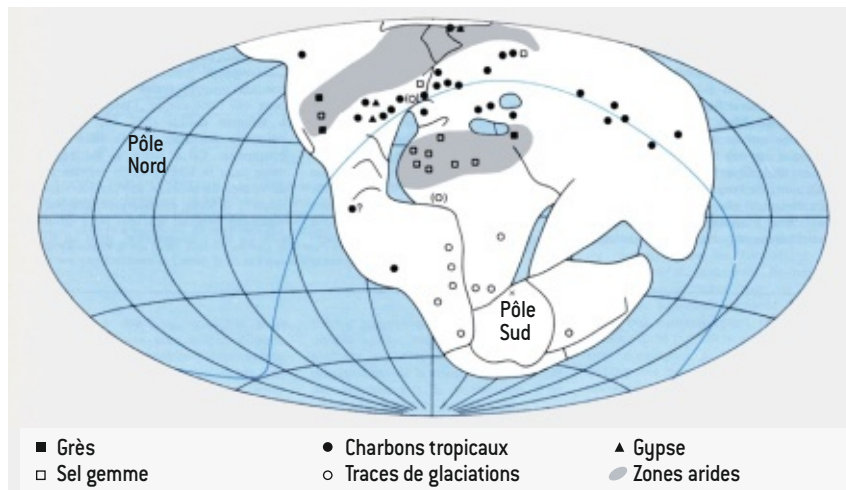


de convection à l'intérieur du manteau terrestre, liés aux différences de température entre zones profondes et zones plus superficielles, dont le géologue autrichien Otto Ampferer avait souligné l'importance potentielle pour la dérive des continents dès 1925 (idée évoquée également par le géologue britannique Arthur Holmes).

Quoi qu'il en soit, l'hypothèse de la dérive des continents demeura pendant une quarantaine d'années une idée marginale des sciences de la Terre, jamais complètement oubliée, et même régulièrement mentionnée dans les manuels, la plupart du temps pour expliquer aussitôt qu'elle se heurtait à des objections insurmontables. Jusque dans les années 1960 fleurirent les reconstitutions paléogéographiques établies dans un contexte fixiste, où des « ponts continentaux » imaginaires étaient lancés à travers les océans pour expliquer des ressemblances paléontologiques entre des continents immobiles – alors même que l'exploration des fonds océaniques montrait de plus en plus clairement l'improbabilité de telles connexions.

Rien n'est immuable

Comment interpréter la conversion rapide, dans les années 1970, de la communauté scientifique aux conceptions ébauchées par Wegener dès 1912 sur la mobilité des continents ? Une lecture à la lumière des idées de l'historien des sciences Thomas Kuhn sur les « révolutions scientifiques » est assez aisée. Le « paradigme » de la fixité des continents, qui avait dominé les sciences de la Terre depuis presque leurs origines, au début du XIX^e siècle, se révélait de plus en plus incapable d'expliquer un nombre croissant de faits révélés par la géologie, la géophysique et la paléontologie – qu'il s'agisse des déplacements apparents des pôles magnétiques, de la distribution géographique des organismes vivants et fossiles ou du mode de formation des chaînes de montagnes. Le temps était venu d'une révolution scientifique, d'un « changement de paradigme » remplaçant le dogme de la fixité des continents par l'hypothèse de leur mobilité qui, seule, pouvait donner un sens à ces observations. Certes, la tectonique des plaques,



2. CETTE CARTE DU CARBONIFÈRE due à Wegener et son beau-père Wladimir Köppen montre la distribution de traces de glaciations, de sables désertiques (grès) et de charbons tropicaux. Elle illustre la méthode de Wegener : sur une carte du monde actuel, la localisation de ces marqueurs climatiques n'a aucun sens, mais tout s'explique sur la carte reconstituée avant la dérive des continents.

telle qu'elle finit par s'imposer vers la fin des années 1960, n'est pas, à bien des égards, la dérive des continents envisagée par Wegener en 1912 – ne serait-ce que parce qu'elle doit beaucoup à la découverte postérieure de l'expansion des fonds océaniques et au développement des recherches sur le paléomagnétisme. Mais elle doit à Wegener le concept fondamental sur lequel elle repose : le déplacement des continents.

Pourquoi des idées qui nous semblent aujourd'hui aussi évidentes que celles de l'évolution des espèces et de la dérive des continents ne se sont-elles pas imposées plus facilement ? Peut-être faut-il y voir une résistance instinctive à tout ce qui tend à remplacer le stable et l'immuable par le changeant et le mobile. Tout comme il était difficile pour beaucoup (et hélas cela le demeure pour certains) d'admettre que les espèces vivantes ne sont pas fixes mais se modifient indéfiniment au cours du temps, il n'était pas facile d'accepter que les continents, la « terre ferme », ne sont pas ancrés dans les positions que nous leur connaissons aujourd'hui, mais se déplacent à la surface du globe dans un ballet incessant. Chacun à leur manière et dans des contextes différents, Darwin et Wegener nous ont aidés à reconnaître que rien n'est immuable dans la nature. ■

L'AUTEUR



Eric BUFFETAUT est paléontologue au Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure (CNRS, UMR 8538).

