

# LA FEUILLE N°20

Journal électronique du cadre de vie, de l'environnement, du développement et de l'aménagement durables  
« Nous n'héritons pas de la Terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants » Antoine de Saint-Exupéry

## « L'histoire du climat en Franche-Comté. »

### Dans ce numéro :

Histoire du climat en Franche-Comté. 2

Cinq questions posées à Hervé Richard, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté. 22



**Jacky Roche,**  
*Directeur départemental des territoires du Jura.*

### L'ÉDITORIAL

Selon l'Agence américaine océanique et atmosphérique (NOAA), 2015 a battu le record établi en 2014, et fut l'année la plus chaude dans le monde depuis le début des relevés de températures, à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Le climat évolue, et les changements auxquels nous sommes confrontés se traduisent par une augmentation de phénomènes qui peuvent être meurtriers : cyclones, inondations, sécheresse, canicules, froid extrême...

Ces bouleversements ont des conséquences économiques et sociales qui peuvent être graves, et constituent une menace pour la biodiversité. La raréfaction de la ressource en eau, la progression des zones désertiques ou encore la montée du niveau des océans, pourraient provoquer en effet des famines, des guerres et des migrations d'un nombre croissant de réfugiés climatiques.

Dans le cadre de la COP 21 qui s'est réunie en décembre dernier, la direction départementale des territoires du Jura et les chercheurs

du laboratoire Chrono-environnement du CNRS basés à Besançon, ont organisé une conférence sur ce thème. Cette manifestation a réuni plus d'une centaine de personnes au Carrefour de la communication à Lons-le-Saunier.

Les intervenants ont publié en octobre dernier un ouvrage consacré à l'histoire du climat en Franche-Comté. Ce numéro 20 de « La Feuille » vous propose tout d'abord une synthèse des conclusions de cette publication. Ce premier article contribue à une meilleure compréhension des changements qui se sont succédé sur une période très longue (depuis les grandes glaciations de l'ère quaternaire). Il nous aide ainsi à mesurer plus précisément les évolutions actuelles.

Un entretien avec Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, permet enfin d'en savoir un peu plus à propos du CNRS en général, et du laboratoire Chrono-environnement de Besançon en particulier.

# Histoire du climat en Franche-Comté.



« Aujourd'hui, une majorité de chercheurs s'accordent sur le fait que le réchauffement climatique est la conséquence d'une responsabilité combinée entre l'évolution naturelle du climat et la part croissante prise par l'homme dans l'ampleur de ces changements ».

Extrait de : « **Histoire du climat en Franche-Comté, du jurassique à nos jours** », par Vincent Bichet, Emmanuel Garnier, Pierre Gresser, Michel Magny, Hervé Richard, Bruno Vermot-Desrosches. Éditions du Belvédère, 2015, 236 pages.

Aujourd'hui, une majorité de chercheurs s'accordent sur le fait que le réchauffement climatique est la conséquence d'une responsabilité combinée entre l'évolution naturelle du climat, et la part croissante prise par l'homme dans l'ampleur de ce réchauffement. Comment rester indifférent au fait que 2014 fut l'année la plus chaude enregistrée sur le globe <sup>(1)</sup>, la température terrestre ayant été supérieure de 0,69°C à la moyenne au XX<sup>ème</sup> siècle ? Comment ne pas s'inquiéter que les dix années les plus chaudes des deux derniers siècles sont toutes postérieures à l'an 2000, à l'exception de 1998 ?

La Conférence internationale sur le climat (COP21), qui s'est tenue à Paris en décembre 2015, témoigne avec force de l'urgence de passer à l'action en adoptant des mesures réellement efficaces et appliquées par tous.

## La découverte des changements climatiques

En 1837, un naturaliste suisse, Louis Agassiz (né en 1807 à Môtier, sur le versant suisse du Jura) fait une communication « révolutionnaire » devant la Société d'histoire naturelle de Neuchâtel.

Reprenant les observations de quelques compatriotes dans les Alpes et le Jura, où plusieurs blocs erratiques de roches alpines sont posés sur les calcaires jurassiens, il évoque une extension ancienne des glaciers alpins jusqu'au Jura. Les réactions de l'auditoire sont franchement hostiles, malgré de nombreux travaux scientifiques naissants et l'antériorité des travaux de Georges Cuvier (né en 1769 à Montbéliard), qui envisage dès 1812 la réalité de catastrophes climatiques anciennes.

Même si la « révolution » proposée par G. Cuvier et L. Agassiz ne contrarie pas l'idée du *Diluvium* biblique, et le dogme créationniste qui anime alors l'esprit de la majorité des naturalistes, il faudra encore quelques décennies à la science pour accepter cette innovante théorie glacialiste. Pourtant, l'idée de crises climatiques et de périodes glaciaires anciennes est une avancée intellectuelle majeure, véritablement fondatrice de la paléodimatologie.

<sup>(1)</sup> Depuis la parution de l'ouvrage cité plus haut, il a été démontré que l'année 2015 a été plus chaude encore que 2014, et qu'elle est donc l'année la plus chaude depuis 1880.





**Portrait de Louis Agassiz (1807-1873), photographie de John Adams Whipple, vers 1865.**  
© Prêt : Hervé Richard.

La seconde révolution concernant la connaissance des climats passés, est due cette fois-ci aux progrès de la géologie, de la glaciologie, mais surtout aux avancées de la chimie analytique à partir des années 1970. En effet, l'analyse des constituants chimiques des dépôts sédimentaires recueillis au fond des océans, ou des sédiments accumulés par les rivières, les lacs, les tourbières, le remplissage des grottes..., mais aussi des glaces polaires de l'Antarctique et du Groenland, offre l'opportunité de mesurer les conditions climatiques de l'époque à laquelle se sont formées ces archives.

Parmi les nombreux marqueurs chimiques qui traduisent les changements environnementaux, le plus utilisé est la mesure des isotopes de l'oxygène contenus dans les molécules d'eau de la glace, mais aussi dans les organismes fossiles.

La concentration en isotopes légers ou lourds est un excellent « paléo-thermomètre », indicateur de la température de l'atmosphère et des eaux marines ou continentales.

Ainsi, la courbe climatique de la Terre depuis 500 millions d'années (Ma) montre que le climat mondial a oscillé entre des périodes froides, caractérisées par l'existence de glaciers plus ou moins développés, et des périodes tempérées, avec des glaces continentales très réduites ou inexistantes.

Prenons le Jura comme exemple. Durant l'ère secondaire (de 250 à 65 Ma), au cours du jurassique et du crétacé, la région qui deviendra le Jura était en bordure d'un océan peu profond (quelques dizaines à quelques centaines de mètres), où se déposaient des sédiments qui foment aujourd'hui les roches calcaires et les falaises de nos paysages jurassiens.

L'analyse des isotopes de l'oxygène contenus dans les dents de poissons fossiles, ou dans la calcite des coquilles collectées dans les roches de cette époque, révèle une température moyenne des eaux océaniques entre 20 et 25 °C, soit plus de 10 °C par rapport à aujourd'hui.

Corrélativement aux variations évaluées par les isotopes de l'oxygène, les faunes d'ammonites et la nature des minéraux argileux indiquent que, si le jurassique moyen et le crétacé moyen furent plutôt chauds et humides, le jurassique supérieur et le crétacé inférieur ont été affectés par des conditions plus froides et arides.

# Histoire du climat en Franche-Comté.

Depuis plus de 30 ans, des forages profonds ont traversé les glaces des grandes calottes polaires en quête d'informations sur les changements climatiques. Les archives glaciaires polaires offrent l'opportunité de déterminer la température de l'atmosphère au niveau des pôles, grâce à l'analyse de la teneur en oxygène 18 ( $^{18}\text{O}$ ) de la glace, mais aussi aux épaisseurs des couches de glace successives, et au contenu en poussières atmosphériques, qui renseigne sur la dynamique des vents et les éventuelles éruptions volcaniques. Elles permettent également de déterminer la composition chimique de l'atmosphère par l'analyse des gaz contenus dans les bulles de la glace.

Dès 1869, le chimiste suédois Svante Arrhénius, reprenant certains travaux de Joseph Fourier, élabore une théorie reliant l'augmentation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique à une augmentation des températures de la Terre, définissant ainsi « l'effet de serre ».

Plus tard, c'est au glaciologue Claude Lorius, natif de Besançon, que l'on doit la découverte que les bulles de la glace contiennent un fragment de l'air atmosphérique contemporain de la période à laquelle elles se sont formées.

C. Lorius se plaît à rappeler que cette découverte, qui va faire le lien entre la variation des concentrations des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et les changements climatiques, découle de l'observation d'un glaçon dans un verre de whisky, lors de son hivernage en Terre Adélie en 1965 !

Parmi les grands forages, le plus récent d'entre eux, réalisé par une coalition de pays européens, est le forage EPICA. Ce forage de 3270,2 mètres, a atteint la base de la calotte antarctique. Il donne accès à 800 000 ans d'informations relatives à la température, et à la concentration en méthane ( $\text{CH}_4$ ) et gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ), les deux principaux GES.



**Carottes de glace provenant du forage EPICA, Antarctique** (cliché AWI, Alfred Wegener Institute).  
© Prêt : Hervé Richard.

## Les précurseurs et le Jura

À partir des travaux de Louis Agassiz au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, de nombreux scientifiques se sont intéressés à l'extension ancienne des glaciers alpins, envisagée à partir de la répartition des moraines et des blocs erratiques, matériel sédimentaire transporté puis déposé par les glaciers.

En Europe, le travail le plus important est publié en 1909 par deux géologues allemands, Albrecht K. Penck et Eduard Brückner.

À partir des sédiments découverts dans des vallées d'affluents alpins du Danube, en Bavière, et des moraines identifiées dans les hautes vallées, ils reconnaissent quatre grandes glaciations successives auxquelles ils donnent les noms des rivières Gunz, Mindel, Riss, et Würm, de la plus ancienne à la plus récente. Ce sont là les équivalents européens des quatre glaciations décrites sous d'autres appellations sur le continent américain. Ces travaux concernent une large partie du massif alpin, mais s'étendent aussi au massif jurassien, où ces géologues reconnaissent la trace des deux épisodes glaciaires les plus récents : Riss et Würm. De nombreux autres scientifiques affineront ces observations au XIX<sup>ème</sup> siècle et dans la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle.

En 1982, Michel Campy soutient sa thèse de géologie à l'université de Franche-Comté, intitulée « *Le Quaternaire franc-comtois* », fondée sur des observations de terrain extrêmement détaillées. Ses recherches aboutissent à une reconstruction paléogéographique des deux phases d'extension glaciaire principales (Riss et Würm), et des phases de retrait lors des réchauffements. Il confirme l'existence de moraines anciennes (les moraines dites externes), qui s'étendent dans les vallées de la Loue et du Lison, dans les environs de Salins-les-Bains, et jusque dans le vignoble à Arbois, dans la vallée de l'Orain en aval de Poligny, vers Domblans-Voiteur et Lons-le-Saunier. En raison de leur position sur la marge du Jura et de leur caractère très érodé, et à défaut de datation absolue, elles sont attribuées à l'avant-dernière glaciation, le Riss, probablement vers -140 000 ans.



