

Histoire du climat dans les montagnes du Jura

Écosystèmes et sociétés face à un avenir incertain

Sous la direction de Michel Magny et Hervé Richard

éditions de la Belle Étoile

Photographie de couverture :
Ruisseau des Mortes, lacs des Mortes et de Bellefontaine, communes de
Bellefontaine et Chapelle-des-Bois © S. Godin.

« Le Code de la propriété intellectuelle et artistique n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L.122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4). « Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. »

Éditions de la Belle Étoile
63 rue du Commerce, 39000 Lons-le-Saunier
Tél. : 03 84 24 08 23
Mèl. : belleetoile.editions@gmail.com
<https://editions-labelleetoile.fr>

Ma fascination pour le climat trouve son origine dans le fonctionnement planétaire du système climatique. Tout est lié, sur l'ensemble de la planète. Le climat exprime les liens entre l'atmosphère, les océans, la biosphère, les glaciers ou encore la neige à l'échelle mondiale. Le climat nous relie parce qu'il relie toute l'humanité. Une goutte d'eau dans une mer se retrouvera un jour dans tout autre océan. L'air que nous respirons fait le tour de la planète, se charge en humidité au-dessus d'un océan, d'une forêt, la fait tomber sous forme de pluie ailleurs. La chaleur du Soleil, qui est maximale à l'Équateur, se transporte jusqu'aux Pôles en passant par nos latitudes. Ces liens sont encore plus visibles aujourd'hui, alors que les changements climatiques bouleversent nos sociétés dans le monde entier : les canicules et les incendies frappent tous les continents. Les intempéries et les inondations touchent jusqu'aux endroits les plus inattendus. Le bel équilibre résilient que nous connaissions vacille désormais et nous emmène vers l'inconnu.

Les changements climatiques constituent un défi à l'échelle mondiale. Cela signifie non pas une dilution et un report des responsabilités mais au contraire la nécessité d'agir partout, dans chaque lieu et à toutes les échelles. Les changements climatiques planétaires nous touchent lorsque leurs conséquences se manifestent localement. Ce défi mondial nécessite une multitude de réponses globales autant que locales et régionales.

Le réchauffement est aujourd'hui déjà tellement avancé qu'il ne suffit plus d'agir sur sa cause en réduisant les émissions de gaz à effet de serre des activités humaines. Alors même que cette action est certes plus urgente et plus importante que jamais, il est aussi nécessaire d'agir en parallèle sur les conséquences des changements climatiques, en les limitant et en nous y adaptant.

Pour pouvoir réaliser cette adaptation, il est nécessaire de bien connaître son environnement. Après la dernière glaciation, la planète a mis dix mille ans pour se réchauffer de cinq degrés et parvenir à un nouvel équilibre sous la forme d'une période interglaciaire. Un climat relativement stable sur une durée exceptionnellement longue, dont l'humanité a bénéficié pour son développement depuis une nouvelle dizaine de milliers d'années. Des millénaires qui nous ont donné le temps d'observer notre environnement, génération après génération, pour trouver et affiner des stratégies permettant d'y vivre. Dans le Jura comme ailleurs, et souvent davantage qu'ailleurs, il a fallu de l'ingéniosité et de la ténacité pour s'établir durablement, en trouvant des solutions pour l'approvisionnement en eau et pour la subsistance, en trouvant les moyens de stocker de quoi se nourrir durant les longs hivers, jusqu'aux prochaines récoltes, en profitant des ressources disponibles tout en maintenant l'équilibre, pour pérenniser le système et léguer le meilleur aux générations futures.

Aujourd'hui l'adaptation aux nouvelles conditions climatiques est un défi absolument sans précédent. Non seulement les températures augmentent extrêmement vite, mais c'est bien l'ensemble du climat qui change. Dans le Jura, la neige que l'on connaissait si bien, qui avait façonné le rythme de vie de sa population, fait de plus en plus souvent défaut. Les étés frais et humides font, eux, de plus en plus souvent place à la chaleur et à la sécheresse, lorsque ce n'est pas aux vents ravageurs ou aux pluies diluviennes, aux inondations et aux glissements de terrain. Dans les forêts, dans les pâturages boisés, les arbres si bien en phase avec leur milieu, résistant aux hivers comme aux étés tout en fournissant d'innombrables services, ces arbres sont de moins en moins adéquats face aux nouvelles conditions. Ce n'est pas la gestion de ces forêts qui en est responsable mais bien le changement des conditions climatiques qui les rendent de plus en plus inadaptées

aux défis actuels et qui nécessitent d'adapter la gestion, souvent dans des délais bien trop courts par rapport à la durée de vie des arbres. Les températures plus douces permettent des cultures nouvelles qui, jusqu'à il y a peu, n'étaient pas connues dans les montagnes jurassiennes. Mais ces températures laissent aussi proliférer de nouveaux ravageurs, ceux qui avaient jusque-là été limités par la rigueur des hivers mais aussi ceux qui arrivent d'autres continents, en lien avec la mondialisation qui s'est intensifiée en même temps que les changements climatiques.

Ce livre issu d'une large collaboration interdisciplinaire et transfrontalière permet de mieux connaître et comprendre le Jura, avec ses spécificités locales et régionales, avec ses propres enjeux à un moment crucial de bascule. Ce massif aux confins de la France et à l'écart d'un Plateau suisse de plus en plus densément peuplé, cette région où la population ne s'est jamais laissé séparer par la frontière, est incomparable à toute autre. Pourtant le Jura partage avec les régions voisines et avec le monde entier la nécessité de s'adapter pour faire face au mieux aux changements climatiques.

Mieux connaître et comprendre les réalités d'hier et d'aujourd'hui dans le Jura, autant du point de vue de ses riches écosystèmes que du fonctionnement de ses sociétés, permettra de mieux faire face aux défis à venir, avec une population qui devra se montrer résiliente dans l'adversité tout en valorisant et préservant un milieu dont elle sait depuis longtemps apprécier les qualités et la beauté.

Martine Rebetez

Climatologue,
professeure à l'Université de Neuchâtel
et à l'Institut fédéral de recherches
sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)



Lac de l'Embouteilleux, hameau de l'Embossieux à La Pesse (Jura) © S. Godin.

Introduction

- 1 – Avant-propos (MM, HR) p. 9
2 – Avertissements (MM, HR) p. 11
3 – Le Jura, une montagne entre frontière et communauté
de destin (HR, MM) p. 13
4 – Météorologie et climat (BVD) p. 17
5 – À propos de la période présentée par l’ouvrage (VB) p. 19
6 – Les gaz à effet de serre (VB) p. 21

Première partie: le Pléistocène

- 7 – Les précurseurs, ou la découverte
des changements climatiques (HR, VB) p. 25
Encadré – Louis Agassiz et les glaciers (VB, HR) p. 27
*Encadré – Les isotopes de l’oxygène, thermomètre
des paléoclimats (VB) p. 29*
Encadré – Le radiocarbone (MM) p. 32
Encadré – Les cycles de M. Milanković (VB, HR) p. 36
8 – De la grande glaciation aux derniers glaciers
jurassiens (VB, HR, FXC, JD) p. 43
Encadré – La grotte de Cotencher (FXC, JD) p. 45
*Encadré – La palynologie, ou comment reconstituer
les paysages passés (HR) p. 49*
Encadré – La tourbière de la Grande Pile (HR) p. 54
Encadré – Le mammoth de Praz-Rodet (VB) p. 59
9 – Des Néandertaliens dans le Jura (CC) p. 63
10 – Le Tardiglaciaire, les brusques changements du climat
au cours de la déglaciation (HR, VB) p. 67
11 – La faune au Tardiglaciaire dans l’Arc jurassien :
recomposition et expansion (AB) p. 72
12 – Les premiers hommes modernes (CC) p. 75
*Encadré – Chasse à l’ours et préhistoire dans la grotte
du Bichon (La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel) (FXC) p. 78*
13 – Les derniers chasseurs-cueilleurs (CC) p. 81
*Encadré – ADN ancien et derniers chasseurs-cueilleurs
jurassiens (CC) p. 82*
*Encadré – Les occupations magdaléniennes de Hauterive-
Champréveyres et Monruz (Neuchâtel) (DL) p. 86*

