



L'eau. de la Vie

Patrick De Wever



L'eau de la vie

Patrick De Wever



Dans la même collection :

La valse des continents, P. De Wever et F. Duranthon, 2015, ISBN : 978-2-7598-1183-0.

**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 : 978-2-7598-1189-2

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

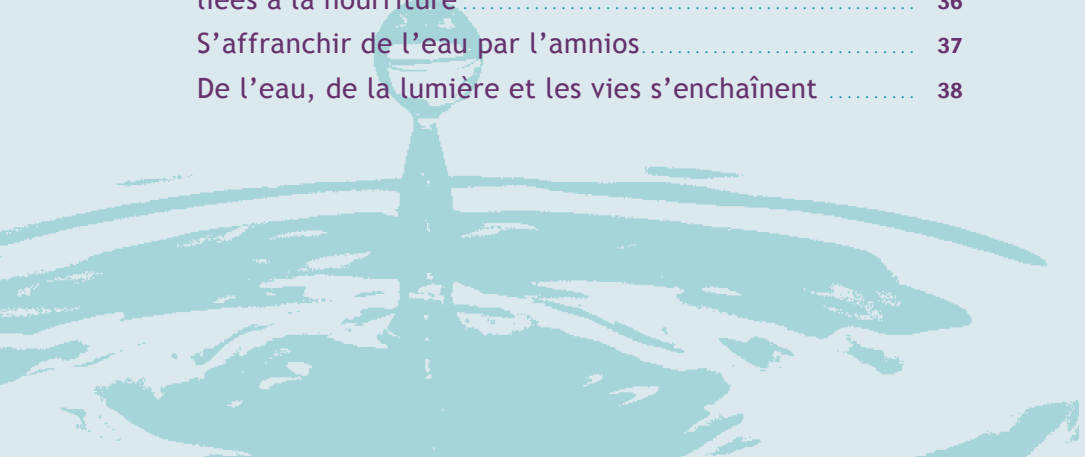
Je tiens à remercier pour leurs photos Jacques-Marie Bardintzeff, Jean-François Buoncristiani, Patrick Cabrol, Jean-Yves Reynaud, Jean-Marie Rouchy, et surtout Brigitte Gonzalez et Laurent Carpentier pour des prises de vue dédiées. Isabelle Baudin-Darsonval, Dominique Carpentier et Monica Rotaru m'ont fait bénéficier d'une relecture critique du manuscrit.

Je dois à Alexandre Lethiers la qualité des dessins toujours réalisés avec célérité et une inébranlable bonne volonté.

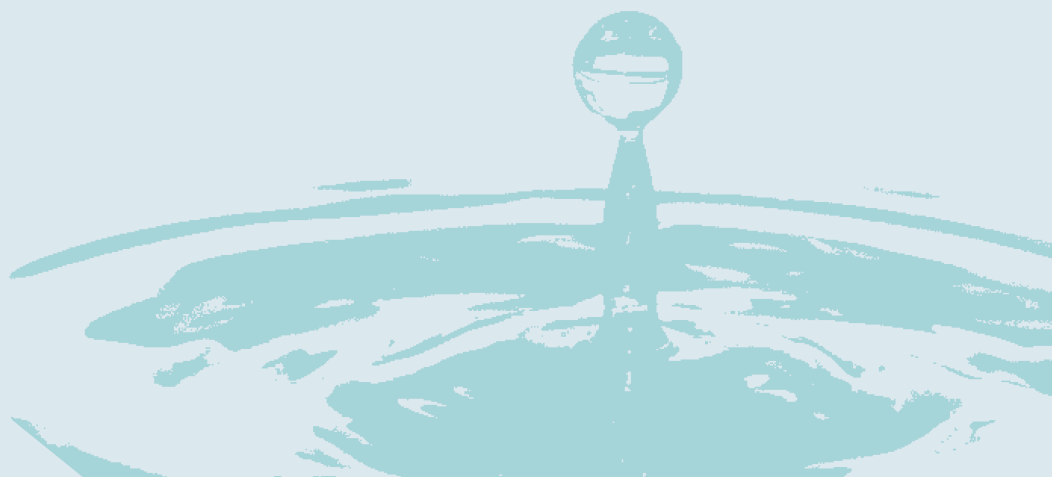


Sommaire

1	Qu'est-ce que l'eau ?	7
2	L'eau sur Terre	9
	D'où vient l'eau ?	9
	L'eau tombée	9
	Conserver l'eau	9
	L'eau équilibrée : solide-liquide-gazeuse	12
	Une planète calme et une faible biodiversité	14
	Une planète active et une forte biodiversité	16
	L'eau des minéraux	17
	Un océan dans le manteau ?	18
	La vie et l'eau ont généré des centaines de minéraux	18
3	La vie et l'eau	21
	Le début de la vie	22
	De l'eau pour la vie	23
	L'eau solide plus légère que liquide : une chance pour la vie	25
	Avec la vie, l'océan puis l'atmosphère deviennent oxydants	27
	Comment la vie a amené la glace	30
	Sortir de l'eau	32
	Des « stratégies » de développement liées à la nourriture	36
	S'affranchir de l'eau par l'amnios	37
	De l'eau, de la lumière et les vies s'enchaînent	38



