

Visuel non disponible sur la version internet,
mais disponible sur l'édition papier

Enquête
sur le
climat

FIGURE 1

Janvier 1880 : l'embâcle de la Loire à Saumur.
(Le Monde Illustré, coll. J.P. Legrand.)

Chronologie climatique du dernier millénaire en Europe

ARNAUD LEMAISTRE
Médiateur scientifique au Palais de la découverte,
département des Sciences de la Terre

La reconstitution du climat européen des mille dernières années à partir des archives historiques est une discipline en plein essor depuis une quinzaine d'années. Elle démontre que les grandes périodes de réchauffement ou de refroidissement ne présentent pas le caractère de stabilité que l'on pouvait supposer.

Les outils de l'historien du climat

Les historiens du climat, dans leur quête de reconstitution des événements climatiques, sont confrontés au manque de données quantitatives relatives aux périodes antérieures au XVII^e siècle. Les premières mesures du temps qu'il fait, grâce à l'utilisation d'instruments standardisés, ne sont en effet effectuées qu'à partir de 1654 en Europe : l'Accademia del Cimento (Académie des expériences) installée, sur l'initiative du grand duc de Toscane, Ferdinand II de Médicis, un réseau de stations d'observations implantées à Parme, Milan et Bologne puis à Innsbruck, Paris et Varsovie. Presque toutes les heures sont enregistrées : la température, la pression atmosphérique, la direction du vent et l'humidité. Le réseau cesse de fonctionner en 1667 à la fermeture de l'Académie.

Ces observations ponctuelles, fondement de la science météorologique, fournissent la possibilité de calculer des moyennes ou de définir les variations extrêmes des phénomènes atmosphériques sur plusieurs années. Cette étude du temps sur une plus longue période prend alors le nom de climatologie.

D'autres sites d'observations sont créés par la suite, offrant de longues séries de mesures : De Bilt, aux Pays-Bas, depuis 1735 ; Observatoire de Paris, depuis 1757... Mais il faut attendre la fin du XIX^e siècle et la création de l'Organisation météorologique mondiale, en 1873, pour bénéficier d'un réseau international fournissant des données en continu et surtout comparables entre elles. Quel crédit doit-on en effet accorder à des mesures de températures effectuées avant cette date, avec des instruments dont les systèmes de graduation ne sont pas toujours étalonnés à partir des points de congélation et d'ébullition de l'eau (échelle de Celsius inventée en 1742) ?

Des témoignages humains

Les climatologues des temps historiques se voient alors dans l'obligation de compléter et d'affiner ces indications fragmentaires par l'étude de documents qui vont leur permettre de remonter encore plus loin dans le temps. Ces documents offrent deux types d'informations qualitatives.

Les informations directes sur le temps, que l'on trouve dans des chroniques ou des manuscrits, relatent les descriptions des nuages, de la neige, de l'ensoleillement ; des peintures ou des gravures permettent de visualiser des paysages anciens sous la neige ou d'observer l'extension des glaciers de montagne à différentes époques...

Les informations indirectes sur les conditions climatiques relatent des périodes de gel

Comment reconstituer les variations de températures à partir des archives historiques ?

On attribue aux événements climatiques étudiés des indices s'échelonnant de -3 (extrêmement froid) à +3 (extrêmement chaud) en comparant et en croisant les données. Si des chroniques d'une région considérée nous apprennent, par exemple, que les moissons ont été effectuées à la fin du mois de juin, celui-ci est classé +3. En effet, on sait, d'après les séries de mesures thermométriques du XX^e siècle, qu'une moisson si précoce dans la région correspond à un mois de juin extrêmement chaud. On utilise ensuite la relation indices-températures, établie à partir de la série de mesures, pour convertir un indice de la période pré-instrumentale en une variation de température par rapport aux moyennes calculées pour le XX^e siècle.