**Extension vers l'Ouest des glaciers couvrant le massif jurassien lors des deux dernières glaciations.** La glaciation du Riss (courbe pointillée rouge) s'est étendue à basse altitude jusqu'au vignoble. La glaciation du Würm (courbe pointillée blanche), moins étendue, est restée cantonnée à la haute chaîne et à la bordure du second plateau, jusqu'à 500-600 m d'altitude (V. Bichet d'après Campy, 1982).

© Prêt : Hervé Richard.

Les moraines internes abandonnées par le glacier würmien sont beaucoup mieux conservées du fait de leur jeunesse, 24 000 ans environ ! Le front de cette ultime calotte glaciaire s'étend de la haute chaîne jusqu'au premier plateau, vers 500 à 600 m d'altitude. Des complexes morainiques importants sont visibles vers Pontarlier, Frasne, Bief-du-Fourg, Nozeroy, Champagnole, Doucier, Clairvaux, Orgelet et dans la vallée de l'Ain.

# Histoire du climat en Franche-Comté.

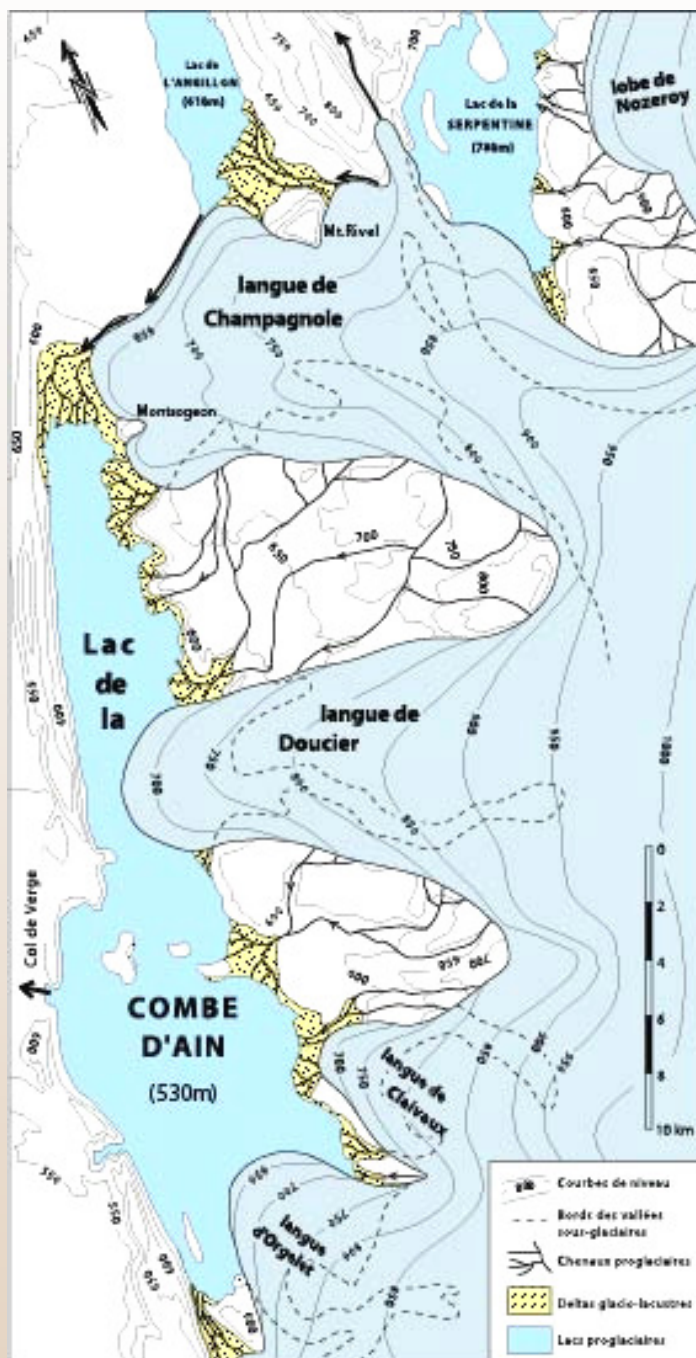


**La double moraine arquée de Cognac (39)**, à l'exutoire de la reculée du Drouvenant, est l'une des moraines les plus spectaculaires du massif jurassien (cliché M. Campy). © Prêt : Hervé Richard.

M. Campy démontre également l'existence de lacs situés devant le front glaciaire, alimentés par des torrents sous-glaciaires et les eaux de fonte. Il reconnaît ainsi, du Nord au Sud, les lacs de l'Arlier, de la Serpentine, de l'Angillon, de la Combe d'Ain, de la Thoreigne, de la Valouse et de l'Oignin.

Si l'on se réfère aux courbes climatiques des forages antarctiques et arctiques, ou aux données océaniques, on sait que les deux dernières glaciations, parfaitement identifiées dans le Jura, ont été précédées d'une dizaine d'épisodes similaires environ depuis un million d'années.

Le Jura a-t-il été englacé autant de fois ? C'est très probable. Pour autant, le temps et l'érosion ont effacé les traces de ces anciennes glaciations.



**Carte paléogéographique de la région de la Combe d'Ain lors du dernier maximum glaciaire** (V. Bichet d'après Campy, 1982). © Prêt : Hervé Richard.

## Faune et flore, indicateurs des changements climatiques

Les écosystèmes de l'ère quaternaire, qui voient donc se succéder des périodes glaciaires et des périodes interglaciaires, vont évoluer en fonction de ces changements climatiques. La végétation dominante des périodes interglaciaires tempérées est la forêt qui occupe l'ensemble du territoire, sauf bien sûr dans la période tempérée actuelle, où la forêt a été ouverte par les sociétés humaines depuis 7000 ans. Ces « forêts tempérées » sont dominées par les arbres et arbustes à feuilles caduques. Au cours d'épisodes climatiques plus frais et plus humides, elles se chargent plus ou moins en conifères, notamment en altitude. La faune vivant dans ces forêts peut aussi être qualifiée de tempérée. En l'absence d'influence humaine, se retrouvent alors le cerf, le chevreuil, le sanglier, l'aurochs, l'ours brun, le lynx, le loup, le renard, le blaireau, la fouine et toute une tribu de rongeurs.

Si les conditions climatiques deviennent plus froides, certaines espèces animales et végétales quittent la région en migrant vers le sud, à la recherche de conditions plus supportables pour elles. D'autres restent sur place et s'adaptent. Quelques espèces trouveront abris dans des refuges protégés, où les conditions antérieures sont en partie préservées. Enfin, de nouvelles espèces arrivent des ensembles froids situés plus au Nord. Lorsqu'ensuite les conditions climatiques redeviennent plus clémentes, les phénomènes s'inversent, la flore et la faune tempérées reviennent occuper la région. Toutefois, ces mouvements de va-et-vient ne sont pas sans conséquences pour certaines plantes et animaux, qui disparaîtront totalement.

L'alternance climatique du quaternaire fut par exemple fatale à plusieurs espèces comme le mégacéros, ce cerf aux bois démesurés, ou encore ces animaux impressionnants qui affectionnaient les cavernes : l'ours, le lion, la hyène et la panthère des cavernes.

Le rhinocéros laineux, encore appelé rhinocéros à narines doisonnées, était, comme ses deux noms l'indiquent, parfaitement adapté au froid. Le réchauffement qui a suivi la dernière glaciation lui sera fatal.



**Reconstitution d'une scène de chasse au rhinocéros laineux durant le Paléolithique récent**  
(Dessin P.-Y. Videlier). © Prêt : Hervé Richard.

Le plus célèbre reste le mammouth, dont les troupeaux amorceront une longue migration vers le Nord, à la recherche des steppes à grandes herbes qu'ils affectionnaient.

Dans le Jura, le squelette d'un jeune mammouth découvert en 1969 dans la gravière de Praz-Rodet, à 1000 m d'altitude dans la vallée de Joux, est daté des environs de 14 300 avant J.-C. Ce sont là probablement les ultimes représentants de cette espèce dans le Jura. Les derniers mammouths de la planète ont survécu jusqu'à il y a environ 4000 ans, sur l'île de Wrangel située au nord de la Sibérie orientale dans l'océan Arctique.

# Histoire du climat en Franche-Comté.

## Le retrait du dernier glacier

Il y a environ 24 000 ans (soit vers 22 000 ans avant J.-C.), l'évolution de l'orbite terrestre a eu pour conséquence d'augmenter le rayonnement solaire global reçu à la surface de la Terre. Cette modification sera à l'origine d'un enchaînement de conséquences très importantes. Ce gain de chaleur, qui s'accompagne d'un accroissement des amplitudes saisonnières (étés chauds), déclenche la fonte progressive des grandes calottes glaciaires d'Amérique et de Scandinavie, puis du Groenland et de l'Antarctique.

La fonte des glaces s'accompagne de la remontée du niveau marin (jusqu'à 25 mètres par millénaire au plus fort du réchauffement !). L'augmentation de l'insolation entraîne également le réchauffement de l'océan, et favorise le transfert de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère, qui viendra augmenter l'effet de serre, et donc accélérer le réchauffement global de la planète.

Sur les vestiges du front glaciaire jurassien, on remarque aujourd'hui qu'en retrait du cordon de moraines correspondant à l'avancée maximale des langues glaciaires, des séries de 4 à 5 rides morainiques plus petites sont nettement visibles. Ces moraines sont la trace du recul, et marquent les moments d'arrêt des glaciers au cours du retrait (elles peuvent aussi être la preuve de ré-avancées à la faveur de refroidissements temporaires). En quelques millénaires, les glaciers jurassiens reculent ainsi par saccades de quelques kilomètres, avant que le retrait ne s'accélère franchement.

À mesure du retrait, la glace libère de nombreuses dépressions tapissées de moraine de fond imperméable, formant ainsi des plans d'eau qui se colmatent progressivement de sédiments.

Il est difficile de dater avec certitude la disparition des dernières glaces dans la haute chaîne. Cependant, l'existence même du mammoth de Praz-Rodet, dont nous venons de parler, indique que les plus hautes vallées étaient déjà exemptes de glacier vers 14 300 ans avant J.-C., date approximative de la mort de l'animal, au bord d'un petit lac de la vallée de Joux. Il est probable qu'à cette époque, il ne restait que quelques glaciers accrochés aux versants nord des plus hauts reliefs.

Sur les plateaux, et a fortiori sur les crêts du Jura, au cours du retrait glaciaire, l'environnement reste très minéral, seules quelques touffes de végétation survivent dans les endroits les mieux abrités. Vers 16 000 ans avant J.-C., une légère amélioration des conditions climatiques rend les hivers un peu moins froids et moins longs, et permet ainsi aux steppes de se développer et de couvrir de plus larges surfaces. On rentre alors dans une période appelée le Tardiglaciaire, qui connaît encore deux phases froides majeures (appelées Dryas ancien et Dryas récent) dominées par les steppes, entre lesquelles s'intercale une période de réchauffement (Bølling-Allerød), encore très instable climatiquement, qui permettra l'installation des premiers massifs forestiers composés de pins et de bouleaux, très semblables aux forêts boréales occupant aujourd'hui le nord de l'Europe.