4 L'eau et le climat	40
Puiser l'eau de l'air pour les plantes	45
Une eau super polluée... et pourtant bénéfique à la vie ...	47
Chasser l'eau pour survivre	49
Aquifère et nappe phréatique	52
L'eau potable	54
5 Les mythes sur l'eau	56
L'eau dans les cosmogonies	56
Le déluge	58
Où est passée l'eau ?	60
6 L'eau, demain ?	61
Des guerres pour l'eau	61
Préserver un équilibre	62
Annexe	63
Glossaire	66
Orientations bibliographiques	71
Index	72
L'auteur	73





CHARTRE STRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE

www.stratigraphy.org

International Commission on Stratigraphy



9

Eon	Ere	Système	Série	Étage	GSSP	Âge (Ma)	
Phanérozoïque	Quaternaire	Holocène				présent	
						0.0117	
		Pléistocène	Supérieur			0.125	
			Moyen			0.781	
			Calabrien			1.806	
		Pliocène	Gélasien			2.588	
			Plaisancien			3.600	
			Zancléen			5.333	
			Messinien			7.246	
			Tortonien			11.62	
	Serravallien				13.82		
	Langhien				15.97		
	Néogène	Miocène	Burdigalien			20.44	
			Aquitanien			23.03	
			Chatthien			28.1	
		Oligocène	Rupélien			33.9	
			Priabonien			38.0	
			Bartonien			41.3	
			Éocène	Lutétien			47.8
				Yprésien			56.0
Thanétien						59.2	
Paléocène			Sélandien			61.6	
	Danien			66.0			
	Maastrichtien			72.1 ± 0.2			
Mésozoïque	Supérieur	Campanien			83.6 ± 0.2		
		Santonien			86.3 ± 0.5		
		Coniacien			89.8 ± 0.3		
		Turonien			93.9		
		Cénomarien			100.5		
	Inférieur	Albien			113.0		
		Aptien			125.0		
		Barrémien			129.4		
		Hauterivien			132.9		
		Valanginien			139.8		
Berriasien			145.0				

Eon	Ere	Système	Série	Étage	GSSP	Âge (Ma)	
Phanérozoïque	Jurassique	Supérieur		Tithonien		152.1 ± 0.9	
				Kimméridgien		157.3 ± 1.0	
				Oxfordien		163.5 ± 1.0	
		Moyen		Callovien		166.1 ± 1.2	
				Bathonien		168.3 ± 1.3	
				Bajocien		170.3 ± 1.4	
		Inférieur		Aalénien		174.1 ± 1.0	
				Toarcien		182.7 ± 0.7	
				Phliensbachien		190.8 ± 1.0	
		Trias	Supérieur		Sinemurien		199.3 ± 0.3
					Hettangien		201.3 ± 0.2
					Rhétien		208.5
			Moyen		Norien		228
					Carnien		235
					Ladinien		242
	Inférieur			Anisien		247.2	
				Olénékien		251.2	
				Induen		252.2 ± 0.5	
	Permien		Lopingien		Changhsingien		254.2 ± 0.1
					Wuchiapingien		259.9 ± 0.4
					Capitanien		265.1 ± 0.4
			Guadalupien		Wordien		268.8 ± 0.5
					Rougien		272.3 ± 0.5
					Kungurien		279.3 ± 0.6
		Cisuralien		Artinskien		290.1 ± 0.1	
				Sakmarien		295.5 ± 0.4	
				Assélien		298.9 ± 0.2	
			Supérieur		Gzhélien		303.7 ± 0.1
					Kasimovien		307.0 ± 0.1
					Moscovien		315.2 ± 0.2
Moyen		Bashkirien		323.2 ± 0.4			
		Serpukhovien		330.9 ± 0.2			
		Viséen		346.7 ± 0.4			
Inférieur		Tournaisien		358.9 ± 0.4			

Eon	Ere	Système	Série	Étage	GSSP	Âge (Ma)	
Phanérozoïque	Dévonien	Supérieur		Famennien		372.2 ± 1.6	
				Frasnien		382.7 ± 1.6	
				Givétien		387.7 ± 0.8	
		Moyen		Eifélien		393.3 ± 1.2	
				Emsien		407.6 ± 2.6	
				Praguien		410.8 ± 2.8	
		Inférieur		Lochkovien		419.2 ± 3.2	
				Pridoli		423.0 ± 2.3	
				Ludlow		425.6 ± 0.9	
		Silurien	Wenlock		Ludfordien		427.4 ± 0.5
					Homérien		430.5 ± 0.7
					Sheinwoodien		433.4 ± 0.8
			Llandovery		Télychien		438.5 ± 1.1
					Aéronien		440.8 ± 1.2
					Rhuddanien		443.4 ± 1.5
	Supérieur			Hirnantien		445.2 ± 1.4	
				Katien		453.0 ± 0.7	
				Sandbien		458.4 ± 0.9	
	Moyen			Darriwilien		467.3 ± 1.1	
				Dapingien		470.0 ± 1.4	
				Floien		477.7 ± 1.4	
	Inférieur			Trémadocien		485.4 ± 1.9	
				Étage 10		489.5	
				Jiangshanian		494	
	Furongien		Paibien		497		
			Guzhangien		500.5		
			Drumien		504.5		
	Cambrien	Séries 3		Étage 5		509	
				Étage 4		514	
				Étage 3		521	
Terreneuvien		Étage 2		529			
		Fortunien		541.0 ± 1.0			