Deuxième partie: l’Holocène

- 14 – L’Holocène : le climat du Jura depuis 11 700 ans (MM) p. 91
15 – De l’histoire du climat à celle des sociétés (MM) p. 109
16 – Sept millénaires d’agriculture (EGR) p. 115
Encadré – La dendrochronologie (MM-OG) p. 120
17 – Optimum climatique médiéval (PGr, SB, MM, HR) p. 123
Encadré – Le froid cause de mortalité (PGr) p. 125
18 – Le Petit Âge Glaciaire dans le Jura :
les archives de l’historien (EG) p. 127
Encadré – Le Petit Âge Glaciaire (MM) p. 128
*Encadré – Météorologie et Révolution française.
Le témoignage de la famille Rocle à Champagny,
près de Besançon (EG) p. 134*
*Encadré – Les effets climatiques et socio-économiques
du volcan indonésien Tambora (1816) en Franche-Comté.
Le témoignage du vigneron Laviron (EG) p. 137*

Troisième partie: l’Anthropocène

- 19 – L’Anthropocène (MM) p. 141
Encadré – GIEC et COP (MM) p. 143
Encadré – L’IPBES (PG) p. 144
20 – Le climat jurassien du milieu du XIX^e siècle
à nos jours (BVD, VP) p. 151
Encadré – « La petite Sibérie » (BVD) p. 153
Encadré – Les dictons et la lune (BVD) p. 154
Encadré – Une image trompeuse ! (BVD) p. 158
21 – Quel climat demain dans le Jura ? (BVD, VP) p. 161

Quatrième partie: les enjeux du réchauffement climatique

Les milieux humides: tourbières, lacs et rivières

- 22 – Les tourbières, des écosystèmes au cœur
des changements climatiques (DG, LP, SM) p. 169
Encadré – Tourbières, amibes à thèques et climat (EM) p. 173
23 – Les lacs jurassiens, l’Homme et le climat (VE, HM, VV, LM) p. 177

- 24** – La tourbière de l'étang de la Gruère (GLR, FDV, DW, BS) . . p. 182
- 25** – Chronique des rivières jurassiennes :
des débits estivaux qui diminuent ? (VF) p. 185
*Encadré – La pérennité des usages de l'eau
à Villards-d'Héria (VB) p. 188*
- 26** – Les rivières du massif jurassien pourront-elles faire face
aux nombreuses menaces liées aux pressions anthropiques
et à l'évolution du climat ? (PMB, FD) p. 190
*Encadré – La pollution des eaux aux nitrates est aggravée
par le réchauffement climatique (FB) p. 196*

Les forêts

- 27** – Les forêts du Jura : entre héritage historique
et défi climatique (PJ, ELi) p. 199
*Encadré – Forêt jardinée de l'Envers à Couvet :
perpetuum mobile, véritable monument sylvestre d'efficacité,
de pérennité et de multifonctionnalité (PJ, ELi) p. 200*
*Encadré – Une AOC Bois du Jura,
et un label Bois suisse (PJ, ELi) p. 206*
Encadré – Ips typographus et autres parasites (PJ, ELi) p. 207
- 28** – Les services écosystémiques de la forêt jurassienne
face au réchauffement climatique (VP, FG) p. 209
*Encadré – Les sols, un élément clef pour les écosystèmes
et le climat (EL, OM) p. 210*
- 29** – Le passé récent de la haute-chaîne du Jura (PP) p. 213
*Encadré – L'évolution de la limite supérieure
de la forêt (HR) p. 215*
- 30** – Prédire le futur des écosystèmes jurassiens...
est-ce raisonnable ? (FG) p. 218

Le tourisme

- 31** – L'enneigement et le tourisme dans le Jura suisse (VP) p. 225
- 32** – Adaptation à la station de Métabief (OE) p. 229
- 33** – Aux Rousses, une transition qui a déjà commencé (BVD) . . p. 231

La biodiversité et les mutations agricoles

- 34** – Biodiversité et mutations agricoles (PG) p. 233
- 35** – Changement climatique et peuplements
d'oiseaux (PG, DM) p. 239
- 36** – L'évolution des grands ongulés : de grands changements
mais peu ou pas d'effets du climat (PG, CF) p. 241
- 37** – Réchauffement climatique et production de lait à Comté :
un changement de paradigme s'impose (MC) p. 244
- 38** – Le Jura, une montagne fromagère
transfrontalière (PB, DB, LP) p. 247
- 39** – Les viticulteurs jurassiens face au changement
climatique (JBB, JLG) p. 252
*Encadré – Le vignoble neuchâtelois face au changement
climatique (HR, MM) p. 254*

Le milieu urbain

- 40** – Renaturer les villes (VP, MM, HR) p. 257

Des leviers pour l'action

- 41** – La transition écologique à l'épreuve du politique (VP) p. 260
- 42** – Les Parcs Naturels Régionaux, des syndicats
aux missions atypiques (BN) p. 265
- 43** – Quand les arts de la scène nous aident à imaginer
d'autres futurs (GP) p. 270
- 44** – 2050, Look up ! (DG) p. 273
- 45** – Un avenir incertain, une communauté de destin (MM, HR) . p. 277

Annexes

- Glossaire* p. 286
- Bibliographie* p. 294
- Liste des auteur(e)s* p. 300
- Tableau chronologique* p. 303

Le réchauffement du climat est le principal problème auquel l'humanité doit faire face au ^{xxi}^e siècle : il menace directement l'habitabilité de la planète Terre et il affecte l'ensemble de la biosphère. Une fois encore, le GIEC (*Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat*), à travers les trois volumes de son dernier rapport publiés entre août 2021 et avril 2022, alerte les responsables politiques et économiques ainsi que tous les citoyens sur la gravité de la situation et l'urgence de l'action.

Le présent ouvrage se saisit de cette question climatique en s'intéressant aux montagnes du Jura. Comme sur toutes les montagnes de la planète, le réchauffement climatique perturbe aujourd'hui de plus en plus fortement les écosystèmes de ce massif aux altitudes modestes. De ce point de vue, à l'instar des zones polaires, les milieux montagnards représentent des milieux « sentinelles » qui nous alertent sur les processus climatiques et écologiques en cours.

Comme l'indique le titre de l'ouvrage, nous avons choisi une présentation qui suit une progression chronologique en retraçant l'histoire du climat dans les montagnes du Jura depuis environ 250 000 ans.

- La **première partie** envisage les variations du climat pendant la dernière partie de l'époque **Pléistocène**, c'est-à-dire depuis environ – 250 000 jusque vers – 9 700 ans avant notre ère. Cette période est caractérisée par l'alternance de phases au climat froid, – glaciaires –, pendant lesquelles le Jura s'est couvert de glaciers, et de phases au climat tempéré, – interglaciaires –, marquées par la disparition des glaciers et une recolonisation des espaces jurassiens par la forêt. La période présentée ici couvre les deux dernières glaciations.

- La **seconde partie** s'intéresse à l'époque **Holocène**, c'est-à-dire au dernier interglaciaire qui a commencé vers – 9 700 ans et qui se caractérise notamment par l'émergence des premières communautés d'agriculteurs, à l'origine d'un impact croissant sur les écosystèmes, plus fort que celui de leurs ancêtres chasseurs-cueilleurs.