Les reconstructions des paléo-températures et des paléo-précipitations, effectuées vers 850 m dans le Jura, à partir des pollens et de restes d'insectes conservés dans les sédiments, montrent que les températures moyennes d'hiver à la fin du Dryas ancien se situaient autour de -20/-25°C ; en juillet, ces températures moyennes oscillaient entre +10 et +12°C. Ce qui caractérise également cette période, c'est la faiblesse des précipitations, qui ne dépassaient pas 400 mm/an <sup>(2)</sup>. Dès le début du réchauffement du Bølling, les températures moyennes d'été s'élèvent jusqu'à 15 à 17°C, alors qu'en janvier elles se situent autour de 0°C ; les précipitations oscillent entre 700 et 800 mm/an.

Les variations climatiques de cette période, globalement tempérée mais instable, de deux millénaires, regroupant le Bølling et l'Allerød, ont aussi eu des conséquences considérables sur la faune. Les animaux caractéristiques des environnements froids quittent la région très rapidement, à l'exemple du mammoth et du rhinocéros laineux, qui ont déjà disparu du Jura au cours du Dryas ancien ; les troupeaux de rennes déclinent et disparaissent au cours du Bølling ; seul le cheval perdure plus longtemps. Des herbivores « plus tempérés » occupent maintenant la région, comme le cerf, le chevreuil et le sanglier, alors que l'aurochs et le bison élargissent leur territoire.

### **Le dernier coup de froid**

Vers 10 700 ans avant J.-C., malgré le net réchauffement enregistré au cours du Bølling et de l'Allerød, le climat se dégrade en quelques décennies : c'est le début du Dryas récent, qui durera un peu plus d'un millénaire. Avec ce retour du froid, les forêts reculent partout.

Sur le Jura, vers 800 à 900 mètres d'altitude, les températures moyennes de juillet perdent 3 à 4°C par rapport à celles de l'Allerød ; les moyennes de janvier se situent entre -2 et -4 degrés, avec des températures minimales souvent proches de -20 / -30°C ; les précipitations n'atteignent plus que 400 à 500 mm/an.

À une échelle plus globale, dans certaines parties de l'hémisphère nord, les températures moyennes annuelles perdent jusqu'à 6 à 7°C ; cette chute est proche de 10°C au Groenland. Le front polaire hivernal, situé à la latitude de l'Islande durant l'Allerød, est désormais situé à la latitude du Portugal ! Dans notre région, les forêts de pins et de bouleaux de l'Allerød reculent et disparaissent même de toutes les zones situées au-dessus de 700 m, où elles sont remplacées par des espaces steppiques. À l'échelle de l'Europe, les rennes, qui avaient migré en direction de la Scandinavie, reviennent jusque dans le nord de la France.

L'origine de ce retour du froid est complexe et encore sujet à discussion. La principale explication réside dans une perturbation à grande échelle des courants océaniques, générée par les eaux de fonte qui se sont accumulées dans d'immenses lacs à la périphérie de l'inlandsis, puis déversées dans l'océan Atlantique, lors de la vidange brutale de ces lacs. D'autres causes sont toutefois avancées : une diminution de l'activité solaire, l'impact d'importantes éruptions volcaniques, et les conséquences de la chute d'un astéroïde, ou du passage d'une comète à proximité de la Terre. Plusieurs de ces phénomènes ont pu aussi agir de manière concomitante.

<sup>(2)</sup> *Aujourd'hui, à cette altitude, la température moyenne de janvier est d'environ + 0,4 °C, celle de juillet d'environ + 17 °C, et les précipitations annuelles se situent autour de 1500 mm/an (données Météo-France).*

# Histoire du climat en Franche-Comté.

## Les douze derniers millénaires

Habitants d'une montagne des latitudes moyennes de l'Europe occidentale, dont les sommets ont été envahis par un inlandsis au cours du dernier maximum glaciaire, nous avons la chance de vivre aujourd'hui au cours d'un interglaciaire : l'Holocène.

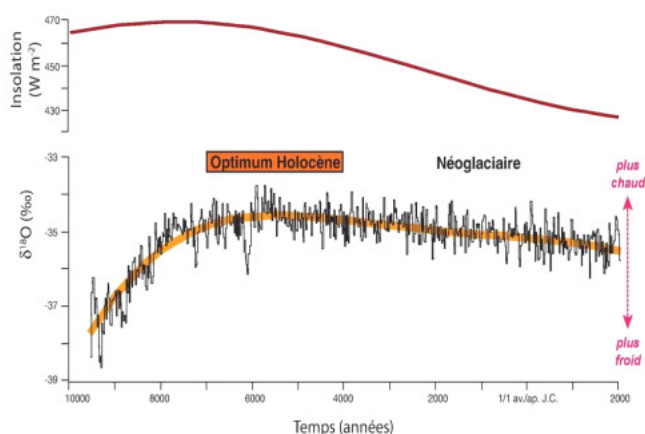
À l'échelle de la planète, cela signifie que nous bénéficions d'une température moyenne supérieure de 4 à 5°C à celle qui prévaut généralement au paroxysme d'une phase glaciaire.

Les courbes isotopiques établies à partir de forages effectués dans la calotte glaciaire du Groenland, nous indiquent que notre interglaciaire a commencé il y a environ 11 700 ans, c'est à dire vers 9 700 avant J.-C. Le décompte précis des couches annuelles de glace dans ces forages groenlandais, montre aussi que la rapide élévation des températures marquant le début de notre interglaciaire s'est réalisée en moins d'un siècle.

Les courbes isotopiques livrées par les calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique, ou par les sédiments accumulés au fond des océans, donnent de l'Holocène l'image d'une période au climat relativement stable.

On y reconnaît toutefois les deux versants climatiques qui caractérisent un interglaciaire, en réponse aux changements de l'insolation, réglés par les changements de l'orbite et de la rotation de la Terre, appelés « forçage orbital ».

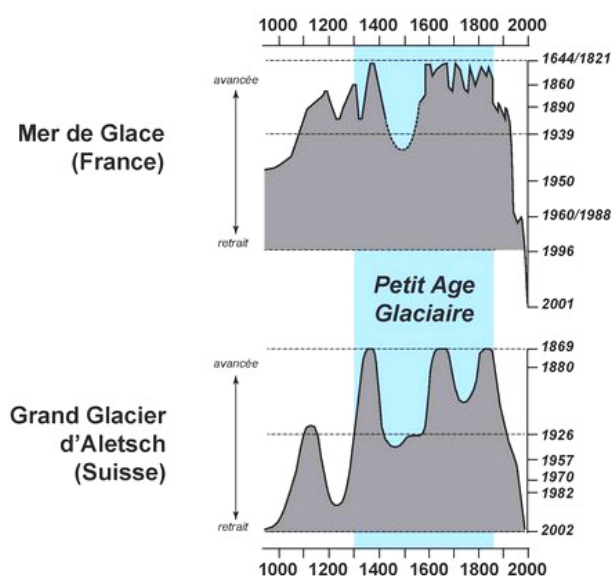
Un premier versant montre une amélioration progressive des conditions climatiques de 9 700 à 7 000 avant notre ère, tandis que le second (appelé aussi « Néoglaciale »), est dominé par une baisse des valeurs isotopiques, qui traduit une lente dérive des conditions climatiques vers le froid, avant l'entrée, encore lointaine, dans une nouvelle glaciation.



**Variation de l'insolation estivale** (M. Magny d'après Berger et Loutre, 1991) et **évolution générale du climat au cours de l'Holocène d'après une courbe isotopique établie au Groenland** (sondage GRIP ; M. Magny modifié d'après Johnsen et al., 2001).  
© Prêt : Hervé Richard.

Cependant, les géologues et les archéologues distinguent une alternance de phases plus sèches ou plus humides, en s'appuyant sur les séquences sédimentaires livrées par les tourbières, où certaines couches de tourbe indiquent des variations du niveau des nappes phréatiques. Certains évoquent même l'hypothèse de brusques changements climatiques qui auraient pu affecter l'Holocène, comme le suggèrent d'importants dépôts de crue, qui recouvrent parfois les sites archéologiques.

Enfin, les glaciologues travaillant dans les Alpes suisses et autrichiennes mettent en évidence une phase de refroidissement du climat, le « Petit Âge Glaciaire », en s'appuyant sur les phases de crues des glaciers qui s'amorcent dès le XIII<sup>ème</sup> siècle de notre ère pour s'achever vers le milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle.



**Avancées et retraits du glacier de la Mer de Glace (Savoie, France) et du Grand Glacier d'Aletsch (Valais, Suisse) au cours du dernier millénaire.** À droite sont indiquées les positions successives des deux glaciers au cours de leur retrait en altitude depuis le XIX<sup>e</sup> siècle (M. Magny modifié d'après Holzhauser et al., 2005, et Le Roy et al., 2015). © Prêt : Hervé Richard.

Non seulement les historiens E. Leroy Ladurie en France, ou C. Pfister en Suisse, ont confirmé l'existence du Petit Âge Glaciaire en collectant des données instrumentales ou divers documents historiques comme des peintures, des gravures, des chroniques, ou encore les dates des vendanges, mais les géologues ont également montré que le Petit Âge Glaciaire n'était en fait que le dernier épisode d'une longue série d'avancées et de retraits des langues glaciaires qui, dans les Alpes, avaient ponctué l'ensemble de l'Holocène.

Force était-il donc d'admettre qu'au-delà de l'image d'une relative stabilité du climat donnée par les enregistrements isotopiques, notre interglaciaire holocène avait été également rythmé par une succession d'oscillations du climat, certes d'amplitude moins forte que celles produites par les grands cycles glaciaires-interglaciaires, mais suffisantes cependant pour affecter sensiblement l'environnement continental et, par voie de conséquence, les sociétés humaines.

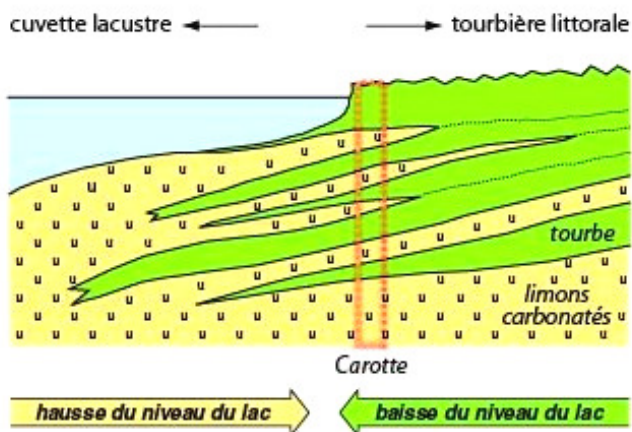
### L'apport des archives lacustres du Jura

Les investigations menées par Michel Magny depuis près de 30 ans, pour l'étude des remplissages sédimentaires de 26 cuvettes lacustres dans le Jura et les régions avoisinantes (Savoie et plateau suisse), permettent de connaître aujourd'hui avec une relative précision les variations du niveau des lacs de cet ensemble géographique tout au long de l'Holocène.

Grâce aux fragments organiques qu'elles contenaient, les couches de sédiments qui correspondent aux phases de hausse et de baisse des plans d'eau, ont été datées par le radiocarbone (<sup>14</sup>C).

À cela s'ajoutent les dates dendrochronologiques (basées sur la mesure des cernes de croissance des arbres) livrées par les bois retrouvés dans les sites archéologiques sur le littoral de plusieurs lacs du Jura comme Chalain, Clairvaux, ou Ilay.