Eon	Ere	Système	Série	Étage	GSSP	Âge (Ma)	
Précambrien	Protérozoïque	Édiacarien				541	
						635	
						850	
		Néo-protérozoïque		Cryogénien			1000
				Tonien			1200
				Sténien			1400
		Mésoproterozoïque		Ectasian			1600
				Calymmien			1800
				Stathérien			1800
		Paléo-protérozoïque		Orosrien			2050
			Rhyacien			2300	
			Sidérien			2500	
	Archaéen		Néo-archaéen			2800	
			Mésoproterozoïque			3200	
			Paléo-archaéen			3600	
		Épanchéen			4000		
		Hadéen			4800		

La définition de la limite inférieure de chaque unité formelle par un point précis dans la coupe d'un stratotype de limite global (GSSP-Global Boundary Stratotype Section and Point) est actuellement en cours, y compris celle des unités de l'Archaéen 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 "A Geologic Time Scale 2012" par Gradstein et al. (2012); ceux du Trias et du Crétacé ont été définis par les sous-commissions 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

1 Qu'est-ce que l'eau ?

« L'eau est un organe du monde » a écrit Gaston Bachelard dans « L'eau et les rêves » publié en 1942. Cette métaphore laisse entendre que l'eau est quasiment un élément physiologique du fonctionnement de la planète. Elle en serait l'équivalent du sang. Elle irrigue, en effet, les continents par un réseau dont la morphologie peut évoquer celle du système circulatoire. Elle abreuve les êtres vivants et leur procure la nourriture, tout comme le sang apporte les éléments nutritifs. Elle charrie les limons et déchets, à l'égal du sang qui évacue les toxines. Son rythme est celui des pluies saisonnières comme les battements du cœur rythment les apports. Son fonctionnement peut être entravé par des barrages et conduire à une sorte d'embolie. Une surcharge d'éléments peut conduire à une thrombose et une asphyxie.

L'eau est tellement périlleuse que beaucoup d'aphorismes et citations y font référence. L'eau semble un produit banal... jusqu'à ce que l'on en manque : « on ne connaît la valeur de l'eau que lorsque le puits est sec. »



Fig. 1 • La chute d'une goutte d'eau sur une surface provoque, en retour, une perle d'eau qui s'élève fugacement au-dessus de l'auréole de l'impact.

L'eau n'est pas un produit ordinaire. Il s'agit certainement de la seule molécule de cette taille, aussi simple en apparence que sa formule (H_2O) le laisse supposer, à combiner autant de propriétés aussi particulières. Tout d'abord, si cette molécule se comportait exactement selon les propriétés des atomes qui la constituent et dépendent de leur position dans le tableau périodique des éléments, l'eau gèlerait à $-100\text{ }^\circ\text{C}$ et se vaporiserait dès $-70\text{ }^\circ\text{C}$. Elle doit les propriétés que nous lui connaissons à la liaison hydrogène, qui intervient dans l'architecture moléculaire de tous les êtres vivants. Cette interaction de type faible, relie les molécules d'eau liquide entre elles en un gigantesque réseau. Beaucoup de corps ont une grande solubilité dans l'eau. La solubilité est aussi l'image de cette liaison hydrogène. La formule chimique n'est donc qu'une simplification et la réalité change ses propriétés d'ébullition de $170\text{ }^\circ\text{C}$! On imagine facilement l'importance pour les cellules.



2 L'eau sur Terre

D'où vient l'eau ?

L'eau tombée

Le Soleil et les planètes sont nés il y a quelques 4 600 millions d'années d'un amas de poussières et de gaz que l'on appelle la nébuleuse primitive. Elle s'est effondrée sur elle-même, et a pris la forme d'un disque. La contraction de 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. La Terre, et d'autres planètes du système solaire, se sont alors formées par agrégation de matériaux du disque, agglomération progressive d'éléments de plus en plus gros.

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 500 millions d'années de leur existence. Celui-ci a progressivement diminué mais reste continu : la Terre reçoit encore près de 500 tonnes de météorites par jour¹ à l'état de poussières. Des traces de ce bombardement passé sont bien visibles sur la Lune. 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 par l'eau, soit par érosion, soit par sédimentation.

Conserver l'eau

À l'origine, la Terre est une boule incandescente. Les éléments les plus lourds s'enfoncent (nickel, fer...), les plus légers (calcium, silicium, gaz) remontent en surface. Elle se refroidit lentement, une croûte se forme.

1. Les estimations varient de 100 à 1 000 tonnes/jour.

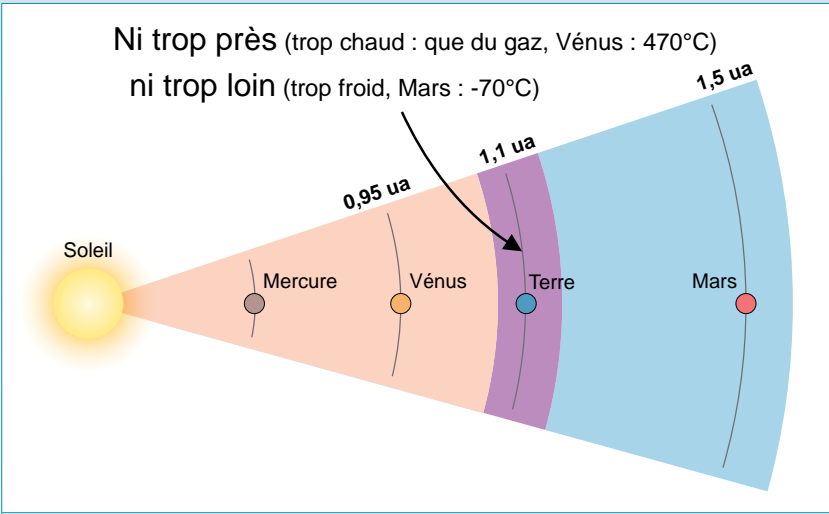


Fig. 2 • Positionnement de la Terre dans le système solaire. Son éloignement du Soleil induit l'énergie qu'elle en reçoit.