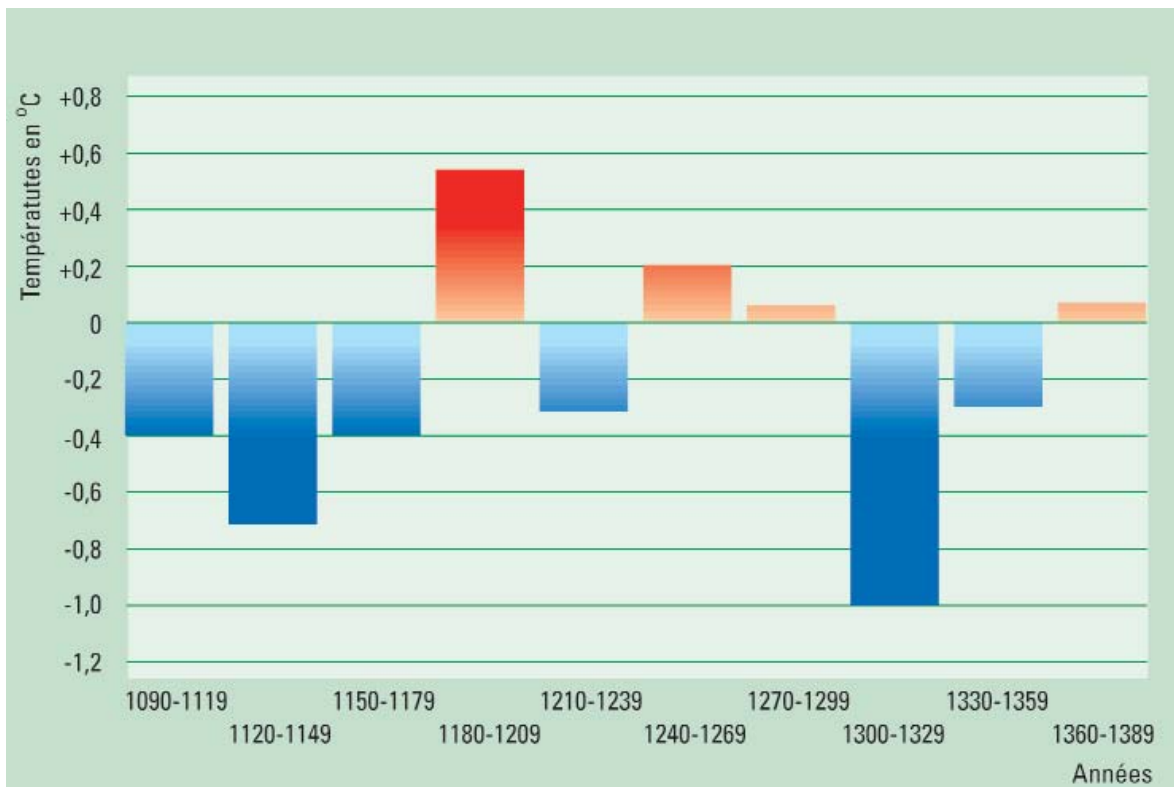


FIGURE 2

Estimation des températures hivernales en Europe centrale, pour la période 1090-1389.

L'origine correspond à la moyenne 1901-1960, seule la période 1180-1299 apparaît comme relativement agréable. (D'après Pfister, 1999.)

anormalement longues, la persistance inhabituelle d'une couverture neigeuse ou d'une sécheresse, la date de maturité des cultures. La date du premier jour des vendanges, qui était consignée dans les registres municipaux, est ainsi un excellent indice pour reconstituer la température moyenne du printemps et de l'été. L'historien Emmanuel Le Roy Ladurie a étudié une centaine de ces registres datant de 1474 à 1879 et provenant de France, de Suisse et des régions rhénanes. Il les a comparés à une série de mesures réalisées à Bâle depuis 1755 et en a conclu, d'après l'excellent accord obtenu, que les décennies 1620-1629 et 1690-1699, les plus froides de la période nommée Petit Age Glaciaire, avaient connu des températures moyennes entre avril et septembre inférieures de 2 °C à celles de la période 1989-1998.

Cependant, pour que ces descriptions soient exploitables, il est indispensable que leur auteur soit contemporain des événements qu'il décrit et qu'il vive à proximité du lieu en ques-

tion. Dario Camuffo et Silvia Enzi, de l'université de Padoue, prennent l'exemple du chroniqueur italien Toaldo qui, en recopiant un X en II après avoir mal lu une date, avait transformé l'année MDXI (1511) en MDIII (1503). L'année 1511 avait vu l'artillerie du pape Jules II traverser le Pô gelé mais l'erreur de date a entraîné, pour la postérité, l'idée que les deux années 1503 et 1511 furent exceptionnellement froides !

Plus grave encore : un chroniqueur liégeois du XIV^e siècle, Jean d'Outremeuse, a rapporté une chronologie détaillée d'hivers rigoureux... totalement inventée ! La méfiance est donc de rigueur face à ces informations qu'il est indispensable de vérifier et de confronter à toutes les sources disponibles.

Lire le temps dans les arbres

La dendrochronologie, étude des anneaux de croissance des arbres, fournit également un riche ensemble d'informations indirectes.

D'une part, la succession de ces cernes offre une chronologie annuelle très précise qui peut être calée entre deux dates si l'on sait en quelle année l'arbre a été coupé ; d'autre part, l'épaisseur des anneaux définit les conditions climatiques sous lesquelles l'arbre s'est développé.

Mais attention ! Des anneaux minces, synonymes d'un stress climatique, n'ont pas la même signification en zone tropicale, tempérée ou dans les zones de hautes latitudes. Dans le premier cas, il s'agira d'un stress hydrique dû à une sécheresse marquée ; dans le deuxième cas, une association plus subtile et plus difficile à analyser entre basses températures et niveau des précipitations expliquera la minceur des cernes ; dans le troisième cas, les faibles températures seront le facteur prépondérant.