- La **troisième partie** se focalise sur l'époque **Anthropocène**, c'est-à-dire l'époque actuelle marquée par le développement de la civilisation industrielle depuis la fin du ^{xviii}^e siècle, avec un impact sans précédent des sociétés humaines sur le climat et sur les écosystèmes,

en particulier depuis les années 1950 en raison du développement concomitant d'une économie productiviste et d'une société de consommation. Après avoir présenté le concept d'Anthropocène, cette partie fait le point sur l'évolution récente du climat dans le Jura et présente des projections pour sa trajectoire future dans la région à l'horizon 2100.

- la **quatrième partie** de l'ouvrage aborde les **enjeux** que pose cet impact anthropique inédit pour les écosystèmes et les sociétés dans les montagnes du Jura. Pour finir, elle évoque des leviers possibles pour l'action, qu'ils soient politiques, administratifs, pédagogiques ou culturels.

Cette progression chronologique offre l'occasion de montrer aux lecteurs comment s'est constituée la science du climat et comment se sont développés ses outils. Elle permet aussi de comprendre les différents facteurs, d'abord naturels puis anthropiques, qui sont à l'origine des changements passés et actuels du climat. Elle permet encore de suivre la dynamique évolutive des écosystèmes jurassiens et leurs incessantes transformations en réponse aux changements du climat. Cette mise en perspective chronologique donne aussi à voir l'anomalie sans précédent

que constituent, à l'échelle du Quaternaire, les perturbations actuelles du climat et des écosystèmes.

Cette approche dans la longue durée offre également l'opportunité d'observer comment se sont articulées de plus en plus étroitement la trajectoire des écosystèmes et celle des sociétés, depuis les chasseurs-cueilleurs du Paléolithique aux paysans du Néolithique et à l'avènement de la civilisation thermo-industrielle actuelle. Dans le Jura comme ailleurs, l'histoire des paysages est à bien des égards un reflet de celle des sociétés et de leurs modes de vie. Ainsi une large place a-t-elle été accordée à l'histoire du peuplement de la région.

Enfin, plus généralement, le lecteur pourra également trouver dans cet ouvrage focalisé sur le massif du Jura une forme d'initiation à quelques-uns des grands enjeux climatiques et écologiques que pose aujourd'hui l'Anthropocène à l'échelle de la planète.

L'histoire du climat dans les montagnes du Jura a été écrit pour un large public, curieux de comprendre les origines des paysages jurassiens et les mécanismes, naturels et anthropiques, qui interfèrent aujourd'hui dans le fonctionnement de leurs écosystèmes. Le texte s'appuie sur une abondante illustration, avec des schémas et des photographies souvent associés à des légendes détaillées. De nombreux encadrés apportent des éclairages sur des

points spécifiques. En fin d'ouvrage, un glossaire offre des définitions pour les termes techniques ou les mots spécialisés, et une bibliographie propose des références et des pistes pour prolonger la lecture.

La cinquantaine d'auteur(e)s qui ont participé à la rédaction de cet ouvrage forment un groupe résolument transfrontalier et interdisciplinaire, mêlant aussi bien écologues, naturalistes, météorologues, climatologues, géologues, historien(ne)s, préhistorien(ne)s que professionnel(le)s du monde économique, ingénieur(e)s paysagistes, gestionnaires, médiateur(trice)s culturels ou encore élu(e)s politiques.

Nous espérons que cet ouvrage permette à chacun(e) de s'approprier un sujet crucial pour notre époque : le réchauffement climatique, en découvrant la longue histoire des écosystèmes des montagnes du Jura, et en comprenant, à travers des exemples régionaux très concrets autour des thèmes de l'eau et des milieux aquatiques, de la forêt, de la neige et du tourisme, des mutations agricoles en cours, de la faune, de la production de lait et de fromage, de la viticulture et des villes, l'intrication complexe des facteurs naturels et anthropiques qui modulent le devenir de ces écosystèmes comme celui de tous les Jurassiens.

En définitive, notre souhait est qu'au-delà des constats alarmants, cet ouvrage puisse contribuer à mieux identifier certains des enjeux posés aujourd'hui par le changement climatique dans les montagnes du Jura, ainsi qu'à dessiner et engager les actions capables, dans le proche avenir, d'assurer la résilience des écosystèmes et l'adaptation des sociétés pour participer ainsi localement au maintien de l'habitabilité de notre planète.

MM-HR

Remerciements

Cet ouvrage a été publié avec le soutien financier de la Zone Atelier Arc Jurassien (labellisée par l'Institut Écologie et Environnement du CNRS).

Nous adressons nos vifs remerciements à Vincent Bichet pour son aide précieuse dans la réalisation de cartes, de graphiques, de coupes stratigraphiques et du tableau chronologique illustrant cet ouvrage.

Sauf mention spéciale sous les clichés, les photographies présentées dans cet ouvrage ont été faites par les auteur(e)s de l'article où elles se trouvent incluses.

Dans cet ouvrage, la **chronologie** est indiquée sous forme de dates exprimées en millions d'années (abréviation : Ma) pour les plus anciennes. Lorsqu'elles entrent dans les possibilités de datation par le radiocarbone (voir encadré p. 32 et 33), c'est-à-dire dans la période des derniers 40 000 ans, les dates sont dites « absolues » et sont exprimées en années avant ou après Jésus Christ (J.-C.); dans les pages qui suivent, les dates sont généralement exprimées en années avant notre ère (soit avant J.-C.) comme suit : – 9 700 ans (pour un événement survenu 9 700 ans avant notre ère, soit encore il y a environ 11 700 ans avant le présent).

Tout au long de ce livre, de nombreux **encadrés** apportent des éclairages sur des points spécifiques.

En fin d'ouvrage on trouvera :

- un **glossaire** qui rassemble les définitions expliquant les acronymes ainsi que les mots techniques ou spécifiques à certains domaines scientifiques, la première occurrence du mot est signalée par une astérisque (*),
- une **bibliographie** qui réunit les références clefs des ouvrages et articles scientifiques sur lesquels s'appuient les contributions rassemblées dans ce volume,
- la **liste des auteur(e)s** ayant participé à cet ouvrage avec leur qualification, leurs spécialités et leur adresse institutionnelle ou professionnelle ; à la fin de chaque article de l'ouvrage sont indiquées les initiales du prénom et du nom de son (ou de ses) auteur(e)s,
- un **tableau chronologique** qui présente les grandes phases de l'histoire du climat, de l'environnement et des sociétés humaines pour la période traitée par cet ouvrage.

Le massif du Jura est une chaîne de montagnes qui étire son relief plissé sur environ 360 kilomètres entre les Vosges au nord et les Alpes au sud, et à l'interface entre la France à l'ouest et la Suisse à l'est. Partagé par la frontière qui court de Belfort à Genève entre ces deux pays, ce massif se divise ainsi en deux ensembles administratifs. Le *Jura français*, dont la superficie est d'environ 10 000 km², dépend de trois régions et neuf départements : Bourgogne-Franche-Comté (Doubs, Jura, est de la Saône-et-Loire et Territoire de Belfort), Auvergne-Rhône-Alpes (Ain, et une partie de la Haute-Savoie, de la Savoie et de l'Isère), et Grand Est (avec le sud du Haut-Rhin); le *Jura suisse* s'étend sur un peu plus de 4 100 km² et traverse tout ou partie de huit cantons : Jura, Neuchâtel, Vaud, Argovie, Bâle-Campagne, Berne, Soleure et Zürich.

Culminant à 1 720 mètres d'altitude au Crêt de la Neige côté français et à 1 679 mètres au Mont Tendre côté suisse, le Jura a la forme d'un vaste croissant dont la largeur atteint un maximum de 65 km en sa partie centrale, entre Besançon et Neuchâtel. Le massif jurassien est cerné par un ensemble de dépressions : le Plateau suisse à l'est, qui sépare le Jura du massif alpin ; la Bresse à l'ouest ; le fossé rhénan au nord, avec la trouée de Belfort qui touche la retombée sud des Vosges. Au sud, le Jura s'appuie sur les massifs pré-alpins de la Chartreuse et du Vercors.

