

Faïlles en géologie

La sixième édition de la *Carte géologique de la France au millionième* présente sous forme graphique une synthèse de données géologiques, géochimiques et géophysiques dont Maurice Mattauer a fait une analyse critique, le plus souvent pertinente, en soulignant les qualités et les faiblesses inhérentes à ce type d'ouvrage (voir *Pour la Science*, octobre 1996). Mais au cours de cet exercice, l'auteur accuse les auteurs de carte de s'être «laissés influencer par un concept déjà dépassé» et d'avoir «imaginé et dessiné des failles qui n'existent pas». L'accusation met en cause non seulement les auteurs de la carte, mais aussi leur employeur éditeur de la carte, et finalement le «Comité de la Carte», groupe d'experts qui valide le projet avant publication. Je souhaite corriger cette mise en cause de la compétence des professionnels de la cartographie géologique qui ont, avec tous les contrôles nécessaires, réalisé un état de l'art en matière de cartographie géologique de la France.

Ces failles dites de détachement existent-elles ? Il n'y a aucun doute. Les plus importantes d'entre elles ont été reconnues simultanément et indépendamment par des analystes différents. Elles se traduisent sur le terrain par l'existence de zones de mylonites (roches extrêmement déformées) dont l'analyse cinématique indique leur nature de failles normales. Elles juxtaposent des sédiments déposés pendant le fonctionnement de la faille et des roches métamorphiques remontées le long de la faille, de plus de 20 kilomètres de profondeur. La géochronologie isotopique montre que la remontée des roches profondes est contemporaine du dépôt des sédiments. D'autres arguments venant de la pétrologie métamorphique, de la sédimentologie ou du paléomagnétisme ne font que renforcer les précédents. Tout ceci est publié dans plus d'une vingtaine d'articles dans des revues nationales et internationales, a été constaté sur le terrain par plus d'une centaine de géologues français et étrangers, et discuté dans plusieurs réunions scientifiques en France et à l'étranger.

Si l'existence même de ces failles n'est plus contestable, leur interprétation reste encore, il est vrai, matière à discussion. L'extension des chaînes de montagnes est sans doute la découverte la plus importante faite en géodynamique dans les années 1980. Ses conséquences sont énormes quant aux changements qu'elle implique depuis l'analyse de terrain jusqu'à la modélisation mécanique de la lithosphère. Dans presque toutes les chaînes

de montagnes du monde, les géologues ont identifié ces failles de détachement, et la chaîne hercynienne française n'y a pas échappé. Dans la mesure où cette découverte invoque des processus nouveaux remettant évidemment en cause les interprétations et modèles antérieurs, certains chercheurs la contestent, comme par exemple lorsque que M. Mattauer écrit : «On a multiplié les failles normales dites de détachement dans la croûte ductile en adoptant l'hypothèse fautive qu'il existe de nombreuses failles normales dues à l'écoulement sous leur propre poids des reliefs des chaînes et notamment de la Chaîne hercynienne». Si les auteurs de la carte ont reporté le fait (les failles), ils n'ont en aucune façon invoqué de théorie (l'extension/écoulement des chaînes de montagnes). La relation de causalité que dénonce M. Mattauer n'est certainement pas reprochable aux auteurs de la carte.

Jean-Pierre BRUN, Rennes

Réponse de Maurice Mattauer

La réaction de J.-P. Brun nous permet d'engager une discussion générale sur le rôle des géologues dans les Sciences de la Terre. Depuis une dizaine d'années, la géologie n'a pas échappé au courant de pensée qui privilégie systématiquement les modèles et la théorie, en s'écartant de plus en plus de la réalité. En schématisant à peine, les géologues sont aujourd'hui tiraillés entre deux tendances : ceux, qui s'étant adaptés à la «science moderne», considèrent que la théorie crée le fait ; ceux qui considèrent que c'est avec des faits que l'on élabore des théories.

Les faits, dans notre débat, sont, pour l'essentiel, le résultat d'observations géologiques faites sur le «terrain». La vérité se trouve donc sur le terrain. Pour la rétablir, allons dans la région de Saint-Étienne et servons-nous du tronçon de carte publié dans mon analyse. C'est là que se trouverait, pour les partisans du modèle extensif défendu par J.-P. Brun, l'exemple type d'une «faille de détachement» au contact entre le Carbonifère et les micaschistes. Cette faille a été clairement figurée sur la carte de France, avec son symbolisme de faille de détachement, sur 50 kilomètres de long.

Cette faille normale, ou de détachement, n'existe pas : on observe en réalité une faille de décrochement verticale, à rejet dextre, le long de laquelle s'est produit un grand coulissage (prouvé par des stries subhorizontales) qui a déplacé le compartiment Sud vers le Sud-Ouest. Ce décrochement traverse le quartier Sud de la ville de Saint-Étienne, passe sous le bâtiment de Géomécanique de l'Institut universitaire de

technologie de Saint-Étienne, et se prolonge dans le talus d'une route, à 500 mètres au Nord du pont de Saint Romain en Gier.