Bien entendu, il faut également tenir compte des caractéristiques de la période de croissance végétative propre à chaque espèce et de la situation géographique de l'arbre : se trouve-t-il « protégé » d'une importante évapotranspiration au sein d'une forêt ou est-il soumis à l'influence asséchante du vent en haut d'une crête ? On comprend bien que la reconstitution du climat à partir de la dendrochronologie soit réservée à des spécialistes qui doivent gérer une quantité impressionnante de paramètres différents, associant évidemment des connaissances en climatologie, mais aussi en biologie, en histoire et géographie locales, le tout accompagné d'une bonne dose de patience pour le comptage précis des anneaux...

Une petite histoire climatique européenne du dernier millénaire

Muni des outils et des méthodes précédemment cités, que nous apprend l'historien du climat sur celui-ci ?

En ce qui concerne le premier millénaire de notre ère, les données sont extrêmement fragmentaires. Une trentaine de textes pour la période V^e-VII^e siècles et environ 80 manuscrits pour les VIII^e-X^e siècles nous proviennent du haut Moyen Âge, en particulier de monastères irlandais. Il en ressort que des

hivers souvent doux, jusqu'en 750 environ, ont permis aux moines, à la recherche du paradis terrestre, de pratiquer une certaine forme de « navigation de plaisance » et de parcourir une partie de l'Atlantique Nord sur de frêles embarcations ! La mention d'icebergs et de volcans actifs laisse penser qu'ils se sont probablement aventurés aux alentours des îles Féroé et de l'Islande...

Par la suite, on note un durcissement des conditions hivernales et les sources signalent l'exceptionnel hiver 763-764, sous Charlemagne, avec d'énormes chutes de neige sur toute l'Europe, les oliviers gelés dans toute la zone méridionale et les Dardanelles charriant des glaçons. Les rares données géologiques issues de l'analyse des moraines du glacier d'Aletsch en Suisse témoignent de ce refroidissement qui s'accompagne de plusieurs poussées glaciaires culminant au X^e siècle.

On assiste ensuite à une phase de recul des glaces jusqu'aux alentours de 1350. Cette phase plus chaude, aujourd'hui appelée, en Europe, Optimum Climatique Médiéval, est souvent présentée comme une période aux conditions météorologiques régulièrement clémentes. On lui attribue volontiers la première explosion démographique humaine, les premiers grands progrès techniques et artistiques ainsi que la naissance des grands courants commerciaux. Cette image demande à être nuancée.

Un optimum climatique médiéval nuancé

Les données de l'historien belge Pierre Alexandre, portant sur 3500 références climatiques concernant l'Europe occidentale pour la période 1000-1425, indiquent un début de deuxième millénaire excessivement humide. De nombreuses inondations sont signalées en Saxe et en Westphalie, dans l'Yonne et la vallée de la Loire, produisant souvent de désastreuses récoltes. Les conditions climatiques deviennent plus sèches à la fin du XI^e siècle avec des saisons très contrastées : les hivers sont froids mais les étés sont plus agréables.

Le XII^e siècle, jusqu'en 1180, est en général marqué par des hivers rigoureux, en tout cas plus froids que ceux de la période 1901-1960, et des étés à nouveau plus humides. Les décennies

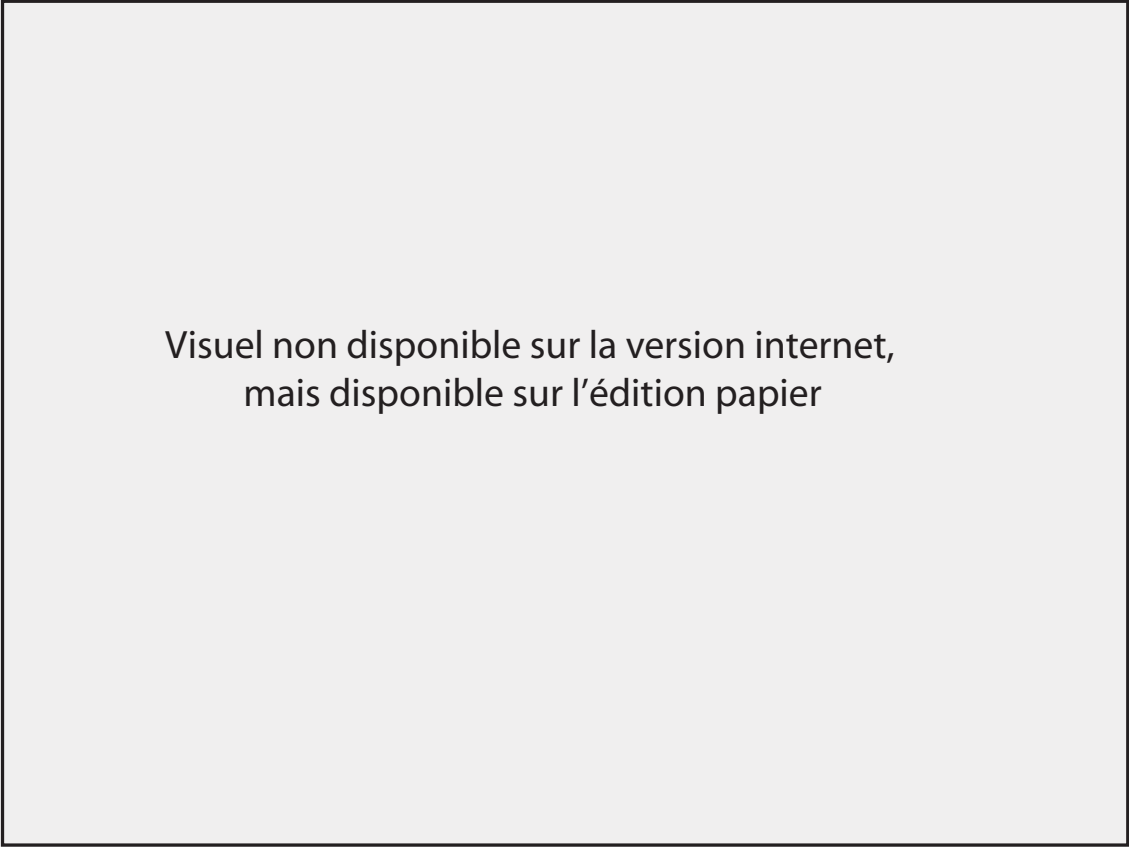
1150-1169, sous Louis VII le Jeune, apparaissent particulièrement désagréables. En revanche, il est également fait mention de saisons ponctuellement plus souriantes : une chronique liégeoise fait mention de la découverte de fraises mûres en 1116... à Noël !