La première mention du massif est attestée dans *La Guerre des Gaules* de Jules César et renvoie déjà à un « *Monte Jura altissimo qui est inter Sequanos et Helvetios* » (*haute montagne séparant le pays des Séquanes et celui des Helvètes*). Étymologiquement, le mot *Jura* renvoie au bas latin *juria* qui signifie forêt de montagne, peut-être lui-même issu du gaulois *jor* ou *jore* (hauteur boisée) à l'origine du mot *joux* (vastes forêts de montagne).

Cette chaîne de moyenne montagne est essentiellement calcaire. Sa nature géologique en a fait une référence dont le nom est à l'origine de la période appelée *Jurassique* (de – 201 à – 145 millions d'années).

Le relief du Jura est déterminé par des couches de roche fortement plissées et marquées par l'érosion. Il s'agit d'une montagne jeune qui s'est formée entre – 11 et – 3 millions d'années, en contrecoup de la surrection des Alpes suite à la collision entre les plaques européenne et africaine. Et les mesures GPS montrent une déformation lente mais toujours à l'œuvre.

Résultat d'une forte poussée venue des Alpes, le relief affiche une forte dissymétrie : côté français, on observe une succession progressive de gradins étagés qui culminent dans la haute-chaîne, tandis que côté suisse l'altitude décroît brutalement jusqu'à la plaine suisse. Ce massif apparaît ainsi, dans sa partie externe, constitué principalement de plateaux et, dans sa partie interne, de plis resserrés séparés par des vallées. Les principales formes rencontrées prennent des dénominations locales emblématiques : les *monts* qui correspondent aux anticlinaux, les *vallées* (ou *vals*) qui correspondent aux structures synclinales, les *combes*, les *cluses*, ou encore les *reculées* qui entaillent les plateaux sur leur bordure occidentale. Des processus géologiques récents comme la dernière glaciation ont également contribué à la singularité de ce territoire : le paysage jurassien est particulièrement riche en lacs, en tourbières et en zones humides le plus souvent d'origine glaciaire. Enfin, montagne calcaire, le Jura est relativement pauvre en cours d'eau de surface ; le *karst** apparaît déterminant pour la circulation de l'eau qui s'infiltré dans des réseaux souterrains et ressort dans les vallées.

Le climat jurassien est réputé pour être rude et arrosé, avec des hivers longs, neigeux et rigoureux, à l'image des records de froid relevés chaque année par les médias dont les maximums de froid ont été mesurés dans la vallée de la Brévine (– 41,8 °C en 1987) et le val de Mouthe (– 36,7 °C en 1968). D'où des amplitudes thermiques annuelles qui peuvent atteindre près de 60 à 70 °C. Les printemps et les automnes sont très arrosés et les étés chauds et secs. Ce climat est souvent qualifié de semi-continentale. Toutefois, s'appuyant sur l'abondance et la bonne

répartition annuelle des précipitations, les météorologues préfèrent parler de *climat océanique à caractère montagnard*, et ce malgré l'altitude modeste du massif. Les températures moyennes annuelles sont d'environ 11 °C à Besançon comme à Neuchâtel ; en revanche, le caractère océanique est logiquement plus marqué à Besançon avec plus de 1100 mm de précipitations par an contre environ 960 mm à Neuchâtel. Les températures et les précipitations sont étroitement dépendantes de l'altitude. On note ainsi une moyenne annuelle de température de 7,6 °C à Pontarlier, comme à La Chaux-de-Fonds avec 7,4 °C. Si les précipitations ne dépassent pas 800 mm sur le « bas-Jura » vers 250 mètres d'altitude, elles atteignent plus de 2000 mm par an sur la haute-chaîne.

Des paysages botaniques très variés caractérisent les différents étages qui composent le massif du Jura. Les plaines de basse altitude et les premiers plateaux sont surtout occupés par des cultures céréalières, des prairies et des forêts caducifoliées dont les essences les plus fréquentes sont le chêne, le charme, le hêtre, l'érable et le tilleul, la fréquence du sapin augmentant avec l'altitude. Aux altitudes supérieures, notamment sur le second plateau, sur le versant ouest et sur les reliefs du versant est du Jura, les hêtraies-sapinières dominent ; elles sont envahies localement d'épicéas, d'érables, de chênes ou de frênes. Enfin, les forêts de la haute-chaîne sont surtout le domaine de l'épicéa, toujours accompagné de sapin et, par endroits, d'érable et d'orme. Sur les zones sommitales, la forêt laisse peu à peu la place aux pelouses et aux pâturages d'altitude. Ces forêts produisent une forte quantité de bois qui est traité dans d'importantes scieries dispersées sur l'ensemble du massif ; depuis 2019, une *AOC Bois du Jura* consacre la qualité particulière des résineux jurassiens (résistance mécanique) et des pratiques d'exploitation respectueuses de la forêt.

L'altitude influence également les pratiques agricoles. Les cultures occupent de préférence les altitudes les plus basses bien que, profitant du réchauffement climatique, elles gagnent aujourd'hui les plateaux. Les pentes, que ce soit sur le versant français ou le versant suisse, sont occupées par des vignes qui se distinguent par des cépages* variés et originaux. L'élevage bovin laitier prédomine et donne son image au Jura d'altitude, avec un nombre important de fromages labellisés :

Comté, Morbier, Mont-d'Or, Bleu de Gex, Gruyère français, Gruyère suisse, Tête de Moine et Vacherin Mont-d'Or. Cette vocation agricole qui associe lait et viande est à l'origine de paysages originaux où les pâturages boisés (*prés-bois*) optimisent les doubles potentialités pastorales et sylvicoles de ces montagnes tout en abritant une très riche biodiversité.

L'identité du Jura se retrouve aussi dans le patrimoine bâti. Les villes les plus importantes occupent le débouché des vallées et le cœur des plateaux. Mais l'essentiel du territoire est jalonné de villages, de hameaux et, pour les zones d'altitude, d'un habitat dispersé. La typologie des fermes a été déterminée par la spécialité du terroir, des fermes vigneronnes à étage du Revermont jusqu'aux imposantes fermes d'altitude (« maison du montagnon »), adaptées aux rudesses du climat et héritage de l'époque où les familles cohabitaient avec le bétail dans un même bâtiment.

Une grande partie de l'industrie du massif jurassien s'articule autour d'une tradition artisanale et industrielle de précision, héritée d'activités qui, dans le passé, permettaient aux populations locales de mettre à profit un long hivernage. En France, nombre d'établissements industriels sont issus de petites productions localisées dont certaines sont aujourd'hui importantes mais restent souvent spécialisées sur un nombre restreint de produits bien ciblés : mécaniques de précision et industrie horlogère, diamantaire et lapidaire, jouets... Cependant, le massif abrite aussi quelques très grandes entreprises industrielles (automobile, plasturgie, transport ferroviaire, signalisation routière...). En Suisse, l'industrie de l'horlogerie de luxe est dominante, notamment dans la vallée de Joux et autour de La Chaux-de-Fonds. Les établissements spécialisés en micro-mécanique sont également nombreux ; des usines de machines-outils sont présentes dans le canton du Jura et le Jura bernois. Toutes ces industries attirent de nombreux travailleurs frontaliers français.

Enfin, le massif du Jura se singularise par une économie touristique en pleine expansion en même temps que traversée par de profondes mutations. À l'origine centrée sur l'hiver, l'offre touristique s'ouvre désormais vers les activités propres aux moyennes montagnes :



Paysage jurassien © S. Godin

randonnées et tourisme vert, tandis que les activités liées à l'eau (baignade et sports nautiques) profitent des multiples lacs que compte le massif.