# Histoire du climat en Franche-Comté.



**Alternance de couches de tourbe et de limons carbonatés traduisant une succession de phases de bas et de hauts niveaux d'un lac du Jura (en haut) ; cette séquence-type est illustrée par une carotte prélevée au bord du lac de Narlay dans le Jura (en bas)** (Dessin et dichés M. Magny).

© Prêt : Hervé Richard.

On reconnaît deux types de variations qui se superposent. Tout d'abord des oscillations qui dessinent des tendances générales sur plusieurs millénaires, avec notamment un niveau moyen relativement élevé au début de l'Holocène jusque vers 7000 avant J.-C., suivi par le maintien d'un niveau moyen nettement plus bas de 7000 à 2000 avant J.-C., et enfin une tendance générale à la hausse qui s'affirme depuis 2000 avant J.-C.

Ces tendances longues, pluri-millénaires (d'un à plusieurs millénaires), n'excluent pas des fluctuations rapides du niveau de l'eau, comme la brusque baisse qui survient vers 7000 avant J.-C. Surimposées sur ces tendances générales, on distingue ensuite des oscillations qui se développent sur des intervalles plus courts d'ordre séculaire, c'est-à-dire d'une durée d'un à plusieurs siècles.

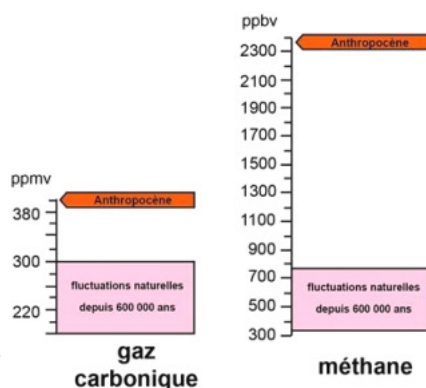
Les âges obtenus par le radiocarbone et la dendrochronologie pour dater les phases de haut niveau des plans d'eau, ne sont pas distribués régulièrement sur toute la durée de l'Holocène mais, au contraire, ils se rassemblent en une quinzaine de groupes marquant des phases de haut niveau communes à plusieurs lacs, et séparées par des phases d'abaissement des plans d'eau.

Ces résultats suggèrent que l'ensemble de notre interglaciaire a été ponctué par l'alternance de hausses et de baisses des plans d'eau, ce qui conforte l'image de la relative variabilité du climat au cours de l'Holocène, déjà mise en évidence dans les Alpes suisses et autrichiennes.

## Questions autour de l'Anthropocène

Au début des années 2000, le chimiste néerlandais Paul J. Crutzen propose une nouvelle hypothèse : l'humanité serait sortie de l'Holocène, et elle serait entrée dans une nouvelle époque, l'Anthropocène (du grec *anthropos*, « être humain » et *kainos* « récent »).

Il s'appuie pour cela sur une série d'indicateurs mettant en parallèle, d'une part, l'augmentation de la population mondiale et de sa consommation et, d'autre part, la perturbation des écosystèmes terrestres et océaniques, ainsi que les rejets de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. L'Anthropocène serait ainsi caractérisé par l'irruption de l'homme comme facteur géologique majeur, supplantant désormais les facteurs naturels par la rapidité et l'intensité de son intervention depuis les débuts de la Révolution industrielle, vers 1750 de notre ère, et davantage encore depuis 1950, avec l'essor démographique et économique qui a suivi la Seconde Guerre mondiale, période que l'on appelle aussi la « Grande Accélération ». S'agissant tout d'abord des forçages du climat, l'analyse des bulles d'air emprisonnées dans les glaces polaires a montré la relation étroite qu'il existait, depuis plus de 600 000 ans, entre les grands cycles glaciaires/interglaciaires, et la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et en méthane (CH<sub>4</sub>). Ainsi, depuis 600 000 ans jusqu'à l'Holocène, la teneur de l'atmosphère en méthane a varié de minimums d'environ 350/400 ppb (de l'anglais *part per billion*, c'est-à-dire « partie par milliard », unité exprimant les concentrations, exemple : un microgramme par kilogramme) au cours des maximums glaciaires, à des maximums d'environ 630-700 ppb au cours des interglaciaires.



© Prêt : H. Richard.

Dans le même temps également, la teneur en gaz carbonique variait de minimums autour de 180-190 ppm (partie par million, par exemple : un milligramme par kilogramme) pendant les maximums glaciaires, à des maximums d'environ 260-280 ppm pendant les interglaciaires. En l'an 2000, les valeurs étaient respectivement passées à 1750 ppb pour le méthane, et 370 ppm pour le gaz carbonique, les 400 ppm ayant été atteints en 2013 !

Le Jura aussi n'échappe pas à la règle. Les archives sédimentaires accumulées dans les lacs de notre région, en accord avec de multiples autres paramètres étudiés sur la planète, montrent clairement que des oscillations froides, comme le Petit Âge Glaciaire, qui ont ponctué l'ensemble de l'Holocène, correspondent à des cycles solaires ayant une périodicité de 2300 ans environ. On peut situer le paroxysme du Petit Âge Glaciaire vers 1700 de notre ère. Les deux oscillations froides équivalentes qui l'ont précédé se sont développées vers 800-600 avant J.-C. et vers 3300-3200 avant J.-C. On comprend que le prochain « Petit Âge Glaciaire » ne surviendra pas avant de longs siècles. Tout au plus peut-on attendre que la combinaison des cycles de 80 et 200 ans du soleil offre une configuration favorable à un léger, mais temporaire, refroidissement vers 2040-2050 de notre ère.

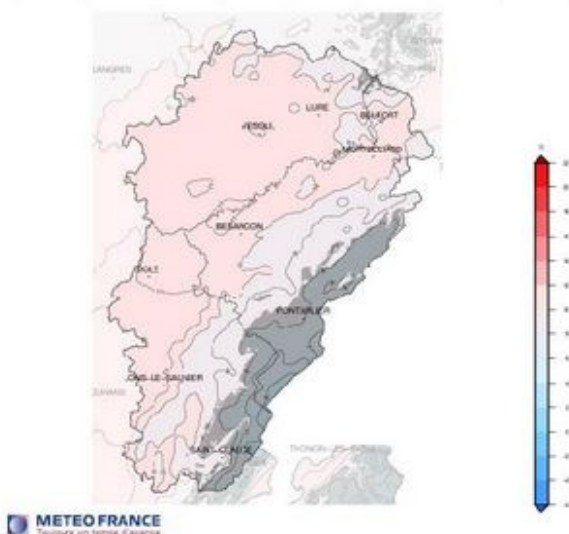
Les changements futurs du climat provoqueront d'importantes perturbations dans les écosystèmes terrestres et aquatiques du Jura, comme dans les activités agricoles et touristiques. Ainsi, avec l'Anthropocène, l'irruption de l'homme comme facteur géologique fait brusquement peser de graves menaces sur l'avenir du climat du Jura...

# Histoire du climat en Franche-Comté.

## Le climat comtois

Riche d'environ 120 postes de données répartis sur l'ensemble de la Franche-Comté, nous possédons des éléments objectifs pour décrire la réalité mesurée du climat de la région. Le climat comtois est décrit comme un climat tempéré, à influence océanique, mais aussi à influences continentale et montagnarde.

Moyenne annuelle de référence 1981-2010 de la température moyenne  
Franche-Comté



**Carte des températures moyennes annuelles en Franche-Comté** (document Météo France).  
© Prêt : Hervé Richard.

La carte des normales de températures moyennes montre une certaine homogénéité des nombreux postes situés en plaine, la normale oscillant autour de +11 °C. Avec une valeur à peine supérieure à +11 °C, c'est dans la Bresse que la température est la plus douce.

Puis, en se décalant vers le Nord-Est et en se rapprochant du relief, on perd un degré, comme dans la région des Mille Étangs ou la trouée de Belfort. Ces valeurs sont tout à fait comparables à celle observées sur une grande partie nord de la France, de la Bretagne au Bassin parisien, et c'est un peu plus qu'en Lorraine. Ce sont bien les valeurs d'un climat tempéré.

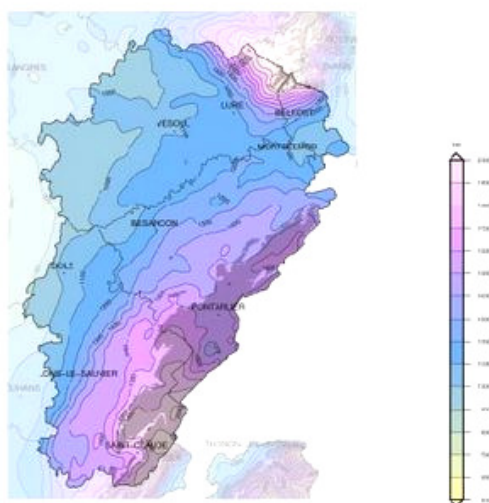
On trouve une répartition régionale similaire pour les températures maximales et minimales annuelles. Cependant, une petite influence continentale sur le climat comtois apparaît : les minimales sont un peu plus froides, de 1 à 2 degrés, par rapport au nord de la France. Les moyennes des minimales du mois de janvier sont partout négatives, et le nombre de jours de gel est relativement élevé, généralement supérieur à 70. Ce caractère continental est aussi confirmé par la moyenne des maximales en juillet, qui sont plus élevées en Franche-Comté qu'en Bretagne. Il fait donc plus froid l'hiver, et plus chaud l'été. L'amplitude des températures entre l'hiver et l'été, qui est souvent de 60°, est plus importante que dans l'ouest du pays.

Le caractère montagnard du climat est lui aussi évident. La température diminue dès les premiers plateaux du Jura et les contreforts des Vosges, avec une moyenne annuelle des températures qui descend sous les +7°C sur les sommets jurassiens, avec même une moyenne annuelle des températures minimales qui est proche de 0°C. Le nombre de jours de gel dépasse 160, pas loin d'un jour sur deux.

Mais, en saison estivale, si on considère les températures maximales de juillet, même en altitude, les valeurs moyennes, de l'ordre de +22°C à +23°C, sont identiques à celles mesurées sur les côtes de la Manche.

La carte de répartition des précipitations annuelles montre des différences importantes sur le territoire comtois. Les isohyètes (courbes reliant les hauteurs de précipitations équivalentes) sont bien sûr corrélées aux altitudes.

Moyenne annuelle de référence 1981-2010 des précipitations  
Franche-Comté



**Carte des précipitations annuelles en Franche-Comté** (document Météo France).

© Prêt : Hervé Richard.

La haute chaîne jurassienne est très arrosée, avec des valeurs annuelles de plus de 2000 mm. Les 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> plateaux du Jura reçoivent entre 1300 et 1800 mm, comme les contreforts vosgiens. Sur les régions de plaine situées à proximité du relief, les cumuls annuels sont supérieurs à 1100 mm. C'est sur les plaines du Graylois et du Finage que les cumuls sont les plus modérés, avec tout de même plus de 900 mm.

Ces valeurs moyennes sont plutôt élevées par rapport aux valeurs relevées sur le territoire national. Globalement, la Franche-Comté est donc bien arrosée, ce qui révèle la tendance océanique et montagnarde de son climat.

