

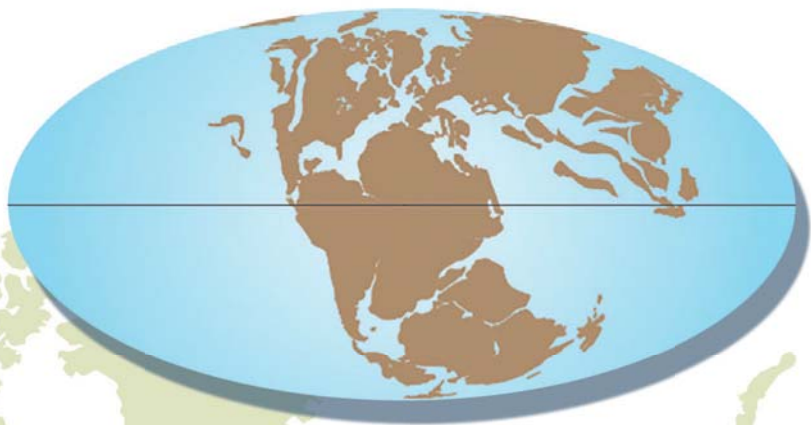
La valse des continents

Patrick De Wever & Francis Duranthon



La valse des continents

Patrick De Wever & Francis Duranthon



Dans la même collection :

L'eau de la vie, P. De Wever, 2015, ISBN : 978-2-7598-1189-2.

**COLLECTION « LA TERRE À PORTÉE DE MAIN »
DIRIGÉE PAR PATRICK DE WEVER**

Cette collection, dont les textes sont ponctués d'anecdotes, de petites questions et richement illustrés, est destinée à un très large public. Elle a pour vocation de présenter et de donner des notions très abordables en géologie sur les phénomènes et constituants de notre planète.

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-1182-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2015

Remerciements

Nous tenons à remercier pour leurs photos Jean-Marie Rouchy, Jacques-Marie Bardintzeff, Augustin Pujol, Éric Sanson et surtout Laurent Carpentier et Brigitte Gonzalez pour des prises de vue dédiées ; la CCGM pour nous autoriser à reproduire l'échelle des temps géologiques ; Annie Cornée pour son aide aussi discrète qu'efficace. Laurent Jolivet, Monica Rotaru nous ont fait bénéficier d'une relecture critique du manuscrit.

Nous devons à Alexandre Lethiers la qualité des dessins, toujours réalisés avec célérité et une inébranlable bonne volonté.



Sommaire

1	Qu'est-ce que la Terre ?	9
	Sa formation	9
	Sa structuration	11
	Ses premières années	11
	Un virage dans le fonctionnement de la planète	15
	Un intérieur très chaud	15
	Sa structure	16
2	Qu'est-ce qui fait bouger les plaques ?	19
	Les échanges thermiques : un moteur possible	19
	Le tapis roulant : une idée abandonnée ?	22
	Les différences de densité	25
	Arguments confortant cette hypothèse	26
	Comment connaître la température des différentes couches en profondeur ?	27
3	Quels sont les effets liés à cette valse ?	29
	L'ouverture océanique	29
	Les séismes	34
	Le volcanisme	40
	Le volcanisme en tирeté : preuve du déplacement de plaques	44
4	La vitesse de déplacement des plaques	47
	Comment connaît-on la vitesse ?	47
	Le GPS	47
	Les autres méthodes	48

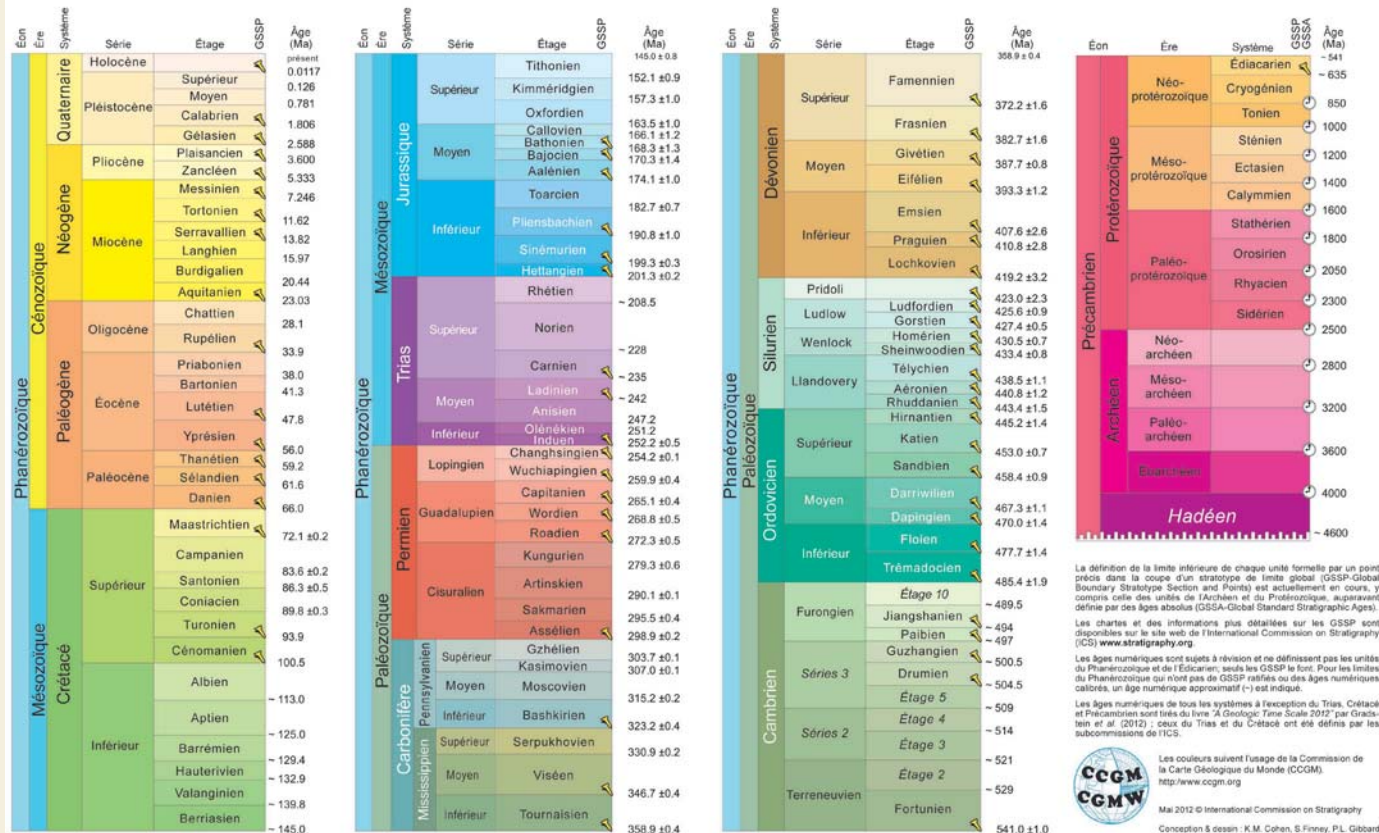
5	L'ouverture et la fermeture d'un océan	51
6	Les continents : des puzzles	57
7	Les continents de demain	61
8	La Valse des continents et la vie	63
	Vie à l'origine de la subduction ?	63
	Sans tectonique des plaques, pas de vie.....	64
	Supercontinent et crises	65
	Roches du manteau et végétation	69
9	Histoire de la découverte Comment est venue l'idée ?	71
	L'idée d'une séparation entre l'Amérique et l'Afrique	71
	Un moteur inexploité	73
	Wegener et la dérive des continents	73
	Arguments paléontologiques	74
	Les types de roches	75
	Chaînes de montagnes	76
	La dérive des continents : physiquement impossible, et pourtant...	77
	Glossaire	79
	Orientations bibliographiques	86
	Index	87
	Livres des mêmes auteurs	89