A partir de 1180, les conditions s'améliorent nettement et les températures moyennes deviennent comparables à celles du XX^e siècle, mis à part les deux décennies 1210-1229 où l'on signale souvent des hivers rudes (en 1219, la Seine et la Loire sont gelées). En 1237, un pont est construit sur la Reuss pour ouvrir à la circulation régulière le col du Saint-Gothard, en Suisse, difficilement accessible auparavant. Le XIII^e siècle s'achève dans une ambiance relativement douce et assez sèche, que l'Europe retrouvera plus avant longtemps.

En effet, le premier quart du XIV^e siècle marque le retour brutal des basses tempéra-

tures : chute de 1 °C de la température moyenne hivernale en Europe centrale, en l'espace de dix ans ! Et celui de l'humidité : la neige persiste parfois jusqu'en mars ou avril aux Pays-Bas et en Normandie. En 1309, 1315, 1316 et 1317, il est fait référence de fortes pluies et d'inondations en France, Autriche, Allemagne et Bénélux. En 1328, les chroniques signalent des inondations dans toute la basse vallée du Rhône et la crue du Pô en juin et octobre.

Comme on peut le constater, l'Optimum Climatique Médiéval est finalement peu marqué, il ne correspond pas à une période définie par ses températures uniformément douces. Seules les conditions climatiques du XIII^e siècle peuvent être considérées comme réellement favorables, en tout cas proches de celles des décennies 1901-1960. Il n'empêche que cet optimum constitue une période de



Visuel non disponible sur la version internet,
mais disponible sur l'édition papier

FIGURE 3

Pierre Bruegel le Jeune. Hiver, entre 1622 et 1635. Huile sur bois. Musée national d'art de Bucarest.

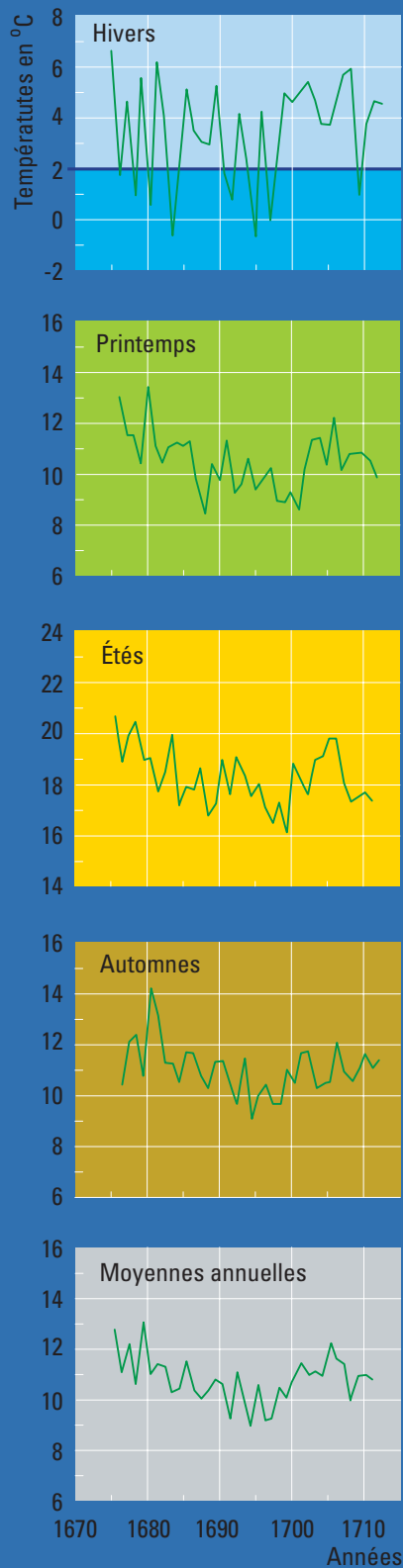


FIGURE 4
Variations des températures saisonnières et annuelles relevées à Paris par Louis Morin, entre 1676 et 1712. La ligne tracée en gras à la hauteur de 2 °C sur les courbes des hivers fait ressortir les hivers rigoureux. (D'après Legrand et Le Goff, 1992.)