Plus qu'une barrière montagneuse, le Jura constitue aujourd'hui un espace transfrontalier. À la communauté linguistique s'ajoute une trajectoire historique souvent partagée. Après l'unification romaine dans la province impériale de Séquanie qui réunissait dans un même ensemble le massif jurassien, le Plateau suisse et le pays des Séquanes, les régions jurassiennes aujourd'hui suisse et française formaient un espace commun au Moyen Âge*. Ce n'est que récemment, avec la Réforme et les conquêtes de Louis XIV, que les deux versants ouest et est du Jura ont perdu leur unité politique.

Mais paradoxalement, si la montagne du Jura incarne aujourd'hui une frontière politique, cette contrainte est loin d'apparaître comme une fracture définitive entre deux versants. D'ailleurs, au lieu de suivre de façon continue la ligne de crête du massif, la frontière le prend au contraire en écharpe en le traversant obliquement entre Belfort et Genève. En outre, de larges échancrures transversales comme la cluse

de Pontarlier-Vallorbe ont de tout temps favorisé les échanges entre les deux versants du Jura, à quoi s'ajoute une tradition de contrebande capable dès le XIV^e siècle de s'organiser autour de passages comme les Échelles-de-la-Mort.

Aujourd'hui, au-delà des particularismes locaux et des contraintes politiques ou monétaires, les populations jurassiennes partagent une communauté de traditions et de savoir-faire qui s'ancrent dans les singularités et les potentialités d'un même territoire, et leur confèrent une véritable identité culturelle. Il est intéressant de noter comment les contraintes environnementales et économiques ont forgé ici un puissant esprit coopératif qu'incarnent dans le monde agricole les fruitières à fromage dès le Moyen Âge, ou dans le monde industriel les organisations horlogères au XIX^e siècle. Et plus que jamais, c'est le sentiment d'une même communauté de destin qui doit prévaloir face aux grands enjeux environnementaux, sociaux et politiques qui se dessinent au XXI^e siècle et que l'on trouvera esquissés dans le présent ouvrage.

HR-MM

Il y a souvent confusion entre les conditions météorologiques d'une journée et le climat. Or ce sont deux grandeurs totalement différentes.

Connaître le climat d'une région, c'est décrire la répartition statistique des paramètres météorologiques mesurés sur une longue période. On peut alors définir pour la température de l'air ou la pluviométrie, une valeur moyenne que l'on nomme la normale climatique.

Par définition, la période de référence pour établir les statistiques est de trente années, calculées sur 3 décennies complètes. La normale climatique de référence est aujourd'hui la moyenne calculée sur la période 1991-2020. Elle est recalculée tous les 10 ans.

Sur cette période, on peut aussi décrire les variations autour de la normale. Les valeurs extrêmes les plus fortes et les plus faibles constituent les records. Et tout cela peut se calculer à différents pas de temps : annuel, saisonnier, mensuel, hebdomadaire, journalier...

Ainsi, par exemple, la température normale annuelle à Besançon est de 10,9 °C, c'est la moyenne des températures mesurées sur la période 1981-2010. Pour les records, on a relevé un minimum absolu de -20,7 °C le 9 janvier 1985 et un maximum absolu de 38,8 °C le 31 juillet 1983.

Au niveau journalier par exemple, on peut aussi dire, que la normale du jour de Noël est de +2,4 °C, la normale des minimales est de 0,0 °C, celle des maximales est de +4,9 °C, avec pour records +15,3 °C en 1983 et -8,8 °C en 2007.

Au cœur de l'été, la valeur de la normale des maximales est de l'ordre de +25 °C, et en plein hiver, la normale des minimales est proche de -1 °C.

Mais bien entendu, au jour le jour, « dame nature » joue à faire varier le temps, à souffler le chaud ou le froid, avec parfois des changements brutaux. Des variations rapides de 10 ou 15 degrés se produisent régulièrement, tout comme autrefois d'ailleurs.

On pourrait alors penser que le réchauffement observé depuis le début des relevés, de l'ordre d'un degré pour la normale climatique, est bien dérisoire en vue de ces changements quotidiens.

Mais ces valeurs ne sont en rien comparables. Les premières décrivent les conditions météorologiques vécues, les secondes représentent le climat ou les valeurs moyennes, ce qui n'est pas du tout la même chose.

Pour s'en convaincre, il suffit de comparer la température normale annuelle du nord de la France qui est de 10 °C environ avec celle du sud qui atteint localement 15 °C. Ainsi, une hausse de 1 degré nous « déplace » de quelque 200 km vers le sud !

BVD



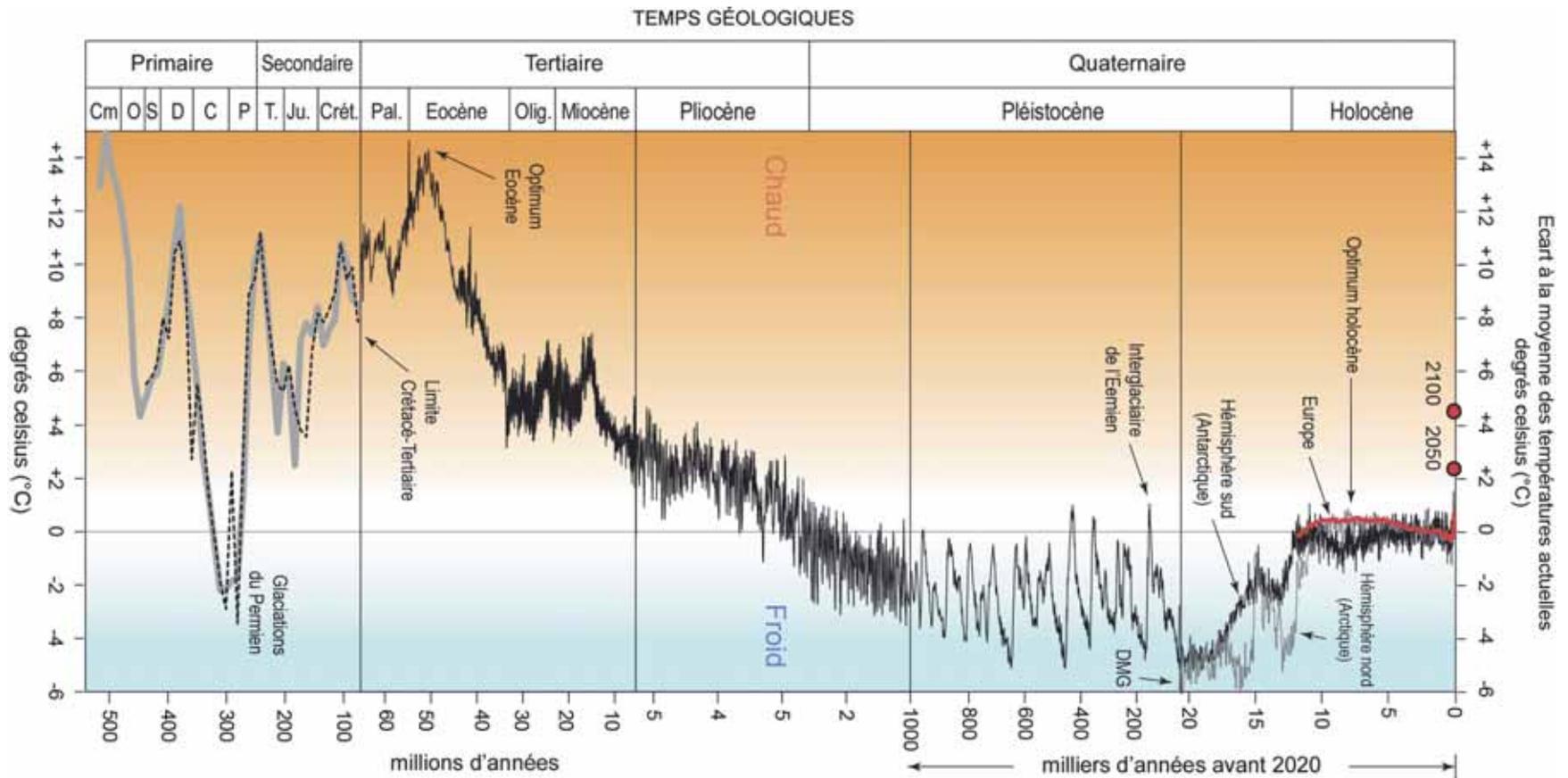


Fig. 1. Évolution de la température de la basse atmosphère depuis 540 millions d'années (échelles chronologiques variables selon les périodes).

