

Arachna

Christine Rollard et Vincent Tardieu

Un récit poétique, des photos et des dessins étonnants... Embarquez pour un tour de France inédit sur les traces des araignées. Et tombez sous le charme d'animaux captivants qui ne méritent pas leur mauvaise réputation. Un magnifique carnet naturaliste pour porter un autre regard sur des animaux fascinants.

Réf. 005556

Éditions Belin 2011

192 pages – 30,45 euros – ISBN 978-2-7011-5556-2

Le trésor des paradoxes

Philippe Boulanger et Alain Cohen



Réf. 004675

La définition du paradoxe ne doit jamais être paradoxale : en disant « Je mens », je dis la vérité, donc je ne mens pas... Cette constatation du « contraire vrai » a donné naissance à des théorèmes mathématiques indémontrables, une des grandes découvertes logiques du XX^e siècle. Le paradoxe est le ferment de vérités ; en prime, il est drôle, car nous aimons prendre en défaut des pseudocertitudes qui se révèlent absurdes.

Éditions Belin 2007

544 pages – 31,45 euros – ISBN 978-2-7011-4675-1

Pour commander ces ouvrages

renvoyez le bon de commande ci-dessous

ou connectez-vous sur www.pourlascience.fr/librairie

[sauf références signalées par un * sur www.editions-belin.fr]

50 expériences pour épater vos amis à table

Jack Guichard et Guy Simonin, Photos de Josselin Guichard avec la collaboration de Kamil Fadel

Vous allez surprendre vos amis avec ces expériences étonnantes : retournez votre verre de vin sans en perdre une goutte, transformez l'eau en vin, créez un nuage dans une bouteille, mettez une olive en lévitation ! Des expériences très faciles à réaliser et enrichies d'une explication simple et compréhensible des phénomènes scientifiques en jeu.

Éditions Le Pommier 2011

168 pages – 18,90 euros – ISBN 978-2-7465-0544-5



Réf. 090544

Mathématiques pour le plaisir

Jean-Paul Delahaye

Les mathématiques ne se réduisent pas – heureusement – à ce qu'on nous en apprend à l'école. Partout présentes, elles sont une source de joie et d'épanouissement pour celui qui sait y consacrer un peu d'attention et d'esprit ludique. Dans cet ouvrage, découvrez pourquoi les mathématiques sont faciles et comment s'y adonner est un plaisir.

Éditions Belin/Pour la Science 2010

208 pages – 25,40 euros – ISBN 978-2-8424-5104-2



Réf. 075104

LA SÉLECTION POUR LA SCIENCE C'EST AUSSI...

Sportifs high tech

Nunzio Lanotte et Sophie Lem

Éditions Belin / Pour

la Science 2012

160 pages – 23,00 euros

ISBN 978-2-7011-5966-9

Réf. 005966



Petits meurtres entre mathématiciens

Tefros Michaelides

Éditions Le Pommier 2012

288 pages – 17,00 euros

ISBN 978-2-7465-0641-1

Réf. 090641 *



La cuisine note à note

Hervé This

Éditions Belin 2012

208 pages – 19,90 euros

ISBN 978-2-7011-6419-9

Réf. 006419



La physique buissonnière

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

Éditions Belin/Pour la

Science 2010

160 pages – 22,35 euros

ISBN 978-2-8424-5105-9

Réf. 075105



BON DE COMMANDE

à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil • Tél. : 0 805 655 255 • e-mail : pourlasciencevpc@audin.fr

☐ Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de **Pour la Science**. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90€ France – 12€ étranger)	+	€
Total à régler	=	€

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____
(facultatif)

E-mail : _____
(@)

Je choisis mon mode de règlement : Pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscules).

☐ par chèque à l'ordre de **Pour la Science**

☐ par carte bancaire

Numéro _____

Date d'expiration _____

Cryptogramme _____

Signature obligatoire

Belin
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1777



En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

DPL422 Offre valable jusqu'au 31.01.2013, dans la limite des stocks disponibles.

HISTOIRE DES SCIENCES

Wegener, le Darwin de la géologie

Contrairement à la théorie de l'évolution, l'idée d'une dérive des continents, proposée par Alfred Wegener il y a 100 ans, a mis plus de 40 ans à être acceptée. Mais l'approche du jeune météorologue présente plusieurs points communs avec celle de Charles Darwin.

Eric BUFFETAUT

Le généticien Theodosius Dobzhansky remarquait en 1973 qu'« en biologie rien n'a de sens, sauf à la lumière de l'évolution ».