Si la Terre était plus proche du Soleil, sa température serait telle que l'eau existerait sous forme de gaz.

Si la Terre était plus éloignée du Soleil, sa faible température ne permettrait que l'eau sous forme de glace.

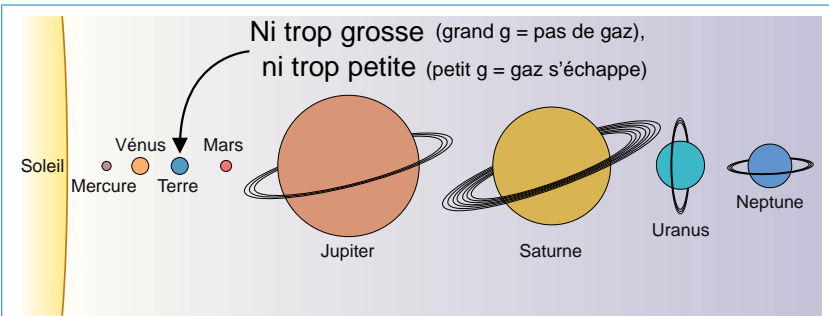


Fig. 3 • Taille relative des planètes du système solaire.

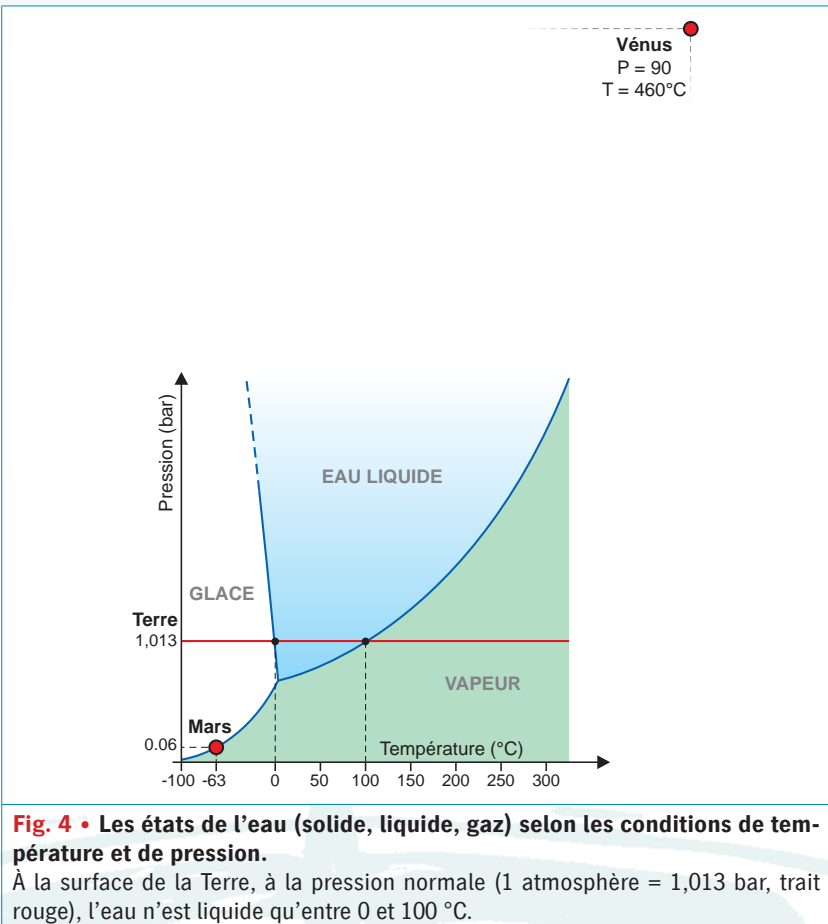
Si la Terre était plus grosse, sa force de gravité attirerait plus fortement toutes les molécules : il n'y aurait pas de gaz, pas d'atmosphère².

Si la Terre était plus petite, sa force de gravité n'attirerait pas suffisamment les gaz, qui partiraient dans l'espace : il n'y aurait pas de vapeur, pas d'atmosphère.

2. On parle, ici, des planètes telluriques (constituées de matériaux rocheux), telles Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Les planètes gazeuses, telles Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, moins denses, ont donc une gravité bien moindre que les planètes telluriques.

L'eau existe partout dans le système solaire, mais la Terre est l'unique planète sur laquelle elle se trouve à l'état liquide.

