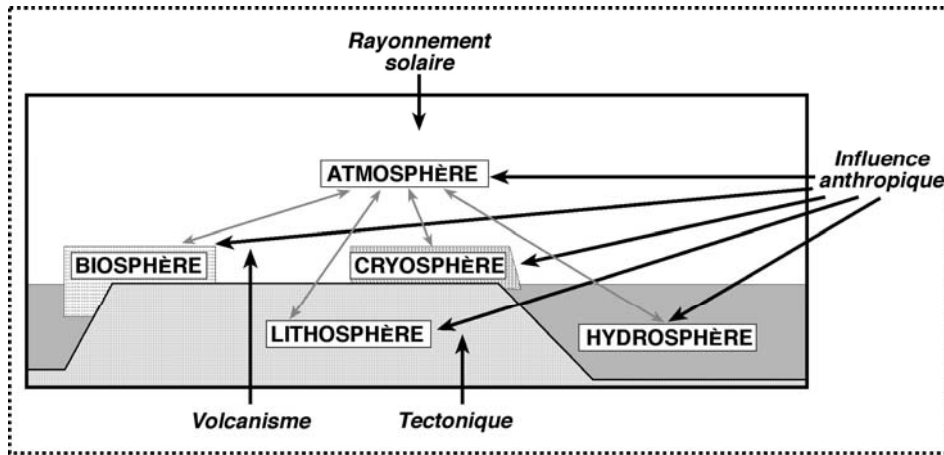
Le système climatique est un système ouvert dont le fonctionnement représente les échanges entre cinq composantes correspondant à l'atmosphère et aux quatre milieux de l'épiderme terrestre au contact avec la base de l'atmosphère: l'hydrosphère (près des 3/4 du total de la surface de contact), la lithosphère, la biosphère et la cryosphère (figure 2). Les échanges entre les composantes peuvent être d'énergie (chaleur), de moment (mouvement plutôt en sens unique depuis l'atmosphère) et de masse (comme H<sub>2</sub>O). Ils donnent lieu à des séries de cycles avec boucles de rétroaction. Le système est ouvert à des influences extérieures, parvenant de l'espace (radiation solaire), de la planète (tectonique et volcanisme) et des interventions anthropiques (modifications de la composition des cinq composantes du système, en particulier celle de l'atmosphère). 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 puis des modèles couplés avec l'océan d'abord puis actuellement les autres composantes du système, en particulier la biosphère, avec les modèles végétaux globaux dynamiques (Berger, 1992, Washington et Meehl, 1989, etc.).

Les changements du système climatique peuvent alors dépendre de forçages internes (circulation océanique par exemple) ou externes. Le réchauffement constaté depuis une trentaine d'années est actuellement interprété, avec un très haut degré de probabilité, comme d'origine anthropique, c'est-à-dire du à l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (IPCC, 2001, GIEC, 2001, Mérieux et Jouzel, 2003).

## 2.3 Le climat, état du « système climatique »

Comme l'écrivait Gates (1979) la prise en compte du système climatique impose de modifier la définition du climat : "A logical definition of climate would therefore be the complete statistical description of the state of the internal climatic system over a specific period, together with a description of the state of the external system ». Ce serait un état du climat (a climatic state), c'est-à-dire l'état 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 la 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. Tel est le nouveau paradigme climatique qui, même si son application reste hors de portée des connaissances actuelles, s'impose comme objectif pour l'avenir et va amener, avec la conjonction des apports des nouvelles technologies, un renouvellement des recherches relatives au climat.



**Figure 2:** Le système climatique. Dans le rectangle intérieur le système lui-même et dans le second rectangle les forçages extérieurs au système. Flèches = forçages extérieurs au système climatique en trait épais, échanges à l'intérieur du système en traits fins. *The climate system. The system itself is represented in the inner rectangle and its external forcings in the second rectangle. Arrows: External forcings in thick arrows, exchanges within the system in thin arrows.*

#### 2.4 Les nouvelles technologies au service de la climatologie

Une telle théorie du système climatique et le paradigme associé pour le climat n'ont pu se développer et prendre leur essor que grâce aux nouvelles technologies avec, en particulier, le développement exponentiel de la puissance de calcul des ordinateurs et l'existence des liaisons informatiques et du web. Nous allons nous contenter d'en mesurer les effets au niveau de la climatologie, sans aborder la question des puissances de calcul nécessaires pour faire tourner les modèles.