De même, on pourrait dire qu'« en géologie rien n'a de sens, sauf à la lumière de la dérive des continents ». D'aucuns objecteront qu'il vaudrait mieux préciser « à la lumière de la tectonique des plaques », mais à la source de la théorie générale de l'évolution de notre planète se trouvent bel et bien les conceptions sur les déplacements continentaux, qui furent exposées pour la première fois par écrit en 1912 par un jeune météorologue allemand nommé Alfred Wegener (1880-1930).

Cette année-là en effet, Wegener publie deux articles dans des revues allemandes, l'une de géologie, l'autre de géographie, où il expose les points fondamentaux de son hypothèse : les continents n'occupent pas des positions fixes à la surface du globe, mais se déplacent comme des radeaux à la dérive. L'idée nous est devenue familière, mais pas depuis si longtemps : au début des années 1970, elle n'avait pas encore vraiment droit de cité dans les universités françaises, à de rares exceptions près. En 1912, cette conception était révolutionnaire, car si l'on admettait des mouvements verticaux de l'écorce terrestre – il fallait bien expliquer le soulèvement des montagnes –, des mouvements horizontaux capables de promener les continents sur des milliers de kilomètres étaient inconcevables pour la grande majorité des géologues.

Wegener, lui, n'était pas géologue. Après des études axées sur la physique, il s'était

tourné vers la météorologie et la climatologie. Doté d'un tempérament d'explorateur, il fut rapidement attiré par les régions arctiques. Dès 1906, il prit part à une expédition danoise au Groenland et, en 1913, il parvint à traverser l'inlandsis groenlandais, la calotte glaciaire qui couvre 80 pour cent de l'île, d'Est en Ouest. Il trouva la mort lors de sa quatrième expédition, en 1930. Outre ces explorations aventureuses, ce qui frappe dans la carrière scientifique de Wegener, c'est la diversité des sujets auxquels il s'intéressa. Ainsi, en 1921, il publia un article sur les cratères lunaires : à partir d'études expérimentales (une reconstitution de cratères par impact de cailloux dans du ciment en poudre), il défendait l'idée suivant laquelle ils avaient été formés par des impacts météoritiques, et n'étaient donc pas d'origine volcanique. L'exploration de la Lune par des vols habités lui a donné raison.

Explorateur en quête d'indices

Comment l'idée de la dérive des continents vint-elle à Wegener ? Un des facteurs déclenchants semble avoir été une observation toute simple : les côtes Est et Ouest de l'Atlantique Sud s'emboîtent de façon surprenante si on fait disparaître cet océan, le Brésil venant s'insérer dans le golfe de Guinée. D'autres avant lui l'avaient noté, et avaient même parfois envisagé des mouvements des continents (voir la figure 1). À la différence de ses prédécesseurs, Wegener cherche à aller au-delà de cette simple constatation, car sa curiosité a aussi été stimulée

par la lecture d'articles sur les ressemblances paléontologiques entre l'Afrique et l'Amérique du Sud. Il commence à accumuler des données de tous ordres pouvant indiquer une ancienne continuité entre les continents situés de part et d'autre de l'Atlantique. Cette quête d'indices occupera le chercheur allemand jusqu'à la fin de sa vie.

Il est difficile de ne pas voir là un parallèle avec la démarche d'un autre grand nom de la science, Charles Darwin (qui lui aussi avait eu des précurseurs). Les similitudes entre Darwin et Wegener ne manquent d'ailleurs pas. Le naturaliste britannique Alfred Wallace parvint au concept de sélection naturelle indépendamment de Darwin, ce qui conduisit en 1858 à une mémorable publication commune. De même, en 1910, le géologue américain Frank Bursley Taylor supposa que l'Afrique et l'Amérique du Sud, autrefois jointes, s'étaient écartées l'une de l'autre, ce qui fait que l'on a parfois parlé de la théorie de Taylor-Wegener. Mais tout comme Wallace a été éclipsé par Darwin, qui avait davantage développé son idée, Taylor, qui s'intéressait surtout à la formation des jeunes chaînes de montagnes plissées, l'a été par Wegener.