« répit » entre une fin de premier millénaire apparemment assez rigoureuse et le Petit Age Glaciaire dont nous parlerons plus loin.

L'épopée viking dans l'Atlantique Nord

Les climatologues et les historiens attribuent au réchauffement climatique médiéval la découverte du Groenland, en 982, et de l'Amérique du Nord (Labrador et Terre-Neuve actuels), aux alentours de l'an 1000, par les Vikings. Les données historiques ainsi que l'analyse des variations de la composition isotopique des glaces groenlandaises apportent la preuve que les conditions climatiques dans l'Atlantique Nord sont particulièrement clémentes entre le VII^e et le XII^e siècle. Curieusement, on note ici un décalage temporel de l'optimum entre cette région et l'Europe continentale, plus tardif pour cette dernière, ce qui montre le diachronisme des événements climatiques à l'échelle du globe (même pour des régions aussi proches l'une de l'autre !)

L'océan se trouve alors libre de glaces entre l'Islande, déjà colonisée par les Vikings, et le Nouveau Continent, ce qui rend possible de longues expéditions maritimes. Le Groenland est décrit dans la *Saga d'Eric le Rouge*, écrite dans les années 1250, comme un pays verdoyant dépourvu d'arbres, où l'herbe pousse et permet de faire paître les animaux. Deux centres de colonisation sont implantés dans des fjords bien abrités de la côte sud et entretiennent des relations commerciales florissantes avec l'Islande jusqu'à la fin du XII^e siècle. C'est alors que les conditions se détériorent : baisse des températures, tempêtes plus fréquentes et surtout extension de la banquise le long de la côte sud-est du Groenland, contraignant les navires à effectuer des voyages de plus en plus longs et périlleux en haute mer. En 1347, s'échoue en Islande le dernier bateau ayant établi une liaison avec les colonies. La route est alors définitivement coupée et les derniers Vikings groenlandais, privés de vivres et de bois de chauffage, finissent par disparaître, victimes du froid et de la faim...