Des bases de données devenues mondiales à partir de 1980 ont été alors mises à la disposition des climatologues. Elles peuvent être classées en deux types. D'une part celles qui sont élaborées en utilisant deux sources principales qui sont les satellites assurant une couverture générale et non plus ponctuelle comme le font les stations de mesures (Barrett, 1974) et les modèles de circulation. D'autre part celles qui correspondent à des sorties de modèles. Les plus anciennes d'entre elles appartenant au premier type ont été récemment réanalysées (par exemple celles de la NOAA, Kalnay et al., 1996). Elles



concernent différents éléments climatiques comme les pressions au niveau de la mer, les altitudes à différents géopotentiels, les précipitations etc. avec des degrés de fiabilité variables. Elles sont, en général, mises sur le web, ce qui, en facilitant leur accès, augmente d'autant leur intérêt. Elles se présentent sous forme de grilles régulières en fonction de la latitude et de la longitude. Même avec des résolutions grossières, souvent des mailles de 300km pour les modèles et du demi-degré pour les bases de données, elles n'en représentent pas moins, par rapport au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, une croissance exponentielle des données disponibles.

La puissance des ordinateurs a permis non seulement d'exécuter des analyses reposant chacune sur des milliers de données mais encore de le faire de façon entièrement automatique. Des techniques statistiques déjà connues se sont développées et d'autres sont apparues, tirant parti de cette puissance de calcul nouvellement disponible (Von Storch and Zwiers, 1999). Mais les quantités à traiter peuvent être telles qu'ont été élaborées des techniques de dédoublement des traitements, avec une première étape consistant en une simplification des données, en général par Analyse en Composantes Principales, précédant l'analyse proprement dite (Douguédroit, 2004a).

Toutes ces bases de données disponibles présentent néanmoins une contrainte très stricte pour les recherches, celle de leur faible résolution. D'où l'échelle globale ou domaniale de la quasi totalité des recherches actuelles fondées sur le nouveau paradigme climatique. Tout ce qui est étudié à échelle plus fine, soit plus grande dans le vocabulaire géographique, ne dispose pas de nouveaux outils comme les précédentes. Cette question du passage à l'échelle régionale est devenue une préoccupation majeure des modélisateurs à la demande, en particulier, des utilisateurs des résultats pour ce que nous avons appelé du terme général d'applications de la climatologie. D'où la recherche de moyens pour passer à une échelle régionale, d'abord par des méthodes statistiques dont les résultats se sont révélés à l'usage plutôt décevants (Corte-Réal, 1995) puis, plus récemment, par un changement d'échelle dynamique en élaborant les premiers modèles climatiques régionaux de résolution de l'ordre de 20-50km, soit en utilisant des modèles de résolution variable comme le fait le Centre de Recherches de la Météorologie à Toulouse (Pailleux et al., 2000), soit en composant des « ensembles » donnant des modèles probabilistes (Räisanen et al., 2004).

## **2.5 : Le renouvellement des problématiques**

Des problématiques développées précédemment ont trouvé un nouvel essor et une justification plus argumentée quand elles ont été intégrées dans le nouveau paradigme alors qu'en émergeaient d'autres directement associées à la « révolution scientifique » de la climatologie. L'hypothèse, ultérieurement confirmée, d'un changement climatique actuel et destiné à se poursuivre (IPCC, 2001), associée au développement des nouvelles technologies, peut être

considérée comme la clé de voûte de ce renouvellement des problématiques. Son développement a également été étroitement lié à celui des modèles. L'hypothèse d'un changement climatique a réorienté nombre de thématiques de recherches antérieures en climatologie et en a propulsé de nouvelles dans la perspective d'en établir le commencement et de mesurer son ampleur ainsi que ses conséquences.

Plusieurs grands types de recherches peuvent être distingués. Les études diagnostiques sur les types de circulation qui se sont, de fait, substituées à celles relatives aux types de temps à cause de la résolution spatiale des nouvelles données, ont été stimulées (Douguédroit, 2004). Les ensembles des grandes anomalies de pression, dites à « basse fréquence » ont alors été mis au point (par exemple au niveau de la mer par Barnston et Livezey dès 1987). Les études diagnostiques des téléconnexions entre des températures de surface des océans et les pluies tombées sur les continents voisins permettent d'avancer une hypothèse à propos de l'origine des pluies, sans pour autant démontrer la relation physique sous-jacente (Schlesinger, 1990). Démarrées sur le milieu tropical, on tente maintenant de les introduire au-delà des tropiques (Czaja et Frankignoul, 1999).