Ces courbes sont élaborées à partir de l'analyse des isotopes* de l'oxygène issus d'archives sédimentaires marines et continentales ainsi que des glaces polaires. Les températures sont exprimées par rapport à la moyenne des températures mondiales mesurées entre 1960 et 1990. L'amplitude des températures moyennes varie entre 8 °C et 25 °C environ. Les points rouges correspondent aux projections des températures qui pourraient être atteintes en 2050 et 2100 selon les modèles prédictifs les plus récents (d'après Glen Fergus, 2015, modifié).

À propos de la période présentée par l'ouvrage 5

Depuis que la planète sur laquelle nous vivons dispose d'une atmosphère structurée permettant l'expression du cycle de l'eau et l'épanouissement de la vie, il y a plus de 2,4 milliards d'années, les masses d'air atmosphériques sont en perpétuel mouvement. Les échanges thermiques entre les différentes régions, l'énergie transmise par le Soleil, la distribution des pressions atmosphériques comme le régime des précipitations sont inconstants. À toutes les époques et depuis des centaines de millions d'années, le climat terrestre a varié avec des oscillations – et parfois des rythmes – entre des périodes tempérées et des périodes plus froides. Cette longue histoire changeante du climat a été décelée par les géologues et les paléoclimatologues dans les roches et les sédiments qui conservent la mémoire de ces changements et constituent les archives du climat.

Pour les périodes les plus anciennes, ce sont les roches sédimentaires qui sont les plus à même de délivrer des informations. On peut, par exemple, déceler dans les calcaires du Jurassique qui forment aujourd'hui les reliefs du Jura le climat qu'il faisait à l'époque des vastes lagunes marines qui couvraient la région il y a plus de 150 millions d'années (Ma). Pour des périodes plus récentes, les sédiments qui tapissent les fonds océaniques, les sédiments contenus dans les lacs sur les continents et même les couches de glaces accumulées en Antarctique ou au Groenland constituent des archives pertinentes qui permettent une lecture parfois très détaillée des variations climatiques, à l'échelle de quelques années ou décennies (on parle alors de haute résolution temporelle).

Parmi les outils analytiques à disposition des scientifiques, l'un des plus efficaces est celui de la mesure des isotopes de l'oxygène contenus dans la coquille des fossiles pour les roches et les sédiments ou dans les cristaux de glace pour les archives glaciaires. Le rapport isotopique des deux principaux atomes de l'oxygène constitue en effet un paléo-thermomètre qui permet de reconstruire la température de l'eau des océans ou celles des précipitations atmosphériques à travers le

temps (voir encadré p. 29), la température étant un déterminant clé du climat.

On peut ainsi, avec une bonne fiabilité, connaître l'évolution des températures depuis au moins 540 MA (Fig. 1), même si les enregistrements sédimentaires les plus anciens sont moins qualitatifs que les archives plus récentes. Les paléo-températures indiquent que le climat mondial a oscillé entre des périodes froides, caractérisées par l'existence de glaciers plus ou moins développés sur les continents et les régions polaires, et des périodes tempérées avec des glaces continentales très réduites ou inexistantes. En termes de température moyenne de la basse atmosphère (environ 12 °C aujourd'hui), cela se traduit par une variation entre 8 °C et 25 °C. Si l'on ne s'attache qu'aux variations de longue durée, des périodes froides de plusieurs millions d'années ont eu lieu durant l'Ère Primaire à la fin de l'Ordovicien (vers 450 Ma) et lors de la transition Carbonifère-Permien (vers 300 Ma); plus modestement à la transition entre le Jurassique et le Crétacé durant l'Ère secondaire (vers 140 Ma), à la fin de l'Ère Tertiaire et surtout durant les deux derniers millions d'années du Quaternaire*, que l'on appelle communément « ère glaciaire ». Entre ces périodes froides, la planète a connu des intervalles tempérés, voire chauds. C'est le cas au cours de l'Ère Secondaire, durant le Jurassique et le Crétacé, et surtout au début du Tertiaire, à l'Eocène vers 50 Ma, où le climat mondial atteint un optimum chaud qui favorisera le développement des mammifères. Il s'en suivra un long et progressif refroidissement qui atteindra son paroxysme durant la seconde moitié du Quaternaire.

Sur la très longue durée, celle des temps géologiques, les changements climatiques sont principalement dûs à l'évolution de la géographie terrestre, la modification de la disposition des océans, des continents et des reliefs sous l'effet de la « tectonique des plaques ».

Au cours du dernier million d'années, la géographie planétaire est celle que nous connaissons aujourd'hui. Cette distribution des terres émergées et des océans, différente des périodes antérieures, va

favoriser la mise en place des grands courants marins qui parcourent les océans et entraînent avec eux des échanges thermiques incidents sur les masses d'air atmosphériques. Les connexions entre les océans, la disposition du couloir atlantique entre les pôles nord et sud, favorisent la mise en place d'un climat mondial qui répond principalement à la position astronomique de la Terre par rapport au Soleil qui évolue selon des cycles plurimillénaires faisant varier l'énergie reçue par le Soleil (voir encadré p. 36-37). Au cours de cette période, avec une quasi-régularité de métronome réglé sur 100 000 ans, le climat oscille entre des phases froides, dites « glaciaires », et des phases tempérées, dites « interglaciaires ».

S'appuyant sur les données récentes tant analytiques que de terrain, nous proposons dans cet ouvrage un focus sur les deux derniers cycles glaciaires-interglaciaires; soit les dernières oscillations climatiques qui ont affecté le climat mondial et celui du massif jurassien depuis environ 250 000 ans. Cette fenêtre temporelle peut paraître bien réduite au regard des temps géologiques, mais elle correspond néanmoins à celle qui s'exprime dans un paysage géomorphologique jurassien tel qu'on le connaît aujourd'hui, avec ses plateaux et les reliefs de la haute-chaîne, et la présence des hommes qui parcourent ces paysages.

Cette période récente est aussi celle où les glaciers qui se sont développés sur le massif lors des phases les plus froides ont laissé des témoins sédimentaires encore visibles dans les paysages. L'avant-dernière glaciation, baptisée Riss* par les géologues allemands Penck et Brückner au début du xx^e siècle, connaît son paroxysme de froid vers -140 000 ans. Tout le Plateau suisse et les reliefs du Jura sont alors recouverts d'une épaisse couche de glace qui s'étend à l'ouest jusque vers 300 mètres d'altitude dans la région de l'actuel vignoble jurassien. Cette glaciation cède la place à une période chaude, l'Éémien, longue d'une petite vingtaine de milliers d'années, durant laquelle le climat mondial, comme le climat jurassien, a connu des conditions interglaciaires tempérées avec des températures un peu supérieures à celles que nous connaissons aujourd'hui. À compter de -120 000 ans environ, l'évolution des paramètres astronomiques entraîne une

détérioration progressive des conditions climatiques qui évoluent vers une nouvelle glaciation, le Würm*, dont le maximum de froid est daté vers -24 000 ans. Le Jura a alors sa propre calotte glaciaire qui s'écoule vers l'ouest jusque vers 500 m d'altitude alors que sur son versant est, l'actuel versant suisse, cette calotte vient buter contre le puissant glacier qui prend son origine dans les Alpes et envahit l'ensemble du bassin lémanique. À partir de -24 000 ans, le climat se réchauffe, lentement dans un premier temps, puis plus rapidement à partir de 9 700 avant notre ère, date qui marque le début de l'Holocène*, la période interglaciaire actuelle dans laquelle nous vivons. Cette cyclicité climatique plurimillénaire fortement contrastée, si elle n'a pas bouleversé les grands traits de la morphologie du territoire jurassien, a profondément modifié les écosystèmes et contraint la présence des hommes dans cet environnement.