CHARTRE STRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy



La définition de la limite inférieure de chaque unité formelle par un point précis dans la coupe d'un stratotype de limite globale (GSSP-Global Boundary Stratotype Section and Point) est actuellement en cours, y compris celle des unités de l'Archeen et du Protérozoïque, auparavant définie par des âges absolus (GSSA-Global Standard Stratigraphic Ages).

Les chartes et des informations plus détaillées sur les GSSP sont disponibles sur le site web de l'International Commission on Stratigraphy (ICS) www.stratigraphy.org

Les âges numériques sont sujets à révision et ne définissent pas les unités du Phanérozoïque et de l'Édiacarien, seuls les GSSP le font. Pour les limites du Phanérozoïque qui n'ont pas de GSSP ratifiés ou des âges numériques calibrés, un âge numérique approximatif (-) est indiqué.

Les âges numériques de tous les systèmes à l'exception du Trias, Crétacé et Précambrien sont tirés du livre *Geologic Time Scale 2012* par Gradstein et al (2012) ; ceux du Trias et du Crétacé ont été définis par les subcommissions de l'ICS.



Les couleurs suivent l'usage de la Commission de la Carte Géologique du Monde (CCGM), <http://www.ccgw.org>

Mai 2012 © International Commission on Stratigraphy
Conception & dessin : K.M. Cohen, S. Finney, P.L. Gibbard

Introduction

Notre Terre nous apparaît généralement comme un ensemble vert et vallonné. On l'envisage volontiers comme un havre de quiétude, fleuri, bucolique, ensoleillé... Bien sûr, on est conscient qu'il y a des saisons pluvieuses et venteuses, froides, moins agréables. On n'ignore pas non plus, qu'ici et là, des catastrophes naturelles la rendent moins hospitalière. Ces désagréments s'appellent glissements de terrains, séismes et volcans.