De même que Darwin passa sa vie à rechercher tous les arguments possibles en faveur de sa théorie de l'évolution par sélection naturelle, comme en témoignent ses carnets, Wegener amassa les arguments pouvant soutenir l'idée des déplacements continentaux. Après la publication de son œuvre maîtresse *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (La genèse des continents et des océans), en 1915, il fit réaliser un exem-

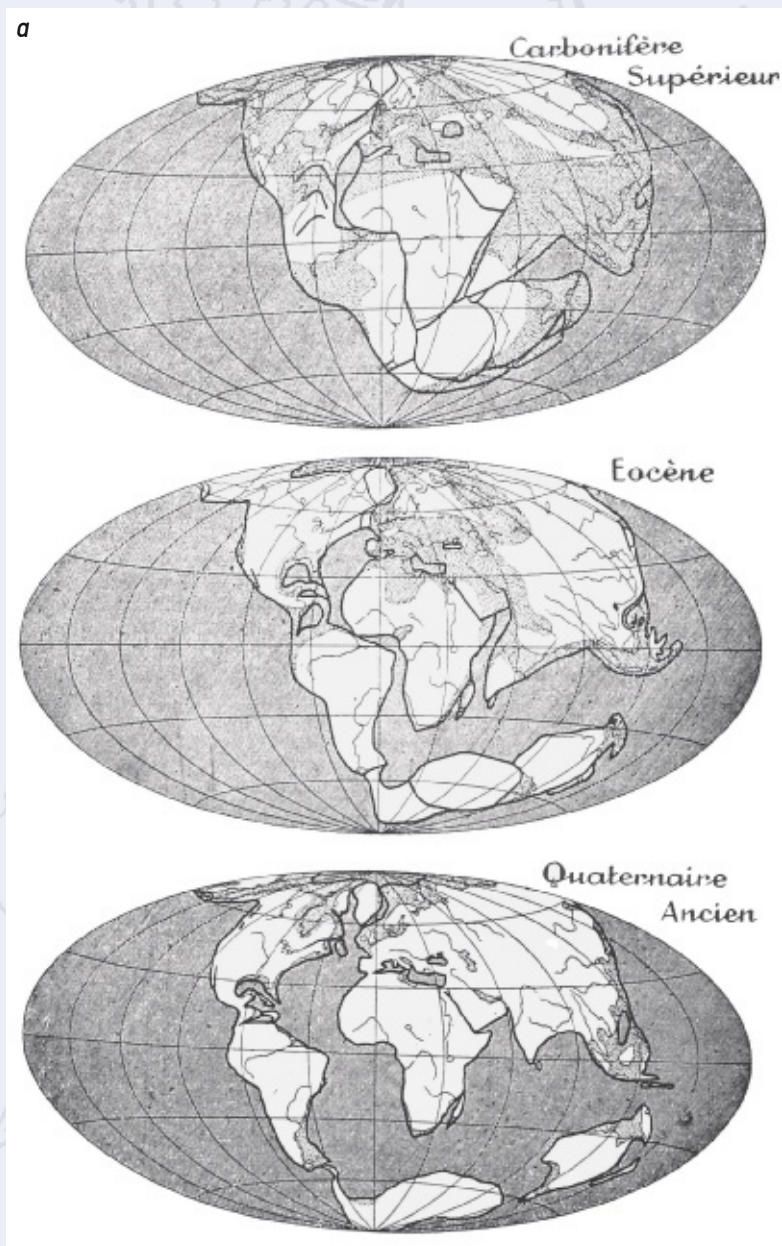
plaire spécial où des feuilles blanches étaient intercalées entre les pages imprimées, pour y porter des compléments manuscrits à mesure qu'il découvrait des arguments nouveaux. Du fait de cette quête continuelle, tout comme *L'Origine des espèces* de Darwin, le livre de Wegener connut plusieurs éditions, la dernière paraissant en 1929, un an avant la disparition tragique de son auteur.

Wegener mourut en 1930 lors d'une expédition au Groenland, alors qu'il se rendait à skis d'une station scientifique située au centre de la calotte glaciaire vers la côte, victime apparemment d'une crise cardiaque (son corps ne fut retrouvé que plusieurs mois plus tard). Cette fin prématurée expliquerait en partie pourquoi l'hypothèse de la dérive des continents mit si longtemps à s'imposer – contrairement à celle de l'évolution darwinienne, qui fut assez rapidement acceptée par la communauté scientifique, en dépit des vives controverses qu'elle suscita. Si Wegener avait pu continuer à affiner sa théorie et à accumuler des éléments en sa faveur, peut-être ses idées auraient-elles plus vite gagné du terrain.

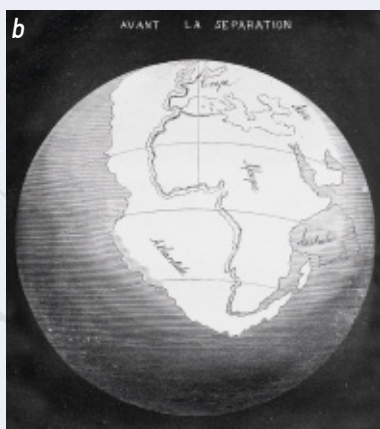
Quelle force meut les continents ?