L'eau n'est liquide que dans une gamme de températures et pressions bien précises : entre 0 et 100 °C pour une pression d'une atmosphère. Cette fenêtre de températures nous paraît très large mais elle est très restreinte si l'on considère les variations qui existent dans le système solaire : la surface de Vénus est à près de 500 °C, pour une pression de 90 bars, et Mars a une température de surface de - 63 °C et une pression atmosphérique de 5,6 mbar, soit près de 200 fois moindre que la Terre. S'il y a donc de l'eau liquide sur Terre, c'est parce que cette dernière a la bonne taille (pour que sa gravité empêche les gaz de s'échapper) et la bonne distance au Soleil (pour être ni trop chaude, ni trop froide) (Fig. 2, 4).



L'eau équilibrée : solide-liquide-gazeuse

Après sa formation, la Terre refroidit lentement, les volcans servent de soupape et crachent des gaz et de la vapeur d'eau. Dès que la température de surface le permet, cette eau se condense et des pluies diluviennes s'abattent sur Terre. Elle s'accumule dans les zones basses et forme les premiers lacs et océans. Elle s'accumule dans les zones basses et forme les premiers lacs et océans. La pluie lessive la croûte terrestre naissante et les océans se chargent en sels minéraux.

D'OÙ VIENT L'EAU DE LA TERRE ? DES VOLCANS ? DES MÉTÉORITES, DES COMÈTES ?

L'origine de l'eau sur Terre a été discutée. On conçoit, maintenant, que l'eau des océans a été apportée par des planétésimaux durant les phases finales de l'accrétion terrestre ainsi que plus tard, par d'autres astéroïdes, après le grand bombardement météoritique tardif (il y a 4 milliards d'années). Selon les informations, l'eau terrestre semble provenir de diverses sources en des proportions variables. Les analyses chimiques (des isotopes de l'hydrogène) excluraient que l'eau puisse être issue de comètes. Restent les volcans et les météorites. En fait, la question ne se pose pas vraiment puisque la Terre, elle-même, est formée de l'accrétion d'éléments d'abord gazeux puis météoritiques. Selon l'époque (lors de la formation de la Terre ou actuellement), on peut alors affirmer que toute l'eau est issue des volcans (Fig. 5) ou qu'elle a été apportée par les météorites.



Fig. 5 • Vésuve, vue aérienne.

On suppose que l'eau liquide, et donc les océans, existe sur Terre quelques 100 à 150 millions d'années après la phase principale d'accrétion. On admet, aujourd'hui, qu'entre quatre et sept siècles ont été suffisants pour que toute l'eau se condense et précipite sur la surface de la Terre.

Les plus vieux matériaux terrestres connus, les zircons³ de Jack Hills (Australie), montrent que de l'eau liquide existait il y a 4 400 millions d'années, ainsi qu'une croûte continentale.

Si la Terre n'avait pas de relief, l'eau la recouvrirait sur une épaisseur de trois kilomètres, tandis que Vénus n'en aurait que 300 m et Mars 20 cm. La Terre perd-elle son eau, comme Mars dans le passé (Fig. 6) ? Oui, mais très lentement. En effet, dans la haute atmosphère, le rayonnement solaire brise la molécule d'eau, et l'hydrogène, trop léger pour être retenu par la gravitation, diffuse vers l'espace. Par ce mécanisme, trois mètres d'eau auraient disparu depuis la formation de la Terre. Cependant, les roches en représentent encore la plus grande réserve (voir § l'eau des minéraux).

L'EAU NE COULE PLUS SUR MARS

Savoir si l'eau existe sous forme liquide sur Mars fait régulièrement l'actualité. À ce jour, on ne l'y connaît plus depuis plus de 3 700 millions d'années.

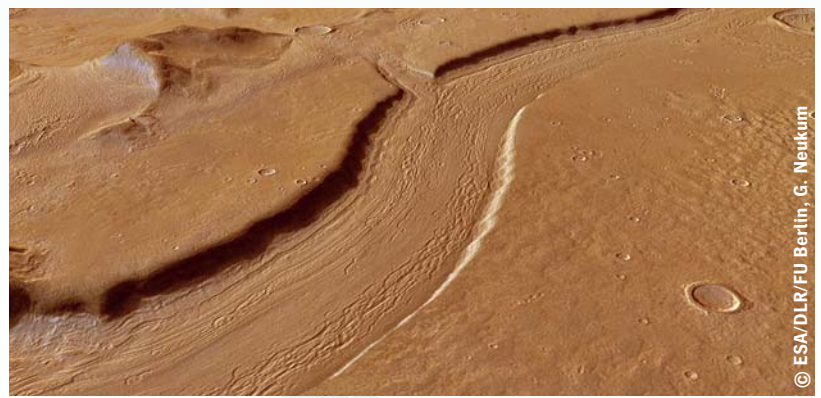


Fig. 6 • Traces du lit d'une rivière sur Mars.

Difficile à imaginer, aujourd'hui, face à son aridité rougeâtre.

De telles rivières coulaient entre 3,5 et 1,8 milliards d'années. Ce fleuve géant de 1 500 km de long, du Reull Vallis, a un lit de 7 km de large pour 300 m de profondeur (hémisphère sud de la planète rouge ; on le voit rejoint par un affluent). Images obtenues par la sonde européenne Mars Express de l'ESA.