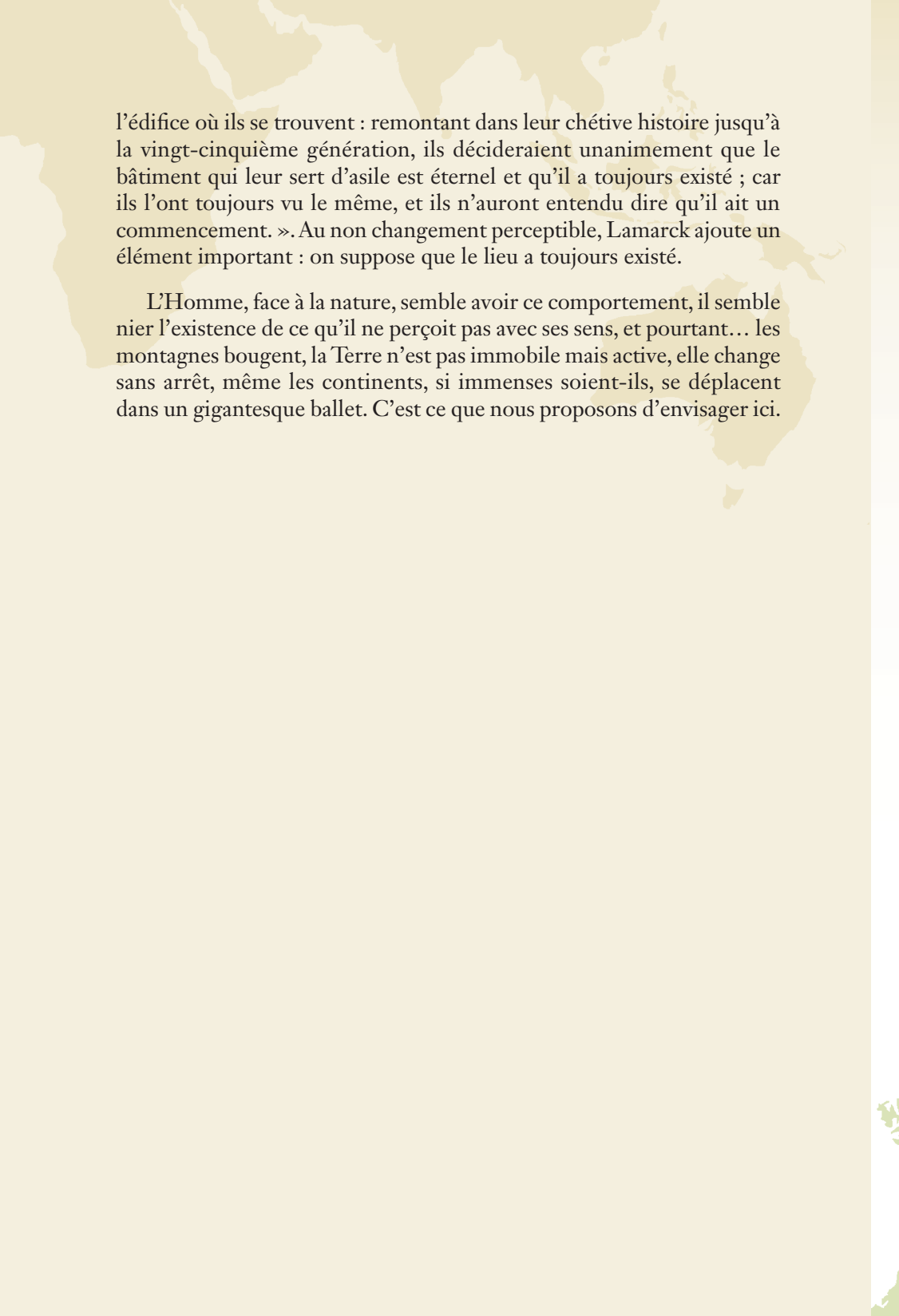
On a appris que ces manifestations résultaient de ce que la Terre est active. On a du mal à saisir cette vie mais il nous faut pourtant l'admettre car les preuves sont là ! Ainsi donc, cette immobilité des paysages n'est qu'une apparence liée à l'échelle du temps humain qui se compte en années, en décennies.

Nous avons, il est vrai, du mal à imaginer un temps qui n'est pas à l'échelle de l'homme. Mais nous-mêmes ne semblons-nous pas éternels pour une mouche ? Nul autre ne fit mieux ressortir cette différence de perception que Fontenelle, en 1686, avec sa célèbre parabole des roses qui s'étonnaient, génération après génération, de voir un jardinier qui leur paraissait immuable se pencher sur elles : « Si les roses, qui ne durent qu'un jour, faisaient des histoires et se laissaient des mémoires les unes aux autres, les premières auraient fait le portrait de leur jardinier d'une certaine façon... les autres, qui l'auraient encore laissé à celles qui devaient suivre, n'y auraient rien changé. Sur cela, elles diraient : nous avons toujours vu le même jardinier ; de mémoire de rose on n'a vu que lui... assurément il ne meurt point comme nous ; il ne change seulement pas »¹.

Il avait ainsi illustré l'insignifiance de la vie humaine au regard de la très lente évolution des éléments de la Terre. Une métaphore avec des insectes nous est aussi offerte par Jean-Baptiste Lamarck² en 1802 : « Il me semble entendre ces petits insectes qui ne vivent qu'une année, qui habitent quelque coin d'un bâtiment, et que l'on supposerait occupés à consulter parmi eux la tradition, pour prononcer sur la durée de

1. Fontenelle, Bernard Le Bovier de (1686). « Entretiens sur la pluralité des mondes », nombreuses rééditions d'environ 200 pages.

2. Lamarck, Jean-Baptiste (1802-1806). Mémoires sur les fossiles des environs de Paris, comprenant la détermination des espèces qui appartiennent aux animaux marins sans vertèbres et dont la plupart sont figurés dans la collection des vélins du Muséum. – Mollusques testacés dont on trouve les dépouilles fossiles dans les environs de Paris, Annales du Muséum national d'Histoire naturelle. Volumes I - VIII, 284 pages.



l'édifice où ils se trouvent : remontant dans leur chétive histoire jusqu'à la vingt-cinquième génération, ils décideraient unanimement que le bâtiment qui leur sert d'asile est éternel et qu'il a toujours existé ; car ils l'ont toujours vu le même, et ils n'auront entendu dire qu'il ait un commencement. ». Au non changement perceptible, Lamarck ajoute un élément important : on suppose que le lieu a toujours existé.

L'Homme, face à la nature, semble avoir ce comportement, il semble nier l'existence de ce qu'il ne perçoit pas avec ses sens, et pourtant... les montagnes bougent, la Terre n'est pas immobile mais active, elle change sans arrêt, même les continents, si immenses soient-ils, se déplacent dans un gigantesque ballet. C'est ce que nous proposons d'envisager ici.

1 Qu'est-ce que la Terre ?

Sa formation

Le soleil et les planètes sont nés il y a quelques 4 600 millions d'années d'un amas de poussières et de gaz (la nébuleuse primitive). Cette nébuleuse s'est effondrée sur elle-même (*Fig. 1a*), et parce qu'elle tournait sur elle-même, elle a pris la forme d'un disque (*Fig. 1b*). La contraction de la matière, en son centre, a porté sa température à plus de 10 millions de degrés et déclenché des réactions (thermonucléaires) qui ont conduit à une étoile : le Soleil.