### Des types de temps très différents

Au-delà de ces descriptions des normales principales, qui caractérisent les valeurs moyennes du climat (auxquelles nous pourrions ajouter la fréquence et la violence du vent et des orages, la durée de l'ensoleillement, la fréquence et la répartition du brouillard...), ce qui ressort de l'analyse des séries de données, est la très grande variabilité des valeurs mesurées, tant pour les températures que pour les quantités de précipitations. On retrouve bien là cette triple influence à la fois océanique, continentale et montagnarde.

Autour des valeurs moyennes, la variation des températures est importante. En effet, s'il peut faire très froid l'hiver ou très chaud l'été, les températures peuvent tout aussi bien être très douces l'hiver ou très fraîches l'été. Il ne s'agit pas là d'un dérèglement climatique, mais bien d'une réalité constatée depuis le début des mesures en 1880, et d'ailleurs déjà pressentie bien avant. Il n'y a plus de saisons !...

En termes de nombres de jours de pluie, si durant l'hiver la Franche-Comté se fond dans les valeurs d'une grande moitié nord de la France, avec une bonne douzaine de jours de pluie mensuels en plaine, le nombre de jours de pluie est en revanche un peu supérieur au reste du territoire en été.

# Histoire du climat en Franche-Comté.

Cette régularité des pluies est aussi la raison pour laquelle notre région est si verte, même au cœur de l'été. Les plus fortes pluies quotidiennes mesurées, souvent associées à des phénomènes orageux, sont de l'ordre de 100 mm en plaine et 150 mm en montagne.

Les hivers comtois ont la réputation d'être très rudes, surtout en montagne. Prenons comme exemple l'hiver 1956. Février 1956 est le mois le plus froid jamais observé dans la région. Mais, c'est oublier que les mois de décembre 1955, et de janvier 1956, avaient été très cléments auparavant, ce mois de décembre étant l'un des plus chauds du siècle.

Depuis 1880, l'hiver le plus froid reste l'hiver 1962/1963. Sans connaître les excès de froidure de 1956 ou de 1985, ce fut un hiver long et froid. Que n'a-t-on pas dit dans les médias sur le record de froid en Franche-Comté ? La réalité est que la température minimale absolue mesurée est de  $-36,7^{\circ}\text{C}$  à Mouthe (25) le 13 janvier 1968 ; c'est le record en France métropolitaine.

Décrire objectivement les hivers comtois, c'est aussi rappeler que, à l'inverse, certains hivers sont également très doux et très peu enneigés, comme par exemple les hivers 1898/1899, 1911/1912, 1915/1916 et 1974/1975. Même en plein cœur de l'hiver, il arrive que le thermomètre dépasse les  $+20^{\circ}\text{C}$  en journée à Besançon. Ce fut le cas le 10 février 1889, le 16 décembre 1989, ou encore le 30 janvier 2002.

En été, c'est le même contraste. L'été 2015 nous a rappelé certains étés caniculaires comme en 1911, 1947, 1983, et surtout l'été hors normes de 2003. D'autres étés sont au contraire particulièrement frais et pluvieux comme en 1956, 1980 ou 2007. Pour les records de chaleurs, les valeurs maximales enregistrées en plaine sont très proches de  $+40^{\circ}\text{C}$ , comme dans de nombreuses régions françaises. Même en montagne, jusqu'à haute altitude, le thermomètre dépasse les  $+35^{\circ}\text{C}$ .

## Noël au balcon, Pâques aux tisons

Tout le monde est persuadé qu'il y avait plus de neige avant. Or, les records de chutes de neige en 24 heures sont souvent assez récents. À Besançon, à Montbéliard, à Vesoul ou à Lure, c'est le 5 mars 2006 qu'il a le plus neigé en une journée, entre 32 cm et 55 cm. Jamais pareille hauteur de neige fraîche n'avait été observée depuis 1880. À Lons-le-Saunier, en février 1990, la couche de neige atteignait 64 cm ! Du jamais vu, même dans les hivers d'autrefois... Pourtant, à entendre les témoignages qui semblent de bonne foi, les anciens habitants sont sûrs qu'*avant*, il tombait jusqu'à 50 cm de neige en plaine, et que c'était presque courant. Les données mesurées contredisent ces impressions. Dans la réalité, il est très rare qu'une chute de neige dépasse 20 cm en 24 heures en plaine, et il est tout aussi rare que l'épaisseur totale de la couche dépasse 40 cm. Mais ces données sont des hauteurs mesurées selon des normes, sur un terrain plat en plein champ.



En montagne aussi, l'enneigement peut être très aléatoire. Si l'hiver 1894/1895 a été exceptionnellement et abondamment enneigé, d'autres hivers de la même période sont relativement peu enneigés. En 1889/1890 par exemple, il faut attendre le 13 février pour voir arriver la neige sur le Jura ; et ce n'est que les mois de mars et avril qui seront enneigés. L'hiver 1911/1912 est pratiquement sans neige, sans doute le moins enneigé depuis le début des relevés.

Les hivers d'aujourd'hui ressemblent finalement à ces hivers d'il y a cent ans. Certains commencent très tôt, comme en 1974/1975 ; certains très tard, comme en 1992/1993 ; certains sont très enneigés, comme 1980/1981, 1998/1999, ou 2005/2006, avec plus de 3 mètres de neige au Ballon d'Alsace ; certains beaucoup moins, comme 1989/1990.

À partir de toutes ces données archivées, et pour quelques postes de mesure depuis 1880, il est tentant d'essayer de vérifier si les dictons ont réellement un sens. Prenons par exemple le célèbre « Noël au balcon, Pâques aux tisons ». Ce dicton voudrait que, si les températures sont clémentes à Noël, alors il faut s'attendre à un temps froid à Pâques. Sur les 130 années d'archives, il faut bien admettre que ce dicton ne fonctionne pas mieux que si la répartition des températures était purement aléatoire. Si Noël est doux, il faut en profiter, cela n'aura aucune conséquence sur le temps qu'il fera à Pâques.

En revanche, certains adages sont de bons sens s'ils sont compris et utilisés à bon escient. Par exemple, les saints de glace, les fameux Mamert, Pancrace et Servais, qui sont fêtés les 11, 12 et 13 mai de chaque année.

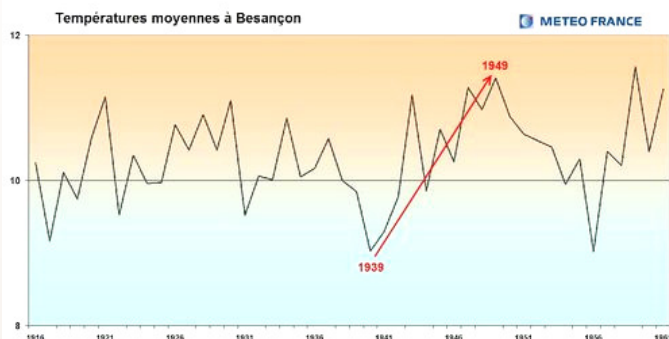
Ces trois journées sont censées être plus froides, et à fort risque de gelée. Cette affirmation est fautive. Statistiquement, le thermomètre ne descend pas plus bas à ces dates que durant les jours avant, ou les jours après. En revanche, ce qui est vrai, c'est que la date médiane des dernières gelées en plaine se situe entre le 15 et le 30 avril, et que les gelées les plus tardives s'observent vers la mi-mai. Il est donc pertinent d'attendre ces dates pour commencer à planter dans son jardin. C'est bien là le sens de cette maxime ancestrale.

### Les grandes tendances régionales

Nous avons la chance de disposer d'une série de données continues de mesures de températures et de pluviométrie depuis 1880 à Besançon, sur le site de l'Observatoire. Certes, la Franche-Comté ne se réduit pas à sa capitale. Mais, si le patrimoine météorologique laissé par nos prédécesseurs est riche depuis 1960, il faut se rendre à l'évidence qu'avant cette date, et surtout durant la Seconde Guerre mondiale, les séries continues et fiables sont très peu nombreuses. Lorsqu'on s'intéresse à l'évolution depuis plus de 100 ans, l'analyse du poste de Besançon apporte une information de grande échelle qui est généralisable à l'ensemble de la région.

En première lecture, sur la courbe des températures moyennes annuelles, il paraît évident que depuis les années 1950/1960, la température augmente. Mais faisons par exemple un zoom sur la période entre 1939 et 1949.

# Histoire du climat en Franche-Comté.



**Courbe des températures moyennes annuelles à Besançon de 1916 à 1961, zoom sur la période 1939-1949** (document Météo France).  
© Prêt : Hervé Richard.

La température croît presque régulièrement de pratiquement 2°C en 10 ans ! Mais on se rend compte que, après ce pic, la température redescend vers des valeurs plus conformes aux normales, et même vers le plus froid jamais observé : l'année 1956. En fait, cette hausse spectaculaire n'est qu'un « accident » climatique.

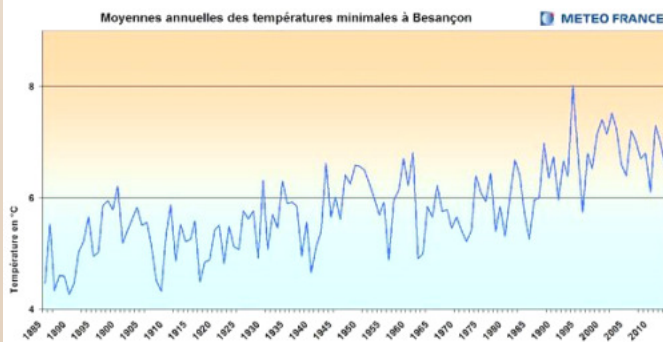
On comprend donc mieux l'intérêt de prendre en considération une période de 30 ans pour définir une normale climatique qui permet d'englober un grand nombre de types de temps sur une très grande période.

Par contre, l'allure de la courbe depuis la fin des années 1950, jusqu'aux années 2010, est sans équivoque, on peut affirmer que la température a augmenté au cours de ces 60 années ! Il ne peut plus être question d'une coïncidence. Cependant, si les normes de mesure ont bien été respectées tout au long de ces 130 années, il faut constater que l'environnement du quartier situé autour de la station météorologique de Besançon a changé.

Il est donc certain qu'une partie du réchauffement observé provient de l'effet « îlot urbain actuel », même s'il est beaucoup moins intense qu'en pleine ville. C'est pourquoi on ne peut faire que des estimations de la valeur du réchauffement climatique constaté, qui est nécessairement un peu inférieur au changement effectivement mesuré. Mais si on cherche un ordre de grandeur, on peut affirmer qu'en Franche-Comté, le climat s'est réchauffé d'environ un degré depuis le début des mesures en 1880.

L'analyse de la courbe des moyennes annuelles des températures maximales montre une hausse, mais avec trois phases marquées. On constate d'abord dans les années 1910/1930 des valeurs relativement élevées, puis un minimum relatif dans les années 1970, avant une nouvelle hausse ensuite.

En revanche, l'analyse de la courbe des températures minimales montre une évolution plus régulière tout au long des 130 années de mesures.



**Courbe des températures minimales annuelles à Besançon de 1880 à 2014** (document Météo France).  
© Prêt : Hervé Richard.