À ÉCOUTER

Jeudi 29 novembre, **Eric Buffetaut** reviendra sur l'histoire de la découverte de la dérive des continents dans la partie « Actualités » de l'émission **La marche des sciences**, sur **France Culture** de 14h à 15h. www.franceculture.com

BIBLIOGRAPHIE

Alfred Wegener, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, Borntraeger, 2005.

E. Buffetaut, *Continental drift under the Third Reich*, *Endeavour*, vol. 24, pp. 171-174, 2003.

M. Schwarzbach, *Wegener. Le père de la dérive des continents*, Belin, 1985.

LOGIQUE & CALCUL

Être normal ? Pas si facile !

En 1908, Émile Borel se demande s'il est possible que toutes les séquences de chiffres soient représentées de façon égale dans le développement décimal d'un nombre réel. Il prouve que c'est le cas le plus fréquent... mais ne propose pas d'exemples.

Jean-Paul DELAHAYE

En 1908, le mathématicien français Émile Borel (1871-1956) s'interroge sur les propriétés particulières que pourraient posséder les décimales des nombres usuels, comme $\sqrt{2}$, e ou π . Il introduit la notion de « nombre normal » dont nous verrons plus loin la définition. Aujourd'hui, tout un domaine de l'arithmétique s'occupe de ces questions qui ont pris de l'importance et qui progressent régulièrement, malgré l'extrême difficulté du sujet.

Une multitude d'articles et un livre récent de Yann Bugeaud exposent ces progrès. Un texte non publié d'Alan Turing (1912-1954) dont nous fêtons cette année le centième anniversaire de la naissance résolvait la question de l'existence de nombres « absolument normaux calculables ». Sa redécouverte montre une fois encore qu'informatique et mathématiques sont intimement liées, et illustre le génie de Turing.

Le nombre $13/50$ s'écrit $0,26$. C'est un nombre dont le développement décimal est fini. Un autre exemple est $721/250 = 2,884$. Tout quotient de deux entiers n/m avec m de la forme $2^i \times 5^j$ est de la même façon un nombre à l'écriture décimale finie. Inversement, tout nombre qui possède un développement décimal fini est de ce type. Il faut le savoir, mais, bien sûr, ce ne sont pas ces nombres décimaux qui nous inquiéteront !

Les nombres $8/15 = 0,53333333...$ (la suite de 3 est illimitée) et $149/7 =$

$21,285714285714...$ (la séquence 285714 se répète indéfiniment) sont dits ultimement périodiques : à partir d'un certain endroit, leur développement décimal se répète périodiquement, et cela jusqu'à l'infini. On montre que tout nombre rationnel, c'est-à-dire quotient de deux entiers, possède un développement décimal fini ou ultimement périodique, et qu'à l'inverse, aucun nombre irrationnel (ne pouvant s'écrire comme quotient de deux entiers ; c'est le cas de $\sqrt{2}$, e ou π) ne possède un développement décimal fini ou ultimement périodique.

Les décimales des nombres $\sqrt{2}$, e ou π semblent par ailleurs indiscernables de ce que donneraient des tirages au hasard de chiffres entre 0 et 9. Borel, pour exprimer cette idée, a introduit le concept de nombre simplement normal en base 10. Par définition, c'est un nombre tel que la proportion des 0 parmi les n premières décimales tend vers $1/10$ quand n tend vers l'infini, de même pour les 1, les 2, ..., les 9. Un nombre normal en base 10 est un nombre dont toute séquence fixée de k chiffres apparaît avec la fréquence limite $1/10^k$: ainsi, 1789 y apparaît avec une fréquence limite $1/10000$; 12345 y apparaît avec une fréquence limite $1/100000$. Ces définitions s'étendent aux bases de numération autres que 10.

Dans les décimales d'un nombre normal en base 10, on rencontre bien sûr toutes les séquences finies de chiffres, donc en particulier la séquence donnant votre numéro de sécurité sociale, ou celle, plus longue,

codant en 10 niveaux de gris votre portrait sous la forme d'une image carrée d'un million ($= 1000 \times 1000$) de pixels, ou encore l'histoire de votre vie sans utiliser la lettre e .

Est-il possible d'être absolument normal ?

Un nombre normal en toute base de numération b supérieure ou égale à 2 est dit absolument normal. Cette propriété est une propriété forte de bon mélange des chiffres. Pour un nombre réel x donné, elle signifie que, quelle que soit la base de numération b que vous choisirez pour l'écrire, en recherchant une séquence de k chiffres très loin dans ce développement, vous aurez autant de chances de la trouver que n'importe laquelle des séquences de même longueur : 341 sera aussi fréquente que 777 ou 987 dans le développement en base 10 d'un nombre absolument normal. En base 2, la séquence 01010101 sera aussi fréquente que 00001111.

Ce n'est pas tout de définir une notion, encore faut-il être certain que la définition désigne quelque chose : existe-il des nombres : {1} simplement normaux en base b , {2} normaux en base b , {3} absolument normaux ? La réponse est facile pour « simplement normal en base 10 », car le nombre $123456789/9999999999 = 0,0123457890123456789...$ convient, et il y a des nombres du même type dans toute base.