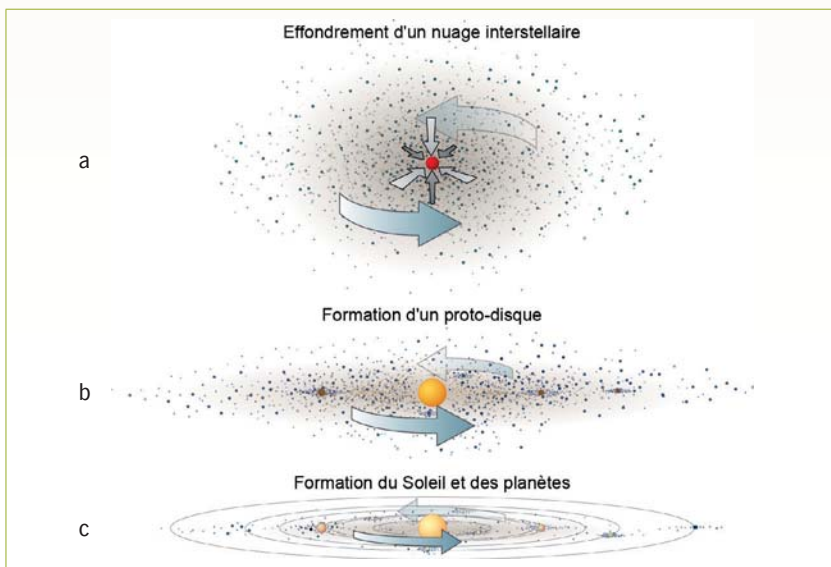


Fig. 1 • Formation du système solaire.

a. Un nuage interstellaire en rotation, amas de poussières et de gaz, s'effondre pour former un globule.

b. Comme l'ensemble tourne sur lui-même, sa contraction fait augmenter la vitesse de rotation (comme au patinage artistique) et une préfiguration d'un disque (un proto-disque) se forme autour d'un proto-Soleil.

c. Les éléments en rotation autour du jeune Soleil s'agglomèrent, les planètes se forment.

Les autres matériaux du disque se sont progressivement agglomérés, formant des éléments de plus en plus gros. La Terre, et les autres planètes du système solaire se sont alors formées (*Fig. 1c*). Ce processus a duré quelques centaines de millions d'années. Tous les corps du système solaire ont subi un énorme bombardement météoritique dans les premiers 600 millions d'années de leur existence. Ce bombardement a progressivement diminué mais la Terre reçoit encore aujourd'hui près de 500 tonnes de météorites par jour³ (*Fig. 2*).

Des traces de ce bombardement sont bien visibles sur la Lune car elles n'ont pas été gommées par l'érosion, notamment par l'action de l'eau. En effet, si l'on ne dénombre qu'une centaine de cratères encore visibles à la surface de la Terre, c'est que la majorité d'entre eux a été effacée soit par érosion, soit par sédimentation, soit à cause de la tectonique des plaques qui a fait disparaître la plaque (ou la partie de plaque) qui les portaient.



Fig. 2 • La météorite dite « de Saint-Sauveur » tombée à Saint-Sauveur le 10 juillet 1914 à 15 heures.

Taille 27×14×19,5 cm, pour un poids d'environ 14 kg. Coll. Muséum de Toulouse. On distingue la partie externe, en partie vitrifiée, fondue lors de la chute, de la partie interne apparente là où la météorite est légèrement cassée.

3. Selon les estimations, les chiffres vont de 100 à 1 000 tonnes/jour, principalement sous forme de poussières.

Sa structuration

La jeune Terre qui vient de se former est une boule incandescente. Les éléments les plus denses comme les métaux (fer...) s'enfoncent alors que les plus légers (calcium, silicium, gaz) remontent en surface (Fig. 3). Ainsi, se différencie une partie profonde très métallique d'une partie superficielle constituée d'éléments plus légers (avec la silice, le carbone, l'oxygène, l'hydrogène...). Puis, la Terre refroidit lentement, une croûte se forme. Depuis lors, la Terre, tout doucement refroidit et de ce fait, la partie interne solide, tout doucement augmente de taille.

Plusieurs planètes qui se sont formées en même temps que la Terre sont constituées de gaz (hydrogène libre et hélium, comme Jupiter). Les planètes formées de roches solides (dites telluriques, comme Mercure, Vénus, Terre, Mars) ne comportent que très peu de ces gaz. Trois de ces planètes (Mercure, Vénus, Mars) ont une masse trop faible pour posséder un champ gravitationnel suffisant pour retenir les éléments gazeux les plus légers. Ces gaz ont été poussés par le vent solaire vers l'extérieur du système solaire et captés par les planètes externes gazeuses.

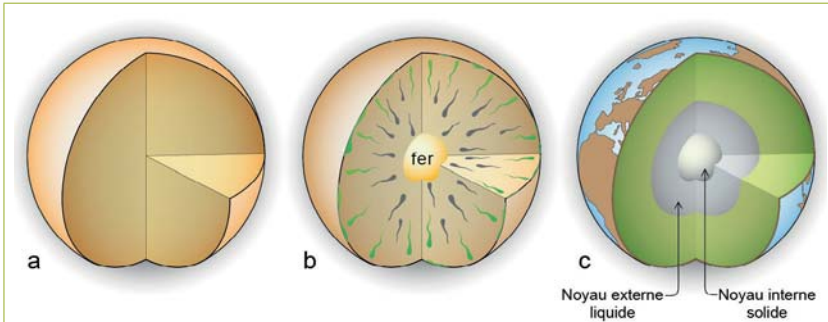


Fig. 3 • La Terre se structure en noyau, manteau et croûte.