La température minimale augmente depuis le début. Entre la normale des températures minimales de la période 1901-1930, et celle de 1981-2010, la différence est de l'ordre d'1,5°C. Cette valeur montre bien une évolution de fond, durable, mais plus insidieuse et peu médiatique. En effet, contrairement à des tempêtes ou à une canicule, dont les impacts seront très importants, et qui mériteront de nombreux reportages par tous les médias, battre des records de douceur la nuit au cœur de l'hiver passe beaucoup plus inaperçu. On constate donc qu'en Franche-Comté, les températures minimales augmentent plus vite que les températures maximales. Ainsi, quand on évoque le réchauffement climatique, on induit indirectement l'idée qu'il fait plus chaud. Mais ce n'est pas totalement exact. Certes, nous avons vu qu'il fait un peu plus chaud en journée, mais surtout qu'il fait moins froid la nuit. Ainsi, notre climat se réchauffe essentiellement parce qu'il fait moins froid !

Dans ce sens, on peut aussi constater que le nombre de jours par an où le thermomètre dépasse les 25°C ou les 30°C a effectivement un peu augmenté depuis 100 ans, mais c'est surtout le nombre de jours de gel qui a très fortement diminué. En corrélation, le nombre de jours avec de la neige au sol lui aussi diminue, aussi bien en plaine qu'en montagne. L'hiver moyen à 900 mètres d'altitude bénéficie aujourd'hui de deux mois d'enneigement en moyenne, contre deux mois et demi autrefois.

Côté pluviométrie, la courbe des cumuls annuels montre bien la variabilité très importante d'une année à l'autre du total d'eau qui tombe sur la région.

Entre 1921, l'année la plus sèche jamais observée avec 673,5 mm, et 1935, la plus pluvieuse avec 1537,0 mm, l'écart est impressionnant. La comparaison des normales pluviométriques de 1901-1930, et de 1981-2010, montre une augmentation de l'ordre de 10%.

On serait donc tenté de conclure qu'il pleut plus en Franche-Comté. Mais comme pour les températures, ce n'est pas complètement exact. L'analyse de la courbe montre en fait que les quantités d'eau cumulées durant les années les plus pluvieuses n'augmentent pas. Par contre, on constate que depuis la fin des années 70, il n'y a plus d'années très sèches. S'il n'était pas rare autrefois d'observer moins de 900 mm sur une année à Besançon, ce n'est plus arrivé depuis 1973. Ainsi, les pluies sont un peu plus régulières, ce qui fait monter naturellement la moyenne annuelle.

### **Le changement climatique : concrètement en Franche-Comté ?**

S'agissant du réchauffement climatique de notre planète, tous les scénarios ont un point commun : une hausse des températures moyennes, de +0,9 à +3,6°C en hiver, de +1,3°C à une fourchette comprise entre +2,6°C et +5,3°C l'été. En corrélation, le nombre de jours de canicule l'été est en forte augmentation ; le nombre de jours très froids diminue, jusqu'à 10 jours de moins chaque année en Franche-Comté. Une augmentation des jours de sécheresse estivale est attendue. Globalement, on attend aussi une hausse des précipitations hivernales, et un renforcement du taux de précipitations extrêmes, mais avec des incertitudes sur leur localisation.

# Histoire du climat en Franche-Comté.

Le changement climatique a déjà des impacts visibles dans notre région. Par exemple, avec l'augmentation de la température moyenne, les dates pour atteindre les sommes de températures nécessaires à la maturité des végétaux sont plus précoces dans le calendrier. Ainsi, le cumul des 800°C qui sert de référence pour les travaux de fenaison est atteint une quinzaine de jours plus tôt qu'autrefois. Les agriculteurs font donc les foins plus tôt, parce que l'herbe atteint le stade d'épiaison plus tôt. C'est la même chose pour de nombreuses cultures céréalières ou maraîchères. Les dates des bans de vendanges sont de plus en plus précoces.

Pour mieux se rendre compte de l'impact du changement climatique en Franche-Comté, on peut aussi imaginer que l'augmentation de la température signifie qu'on se déplace vers le Sud, là où il fait plus chaud. Ce n'est pas rigoureusement exact, mais cette analogie très visuelle est parlante.

## **Dix mètres par jour vers le Sud**

Ainsi, si on considère que le climat de la région se réchauffe de +4°C d'ici 2100, ce qui est un scénario haut mais pas totalement irréaliste, on peut estimer que, chaque jour, nous nous déplaçons vers le Sud d'une distance de l'ordre de 10 mètres ! Au jour le jour, nous ne nous rendons compte de rien. Le climat reste le même. Au bout d'un an, nous avons parcouru presque 4 km. Là encore, rien de très différent. Mais, après 10 ans, c'est 40 km. Après 100 ans, nous avons parcouru 400 km vers le Sud. Et là, on voit bien que notre climat a changé !

Des simulations qui consistent à chercher une ville analogue ont été effectuées pour la ville de Besançon. Aujourd'hui, nous sommes déjà presque arrivés à Lyon. En effet, la moyenne de Besançon aujourd'hui est pratiquement la même qu'à Lyon en 1900. Selon les scénarios, en 2100, les températures de Besançon pourraient ressembler à celles mesurées aujourd'hui à Orange ! Et encore un peu plus au Sud pour Lons-le-Saunier : Cavillon, Arles ?!...

En montagne, on peut aussi imaginer que chaque jour, en ordre de grandeur, on perd 1 cm d'altitude. Cela équivaut à environ 4 mètres par an. Ce qui ne se voit pas. Mais 40 mètres tous les 10 ans, et 400 mètres en 100 ans, il devient évident que tout change. Ainsi, pour se faire une idée de l'enneigement dans 100 ans à 1100 mètres d'altitude, on peut estimer qu'il ressemblera à celui d'aujourd'hui vers 700 mètres.

Cette analogie assez rudimentaire est bien sûre critiquable. Elle ne remplace pas une modélisation rigoureuse, mais elle a le mérite de donner de façon simple une idée de l'ordre de grandeur des changements qui nous attendent.

La médiatisation des événements marquants comme les tempêtes, les cyclones, les inondations ou les canicules, pourrait laisser croire qu'ils sont dus au changement climatique. En fait, ces phénomènes existaient déjà bien avant. C'est leur fréquence et leur intensité qui sont susceptibles d'augmenter dans le futur.

Cela peut aussi donner l'impression que le changement climatique est ponctuel, épisodique et exceptionnel. Mais, comme nous l'avons vu, il n'en est rien. Notre climat se modifie. Dans la durée, les effets se feront progressivement sentir.

On dit souvent que la canicule de 2003 sera la normale à partir de 2070, mais plus rarement que le nombre de jours de gel va nettement diminuer. Si le premier exemple nous interpelle par son impact direct, le second n'en est pas moins primordial pour la nature, la faune, la flore, les paysages...

De cette vision apparemment très pessimiste, on pourrait penser que les politiques menées ne changeront pas beaucoup de choses. Mais l'un des points importants du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC est de montrer qu'il est encore possible de limiter l'élévation de température à 2°C en moyenne planétaire, si les émissions mondiales de gaz à effet de serre sont réduites de 40 à 70% entre 2010 et 2050. Tout n'est donc pas perdu d'avance, mais il est urgent d'agir dès maintenant, si l'on veut diminuer l'ampleur du changement climatique amorcé. C'est le but recherché par la conférence de Paris de décembre 2015 (COP21).

## Les auteurs

**Vincent Bichet**, géologue, Maître de conférences, Laboratoire Chrono-Environnement, Université de Franche-Comté.

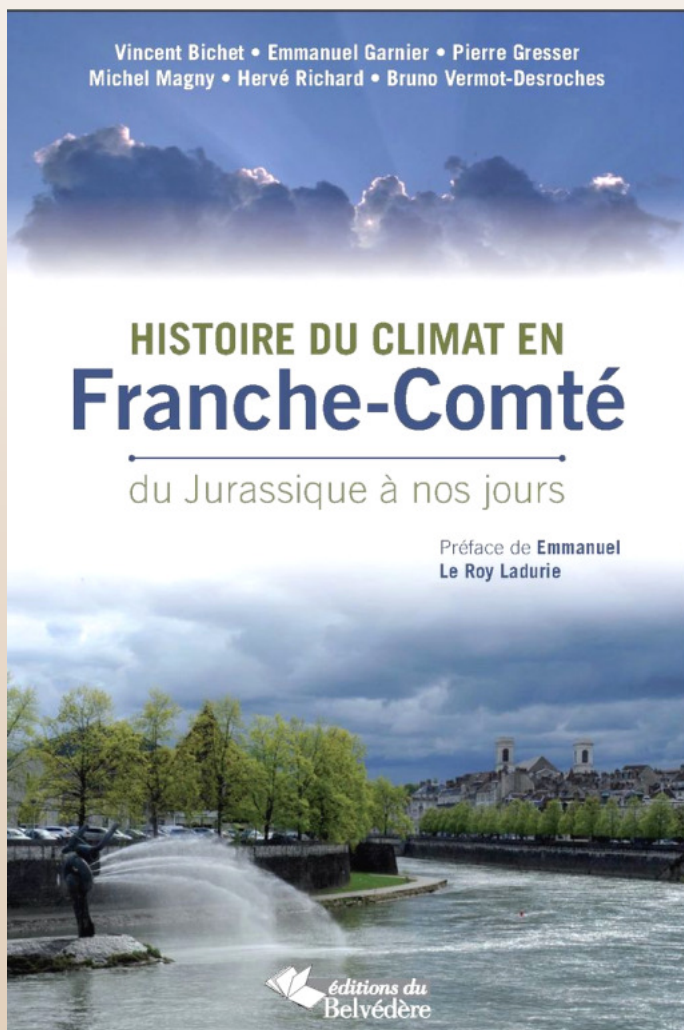
**Emmanuel Garnier**, historien du climat et des risques, Directeur de recherche CNRS, Laboratoire Littoral Environnement et Sociétés, Université de La Rochelle.

**Pierre Gresser**, Professeur honoraire d'histoire du Moyen Âge, Université de Franche-Comté.

**Michel Magny**, paléoclimatologue, Directeur de recherche CNRS, Laboratoire Chrono-Environnement, Université de Franche-Comté.

**Hervé Richard**, paléoenvironnementaliste, Directeur de recherche CNRS, Laboratoire Chrono-Environnement, Université de Franche-Comté.

**Bruno Vermot-Desroches**, Ingénieur des Travaux à Météo-France, Chef du Centre météorologique de Besançon.



## Cinq questions posées à Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté.



**Hervé Richard,**  
directeur de  
recherche au  
CNRS, université  
de  
Franche-Comté.

*« Le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle des ministères de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la recherche. »*

### 1 - Que pouvez-vous nous dire tout d'abord à propos du CNRS en général ?

Le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle des ministères de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la recherche.

Il emploie environ 33 000 personnes, parmi lesquelles un peu plus de 11 100 chercheurs, et de 13 600 ingénieurs, techniciens et cadres administratifs, indispensables au fonctionnement de l'institution.

Le personnel du CNRS est composé de fonctionnaires et de contractuels non-titulaires (près de 8 000), dont les contrats ont une durée qui varie, en règle générale, entre six mois et trois ans (doctorants, post-doctorants, CDD...).