Du vivant de leur auteur, elles suscitèrent des débats au sein de la communauté scientifique, notamment en Grande-Bretagne, en France et aux États-Unis (il est notable d'ailleurs que Wegener n'y participa pas en personne, tout comme Darwin se tint à l'écart des débats publics autour de sa théorie). Quelques géologues de renom, tels que Emile Argand en Suisse et Alexander Du Toit en Afrique du Sud, se firent les avocats des conceptions de Wegener, mais dans l'ensemble elles furent rejetées par la majorité des spécialistes – sans pour autant tomber dans l'oubli.

Pour des raisons qui restent à établir, en Allemagne, l'hypothèse de la dérive des continents reçut l'assentiment du régime nazi (ce qui n'était pas de nature à la rendre populaire ailleurs), mais il fallut attendre les années 1970 pour que l'ensemble des géologues et des géophysiciens admettent que les continents se déplacent bel et bien à la surface du globe. Cette conversion eut



Eric Buffetaut



Eric Buffetaut



Eric Buffetaut

1. SUR UNE SÉRIE DE CARTES (a), Wegener (c) illustre, dans la réédition de 1929 de son ouvrage, comment les continents avaient dérivé au fil du temps [ici, les cartes sont tirées de la traduction française]. S'il s'est trompé sur les dates et certains détails, son modèle reste très bien vu. En 1859, un certain Antonio Snider avait publié des cartes similaires (b), mais dans un contexte créationniste : il avait attribué le déplacement des continents au Déluge biblique.

lieu lorsque la tectonique des plaques proposa un modèle global expliquant aussi bien la dérive des continents que l'expansion des fonds océaniques et les mouvements apparents des pôles magnétiques (*voir l'encadré ci-dessous*).

Le point faible de la théorie de Wegener était en effet l'absence d'un mécanisme convaincant pour expliquer les déplacements des continents. Nombre d'arguments géologiques, paléontologiques et paléoclimatiques suggéraient que les masses continentales aujourd'hui disjointes avaient autrefois été réunies. Cela permettait par exemple de comprendre pourquoi certaines structures géologiques observées en Europe et en Amérique du Nord se retrouvaient en continuité lorsque l'on « refermait » l'océan Atlantique, ou pourquoi des animaux et des végétaux très similaires étaient aujourd'hui séparés par des espaces océaniques immenses (*voir la figure 2*). Mais quelles forces déplaçaient les continents à la surface du globe ? Wegener imaginait que, formés de roches majoritairement granitiques relativement légères, ils « flottaient » sur une couche basaltique plus dense. Toutefois, comment déviaient-ils sur

ce substrat rigide ? Les forces invoquées à l'origine par Wegener, liées à la rotation de la Terre, étaient tout à fait insuffisantes pour provoquer les déplacements supposés.

Il n'était pas géologue

Sans chercher à la pousser trop loin, reprenons la comparaison avec Darwin : tout comme il manquait à Wegener les mécanismes susceptibles de déplacer les continents, il manquait au naturaliste anglais une théorie crédible de l'hérédité [malgré les découvertes du moine botaniste morave Gregor Mendel, publiées pourtant dès les années 1860, mais auxquelles Darwin ne prêta pas attention]. Il fallut d'ailleurs attendre les premières décennies du XX^e siècle pour que soit mise au point, grâce au développement de la génétique, la théorie « synthétique » ou néodarwinienne de l'évolution – aujourd'hui fondamentalement acceptée.

Malgré ces difficultés, la théorie de l'évolution s'était imposée à l'immense majorité des biologistes en l'espace de quelques décennies. On ne peut pas en dire autant de l'hypothèse de la dérive des continents,

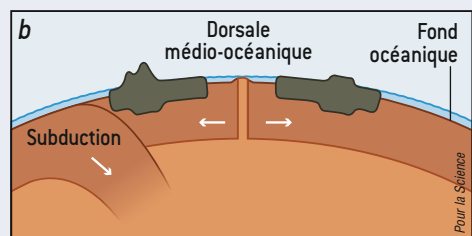
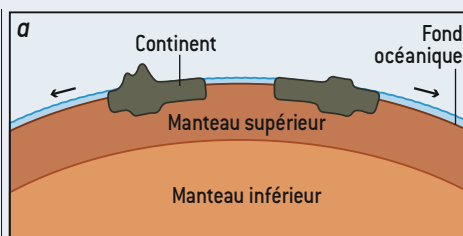
longtemps considérée comme une vue de l'esprit dénuée de fondements sérieux. Pourquoi ce rejet ? Une des raisons tient sans doute au fait que la première édition de son livre, où sa théorie est exposée plus en détail et plus argumentée que dans les articles de 1912, parut en 1915, en pleine Première Guerre mondiale, alors que son auteur servait dans l'armée de son pays, et ne toucha donc qu'un public restreint. Facteur sans doute plus décisif, le météorologue Wegener ne faisait pas partie du sérail des géologues, qui échafaudaient depuis des décennies des théories tentant d'expliquer l'histoire de la Terre dans un cadre fixiste, où les continents occupaient des positions immuables. Il était facile d'attribuer le caractère révolutionnaire des idées de Wegener à un certain amateurisme de leur auteur.