Les bases de données citées plus haut favorisent l'existence de recherche comme celles concernant les indices en relation avec la circulation atmosphérique et le temps de très vastes territoires tel l'ENSO (Philander, 1983) et l'Oscillation nord-atlantique ou ONA, NAO en anglais (Hurrell, 2003). Il s'agit de déterminer à la fois leurs caractéristiques, l'extension de leur influence, en particulier sur les pluies (jusqu'en Europe par exemple pour l'ENSO: Rodo, 1977) et leur rôle éventuel dans le changement climatique.

L'hypothèse d'un changement climatique a aussi entraîné à la fois un retour sur le passé récent pour contrôler le climat du XX<sup>ème</sup> siècle au regard d'un changement et non plus de la seule variabilité interannuelle (Moisselin et al., 2002 pour la France) et une projection dans l'avenir sur des questions suscitées par les scénarios climatiques sortis de modèles, en particulier les modèles régionaux très récents pour 2071-2100 (Raisanen et al., 2004).

Simultanément les branches dites appliquées de la climatologie prennent un nouvel essor qui leur assure une autonomie croissante. La perspective inévitable d'un réchauffement climatique, même à l'ampleur actuellement largement indéterminée, et des modifications climatiques associées, a poussé, dès la première élaboration de scénarios de doublement de la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère au cours des années 80, à la recherche d'hypothèses relatives à leurs impacts sur les être humains (Besancenot, 1992), leur environnement (Bolin et al., 1986) les économies et sociétés (voir les études du IIASA : International Institute for Applied Systems Analyses, Laxenburg, Autriche sur les systèmes agricoles en particulier qui ont été repris par Parry, 1990 ou Yoshino et al., 1997). L'arrivée des modèles climatiques à

échelle régionale devrait stimuler dorénavant les recherches sur les impacts du changement climatique.

## **2.6: L'explosion de la climatologie à la fin du dernier siècle.**

La fin du dernier siècle voit cohabiter deux climatologies aux paradigmes différents car le plus récent n'a pas gagné toute la climatologie et ceci pour plusieurs raisons. D'abord, comme dans toute « révolution scientifique », le nouveau paradigme a rencontré des réticences, et d'autant plus que son utilité a encore actuellement un caractère inachevé si l'on se rappelle les remarques faites plus haut à propos des échelles spatiales (cf 2.4). Les méthodes et techniques nouvelles jusqu'à maintenant adaptées à l'échelle planétaire commencent juste à accéder à l'échelle régionale (Raisanen et al., 2004). C'est dire que les recherches aux échelles autres que globales, c'est-à-dire régionale ou infra-régionale, ont constitué jusqu'à maintenant des niches toutes trouvées pour la persistance de la climatologie des états de l'atmosphère. L'évolution récente des modèles vers l'échelle régionale, plus adaptée aux études des impacts du climat, devrait accélérer le passage à une telle échelle des recherches influencées par le paradigme de l'état du système climatique et les perspectives du changement climatique.

Le renouvellement du paradigme climatique appuyé sur la reconnaissance d'un changement climatique en cours a ainsi représenté une très importante stimulation des recherches en climatologie. Celle-ci a été accompagnée d'une explosion des moyens de diffusion dans des publications scientifiques spécifiques et intéressent actuellement même les médias. Alors que les résultats des recherches climatologiques étaient jusqu'alors publiées dans les revues de météorologie, des revues de climatologie qui leur sont réservées ont été lancées, la première étant le « Journal of Climatology » par S. Gregory en 1983. Se créent également des conférences régulières spécifiques comme l'« International Meeting on Statistical Climatology » sous l'impulsion d'A. Murphy en 1980, celles de l'« Association internationale de climatologie » lancée par A. Douguédroit en 1988 et, au sein de l'Union Géographique Internationale, les premiers groupes de travail puis la Commission de climatologie en 1989 avec M.M. Yoshino. Enfin l'O.N.U. et l'O.M.M. créent en 1989 le G.I.E.C. (Groupement Intergouvernemental d'Experts sur le Changement climatique) ou IPCC en anglais.