En 2014, le montant du budget annuel du CNRS était de l'ordre de 3,29 milliards d'euros, dont 722 millions d'euros de ressources propres.

Les recherches financées par ces crédits concernent l'ensemble des domaines de la connaissance, des sciences humaines aux mathématiques, à la physique et à la chimie, en passant par la géologie, la biologie, l'écologie et l'environnement, etc.

Avec 18 délégations régionales, qui assurent notamment la gestion des laboratoires, le CNRS est présent sur tout le territoire national.

En Franche-Comté, six laboratoires sont associés au CNRS.



**Entrée du laboratoire Chrono-environnement, Campus de La Bouloie, Besançon. © Hervé Richard.**

## 2 - Comment le laboratoire Chrono-environnement de Besançon est-il organisé, et quelles sont ses activités principales ?

En 2008, le laboratoire Chrono-environnement de Besançon est né du regroupement de petites unités de recherche dont le centre d'intérêt tournait autour de l'environnement, et en particulier des rapports que les sociétés humaines successives entretiennent avec l'environnement végétal, animal et climatique.

Le laboratoire Chrono-environnement articule ses activités autour des trois missions traditionnelles des unités de recherche : recherche académique, formation à et par la recherche dans l'enseignement supérieur, interactions avec l'environnement socio-économique. Le projet scientifique de Chrono-environnement s'inscrit dans le cadre général de la dynamique des relations entre l'homme, les différents environnements dans lesquels il évolue, et les territoires qu'il occupe.

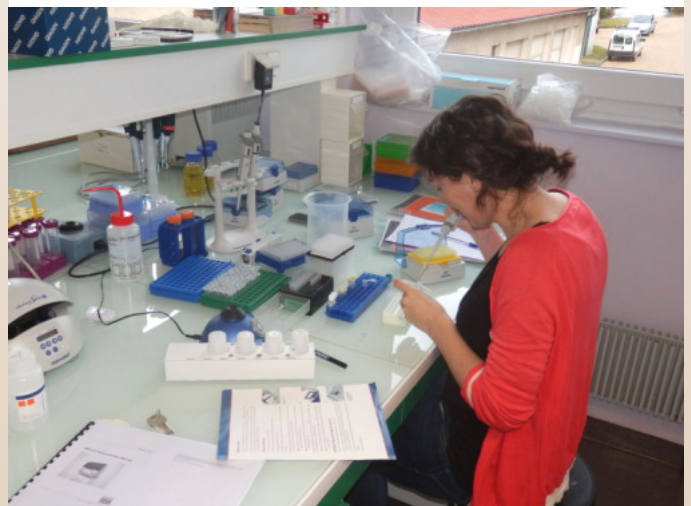
Une spécificité des recherches menées au laboratoire est que, pour prévenir les risques sanitaires, physiques ou chimiques pour l'homme et les écosystèmes, elles ont pour base la compréhension du fonctionnement et de la dynamique des systèmes géologiques, biologiques, et des interactions homme-environnement, à la fois dans le temps présent (dynamique actuelle), et dans le temps long (évolution à l'échelle des vingt derniers millénaires).

Ainsi, les recherches s'articulent le long d'un continuum thématique « Terre-Climats-Sociétés-Environnement-Santé », unique au niveau national.

Le laboratoire compte aujourd'hui environ 300 personnes, dont une soixantaine de doctorants.

Les disciplines des chercheurs couvrent un grand nombre de domaines, des géosciences à la santé, en passant par l'archéologie et l'histoire, l'écophysiologie, l'écologie, l'écotoxicologie, la chimie, la physique des rayonnements, mais aussi, et de plus en plus, les mathématiques et la modélisation.

L'enjeu majeur pour le laboratoire est de favoriser les interconnexions entre ces disciplines pour apporter une valeur ajoutée, en croisant par exemple la nature des risques et aléas pris en compte (en étudiant notamment l'effet croisé du changement climatique, de la diffusion des toxiques dans l'environnement, et du risque lié à la présence de pathogènes), et en multipliant le couplage « observation/expérimentation/modélisation ».



*Laboratoire d'écotoxicologie. © Hervé Richard.*

## Cinq questions posées à Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté.

L'installation dans des locaux rénovés de l'université sur le campus de La Bouloie, et la mise en place de plateaux techniques communs performants dédiés aux expérimentations, ont favorisé la mixité, et ont permis d'accompagner techniquement cette interdisciplinarité.

Les interactions entre l'homme et son environnement, de la préhistoire à nos jours, sont donc l'une de nos préoccupations principales.

Nous étudions par exemple comment la transformation progressive des plateaux jurassiens par les populations implantées depuis plusieurs millénaires, a abouti aux paysages d'aujourd'hui...



**Laboratoire de chimie.** © Hervé Richard.

Nous nous intéressons, bien sûr, à la période actuelle, et en particulier aux conséquences de l'anthropisation, c'est-à-dire des modifications de notre environnement par les activités humaines.

Des chercheurs du laboratoire étudient par exemple la prolifération des campagnols, et son impact sur l'agriculture de la région.



**Campagnol terrestre.**

© Yannick Chaval, INRA. Prêt : Hervé Richard.

D'autres s'efforcent de mieux connaître l'influence de la pollution des anciens sites industriels sur la santé des espèces animales et végétales. L'un de nos collègues travaille en particulier à la restauration des emprises désaffectées des sites industriels, notamment du groupe Solvay. Quelles solutions peuvent être envisagées : des plantations spécifiques sur les sites abandonnés, des drainages, etc.





**Ancien site industriel de Métaeurop (62).**  
© Clémentine Fritsch. Prêt : Hervé Richard.

Nos recherches concernent également la santé humaine. Nos habitations, mais aussi l'ensemble des locaux des hôpitaux par exemple, sont des milieux, des environnements de prédilection étudiés par les médecins et biologistes du laboratoire.

Une mauvaise ventilation, une humidité non contrôlée, peuvent favoriser la prolifération de poussières, de moisissures, ou de germes pathogènes.

Nos collègues s'intéressent également à notre environnement extérieur : quelles conséquences sur la santé peuvent avoir la dégradation de la qualité de l'air, le bruit, la multiplication des allergènes présents dans nos lieux de vie, et pour certains nos lieux de travail (usines, fermes...) ?...

Tous les cinq ans, les laboratoires du CNRS font l'objet d'une évaluation, qui porte sur l'ensemble des activités durant la période écoulée : les documents produits, les contrats honorés, les thèses soutenues et le devenir des doctorants, etc.

À l'issue de cette évaluation, nous pouvons être amenés à modifier « l'architecture » du laboratoire, et les orientations de nos programmes de recherche.

Des thématiques peuvent être abandonnées. C'est le cas lorsque certains sujets ont été complètement explorés, et que les chercheurs concernés ont achevé leurs investigations, mais aussi quand des collègues ont été amenés à travailler ailleurs.

A contrario, nous soutenons fortement les nouvelles orientations qui peuvent émerger, à l'occasion par exemple des travaux de jeunes doctorants, qui permettent souvent d'ouvrir de nouvelles voies de recherche, d'établir de nouveaux contacts avec d'autres équipes, notamment étrangères.



**Carothèque.** © Hervé Richard.

## Cinq questions posées à Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté.

### 3 - Quels sont les moyens financiers dont vous disposez ?

Le budget annuel du laboratoire Chrono-environnement est d'environ 3,7 millions d'euros par an. Les dotations attribuées par le CNRS, l'université de Franche-Comté et d'autres partenaires, sont calculées en fonction du nombre de chercheurs et d'enseignants-chercheurs employés, et des résultats de l'évaluation de nos recherches ; elles représentent seulement 7 à 8 % de ces crédits.

La Région de Franche-Comté fait un effort considérable pour appuyer nos recherches, puisqu'environ 20 % de nos crédits proviennent du conseil régional, ce pourcentage incluant le financement d'allocations de recherche pour des thèses. D'autres financements de thèses proviennent de l'université, ou sont inclus dans des programmes de recherche.



*Lac de Chalain : forage profond à partir d'une barge, octobre 2015. © Hervé Richard.*

Nos travaux sont donc financés pour une grande part par des contrats sélectionnés par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) ou d'autres organismes, ou passés avec des services de l'État, des collectivités territoriales, des entreprises, d'autres laboratoires français et étrangers, publics ou privés, des associations... Pour répondre à des commandes importantes, nous sommes parfois obligés d'embaucher des contractuels.

Dans le cadre de certains contrats, nous sollicitons une allocation de recherche, qui permet de financer une thèse de doctorat, ou un certain nombre de mois de salaire destinés à un post-doctorant, le plus souvent étranger, qui sera accueilli dans le laboratoire.

Nous avons demandé dernièrement des crédits afin d'étudier les incidences des crues et des pollutions sur l'évolution biologique des bras morts de la Saône, ou sur la qualité des eaux des lacs et rivières du massif jurassien. Nous avons sollicité également le financement de recherches dédiées à la santé des populations, dont les logements sont exposés au bruit et aux pollutions atmosphériques.

De nouvelles demandes ont été proposées à l'évaluation de l'Agence Nationale de la Recherche ; les réponses devraient être connues au début de cette année.

#### 4 - Avec quels partenaires travaillez-vous en France et à l'étranger ?

Nous n'avons pas attendu la fusion des régions Franche-Comté et Bourgogne, pour nous rapprocher de nos collègues bourguignons. Nous travaillons également beaucoup avec nos confrères suisses, et ceux de l'université de Savoie.

Dans le cadre de la zone d'atelier « arc jurassien » (ZAAJ) labellisée par le CNRS, qui encourage tous les types de recherche sur le Jura [voir l'adresse du site web en fin d'article], nous avons créé une fédération de masters. Ainsi, chaque année, des étudiants et des enseignants venus de Neuchâtel, Lausanne, Zürich, Genève, Besançon, Dijon, Thonon et Chambéry, se retrouvent pendant une semaine pour travailler ensemble. Ils sont géologues, écologistes, biologistes, sociologues, géographes, archéologues, médecins... Nous formons des groupes pluridisciplinaires, chargés chacun d'étudier un sujet spécifique, par exemple la prolifération des campagnols sur telle commune jurassienne, l'évolution des sols dans les forêts de telle autre, la gestion des flux journaliers d'actifs transfrontaliers, etc.

**Pollen de céréale (taille réelle environ 50 µm). Ce pollen provient d'un niveau de sédiment du lac de Saint-Point daté d'environ 5300 ans avant J.-C. C'est l'une des plus anciennes traces d'agriculture sur le massif jurassien.**

© Laurie Murgia.  
Prêt : Hervé Richard



**Lacs du Grand Maclu et d'Ilay vus du belvédère des quatre lacs. © Hervé Richard.**

Les étudiants vont faire ces recherches sur le terrain et, à la fin de la semaine, ils présentent aux enseignants et aux autres groupes les résultats de leurs recherches. Les enseignants apprécient leur approche opérationnelle et transversale, car ils sont souvent peu habitués à ces manières de travailler, qui consistent à mélanger les disciplines pour traiter un sujet commun.

Une deuxième rencontre est organisée chaque année pendant une semaine. Des « grands témoins » sont invités à cette occasion. Ces chercheurs réputés, venus d'autres universités, animent des conférences sur des thèmes particuliers. Chaque étudiant présente ensuite le sujet de son mémoire de master. Cet exposé fait l'objet d'un débat animé par ces grands témoins.