Il reste que l'absence d'un moteur crédible pour les déplacements continentaux était le grand point faible de la théorie de Wegener. Il en était probablement conscient, car au fil des éditions de son livre, il s'efforce de trouver une solution à ce problème crucial. Sans doute s'est-il approché d'une solution, notamment lorsqu'il évoque les courants

De la dérive des continents à la tectonique des plaques

Selon Wegener, les continents flottaient sur une couche basaltique et déviaient peu à peu en glissant sur cette couche sous l'effet des forces d'inertie liées à la rotation de la Terre (a). Dans la théorie de la tectonique des plaques élaborée dans les années 1970 (et toujours d'actualité aujourd'hui), les continents se déplacent aussi, mais c'est le seul point commun avec la dérive des continents proposée par Wegener.

Selon la théorie de la tectonique des plaques, des unités bien plus vastes de la croûte terrestre se déplacent – les « plaques » –, comprenant non seulement les continents, mais aussi les espaces océaniques. Des courants de convection dans le magma visqueux du manteau supérieur forment des sortes de tapis roulants sur lesquels glissent les plaques (b).



La dérive des continents selon Wegener (a) et la théorie de la tectonique des plaques (b). Les deux schémas représentent une coupe transversale de la séparation des continents américain et africano-européen.

Pour Wegener, la ligne le long de laquelle deux continents s'étaient séparés, que l'on nomme aujourd'hui la dorsale médio-océanique, ne jouait aucun rôle particulier. Dans la théorie de la tectonique des plaques, cette zone est au contraire très active : le long de la dorsale, du magma des profondeurs remonte, formant, à mesure que les continents s'éloignent, de nouveaux fonds océaniques en re-

froidissant. En éloignant deux plaques l'une de l'autre, ce phénomène les rapproche d'autres plaques voisines. L'une des deux plaques s'enfonce alors sous l'autre (subduction).

La théorie de la tectonique des plaques a vu le jour grâce à l'essor, après la guerre, de l'étude des fonds marins et de leurs fondations au moyen de forages profonds, ainsi que du développement des méthodes paléoma-

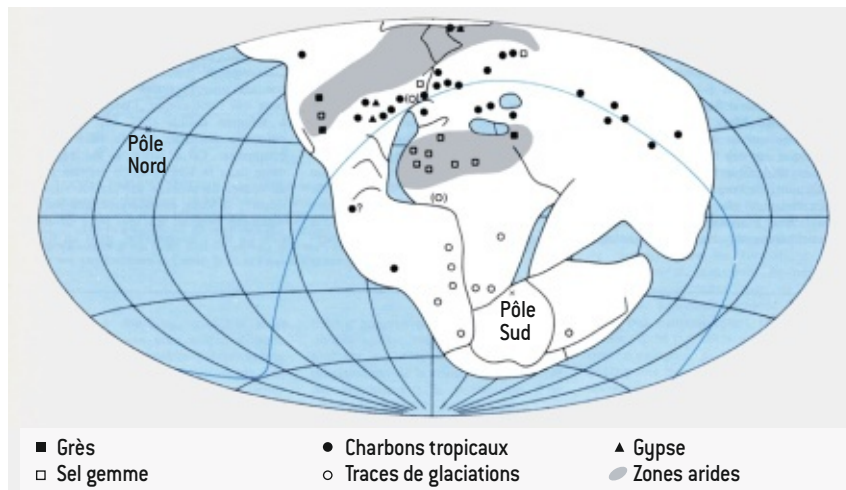
gnétiques. Ces méthodes visent à reconstituer localement l'histoire du champ magnétique de la Terre en étudiant la direction du pôle magnétique terrestre « enregistrée » dans des échantillons de lave refroidie. En effectuant ces mesures sur tous les continents et sur des roches d'âges différents, les scientifiques se sont aperçus que les directions enregistrées variaient et indiquaient un déplacement des continents.

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.