Une telle perspective a projeté la climatologie sur le devant de la scène médiatique, elle-même plutôt d'ailleurs intéressée par la possibilité de « scoops » sur les phénomènes exceptionnels, inondations, tempêtes ou canicules, à propos desquels elle se demande toujours s'ils sont dus au changement climatique alors que les climatologues, beaucoup plus prudents, sont moins affirmatifs. Elle l'a aussi projetée, à cause des impacts possibles du changement climatique sur les êtres humains et les sociétés, dans la sphère du politique, au niveau international, comme l'a montré l'intervention de l'ONU

citée plus haut. La certitude du réchauffement climatique en cours et de l'inéluctabilité de son prolongement au XXI<sup>ème</sup> siècle, et même au-delà, appelle la prise en compte de risques d'impacts dramatiques comme le relèvement du niveau marin de plusieurs dizaines de centimètres. Elle a été à l'origine des réunions internationales de Rio de Janeiro (1992) et Kyoto (1997) dont les décisions ont d'ailleurs seulement commencé à être appliquées en 2005. C'est le début d'une prise de conscience que les impacts possibles de l'évolution du climat au XXI<sup>ème</sup> siècle, voire même dans les siècles suivants, font maintenant de la climatologie une science cruciale pour l'avenir de l'humanité.

## Conclusion

La climatologie vit à l'orée du XXI<sup>ème</sup> siècle, sa « révolution scientifique » (Kuhn, 1972) avec l'extension de sa reconnaissance par la communauté scientifique comme la « science de l'état du système climatique » propulsée par la certitude actuelle que notre planète vit un changement climatique (IPCC, 2001). Le bouillonnement des recherches suscité par le nouveau paradigme et son application à l'évolution actuelle et à venir du climat à l'échelle de la planète ajouté aux recherches plus traditionnelles aux échelles régionale et infra-régionale ont amené, à la fin du siècle dernier, une explosion de la climatologie. Celle-ci se remarque dans l'extension de la diffusion des recherches climatiques dans le milieu scientifique lui-même mais aussi dans les médias, même si elles le préfèrent sensationnel plutôt qu'exact. A cause des risques liés au changement climatique encourus dès maintenant et destinés à s'accroître dans le futur, à commencer par les décennies les plus proches, elle a aussi fait son apparition dans les propos tenus dans les milieux politiques mais reste encore très négligée au moment des décisions.

## Bibliographie

- BARRETT, E. C., 1974: *Climatology for satellites*, Methuen, London.
- BARNSTON, A.G. and LIVEZEY, R.E., 1987: Classification, Seasonality and Persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1083-1126.
- BELTRANDO, G. et CHEMERY, L., 1995 : *Dictionnaire du climat*, Larousse, Paris, 344 p.
- BENEVENT, E., 1926 : *Le climat des Alpes françaises*, Mémoire O.M.F., 14, Paris.
- BERGER, A., 1992 : *Le climat de la terre*, De Boeck Université, Bruxelles.
- BERTALANFFY, L. von, 1968: *General System Theory*, George Braziller Inc., New-York.
- BESANCENOT, J.-P., 1992: *Risques pathologiques, rythmes et paroxysmes climatiques*, John Libbey.

- CZAJA, A. et FRANKIGNOUL, C., 1999: Influence of the North Atlantic SST on the atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett.*, 26, pp. 2969-2972.
- CORTE-REAL, J., ZHANG, X. and WANG, X., 1995 : Downscaling GCM information to regional scale : a non-parametric multivariate approach, *Climate Dynamics*, pp. 413-423.
- DOUGUEDROIT, A., 2003 : L'évolution de la climatologie in Per ricordare Mario Pinna, P. Ghelardoni ed., *Memorie Soc. Geo. Italiana*, LXX, pp. 27-43.
- DOUGUEDROIT, A., 2004a: Quelle « exception française » en matière de « Types de temps » ?, *Norois*, 191, 2, pp. 33-39.
- DOUGUEDROIT, A., 2004b: L'évolution de la climatologie pendant le dernier demi-siècle, *Actes du XVIIe colloque international de climatologie, Climat « Mémoire du temps »*. *Les relations Climat-Espace-Société*, 8-10/09/2004, Caen, pp. 23-25.
- FLOHN, H., 1936 : *Neue Wege in der Klimatologie*, Zeits. Fur Erdkunde, Frankfurt, IV, 12-21 et 337-345.
- GODARD, A. et TABEAUD, M., 1993 : *Les climats. Mécanismes et répartition*, Armand Colin, Paris.
- GATES, W. L., 1979: The physical Basis of Climate in *Proceedings of the World Climate Conference*, Geneva, 12-23/02/1979, W.M.O., 537, pp.112-131.
- G.I.E.C., 2001: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch), Portal Bienvenue ou French.
- HANN, J., 1882 : *Handbuch der Klimatologie*, Wien.
- HESS P., BREZOWSKY H., 1952 : Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-1976). *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone*, 33, Bad Kissingen.
- I.P.C.C., 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), Cambridge University Press, Cambridge.
- HURRELL J. W., 2003 : An overview of the North Atlantic Oscillation, Eds. *Geophysical Monograph Series*, 134, pp. 1-22.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOLLE, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBIZURAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPOLEWSKI, C., WANG, J., LEETMARE, A., REYNOLDS, B., JENE, R. and JOSEPH, D., 1996 : The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Am. Met. Soc.*, 77, pp.437-472.
- KUHN, T. S., 1972 : *La structure de la révolution scientifique*, Paris.
- LAMB, H.H., 1950 : Types and spells of weather around the year in the British Isles : Annual trends, seasonal structure of the year, singularities, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 76, pp.393-438.
- MAUNDER, M. J., 1970 : *The value of the weather*, Methuen, London.