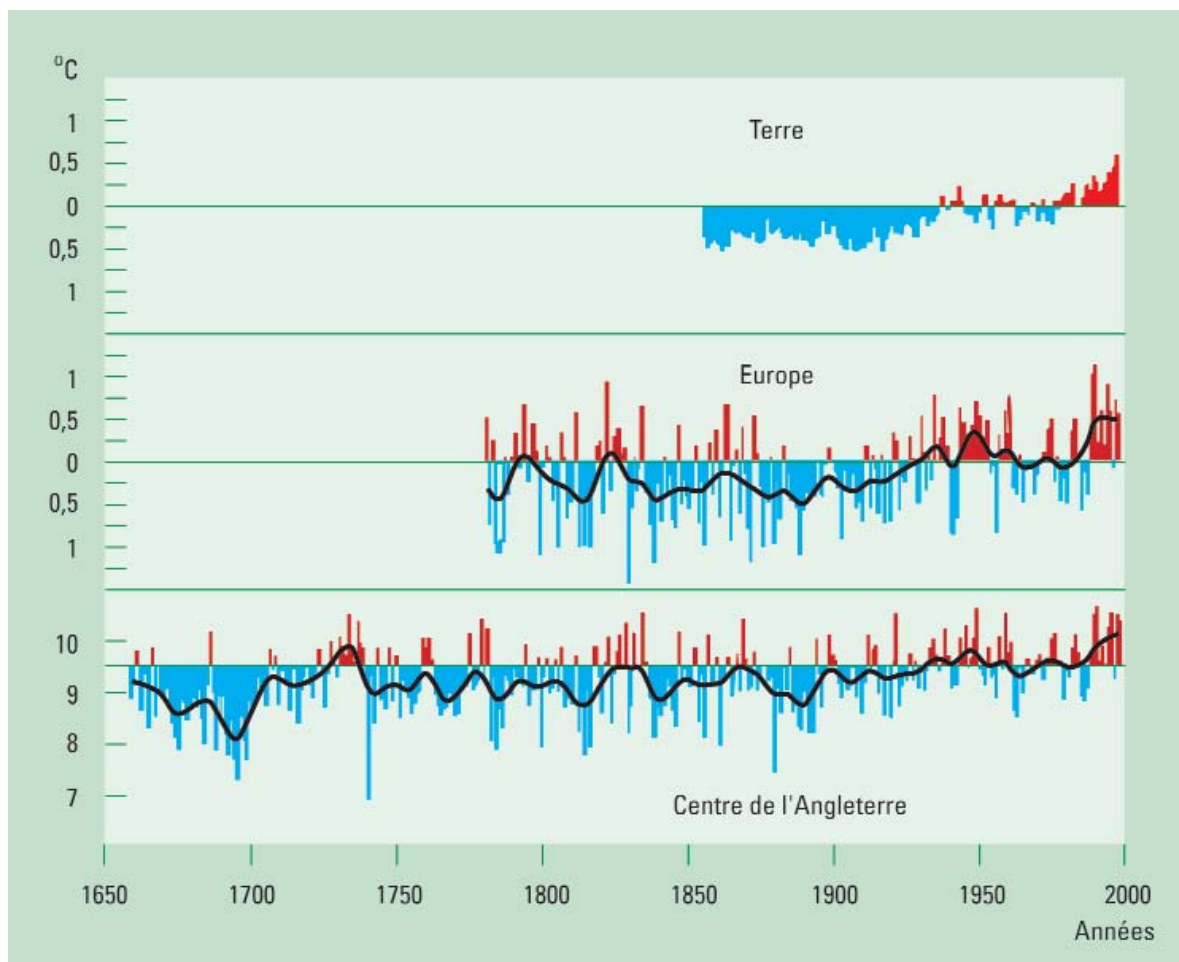


FIGURE 5

En haut : variations de la température moyenne mondiale, depuis 1856, par rapport à la moyenne 1961-1990.

Au milieu : variations de la température moyenne en Europe, depuis 1781, par rapport à la moyenne 1961-1990.

En bas : valeur annuelle moyenne des températures dans le centre de l'Angleterre, depuis 1659 ; l'horizontale indique la valeur moyenne pour la période 1961-1990. (D'après Moberg et Demaree, 1999.)

Le Petit Age Glaciaire

La détérioration du climat européen, amorcée au XIV^e siècle, se poursuit au siècle suivant. Des troncs d'arbres fossiles, retrouvés par des botanistes en Angleterre, en Allemagne et en Scandinavie, témoignent de conditions de croissances peu favorables : les anneaux apparaissent extrêmement minces entre 1420 et 1480. En France, les conditions climatiques sous Louis XI deviennent difficiles : neige et pluie sont des éléments fréquents des chroniques. Dans les Alpes, les glaciers confirment leur avancée, entamée vers 1350. Le Vieux Continent semble s'acheminer graduellement vers la période froide du Petit Age Glaciaire.

Mais encore une fois, le climat est l'objet de sautes d'humeur inattendues ! Entre 1530 et 1565, trois décennies d'étés chauds et secs viennent perturber le refroidissement qui s'accroît néanmoins brusquement à la fin du XVI^e siècle. Les étés deviennent humides et froids, les hivers longs et neigeux. L'hiver très rigoureux 1564-1565 marque tant l'esprit du peintre Bruegel l'Ancien qu'il en modifie son style et inaugure une longue tradition de peintures représentant des paysages européens saisis par la neige et la glace. Cette source d'inspiration perdurera jusqu'au XIX^e siècle.

Le XVII^e siècle correspond à la période de froid la plus intense du Petit Age Glaciaire,

Visuel non disponible sur la version internet,
mais disponible sur l'édition papier

Visuel non disponible sur la version internet,
mais disponible sur l'édition papier

FIGURE 6
Aquarelle de 1823 (à gauche)
*montrant **le village des Prats***
***et la mer de Glace** descendant*
1000 mètres plus bas
qu'aujourd'hui (à droite).

Avoir chaud au cœur du Petit Age Glaciaire

Plusieurs hypothèses ont été envisagées pour expliquer la baisse mondiale de la température entre le XV^e et le XIX^e siècle, celle-ci ayant été plus sensible en Europe. S'agirait-il d'une conséquence de la diminution de l'activité solaire, marquée par une faible occurrence de taches à la surface du soleil (cet événement a été nommé « Minimum de Maunder ») ? L'océan serait-il responsable du refroidissement, avec une modification de la trajectoire du Gulf Stream, celui-ci n'apportant plus sa chaleur à l'Europe ?... D'un point de vue atmosphérique, l'explication est beaucoup plus simple : les anticyclones subtropicaux pourvoyeurs de vents d'ouest ou de sud-ouest très doux sur l'Europe se sont alors retirés loin au sud. Ils ont laissé place à des anticyclones et des dépressions polaires, apportant des vents froids de nord ou d'est. La décennie chaude 1729-1738 semble avoir au contraire couramment subi l'influence des vents d'ouest, à l'image de notre très douce fin de XX^e siècle...