- a.** La Terre primitive était un mélange incandescent homogène sans continent, sans océan, ni croûte, ni manteau, ni noyau.
- b.** Dans ce mélange, les éléments les plus denses vont vers le centre (les têtards gris sombre) alors que les plus légers (têtards verts) remontent en surface.
- c.** Il en résulte une sphère zonée avec un noyau métallique dense, surtout du fer (en gris), un manteau silicaté (en vert) et une fine croûte légère.

Ses premières années

La jeune Terre est inhospitalière. Elle perd énormément de chaleur, ses grands déplacements de matière sont d'abord verticaux et horizontaux. La Terre, lors de sa formation, était couverte d'une sorte d'océan

de magma extrêmement chaud. Cette phase quasi infernale a duré un peu plus de 500 millions d'années. Ici et là, des roches ou de l'eau pouvaient exister sans forcément rester longtemps sous cette forme. Ensuite, pendant une période qui a duré près de 1 500 millions d'années, le fonctionnement de la Terre était encore majoritairement marqué par la perte de chaleur. Le dégagement de chaleur se fait, le plus efficacement, au niveau de grandes déchirures qui forment des dorsales océaniques et par lesquelles le magma arrive en surface. À cette époque, les dorsales sont donc très longues et délimitent de nombreuses plaques, près de 3 000. Celles-ci sont bien plus petites que celles d'aujourd'hui, à savoir quelques 300-400 kilomètres de large (Fig. 4, 6) contre plusieurs milliers de kilomètres actuellement (on n'en compte plus que 15).

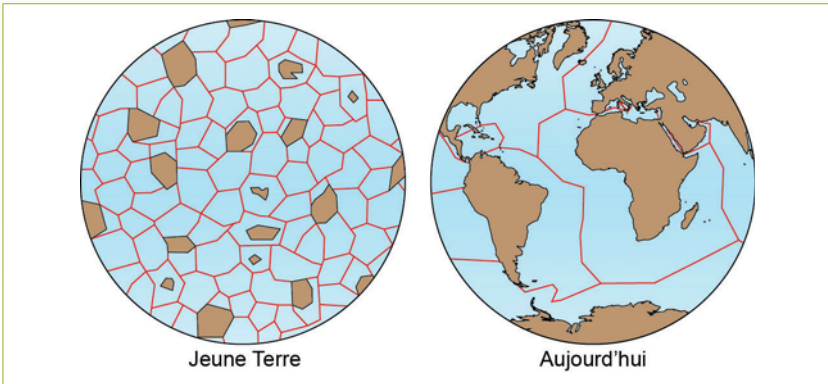


Fig. 4 • Représentation des plaques, petites et nombreuses, de la Terre quand elle était jeune (il y a environ trois milliards d'années) et celles d'aujourd'hui.

Des laves qui sont remontées des profondeurs refroidissent à la surface. Comme tout matériau, en refroidissant, elles deviennent plus denses, bien plus que les roches sur lesquelles elles reposent. Elles finissent alors par s'enfoncer verticalement formant une sorte de poche, une sorte de goutte qui descend.

Cette période initiale se caractérise de deux manières :

1. les roches alors formées⁴ ne se formeront plus par la suite. En effet, la Terre étant alors plus chaude qu'aujourd'hui, le refroidissement a été plus brutal, ce qui a généré des structures très particulières (spinifex pour les spécialistes) ;

⁴ Elles sont appelées komatiites (du nom de la rivière Komati, où on les décrit la première fois) et TTG, pour tonalite, trondhjémite et granodiorite).

2. les grands mouvements en surface sont horizontaux, avec les petites plaques qui se déplacent, mais aussi verticaux, avec les poches qui s'enfoncent faisant remonter du manteau en leur bordure (Fig. 5, 6). Par la suite, l'effondrement de ces bourses ne se fera plus non plus. Ainsi disparaîtra un style tectonique marqué par la verticalité. En surface, seuls subsisteront les grands mouvements horizontaux, qui marquent les déplacements importants observés dans les chaînes de montagnes.

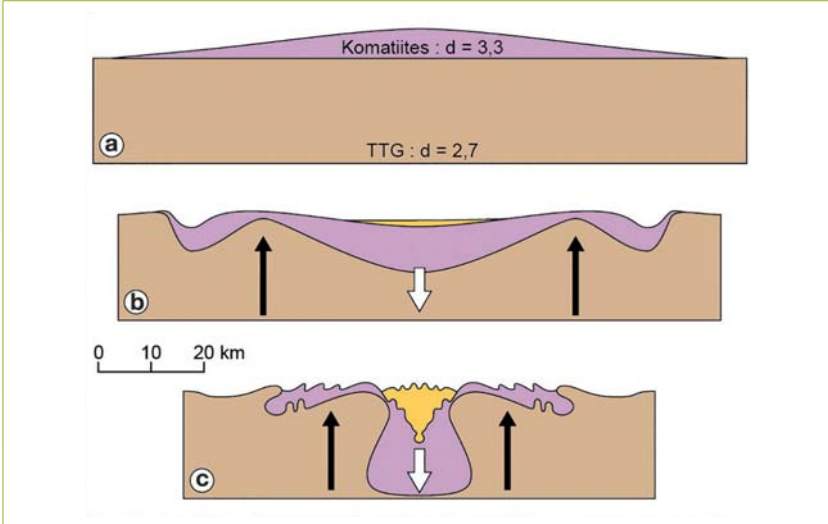


Fig. 5 • Illustration des mouvements verticaux qui affectent la surface terrestre dans sa jeunesse (sagduction).

a. Des laves (komatiites, en violet) se mettent en place, s'écoulent sur une croûte continentale. Très denses (densité de 3,3), elles surmontent des roches de type granitique (faites de tonalite- trondhémite-granodiorite – TTG, en marron), moins denses (densité de 2,7).

b. Sous le seul effet de leur poids, les laves s'enfoncent dans la croûte continentale en créant, en leur centre, une dépression où se déposent éventuellement des sédiments (en jaune).

c. En réaction, cet enfoncement favorise une remontée de la croûte⁵.