VB-HR

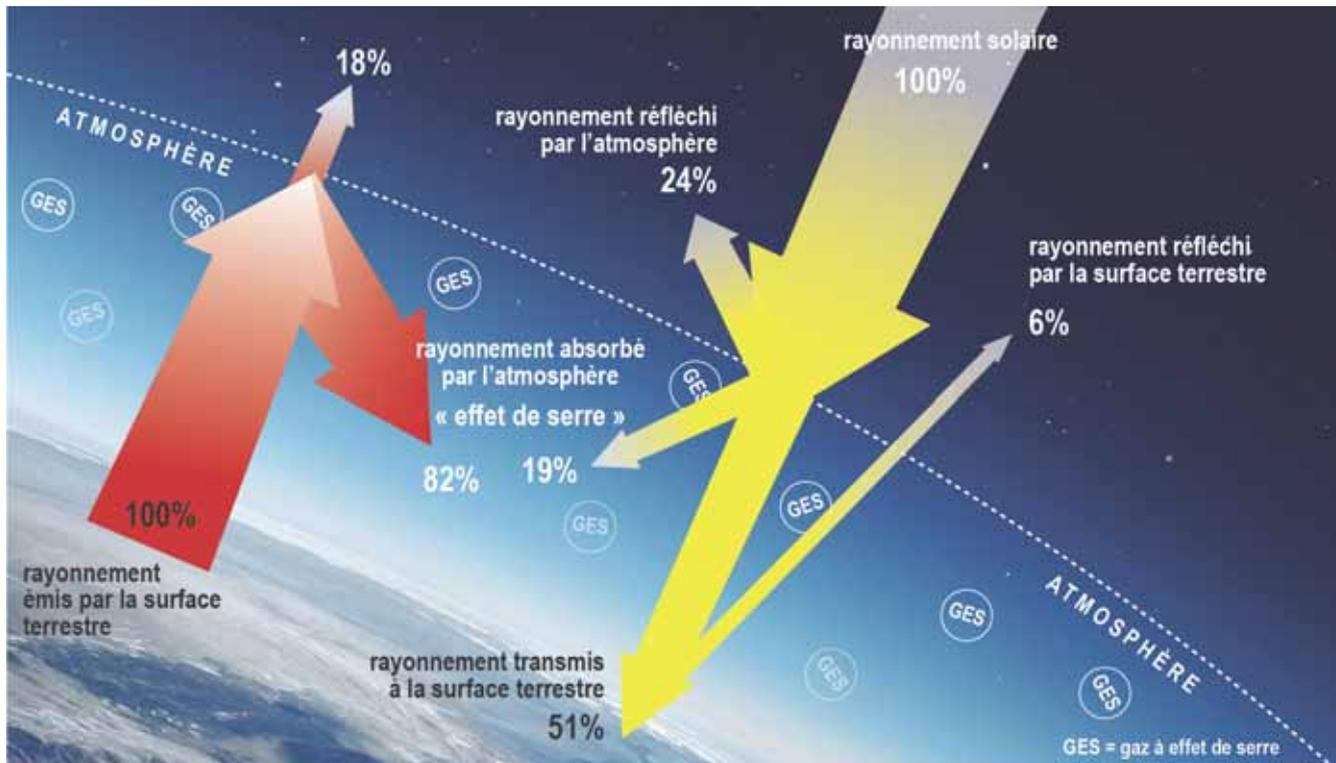


Fig. 1. Schéma de l'effet de serre atmosphérique

L'effet de serre atmosphérique est un mécanisme naturel qui contrôle, dans une très large mesure, les températures des basses couches de l'atmosphère dans lequel nous évoluons, et conditionne pour partie la dynamique climatique terrestre. En effet, l'effet de serre est dû aux gaz présents dans l'atmosphère qui interceptent les rayonnements infrarouges émis par la surface terrestre et permettent ainsi de retenir l'énergie thermique associée à ces rayonnements (Fig. 1). Aujourd'hui, ce phénomène permet à la Terre de conserver une

température moyenne d'environ 15 °C, soit plus de 30 degrés de plus que si ce phénomène n'existait pas. Sans cet effet de serre, la vie ne pourrait pas – ou pratiquement pas – se développer à la surface du globe.

Parmi les nombreux gaz atmosphériques, deux molécules sont principalement responsables de l'effet de serre : la vapeur d'eau (H₂O) et le gaz carbonique (CO₂). Ces deux gaz sont présents naturellement dans l'atmosphère depuis des millions d'années mais leur concentration

varie dans le temps en fonction des *sources* terrestres qui les produisent et des *puits* qui en absorbent une partie et les stockent momentanément sous forme de matière. Pour la vapeur d'eau, la source est essentiellement à rechercher dans l'évaporation et la respiration (qu'on retrouve associées dans le terme « évapotranspiration* »); le puits s'appelle tout simplement l'eau, sous forme liquide ou solide, c'est-à-dire la pluie, les océans, les lacs, rivières et glaciers mais aussi toute l'eau contenue dans les organismes vivants. Le CO₂ quant à lui provient en majeure partie des processus géologiques (volcanisme, formation des calcaires, processus hydrothermaux...), de la dégradation ou de la combustion des matières organiques, de la respiration animale; le puits principal est la photosynthèse du monde végétal qui consomme du CO₂ et stocke le carbone sous forme de matière organique.

En plus de la vapeur d'eau et du gaz carbonique, les principaux gaz naturels à effet de serre sont le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃); il en existe beaucoup d'autres présents en très faible concentration dans l'atmosphère.

Ces gaz à effet de serre* laissent passer une partie importante du rayonnement solaire et retiennent le rayonnement infrarouge réémis en raison du réchauffement de la surface de la Terre. Ces gaz – et les nuages – emprisonnent donc cette énergie thermique dans l'atmosphère qui enveloppe la surface du globe.

Les deux tiers de l'absorption de la chaleur est le fait de la vapeur d'eau et des nuages. Le troisième tiers est le fait des autres gaz à effet de serre. Comme nous l'avons vu, leur origine est en très grande partie naturelle mais, depuis le début de l'ère industrielle, la proportion des gaz à effet de serre due aux activités humaines s'accroît de façon exponentielle. Cette augmentation est très majoritairement liée à la combustion des matières organiques fossiles pour la production d'énergie (charbon, gaz naturel, pétrole...). Ces émissions anthropiques sont responsables de l'accélération récente du réchauffement climatique. Si cette augmentation n'est pas contrôlée rapidement, le réchauffement de la Terre et des océans risque de libérer davantage de CO₂ vers l'atmosphère et des quantités très importantes de méthane aujourd'hui stockées au fond des océans et dans le pergélisol* des régions de haute latitude. Ces apports supplémentaires de gaz à effet de serre viendront amplifier le réchauffement climatique en cours.

VB-HR

LE PLÉISTOCÈNE

Débutant il y a environ 2,6 millions d'années et finissant il y a quelque 11 700 années, l'époque Pléistocène se caractérise à l'échelle de la planète par une alternance de phases froides (glaciations) et tempérées (interglaciaires).

Après avoir évoqué l'historique des recherches sur les changements passés du climat (section 7), cette première partie de l'ouvrage présente :

- les empreintes laissées depuis 250 000 ans par les dernières glaciations sur les montagnes du Jura (section 8),
- les restes d'occupations néandertaliennes retrouvés dans le massif jurassien (section 9),
- les changements du climat (section 10) et de la faune (section 11) associés à la déglaciation du Jura (Tardiglaciaire : de 16 000 à 9 700 ans avant notre ère),
- et enfin les traces laissées dans le Jura par les premiers *Homo sapiens* (section 12) et par les derniers chasseurs-cueilleurs (section 13).