Les deux types de failles dont nous discutons (faille de détachement et de décrochement) ont une signification mécanique différente. Ne pas les distinguer reviendrait, pour un zoologiste, à confondre un sanglier avec une girafe. Le «détachement» qui borderait le bassin de Saint-Étienne au Sud-Est est donc un pur produit de l'imagination, créé pour la beauté du modèle, et repris en toute bonne foi par les concepteurs de la carte, qui ont fait confiance au contenu d'une publication «internationale».

De la même façon, il n'existe pas de «détachement» majeur d'âge Stéphanien, lié à une extension Nord-Sud dans la zone axiale de la Montagne Noire. En ce qui concerne le Massif central, on sait depuis le siècle dernier que les bassins stéphanien sont liés à des décrochements et qu'ils ont souvent été fortement comprimés.

Enfin, sur un plan général, je m'étonne que J.-P. Brun célèbre encore une mode simpliste et naïve qui se lésarde. Ignore-t-il donc que la faille de «détachement» la plus connue au monde, qui passe au Nord de l'Everest, 8 846 mètres dans l'Himalaya, et qui se suit sur plus de 1 000 kilomètres, s'est formée pendant la compression due à l'avancée de l'Inde ? Elle n'a rien à voir avec l'extension comme cela a été montré, grâce à l'action combinée d'une modélisation physique d'A. Chemenda et d'études sur le terrain.

Avec certains problèmes géologiques complexes, il ne faut pas hésiter à innover en lançant de nouvelles idées, mais une tendance intellectualiste a pris le pouvoir en géologie. On a d'abord décidé de ne plus publier, dans les grandes revues, les trop longues observations de terrain qui sont à la base de toutes les interprétations et de privilégier systématiquement les considérations théoriques «modernes». La géologie de terrain est ainsi devenue une activité obsolète non rentable, car il faut souvent plusieurs années pour étudier et cartographier une région. Quelle différence avec la publication d'une simple idée seulement discutée sur le plan théorique ! Parfois, il est vrai, on remplace le terrain par des résultats fournis par la modélisation expérimentale analogique, mais sans se rendre compte que les expériences ne sont pas «physiquement» à l'échelle et qu'elles ne peuvent donc pas être utilisées sans un retour critique sur le terrain.

À la suite de cette évolution, nous sommes dans une situation catastrophique. Les étudiants sont formés avec le même esprit qui privilégie de façon tout à fait excessive les concepts, le théorique, le virtuel, en insinuant perfidement

que l'observation est dépassée ; et on commence au lycée. Si nous continuons, nos étudiants ne manqueront pas d'avoir des débouchés... virtuels, alors qu'apparaît un immense besoin de géologues capables de se «débrouiller» sur tous les terrains, d'observer, de sélectionner les observations significatives, de les dessiner et de les présenter au non-spécialiste en utilisant un langage compréhensible. Alors qu'une multitude de travaux sont entrepris en France et dans le monde, les grands organismes et les entreprises ont beaucoup de difficultés à trouver des géologues capables de se lancer dans des réalisations concrètes.

Rappelons, pour conclure, une pensée de Fontenelle, vieille de trois siècles : «Assurons-nous bien du fait avant que de nous inquiéter de la cause. Il est vrai que cette méthode est bien lente pour la plupart des gens, qui courent naturellement à la cause et passent par-dessus la vérité du fait ; mais enfin nous évitons le ridicule d'avoir trouvé la cause de ce qui n'est point.»

Modèles

L'objectif d'un modèle (voir *Les modèles en biologie et en médecine*, par Daniel Schwartz, *Pour La Science*, septembre 1996) est-il d'expliquer un phénomène ou simplement de le décrire ? La courbe de la distribution des poids de nouveau-nés est proche de la courbe de la loi «normale», que suit une variable régie par de petites causes indépendantes dont les effets s'additionnent. D. Schwartz conclut : «Ne peut-on supposer que ce poids se constitue... par addition de multiples effets indépendants ?», mais il ne met pas en garde contre le danger de ce retournement. De la même façon, constatant que la distribution de durées de vie s'ajuste à la courbe normale en fonction du logarithme de la différence entre la durée de vie et une valeur limite L , l'auteur écrit : «Les individus recevraient à la naissance un capital de L années, auquel les aléas de la vie opéreraient un retrait distribué de manière log-normale. [...] Le modèle fait penser que «ce qui compte» dans le vieillissement, c'est, non le nombre total d'années, mais la diminution du temps restant, et cela en pourcentage, puisqu'il s'agit de son logarithme. [...] Une année d'âge compterait beaucoup plus pour un sujet âgé que pour un sujet jeune (pour le vieillissement).» L'auteur ne précise pas quel était son objectif lorsqu'il a ajusté la répartition des durées de vie, mais la démarche de recherche aurait été tout autre pour étudier le phénomène de vieillissement.