3. Minéral extrêmement dur qui peut contenir des inclusions.

L'eau, dès son existence sous forme liquide, a modifié le fonctionnement de la partie superficielle de la Terre par les phénomènes d'altération et d'érosion. De grandes quantités d'éléments ont alors été mobilisés et déplacés, soit sous forme dissoute, soit sous forme particulaire. La redistribution des éléments s'est ensuite faite ressentir plus en profondeur. Par ailleurs, l'intérieur de la Terre, beaucoup plus chaud que la surface, est assujéti à de grands échanges de matière pour permettre l'évacuation de cette chaleur vers l'extérieur. La surface refroidie, croûte rigide, se casse par endroits, au-dessus de zones de remontée de matière chaude. Les lèvres de la cassure s'écartent de plus en plus, ce qui conduit des continents à se séparer. Ailleurs, des continents repoussés se rapprochent, entrent en collision, les uns chevauchent les autres, des fragments s'enfoncent dans les profondeurs de la Terre entraînant avec eux des roches et minéraux hydratés. Il en résulte une valse des continents, certains se rapprochent, s'épousent puis se séparent. Ce gigantesque ballet (*Fig. 7*) modifie les positions relatives des continents et des océans.

Une planète calme et une faible biodiversité

La Terre est parfois sujette à des épisodes de faible dégagement de chaleur. Lors de ces épisodes, les rides volcaniques au milieu des océans, peu actives, sont de faible volume, peu gonflées, elles sont plus profondes (*Fig. 8*), le fond marin est bas et donc le niveau de la mer aussi. Les plateformes marines (entre 0 et 300 m de profondeur), habituellement si riches en biodiversité, sont émergées (aujourd'hui les mers dont la profondeur est inférieure à 200 m représentent moins de 10 % du domaine marin mais 95 % des espèces de fond).

Les organismes qui affectionnent les eaux peu profondes ne disposent plus d'assez de place, c'est la crise du logement ! La compétition devient forte, beaucoup d'organismes ne réussissent pas à y trouver leur niche et disparaissent.

Outre cette restriction de niches, en largeur, autour des côtes, la longueur de celle-ci est très réduite. En effet, il y a 250 millions d'années, au Permien, par le jeu de la tectonique des plaques, tous les continents ont fini par fusionner en un seul bloc, la Pangée. Leur regroupement diminue la longueur disponible de lignes de rivage et la surface des plateaux continentaux associés (*Fig. 9*).

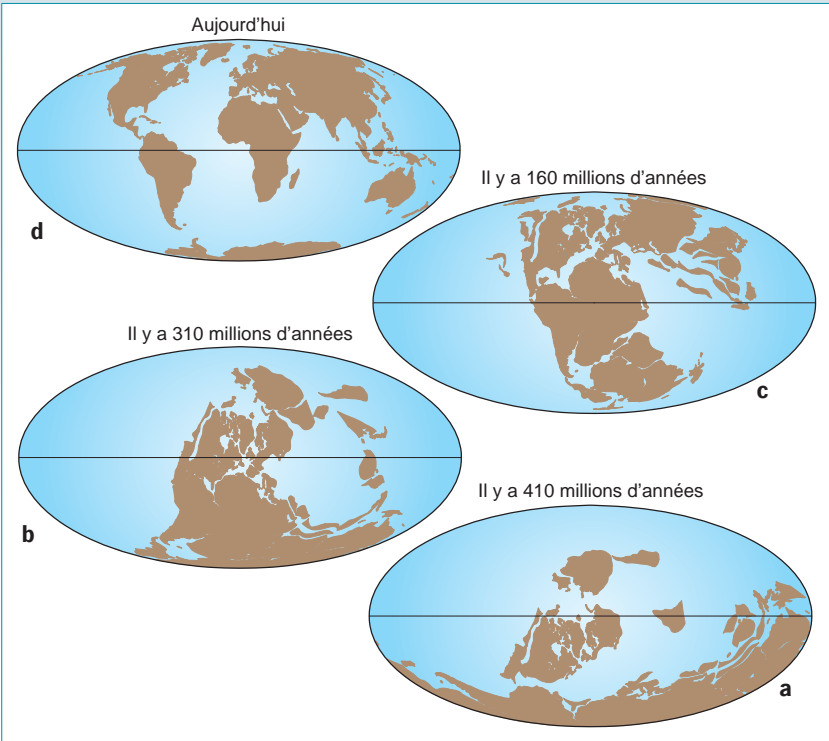


Fig. 7 • Quatre configurations des continents et océans au cours du temps.

- a.** Dans les Ardennes, des récifs coralliens se développaient.
- b.** À cette époque, sur ce qui est aujourd'hui la France, une haute chaîne de montagnes finit de s'éroder, des forêts luxuriantes s'épanouissent. Elles nous laisseront le charbon.
- c.** En ces temps, la France baigne dans une mer chaude, des récifs s'épanouissent en Bourgogne.
- d.** Aujourd'hui, notre pays, exondé, jouit d'un climat tempéré.

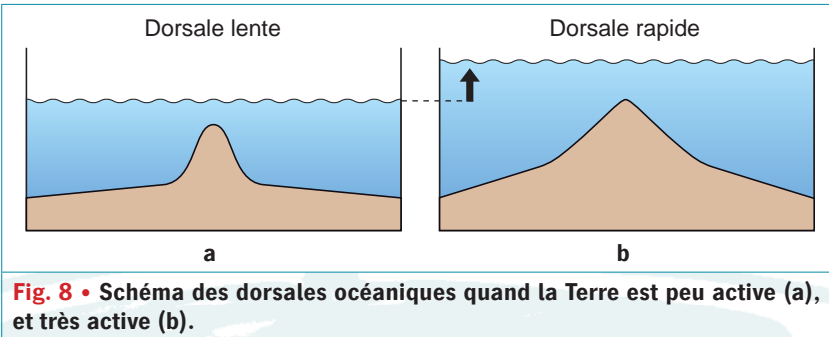


Fig. 8 • Schéma des dorsales océaniques quand la Terre est peu active (a), et très active (b).