FIGURE 7
Variations des températures saisonnières et annuelles relevées à Paris, dans les stations de l'Observatoire, de 1799 à 1873, et de Montsouris, de 1873 à 1991. La ligne tracée en gras à la hauteur de 2 °C sur les courbes des hivers fait ressortir les hivers rigoureux. On note :

1) la disparition totale des hivers rigoureux après celui de 1963 ;
 2) pour les printemps et les étés, peu de variations d'une période à une autre ;
 3) pour les automnes, un très net réchauffement depuis 1930 ;
 4) pour les moyennes annuelles, une augmentation de la température due à la disparition

des hivers rigoureux et au réchauffement des automnes ; l'urbanisation de Paris joue aussi un rôle important dans ce réchauffement, en particulier par l'augmentation des températures minimales estivales. (D'après Legrand et Le Goff, 1992.)

les décennies 1620-1629 et 1690-1699 apparaissant particulièrement redoutables. Une estimation des températures moyennes d'hiver aux Pays-Bas faite par Core Schuurmans montre qu'avant l'an 1700, presque tous les hivers sont beaucoup plus froids que ceux que nous connaissons actuellement, la différence atteignant parfois trois ou quatre degrés.

Le développement de l'utilisation des thermomètres à partir des années 1650 apporte des informations précieuses sur les fameux hivers du Roi-Soleil : Louis Morin, botaniste, médecin et académicien, a ainsi consigné à Paris, de 1676 à 1712, des milliers d'informations météorologiques. Il apparaît que les hivers 1683-1684, 1694-1695 et 1708-1709 sont exceptionnels : les températures entre -10°C et -20°C sont fréquentes et la température moyenne sur les trois mois d'hiver météorologique (décembre à février) reste bloquée au-dessous du zéro, au lieu des $+4^{\circ}\text{C}$ actuels.

Curieusement, les années 1710-1740 apportent une bouffée de chaleur à l'Europe qui grelotte. En l'espace de trente ans, dans certaines régions comme l'Angleterre et les Pays-Bas, la température moyenne augmente de $1,8^{\circ}\text{C}$, ce qui correspond à un réchauffement beaucoup plus important et plus rapide que celui observé au cours du XX^e siècle (« seulement » $0,6^{\circ}\text{C}$) ; la chaleur des années 1730 est comparable à celle d'aujourd'hui...

Visuel non disponible sur la version internet,
mais disponible sur l'édition papier

Hélas ! L'hiver 1739-1740 marque un retour brutal et durable de la froidure, même si l'on n'atteint pas les extrêmes du XVII^e siècle. Néanmoins de nombreux et puissants coups de froids sont enregistrés jusqu'aux années 1890 : il faut citer le mois de décembre 1879, mois le plus glacial de tout le millénaire en France ($-7,4^{\circ}\text{C}$ de moyenne mensuelle et $-23,9^{\circ}\text{C}$ de minimum absolu à Paris-Montsouris, -33°C à Langres le 9 décembre... en automne !).

Le réchauffement récent

Depuis le début du XX^e siècle, la température moyenne du globe a augmenté de $0,8^{\circ}\text{C}$. En Europe, on observe une augmentation importante entre 1900 et 1940 aboutissant à une décennie chaude entre 1940 et 1950 : à Paris, en juillet 1947, les 40°C à l'ombre sont dépassés... Puis les années 1955-1980 sont marquées par une baisse significative de la température amenant des hivers restés

Visuel non disponible sur la version internet,
mais disponible sur l'édition papier

FIGURE 8

(à gauche) **Décembre 1879, la neige à Paris, rue de Tournon**, (Le Monde Illustré, coll. J.P. Legrand.).
(à droite) **La Seine prise par les glaces au pont Saint-Michel**. Les tas de neige adossés aux piles du pont proviennent du déblaiement des rues de Paris. (L'illustration, coll. J.P. Legrand.)

célèbres, février 1956 ou bien encore l'hiver le plus long du siècle, 1962-1963, le seul à rivaliser avec les hivers du Petit Age Glaciaire...

Depuis 1980, on assiste de nouveau à une hausse marquée, procurant à la décennie 1991-2000, le titre de décennie la plus chaude du millénaire !

Dans le détail, il existe des disparités régionales et saisonnières. Ainsi, l'étude des hivers de la période 1891-1990 montre un réchauffement important de la Péninsule Ibérique, du sud de la France, de l'Europe de l'Est et de la Russie (+1 °C à +2,5 °C), alors que la Scandinavie se refroidit (-1 °C). Les étés 1891-1990 montrent un léger réchauffement général (+0,5 °C), et un refroidissement en Europe centrale (-0,5 °C).

En moyenne, le réchauffement de l'Europe est estimé à 0,6 °C, plus marqué pour les températures moyennes minimales que pour les maximales. Quelle en est la cause ? Ce qu'il y a de certain, c'est que depuis une vingtaine d'années, les situations météorologiques entraînent l'arrivée sur l'Europe de masses d'air atlantiques très douces ; ce phénomène, plus fréquent qu'auparavant, est particulièrement marqué en hiver. Ce changement dans la circulation atmosphérique reflète-t-il un processus naturel de réchauffement postérieur au Petit Age Glaciaire ? Est-il, au contraire, la conséquence météorologique de l'augmentation anthropique de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ? Même si la deuxième hypothèse prévaut largement aujourd'hui, les scientifiques n'en ont pas encore la preuve formelle.