5. Adapté de H. Martin *et al.*, sous presse, d'après Gorman *et al.*, 1978.

AU DÉBUT, LA TERRE EST UN ENFER !

Le premier âge de la Terre (de - 4 568 – 4 000 millions d'années) tire son nom de Hadès, dieu de l'enfer, chez les grecs. Ce nom a été choisi parce qu'au tout début de sa formation, notre planète n'était qu'une sorte de vaste océan de magma en fusion. En effet, les chocs répétitifs, lors des impacts des météorites qui s'accumulaient, ont dégagé une telle énergie que la température dépassait le millier de degrés.

De cette « petite enfance » de la Terre, nous ne savons que peu de choses car elle ne nous a pas laissé beaucoup de témoins. On ne connaît des roches de cet âge qu'en quelques endroits des vieux boucliers : Isua, au nord-ouest du Groenland, Acasta au nord-ouest du Canada ou Jack Hills, à l'ouest de l'Australie. Grâce à certains minéraux retrouvés, on sait que des roches se sont formées et que de l'eau était présente. Sans doute qu'une atmosphère existait, peut-être même que la vie avait commencé à voir le jour, mais tout cela subira un bombardement tellement violent, vers 4 000 millions d'années, que la chaleur ainsi produite en effacera toutes traces.

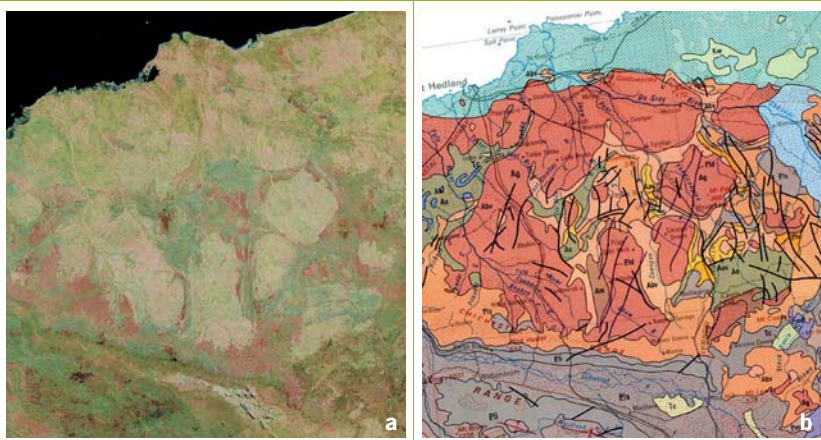


Fig. 6 • Région de Pilbara, nord-ouest de l'Australie.

a. Image satellite, dont les terrains, âgés d'un peu plus de trois milliards d'années, laissent encore apercevoir la structure en toutes petites plaques d'une centaine de kilomètres, claires, de roches de type granitique (TTG), entourées de roches vertes, zones vert-bleutées et rosâtres sur la photo. La partie noire correspond à l'Océan.

b. Extrait de la carte géologique du même secteur. Les roches granitiques sont en rouge, les roches vertes en vert et marron. On note la bonne concordance entre la photo satellite et la carte géologique.

Un virage dans le fonctionnement de la planète

Il y a près de 2,5 milliards d'années, la Terre adopte un fonctionnement proche de l'actuel. Seuls les mouvements horizontaux se poursuivent. La Terre ne produit plus les mêmes roches.

Les échanges thermiques entre son intérieur et l'extérieur continuent, mais les mouvements semblent apaisés. Les remontées de bouffées de chaleur se manifestent en surface par des arrivées de magma et l'épanchement de basaltes à la limite entre des plaques qui s'écartent alors. Comme la Terre a une taille stable, si des éléments s'écartent à un endroit, d'autres doivent se rapprocher ailleurs. C'est la raison pour laquelle des plaques se chevauchent, ici et là, l'une passant sous l'autre.

Un intérieur très chaud

On a remarqué, depuis longtemps, que plus on descend dans les entrailles de la Terre, plus la température s'élève, d'environ 1 °C tous les 30 m. C'est la raison pour laquelle dans les mines profondes, vers 1 000 m, il est nécessaire de ventiler, voire de réfrigérer l'air, sinon la température y serait proche de 60 °C.

La température de l'intérieur de la Terre est élevée pour plusieurs raisons :

- la Terre a été formée par l'accumulation de corps célestes qui s'y sont écrasés. Chaque impact a dégagé une certaine quantité de chaleur qui s'est ainsi accumulée (il suffit d'applaudir avec enthousiasme pour s'apercevoir que les mains chauffent) ;
- parmi les éléments cristallins qui constituent la Terre, on compte nombre de corps radioactifs (uranium par exemple) qui, lorsqu'ils se désintègrent, produisent une grande quantité de chaleur (nos centrales nucléaires en attestent) ;
- le noyau, constitué de fer et nickel, comprend une partie interne solide et une partie externe liquide. Tout doucement, la partie liquide cristallise libérant ainsi de l'énergie dite « chaleur latente de cristallisation ». La chaleur latente de cristallisation contribue, elle aussi, quoique de manière modeste, à la production de chaleur interne ;
- la Lune crée des marées, bien visibles avec l'eau mais qui existent aussi, de façon moindre, pour la terre ferme. Ces mouvements libèrent de l'énergie, aujourd'hui modeste, mais qui était bien plus importante lorsque la Lune était plus proche de la Terre.