La question est celle de la nature du modèle comme antécédent ou conséquent. L'auteur nous précise : «Le modèle nous a conduits bien loin. Nous n'ignorons pas son côté hypothétique, mais, du fait qu'il décrit bien les données, tout se passe comme s'il avait une certaine réalité». Ce raccourci méthodologique est bien hasardeux ! Le lecteur se trouve dans la position de celui qui disposerait d'un modèle théorique «en soi», mais dont le rôle explicatif n'est pas acquis.

Le modèle pose la question du mode de connaissance qui nous le livre. Sa formation requiert, à partir des données de l'expérience, un mécanisme d'abstraction. La saisie de principes ou de relations abstraites appelle soit une formalisation dont le critère de validité est une cohérence logique et mathématique, soit une ou des applications concrètes, en particulier chez le vivant. Dans les deux cas, il existe au départ un effort d'abstraction et une aspiration à l'universel tout en restant relatif aux données du problème. Cependant, il ne faudrait pas opposer les deux démarches. Il existe dans la communauté scientifique une hiérarchisation tacite des modèles, avec le modèle mathématique au sommet. Dans cette démarche de conjonction entre les mathématiques et la biologie, il faut rappeler les conditions de validité et le degré d'universalité du «modèle», ainsi que la distance établie entre le modèle et la réalité.

E. GRENIER, O. PERRU, C. ROUZAUD
DANIS-BONVALET, O. SCHEURER, Beauvais

Daniel Schwartz explique la progression vers la mort en considérant une fonction logarithme du nombre d'années qui sépare l'individu d'un âge limite. De ce point de vue, ce qui compte dans le vieillissement c'est la diminution du temps restant encore à vivre : une année d'âge compte plus pour un sujet d'âge mûr que pour un individu jeune. Ce raisonnement reste valable à l'approche de l'âge limite quel que soit celui-ci.

On peut aussi exprimer l'évolution du temps en fonction des âges de la vie en calculant la part que représente une année dans une vie, pour chaque âge : c'est l'inverse de l'âge. Pour un enfant d'un an, une année de vie représente 1, alors que pour un enfant de 10 ans elle compte pour 0,1. La représentation que nous avons d'une année décroît rapidement avec l'âge au début de la vie et atteint une valeur limite proche de zéro. La représentation que nous nous faisons d'une année change peu entre 40 et 70 ans par exemple.

Nous obtenons l'inverse de ce qui a été exprimé précédemment : une année d'âge compte bien moins pour un sujet d'âge mûr

que pour un individu jeune. Vers 18 ans, l'homme a vécu presque la moitié de sa vie psychologique, la durée de 0 à 18 ans étant égale à la durée de 18 à 70 ans (en vieillissement psychologique). Cela exprime peut-être le fait que notre enfance et notre adolescence sont remplies des rêves les plus intenses que nous ne revivrons jamais plus !

J.F. GUÉGAN et S. MORAND, Perpignan

Réponse de Daniel Schwartz

Je me contente en effet de poser la question de la distribution des poids des nouveau-nés : se constituerait-il par une simple addition d'effets, alors que la cholestérolémie se constituerait par addition d'effets proportionnels aux valeurs existantes ? Et si oui, pourquoi ? L'explication pour les salaires est bien démonstrative. J'ajoute que la distribution log-normale des salaires, si constamment vérifiée par Gibrat dans de nombreuses populations, me conduit à penser qu'on est fondé, dans beaucoup de problèmes, à utiliser le logarithme du salaire. C'est ce que je traduis par «ce qui compte, c'est le logarithme» et, pour passer à l'exemple de la mort, c'est ce que j'entends par «ce qui compte pourrait bien être le logarithme de $(L-D)$ », mais je mets cette phrase au conditionnel.

J.F. Guégan et S. Morand exposent une contradiction dont j'étais bien conscient. Quand je suggère qu'une année d'âge compterait plus pour un sujet âgé que pour un sujet jeune, je sais bien que pour la perception du temps qui s'écoule, c'est l'inverse qui a lieu. C'est pourquoi j'ai précisé «compterait plus pour le vieillissement». Cet antagonisme entre vieillissement physiologique et perception du temps qui passe est frappant.

Pour la cicatrisation des blessures, Lecomte de Nouy a évoqué un temps physiologique, qui serait le logarithme du temps. Cette formule se rapproche de celle de J.F. Guégan et S. Morand, puisque alors le temps écoulé compte plus pour une durée courte que pour une longue, mais elle en est différente.

J'insiste sur le fait que mon modèle est de toute manière simpliste et n'a pas plus d'importance qu'une image hypothétique destinée à susciter des discussions. Il semble que j'ai réussi.

Écrivez à *Pour la Science* vos réactions, vos commentaires et vos réflexions sur l'actualité scientifique et vos relations avec la science. L'adresse de *Pour la Science* sur Internet est : 101641.3525@compuserve.com. Indiquez *Tribune des lecteurs* dans la rubrique objet.