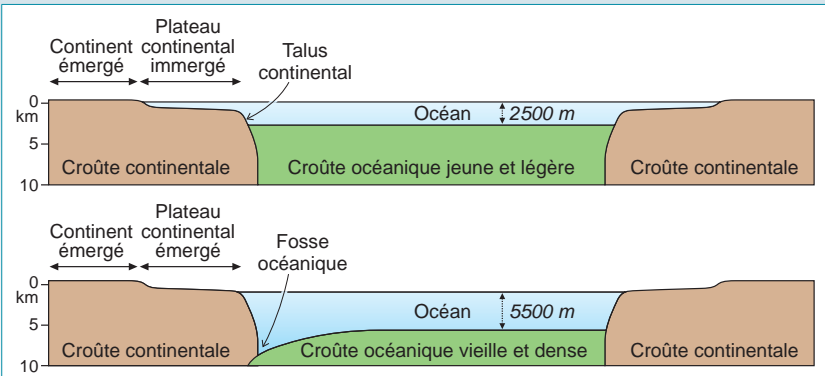


Fig. 9 • Incidence de l'activité des dorsales océaniques sur la hauteur du niveau marin.

- a.** Les dorsales océaniques sont actives, la croûte océanique, jeune et chaude est donc peu dense et haute. La mer inonde le plateau continental.
- b.** Les dorsales sont peu actives, la croûte océanique, vieille, est froide et dense ; elle est basse, le niveau marin est plus bas, l'eau s'est retirée de ce qui fut le plateau continental.

On observe donc une faible largeur et une moindre longueur des zones côtières, les plus propices à une riche biodiversité ; la biodiversité est très réduite, ne serait-ce que pour cette raison.

Une planète active et une forte biodiversité

Lors de grands dégagements de chaleur interne de la Terre, les rides volcaniques au milieu des océans sont intumescents et le niveau de la mer est élevé. C'est ce qui se produit quand un continent unique (tel que la Pangée, il y a 250 millions d'années) se fragmente. Les dorsales s'écartent rapidement, chaudes et intumescents, elles occupent un volume important. Le niveau marin remonte et envahit des terres émergées jusque-là.

Au cours des dizaines de millions d'années ultérieures, l'éclatement de la Pangée et la remontée du niveau de la mer a offert de nouveaux habitats marins sur les zones nouvellement envahies par celle-ci, les organismes s'y sont déployés et la richesse de la biodiversité a augmenté (Fig. 10). C'est précisément ce qui s'est produit lorsque la Pangée a éclaté pour se séparer en Gondwana et Eurasia, puis en Afrique, Amériques, Eurasie, Inde etc. Pendant près de 250 millions d'années, la richesse de la biodiversité s'est largement développée.



Fig. 10 • Ces structures artistiques de Port-en-Bessin (Normandie) sont créées par les courants qui ramènent, sur la plage, des coquilles Saint-Jacques qui vivent un peu plus au large et qui se disposent harmonieusement entre les rochers.

L'eau des minéraux



Fig. 11 • Des cristaux de gypse en fer de lance dans un calcaire du Bassin de Paris (Eocène).

L'eau est parfois associée si intimement aux minéraux des roches que l'on n'en soupçonne même pas la présence. Une illustration simple nous est offerte par le gypse. Celui-ci se trouve parfois sous forme de magnifiques cristaux transparents imitant le fer de lance ou les « pied d'alouette » (*Fig. 11*). On peut laisser ce cristal sur

un buvard, on ne verra aucune trace d'humidité. Pourtant, ce même cristal, enfermé dans un récipient de verre et chauffé, fera apparaître des gouttes d'eau sur les parois du flacon. De l'eau était retenue prisonnière dans le réseau cristallin. Les plus grands réservoirs d'eau de la planète seraient celui des océans et celui représenté par les minéraux des roches.

L'EAU DE LA RESPONSABILITÉ

La ville de Bailleul, Flandre française, est située sur une colline qui accuse une dénivellation d'une vingtaine de mètres. Pourtant à son sommet, sont connus plusieurs puits d'où jaillissait l'eau (puits artésiens). Ce jaillissement peut paraître paradoxal étant donné qu'un tour d'horizon montre que les alentours sont très plats et plus bas : la plaine de Flandre. Puisque l'eau jaillit, elle doit provenir de terrains plus élevés, qu'il faut aller chercher plus loin que l'horizon. En effet, l'eau qui surgit au sommet de la colline de Bailleul provient d'une cinquantaine de kilomètres au sud des collines de l'Artois dont l'altitude est de 130-150 mètres. Entre le moment où l'eau tombe et celui où elle est disponible à la consommation, il s'écoule plusieurs décennies, près d'un demi-siècle.