QU'EST-CE QUE LE DEGRÉ GÉOTHERMIQUE ?

L'intérieur de la Terre étant plus chaud que l'espace, la chaleur a tendance à s'en échapper à travers la croûte terrestre. Il existe donc, dans la croûte, un gradient de température, plus on creuse, plus il fait chaud.

Cette énergie est parfois exploitée pour chauffer ou disposer d'eau chaude et ce, depuis des millénaires en Chine, dans la Rome antique et le bassin méditerranéen. Plus récemment, elle est utilisée pour produire de l'électricité (à Bouillante, en Guadeloupe ou à Soultz, en Alsace). Grâce à cette production de chaleur, l'Islande est peut-être le seul pays au monde à avoir trop d'énergie !

Sa structure

Aujourd'hui, la Terre est structurée en couches concentriques qui se distinguent par leur composition chimique et leur déformabilité.

Seul le noyau externe est liquide, le noyau interne (la graine), le manteau et la croûte sont rigides (*Fig. 7*). Le manteau est représenté en vert sur la figure 7 du fait que ses roches sont vertes en raison de leur contenu important en minéraux verts (olivine). Il n'est pas représenté en rouge comme ce fut longtemps fait car cette couleur laissait croire que le manteau était sous forme de magma, ce qui n'est pas le cas.

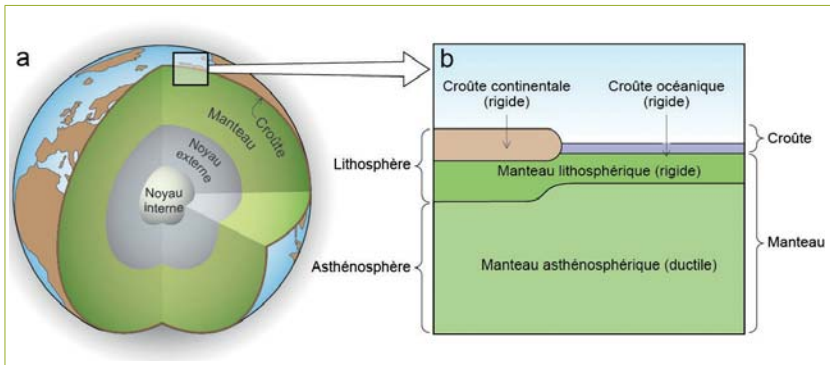


Fig. 7 • Structure de la Terre

a. La coupe met en évidence la structure concentrique de la planète Terre.

b. Détail de la partie superficielle permettant d'expliciter les différences entre croûte/manteau et lithosphère/asthénosphère. La croûte est rigide ainsi que la lithosphère. Le manteau comprend une partie rigide et une partie plus profonde ductile. L'asthénosphère est ductile (d'où son nom d'ailleurs : asthenos = faible, sans résistance).

Le manteau ne devient relativement liquide que lorsqu'il arrive en surface et que la pression diminue. De plus, au moment de son épanchement, il s'oxyde, ce qui augmente sa température.

La croûte continentale, rigide, est constituée de roches granitiques riches en silice dont la densité est de l'ordre de 2,7 (*Fig. 8a*). Elle est donc plus légère que la croûte océanique et de ce fait demeure en surface.

La croûte océanique représente la partie supérieure, rigide, du manteau. Elle est constituée de basalte, serpentinite, gabbros... Riche en fer et magnésium, sa densité est proche de 3 (*Fig. 8b*).

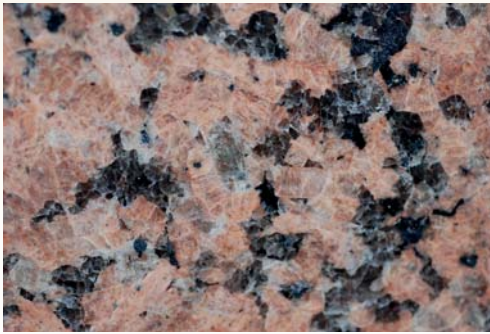


Fig. 8 • Roches de croûtes continentale et océanique.

a. La croûte continentale comporte une majorité de granites, constitués principalement de trois types de minéraux : quartz (gris), mica noir et feldspath (rose) sur ce granite de La Clarté (Bretagne).



b. La croûte océanique comporte beaucoup de roches riches en olivine qui ont été altérées par des fluides hydrothermaux et prennent alors une allure de peau de serpent, d'où leur nom de serpentinite. Ces roches sont souvent utilisées pour des tables de comptoirs ou en parement, comme sur la photo d'un bâtiment à Étampes.

PARADOXAL : on dit que la température augmente avec la profondeur, pourtant dans les grottes que l'on visite il fait froid !



© Éric Sanson

Fig. 9 • L'eau creuse parfois des grottes dans lesquelles la température avoisine les 13 °C, du fait de la température moyenne dans nos régions.

Canyon souterrain géant dans la grotte de Luhe-dong, Géopark de Leye-Fengshan, Guangxi, Chine. Expédition Fengshan 2014.