## Cinq questions posées à Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté.



*Tourbière de Frasne. © Émilie Gauthier.  
Prêt: Hervé Richard.*

Cette année, nous étions à peu près soixante réunis à Bonnevaux dans le Doubs (dix enseignants et une cinquantaine d'étudiants). Pour des raisons matérielles, nous nous retrouvons généralement dans la partie haute du massif jurassien, où plusieurs infrastructures touristiques (colonies de vacances...), sont en mesure d'accueillir des groupes importants comme le nôtre.

Nous entretenons également des partenariats réguliers avec nos confrères qui travaillent à l'étranger. Ainsi, de nombreux membres du laboratoire sont amenés à travailler à l'étranger. Des chercheurs du laboratoire étudient par exemple la prolifération de l'échinococcose alvéolaire, très présente en Franche-Comté. L'homme peut être contaminé en ingérant des végétaux, et des baies sauvages, souillés par ce parasite, véhiculé notamment par les excréments de renards ou de chiens. Les larves colonisent ensuite le foie de la personne infectée.

Or, la Chine est également un foyer important de cette maladie très grave, qui intéresse à la fois des médecins et des naturalistes, en raison du mode de transmission que je viens d'évoquer. Les chercheurs du laboratoire travaillent par conséquent régulièrement avec leurs homologues chinois.

En outre, nous avons mis en place un master commun avec la République Démocratique du Congo (RDC), afin de mieux étudier les facteurs environnementaux, agents de la diffusion de maladies comme le choléra.

De nombreux autres domaines de recherche ont des terrains étrangers, à l'exemple des géologues qui étudient les gîtes minéraux ou les séismes, et qui entretiennent des relations privilégiées avec leurs confrères canadiens ou japonais.



*Séance de travail sur le terrain (vallée de l'Ain) avec  
des étudiants. © Hervé Richard.*

## 5 - Pouvez-vous nous parler des recherches que vous avez entreprises au Groenland ? Auront-elles des prolongements dans d'autres régions arctiques ?

Nous travaillons depuis de nombreuses années sur l'évolution de l'impact de l'homme sur son environnement. Dans ce sens, le Jura a été, et il est toujours, un terrain d'études privilégié, en raison du nombre très important de tourbières et de lacs, qui sont pour nous de véritables archives naturelles.



*Le patrimoine mondial de l'UNESCO : le lac de Chalain. Les sites palafittiques (archéologie expérimentale). © Michel Loup.*

Parmi ces sites, il faut bien sûr évoquer les lacs de Chalain et Clairvaux, où les fouilles des habitats lacustres néolithiques effectuées depuis les années 1970, ont démontré leur richesse exceptionnelle, et ont abouti à un nombre considérable de résultats largement publiés. Avec d'autres sites de ce type en Europe, ces deux lacs ont été classés au patrimoine de l'UNESCO.

L'étude détaillée des sédiments déposés dans ces milieux lacustres et palustres, nous permet de reconstituer l'histoire du climat et de la végétation de notre région, et en particulier l'histoire de l'impact des agriculteurs et des éleveurs, qui ont peuplé les plateaux jurassiens depuis environ sept millénaires.

Cette histoire est faite d'une succession d'emprises et de déprises agricoles, voire d'abandon total de certaines zones pendant plusieurs siècles.

Pour bien comprendre ces phénomènes, nous voulions trouver des régions où ces cycles d'emprises, de déprises et d'abandons, existaient et avaient été bien datés, notamment par les textes anciens. Dans une même zone, nous pourrions alors comparer ces archives historiques avec nos archives sédimentaires, que nous serions allés chercher dans les lacs et tourbières de cette zone d'études.

La côte sud-ouest du Groenland répond à cette double exigence : des textes relatent l'arrivée et la vie sur place des agriculteurs vikings qui ont habité cette terre au Moyen Âge, et de nombreux sites permettent de recueillir des sédiments contemporains de cette occupation viking.



*Petit lac et champs au bord du fjord Tunulliarfik (Groenland). © Hervé Richard.*

## Cinq questions posées à Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté.



**Lac Qallimiut (Groenland) : forage court.**  
© Hervé Richard.

Les Vikings se sont installés au fond des fjords du Groenland en 986 après Jésus-Christ, sous l'impulsion d'abord d'Erick le Rouge. Ils implanteront de très nombreuses fermes, quelques villages, et aménageront des terrains sur lesquels ils faisaient pousser du fourrage pour nourrir le bétail pendant les longs hivers groenlandais.

Ils conservaient des contacts avec l'Europe ; en 1 000 après Jésus-Christ, l'un des fils d'Erick le rouge, Leif Erikson, poussera ses bateaux vers l'Ouest, vers l'Amérique, qu'il abordera donc environ cinq siècles avant Christophe Colomb. Il s'installera quelques temps avec une petite communauté sur les côtes du Labrador. Les contacts des vikings groenlandais avec ces côtes américaines se poursuivront probablement, ne serait-ce que pour ramener du bois, absent du Groenland.

Les Vikings n'étaient pas seulement des guerriers qui vivaient du pillage, comme on l'entend souvent ; ils étaient avant tout des agriculteurs. Malgré les rigueurs du climat groenlandais, ils ont réussi à mettre en place une économie agricole viable pendant quelques siècles. Ils ont assez vite renoncé à l'élevage des porcs, qui supportent mal les périodes froides trop longues, et à celui des bovins, car des quantités trop importantes de fourrage étaient nécessaires pour les nourrir en hiver. Leurs troupeaux étaient composés essentiellement de moutons et de quelques chèvres.

Vers 1250, de 4 à 5 000 personnes environ vivaient au sud du Groenland. Environ 250 fermes y étaient en activité. À partir du milieu du XIII<sup>ème</sup> siècle, le climat a commencé à se dégrader, marquant ainsi les prémices du « Petit Âge Glaciaire », qui a débuté vers 1250 -1350 après Jésus-Christ, et s'est achevé vers 1850, il y a un peu plus d'un siècle et demi seulement. Ce refroidissement provoqua une baisse du volume des récoltes, notamment de fourrage, et une mortalité parfois importante des ovins. La datation et l'analyse des composés chimiques des squelettes humains découverts sur place, mettent en évidence une évolution de l'alimentation des populations qui, à partir de 1 250, se mettent à consommer moins de viande, et plus de produits de la mer (poissons, phoques...), essayant ainsi de s'adapter aux changements de leur environnement.

Ces détériorations climatiques ont provoqué un déclin de l'économie agricole mise en place par les Vikings, mais ont aussi rendu plus difficiles les échanges commerciaux avec le continent européen. La communauté installée au Groenland troquait par exemple les objets qu'elle fabriquait avec l'ivoire des défenses des morses, contre du bois notamment.

Les textes nous rapportent qu'un dernier mariage est célébré en l'église de Hvalsey le 16 septembre 1408 ; ensuite, le contact est perdu avec les communautés scandinaves du Groenland. La vie sur place devenait de plus en plus difficile, et il semble qu'à partir de 1450, plus aucun Viking ne vivait au Groenland. Pendant quatre siècles et demi, les terres agricoles, les fermes et les villages, ont été totalement abandonnés. Il faudra attendre le début du XX<sup>ème</sup> siècle pour voir de nouveaux fermiers danois s'installer dans le sud du Groenland. Ils vont rapidement multiplier les fermes, dont l'activité principale est aujourd'hui l'élevage des moutons, abrités en hiver, depuis les années 1980, dans des stabulations.



**Ruines de l'église de Hvalsey (fjord Qaqortukuloq, Groenland).** © Hervé Richard.

Nos résultats ont montré que le peuplement viking avait finalement peu affecté l'environnement ; il en est de même pour l'agriculture développée des années 1920 à 1980, où l'impact est alors tout à fait comparable à celui de la période viking.



**Champs cultivés destinés au fourrage (Vatnahverfi, Groenland.)** © Hervé Richard.

Afin de palier les variations annuelles du climat, qui parfois décimaient les troupeaux, les autorités groenlandaises ont décidé de mettre en place une agriculture moderne, en faisant appel à la stabulation hivernale.

Les besoins en fourrage se sont alors considérablement accrus. De nouvelles parcelles ont été créées etensemencées ; la croissance du fourrage a été largement accélérée par des quantités très importantes d'engrais chimiques qui, par ruissellement, sont venus affecter gravement tous les milieux (sols, lacs, etc.).

## Cinq questions posées à Hervé Richard, paléoenvironnementaliste, directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté.



*La ville de Qaortoq (Groenland). © Hervé Richard.*

Si toutes ces données nous permettent de mieux comprendre les interactions complexes entre climat et impact du pastoralisme au Moyen Âge, elles nous éclairent aussi sur la durabilité des pratiques agricoles modernes, et leurs conséquences pour l'avenir de l'agriculture au Groenland. Ce « retour vers le passé » nous permet alors de prévenir une évolution qui, si elle n'est pas intelligemment anticipée, pourrait être catastrophique pour l'environnement et les populations locales.

Un programme de recherche comparable est envisagé en Islande, et dans les régions situées au nord du Canada, afin de préciser l'impact des changements climatiques, et notamment du réchauffement actuel, sur les populations qui vivent dans les régions arctiques. S'adaptent-elles sur place ? Sont-elles contraintes de se déplacer ?

Pour elles, les bouleversements récents du climat peuvent présenter aussi quelques avantages, comme l'exploitation de minerais, dont les gisements étaient autrefois sous la glace, et donc inaccessibles.

En guise de conclusion, cet exemple du Groenland montre d'abord que pour comprendre les interactions complexes qui lient les sociétés humaines à leur environnement, une approche pluridisciplinaire est indispensable. Cette pluridisciplinarité est la caractéristique première du laboratoire Chrono-environnement, dont l'objectif s'inscrit dans la caractérisation des états, des fonctionnements et des dynamiques de l'environnement, depuis des états anciens jusqu'aux processus actuels, dans le but de produire des modèles nécessaires pour prévoir l'état futur de nos lieux de vie.

**Propos recueillis par Jean-Luc GOMEZ, le  
vendredi 30 octobre 2015.**

CNRS : <http://www.cnrs.fr/>

Laboratoire Chrono-environnement (UMR 6249) : [http://  
chrono-environnement.univ-fcomte.fr/](http://chrono-environnement.univ-fcomte.fr/)

Zone Atelier Arc Jurassien (ZAAJ) : [http://zaaj.univ-  
fcomte.fr/](http://zaaj.univ-fcomte.fr/)



**DIRECTEUR DE PUBLICATION :**

Jacky Roche.

**COMITÉ DE RÉDACTION :**

Pascal Berthaud, Jean-Luc Gomez, Baptiste Meyronneinc, Hervé Richard.

**CRÉDITS PHOTOS :**

AWI (Alfred Wegener Institute), Vincent Bichet, Michel Campy, Yannick Chaval (INRA), Clémentine Fritsch, Émilie Gauthier, Michel Loup, Michel Magny, Météo-France, Laurie Murgia, Hervé Richard, Pierre-Yves Videlier, John Adams Whipple.

**COMITÉ DE RELECTURE :**

Pascal Charlot.

**MISE EN PAGE :**

Jean-Luc Gomez.