Fig. 1. Scène du déluge (dessin de Gustave Doré, gravure sur bois d'Adolphe Pannemaker, 1866) © BNF

Le mythe du Déluge apparaît dans les textes en Mésopotamie deux millénaires av. J.-C. Mentionné et intégré dans la doctrine de la plupart des cultures religieuses de la planète et présenté comme l'expression du pouvoir divin, le Diluvium a été, pendant plusieurs millénaires, la seule référence à un changement climatique passé.

Les précurseurs, ou la découverte des changements climatiques 7

L'idée que le climat de la planète évolue au fil des millénaires ou des millions d'années de son histoire est aujourd'hui admise comme une évidence. De très nombreux scientifiques de par le monde travaillent à évaluer les détails des changements passés, à quantifier l'ampleur des variations, à comprendre les mécanismes de la dynamique climatique ou à établir des modèles prédictifs qui simulent le climat de demain. Le changement global et la crise climatique que nous connaissons actuellement peuvent être comparés à l'histoire détaillée des climats de la Terre. Les scientifiques (géologues, climatologues, paléoécologues, mathématiciens, etc.) ont défini le scénario des changements climatiques des 500 derniers millions d'années et reconstituent avec un très haut degré de précision la variabilité du climat des deux derniers millions d'années !

Les sciences du climat et la paléoclimatologie*, qui visent à caractériser les variations climatiques du passé, sont des sciences jeunes et les progrès des dernières décennies sont spectaculaires. Certes au troisième millénaire avant notre ère – et certainement bien avant –, on mesurait déjà la hauteur des crues du Nil en Égypte et les variations annuelles du fleuve étaient scrutées avec attention. Pour autant, ces observations de saisonnalité n'ont pas produit une connaissance des changements climatiques dans la durée (Fig. 1).

Il faut attendre la pleine expression des sciences naturalistes à la fin du XVIII^e siècle et surtout au début du XIX^e siècle pour qu'apparaisse l'idée de la variabilité des climats de la Terre dans le temps. À cette époque, deux Jurassiens ont joué un rôle clé et produit une petite révolution : l'un franc-comtois, Georges Cuvier (Fig. 2), né à Montbéliard en 1769 et l'autre helvète, Louis Agassiz (Fig. 3), né à Môtier, au pied du Jura, en 1807.

Dans son *Discours sur les révolutions de la surface du Globe*, publié en 1812, Cuvier écrit que « [la dernière catastrophe] a laissé encore, dans les pays du Nord, des cadavres de grands quadrupèdes que la glace a saisis, et qui se sont conservés jusqu'à nos jours dans leur peau, leur poil



Fig. 2. Portrait de Georges Cuvier (1769-1838), peinture de François André Vincent, 1795 © DR.



Fig. 3. Louis Agassiz (1807-1873), photographie vers 1865 © DR

et leur chair. S'ils n'eussent été gelés aussitôt que tués, la putréfaction les aurait décomposés. [...] C'est donc le même instant qui a fait périr les animaux, et qui rendu glacial le pays qu'ils habitaient ». La proposition d'une glaciation passée est énoncée pour la première fois de l'histoire des sciences.

Une quinzaine d'années plus tard, en 1837, un autre naturaliste de renom mais encore en devenir à cette époque, Louis Agassiz (voir encadré p. 27) fait une communication « révolutionnaire » devant ses pairs de la Société d'Histoire naturelle de Neuchâtel, évoquant une extension ancienne des glaciers alpins jusqu'au Jura. Les réactions de l'auditoire sont franchement hostiles, malgré de nombreux travaux scientifiques naissants qui soutiennent déjà une telle hypothèse et malgré l'antériorité des travaux de Cuvier. Même si la « révolution » proposée par Georges Cuvier et Louis Agassiz ne contrarie pas l'idée du *Diluvium* biblique et le dogme créationniste qui anime alors l'esprit et les travaux de la majorité des naturalistes, il faudra encore quelques décennies à la science pour accepter cette innovante théorie glaciériste. Pourtant, l'idée de crises climatiques et de périodes glaciaires anciennes, fondée par Cuvier puis Agassiz, est un progrès scientifique spectaculaire et l'on peut admettre cette avancée intellectuelle comme véritablement fondatrice de la paléoclimatologie. Dès lors, la science révèle que le climat de la Terre n'est pas constant. Un même territoire, à l'échelle de plusieurs milliers d'années, peut avoir connu des conditions climatiques glaciaires bien différentes du climat tempéré du XVIII^e et du XIX^e siècle.

La seconde révolution scientifique concernant la connaissance des climats passés de la Terre a moins de 50 ans. Elle est due cette fois-ci aux progrès de la géologie, de la glaciologie mais surtout aux avancées techniques de la chimie analytique à partir des années 1970. En effet, l'analyse des constituants chimiques des archives sédimentaires marines (les dépôts et formations sédimentaires des océans) ou continentales (les sédiments accumulés par les rivières et les lacs, les tourbières, le remplissage des grottes, etc.), mais aussi des glaces continentales polaires (Antarctique, Groenland), offre l'opportunité de mesurer et de quantifier les conditions climatiques de l'époque à

Louis Agassiz et les glaciers

L'histoire retient que le premier paléoclimatologue était le suisse Louis Agassiz. Cet éminent savant est né à Môtier (canton de Fribourg) en 1807. Docteur en médecine et en philosophie, paléontologue et ichtyologue, il débute sa carrière à l'université de Neuchâtel. En 1847, il émigre aux États-Unis où il devient professeur de géologie et de zoologie à l'Université de Harvard, jusqu'à son décès en 1873.

En 1837, s'appuyant sur une parfaite connaissance des glaciers alpins, notamment le glacier de l'Aar, il affirme qu'une importante période glaciaire aurait marqué l'histoire de la Terre. Il fonde également sa démonstration sur les observations réalisées quelques années plus tôt par d'autres naturalistes suisses dont il reprend les travaux. Ainsi, dès 1833, l'ingénieur valaisan Ignace Venetz, lui-même inspiré des observations de Jean-Pierre Perraudin, paysan à Lourtier dans le val de Bagnes, avait conclu en observant les moraines que les glaciers des Alpes avaient connu des périodes où ils étaient bien plus étendus et qu'ils avaient même pu couvrir une partie de l'Europe. Dans le même temps, le géologue Jean de Charpentier avait posé l'hypothèse que les moraines et les gros blocs rocheux disséminés dans le paysage suisse et sur le Jura avaient été mis en place par des glaciers qui depuis s'étaient retirés, réfutant ainsi l'idée que ces blocs et ces accumulations de sédiments avaient été déposés par d'anciennes et puissantes inondations.

Louis Agassiz accepte les idées de Venetz et de Charpentier et va plus loin en décrivant une vaste mer de glace, semblable à la calotte du Groenland qui, de son origine dans les vallées des Alpes, s'étend sur tout le nord-ouest de la Suisse jusqu'aux sommets du Jura. En 1840, il fait paraître *Études sur les glaciers*, dédié à Venetz et de Charpentier, où il décrit dans le détail les mouvements des glaciers actuels, les moraines, les blocs erratiques – comme la Pierre-à-Bot à Neuchâtel – et les phénomènes d'érosion. Les trois derniers chapitres de cet ouvrage apportent les preuves de phases d'extension glaciaires anciennes.

VB-HR



Bloc erratique* de la Pierre-à-Bot à Neuchâtel. Ce bloc erratique alpin déposé au pied du Jura, décrit par de nombreux naturalistes au XIX^e siècle, est l'un des arguments évoqués par Louis Agassiz pour soutenir sa théorie de l'extension des glaciers © V. Bichet.