La différence de température entre le jour et la nuit peut être très importante dans la rue ou le jardin quand le soleil a dardé ses rayons. À l'intérieur de la maison, la différence est moindre mais se fait sentir. Dans la cave, cette différence est encore plus faible. En fait, plus un lieu est isolé de la surface terrestre plus sa température est constante. Effectivement, dans les grottes de nos régions, la température avoisine les 13,5/14 °C, ce qui correspond à la température moyenne au cours d'une année. Voilà pourquoi lors de la visite d'une grotte en été, on trouve qu'il y fait frais (Fig.9). Si on s'y rendait alors qu'il neige... on n'aurait pas la même impression. Le gouffre de Padirac, par exemple, est très profond, mais il ne fait guère que 103 mètres, c'est-à-dire que le fond est encore à 236 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Si on descendait par une conduite non aérée (pour éviter les pertes de chaleur), il faudrait descendre à 600 mètres de profondeur pour trouver une température équivalente à celle de nos vacances... pour les amateurs de plages ensoleillées s'entend !

2 Qu'est-ce qui fait bouger les plaques ?

La Terre n'est pas un simple « gros caillou » figé. Elle a une histoire et un fonctionnement qui expliquent sa structure. Sa surface montre une mosaïque de plaques en mouvement qui semblent répondre à une certaine organisation. La question est alors de savoir quel est le moteur des ces déplacements.

Les échanges thermiques : un moteur possible

La Terre échange de la chaleur avec l'espace. Cela se fait au travers des déplacements de matière à l'intérieur du globe et, par répercussion, en surface. Par conséquent, de gigantesques volumes sont animés de courants au sein du manteau terrestre.

On connaît deux moyens simples d'échanger de la chaleur dans la matière : par conduction et par convection.

Dans le cas de la conduction, les échanges se font par simple migration de calories, sans qu'il y ait un échange de matière. Si vous tenez un tisonnier dans le feu, vous vous apercevez vite que votre main a chaud alors que le tisonnier n'a pas changé. Cette transmission est expliquée sur la *figure 10*.

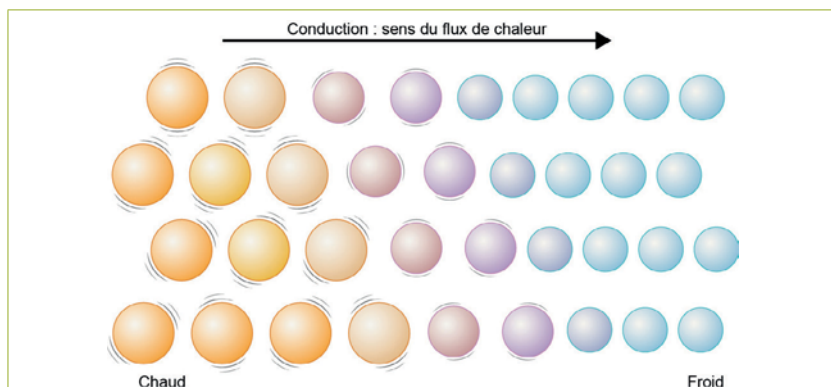


Fig. 10 • Transmission du flux de chaleur dans un solide par conduction.

L'énergie thermique d'un matériau se manifeste par une vibration de ses atomes. La partie gauche, chaude, montre des atomes très agités. Ils occupent donc un volume plus important (la dilatation). Cette agitation se transmet progressivement vers les voisins, la chaleur est ainsi communiquée des régions chaudes vers les froides.

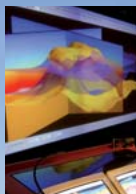
- **DE WEVER P., LE NECHET Y. & CORNEE A.** (2006). *Vade-Mecum pour l'inventaire du patrimoine géologique*. SGF, mém. HS n°12, 162 pages.
- **BILLET G., BONNEFOY B., DE WEVER P., HOUSSAYE A. & MERLE D.** (2008). *Promenade géologique à Étampes*. MNHN-Biotopie-BRGM Ed., 28 pages.
- **DURANTHON F.** (2009). *Minéraux, roches et fossiles*. Éditions Milan, 64 pages.
- **DE WEVER P., DAVID B. & NERAUDEAU D.** (2010). *Paléobiosphère : regards croisés des sciences de la vie et de la Terre*. MNHN-Vuibert-SGF Ed., 816 pages.
- **DE WEVER P., MERLE D., BONNEFOY B. & BILLET G.** (2010). *Promenade géologique à Milly-la-Forêt*. MNHN-Biotopie-BRGM Ed., 28 pages.
- **EGOROFF G., DE WEVER P., MERLE D. & MÉTIVIER B.** (2011). *Promenade géologique à Dourdan*. MNHN-Biotopie-BRGM Ed. , 28 pages.
- **DE WEVER P.** (2012). *Carnet de curiosité d'un géologue*. Ellipses, 360 pages.
- **DE WEVER P.** (2012). *Temps de la Terre, temps de l'Homme*. Albin Michel, 216 pages.
- **MAURIAUD P., BRETON P. & DE WEVER P.** (2012). *Faim de pétrole*. EDP Science, 224 pages.
- **DE WEVER P.** (2013). *Carnet de curiosité d'un géologue et autres brèves de laboratoire*. Ellipses, 354 pages.
- **DE WEVER P.** (2014). *Le beau livre de la Terre*. Dunod, 416 pages.
- **DE WEVER P.** (2015). *L'eau de vie*. EDP Sciences, coll. Terre à portée de main, 80 pages.
- **DE WEVER P. & DAVID B.** (2015). *La biodiversité de crise en crise*. Albin Michel, 310 pages.

Découvrir ensemble

careers.total.com

 Total Campus  @TotalCareers  Total

Le Centre Scientifique et Technique
de Total à Pau, au service de
l'Exploration-Production pétrolière :
plus de 2700 personnes et
30 nationalités dans un campus
technique de classe mondiale.



© Bp Info France - Total / Séphane Gladeau, Diorou Marco, Zyberman Laurent, François Lacroix, Laurent Pascal