Cet exemple illustre magnifiquement une leçon donnée par la Nature : le temps de l'environnement n'est pas une affaire de quelques jours ou années, ni une affaire seulement locale. Le comportement des habitants des collines d'Artois engage la qualité de l'eau de personnes qui vivront dans le futur (un demi-siècle) et à plusieurs kilomètres de là (une cinquantaine).

Le temps de la responsabilité environnementale n'est pas le même que celui d'une échéance électorale !

Un océan dans le manteau ?

L'eau existe sur Terre sous trois formes, solide, liquide et gazeuse, comme on la voit dans les glaciers, l'océan et dans l'air. Le plus grand réservoir visible étant l'océan. Pourtant, l'eau existe aussi sous une forme moins manifeste : dans les roches, constituant la structure cristalline elle-même. On a vu son existence avec le gypse.

D'autres minéraux contiennent de l'eau, en particulier dans le manteau, plus précisément à la base du manteau supérieur. Il y en a une telle quantité (jusqu'à 1,5 % en poids d'un minéral, qui est la ringwoodite, une variété d'olivine) que l'on peut parler de l'océan du manteau. Certains vont jusqu'à supposer qu'il existe l'équivalent de un à trois océans pour la totalité du manteau. Cette eau est là depuis l'origine ou y est arrivée par le plongement des plaques dans les zones de subduction.

La vie et l'eau ont généré des centaines de minéraux

Quand la Terre s'est formée, il n'y eut d'abord qu'un petit nombre de minéraux dans le nuage interstellaire, puis jusqu'à 250 quand les planétésimaux se sont agglomérés sous forme de petites planètes. Mercure, qui s'est arrêtée à ce stade comprend 350 minéraux. Mars, qui a pu retenir un moment l'eau à sa surface, en offre 500 dont 150 qui résultent de l'interaction avec l'eau. Sur Terre, s'est mise en place une tectonique qui a entraîné des roches de la surface vers la profondeur offrant ainsi toute une palette de nouvelles conditions de température et de pressions permettant à des minéraux spécifiques du métamorphisme de se développer. On identifie ainsi 1 500 minéraux dans les terrains les plus anciens de notre planète, avant que la vie existe.

La vie se développant a encore offert de nouvelles conditions physiques et chimiques (Fig. 12). La production d'oxygène par les bactéries photosynthétiques par exemple, il y a 3,8 milliards d'années, a conduit à la modification la plus remarquable des conditions chimiques à la surface de notre planète. Ces changements ont ouvert de nouveaux champs

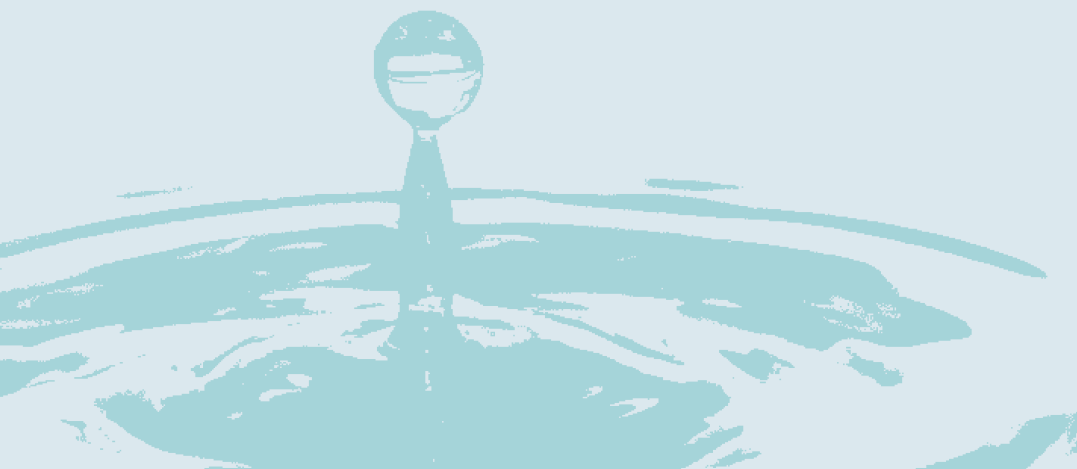
d'expression pour les minéraux. Avec cet oxygène, les minéraux qui affleuraient à la surface de la Terre ont été oxydés (« rouillés »), quels qu'ils soient, à base de fer, nickel, manganèse, cuivre, uranium, cobalt ... Ce processus, banal en apparence, représente une page clé de l'histoire du monde minéral car 2 900 minéraux sont ainsi apparus, et parmi les plus beaux : turquoise, azurite, malachite... (Fig. 13). Ainsi, parmi les 4 400 minéraux connus aujourd'hui, les deux tiers sont dus à la vie.



Fig. 12 • La nacre est le revêtement intérieur de certaines coquilles de mollusque, biosynthétisée par le manteau de l'organisme et composée de cristaux d'aragonite et de conchyoline, aux reflets irisés.

Ici, coquille d'ormeau (« oreilles de mer » ou *Haliotis*). La recherche de cette nacre pour la gastronomie ou la décoration (rosaces de guitares, bijoux...) est une des raisons de sa raréfaction.

- **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, 223 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). *La valse des continents*. EDP Sciences, coll. Terre à portée de main, 88 pages.
- **DE WEVER P. & DAVID B.** (2015). *La biodiversité de crise en crise*. Albin Michel, 310 pages.



Vj ku'r ci g'kpvgpvkpcmf 'ighv'dncpm