L'étude passionnante de l'histoire millénaire du climat amène le chercheur à étudier des documents qui semblent souvent éloignés des documents utilisés par le paléoclimatologue « classique ». Celui-ci, habitué à travailler sur les lointains événements climatiques du passé, recherche les fossiles caractéristiques de milieux chauds ou froids, traque les moraines fossiles pour reconstituer des glaciers disparus, fore dans les calottes glaciaires pour analyser la composition chimique de l'air et de l'eau qui y sont emprisonnés, ce qui lui permet de reconstituer des séries de températures à l'aide de modèles physiques... Mais il se heurte à un problème de résolution temporelle : les événements très anciens ne sont pas datables avec une précision annuelle, ni même décennale ! L'historien du climat est plus heureux, il peut compter sur une description très précise de l'évolution du climat et montrer qu'elle est parfois très surprenante ; en revanche, lui ne pourra guère remonter très loin dans le temps, faute d'informations relatées par les hommes...

A. L.

Arnaud Lemaistre, géologue diplômé de l'IGAL, s'est spécialisé dans la médiation et la formation en climatologie et météorologie, en association notamment avec Météo-France et l'université Paris VI. Il a été responsable scientifique, en 2000, de l'exposition *Le Crépuscule des Dinosaures*.

Enquête sur le climat

Ouvrages généraux

- Berger (A.)**, Le climat de la Terre, De boeck-University, Belgique, 1992.
- Duplessy (J.-C.)**, Quand l'océan se fâche, Odile Jacob, 1996.
- Duplessy (J.-C.)**, **Morel (P.)**, Gros temps sur la planète, Odile Jacob, 1990.
- Elmi (S.)**, **Babin (C.)**, Histoire de la Terre, Armand Colin, 1994.
- Frakes (L. A.) et al.**, Climate modes of the Phanerozoic, Cambridge University Press, 1992.
- Jousseaume (S.)**, Climat d'hier à demain, éditions du CNRS, 1999.
- Lambert (G.)**, La Terre chauffe-t-elle ?, EDP Sciences, 2001.
- La Recherche**, n°321, juin 1999.
- Le Roy Ladurie (E.)**, L'histoire du climat depuis l'an mil, Flammarion, 1967.
- Lorius (C.)**, Glaces de l'Antarctique, Point Seuil, 1993.
- Questions d'atmosphère**, *Revue du Palais de la découverte*, n° spécial 50, avril 1998.

Articles spécialisés

- Beuf (S.)**, **Biju-Duval (B.)**, **Charpal (D.)**, **Rognon (P.)**, **Gariel (O.)**, **Krimbennacef (A.)**, Les grès du paléozoïque inférieur au Sahara, éditions Technip, 1971.
- Biju-Duval (B.)**, Géologie sédimentaire, bassins, environnements de dépôts, formation du pétrole, éditions Technip, 1999.
- Crowley (T. J.) et al.**, 1987. Gondwanaland's seasonal cycle, *Nature*, 329, p. 803-807.
- Fabre (A.) et al.**, 1998. Coupling an AGCM with an ice sheet model to investigate the ice sheet mass balance at the Last Glacial Maximum, *Geophys. Res. Letters*, 25, (4), p. 531-534.
- Gibbs (M.) et al.**, An atmospheric pCO₂ threshold for glaciation in the late Ordovician, *Geology*, 25, p. 447-450.
- Hart (M. H.)**, 1978. The Evolution of the atmosphere of the Earth, *Icarus*, 33, p. 23-39.
- Hoffman (P. J.) et al.**, 1998. A neoproterozoic snowball earth, *Science*, 281, p. 1342-1346.
- Jenkins (G. S.) et Scotese (C. R.)**, 1998. A Neoproterozoic snow ball Earth?, *Science*, 282, p. 1644-1645.
- Kasting (J. F.)**, 1989. Long term stability of the Earth climate, *Glob. Plan. Change*, 1, p. 83-95.
- Noblet (N. de) et al.** 1996. Possible role of atmosphere-biosphere interactions in triggering the last glaciation, *Geophys. Res. Letters*, 23, (22), p. 3191-3194.
- Ramstein (G.) et al.**, 1997. Effect of orogeny, plate motion and land sea distribution on Eurasian climate change over the past 30 million years, *Nature*, 386, p. 788-795.
- Ramstein (G.) et al.** 1999. Permo-carboniferous glaciation, *Geology*. (En préparation.)
- Rind (D.) et Kukla (G. P. G.)**, 1989. Can Milankovitch orbital variations initiate the growth of ice sheets in general circulation mode ?, *J. Geophys. Res.*, 94, p. 12851-12871.
- Ruddiman (W. F.)**, 1997. Tectonic uplift and climate changes, W.F. Ruddiman, New York.
- Williams (G. E.)**, 1993. History of the Earth's obliquity, *Earth Sc. Rev.*, 34, p. 1-45.