- MEGIE, G. et JOUZEL, J., 2003 : Le changement climatique. Histoire scientifique et politique, scénarios futurs, *La Météorologie*, 42, pp.37-47.
- MILLER, D. H.: 1987, History of climatology in *Encyclopedia of Climatology*, Oliver E. and Fairbridge R. W. eds, Van Norstrand Reinhold, New-York, pp.339-347.
- MOISSELIN, J.-M, SCHNEIDER, M., CANELLAS, C. et MESTRE, O., 2002 : Les changements climatiques en France au XXe siècle, *La Météorologie*, 38, pp.45-56.
- MOUNIER, J. , 1977 : Le type de temps, un choix pour le géographe : climatologie synoptique ou climatologie compréhensive ?, *Cahier du Centre de climatologie de Dijon*, 7, pp.99-117.
- PAILLEUX, J., GELEYN, J.-F. et LEGRAND, G., 2000 : La prévision numérique du temps avec les modèles Arpège et Aladin. Bilan et perspective, *La Météorologie*, 30, pp.32-60.
- PAGNEY, P., 1996 : La climatologie in Derruau M. et al., *Composantes et concepts de la géographie physique*, Armand Colin, Paris, pp.71-82.
- PARRY, M., 1990 : *Climate Change and World Agriculture*, Earthcan, London. U.K.
- PEDELABORDE, P.: 1957 : Le climat du Bassin parisien. Essai d'une méthode rationnelle de climatologie physique, Paris, Atlas.
- PEGUY, C. P., 1978 : Introduction à l'emploi des méthodes statistiques en géographie physique, *Rev. de Géol. Alpine*, pp.5-130.
- PHILANDER, S. T. H., 1983 : El Nino Southern Oscillation phenomena, *Nature*, 302, pp.295-301.
- RAISANEN, J., HANSSON, U., ULLERSTIG, A., DOSCHER, R., GRAHAM, L. P., JONES, C., MEIR, H. E. M., SAMUELSSON, P and WILLEN, U., 2004 : European climate in the last 21<sup>st</sup> century : regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Climate Dynamics*, 22, pp.13-31.
- RODO, X., BEART, E., COMIN, F. A., 1977 : Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century : relationship with the North Atlantic Oscillation and the El-Nino- Southern Oscillation, *Climate Dynamics*, 13, pp.275-284.
- SCHLESINGER, M. E., 1990: *Climate-Ocean Interaction*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- TERJUNG, W.N., 1966: Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based on man. *Annals Assoc. of Am. Geographers*, LVI, pp.141-179.
- TREWARTHA, G. T., 1943: Köppen's classification of climates in *An Introduction to Weather and Climate*, Mac Graw Hill, New-York, pp.517-520.
- U. S. Department of Agriculture, 1941: *Climate and Man*, Yearbook of Agriculture 1941, Washington DC, USA.
- VIGNEAU, J.P., 2004 : Un siècle de « Types de temps » : épistémologie d'un concept ambigu, *Norois*, 191, 2, pp.17-27.

- Von STORCH, X. and ZWIERS, F. W., 1999: *Statistical Analysis in Climatic Research*, Cambridge University Press, Cambridge.
- WASHINGTON, W. M. and MEEHL, G. A., 1989: Climate sensitivity due to increased CO<sub>2</sub> : experiments with a coupled atmosphere and ocean general circulation model, *Climate dynamics*, 4,1, pp.1-38.
- YOSHINO, M., DOMROES, M., DOUGUEDROIT, A; PASZYNSKI, J. and NKENDIRM, L., 199 : *Climates and Societies. A Climatological Perspective*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.