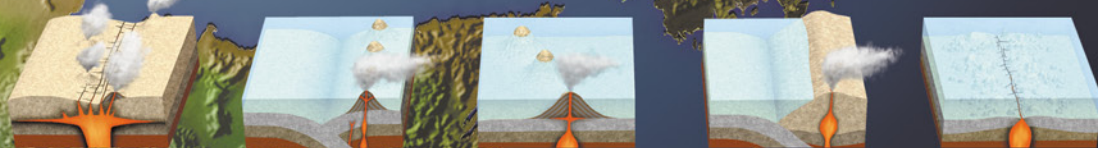


La Terre

Comprendre notre planète



QUÉBEC AMÉRIQUE

La Terre

Éditeur	Jacques Fortin	
Directeur éditorial	François Fortin	
Rédacteur en chef	Serge D'Amico	
Illustrateur en chef	Marc Lalumière	
Directrice artistique	Rielle Lévesque	
Designer graphique	Anne Tremblay	
Rédacteurs	Nathalie Fredette Stéphane Batigne Josée Bourbonnière Claude Lafleur Agence Science-Presse	
Illustrateurs	Jean-Yves Ahern Maxime Bigras Patrice Blais Yan Bohler Mélanie Boivin Charles Campeau Jocelyn Gardner Jonathan Jacques Alain Lemire Raymond Martin Nicolas Oroc Carl Pelletier Simon Pelletier Frédéric Simard Mamadou Togola Yan Tremblay	
Documentalistes-recherchistes	Anne-Marie Villeneuve Anne-Marie Brault Kathleen Wynd Jessie Daigle	Graphistes Lucie Mc Brearty Véronique Boisvert Geneviève Thérault Béliveau
Responsable de la production	Mac Thien Nguyen Hoang Guylaine Houle	Consultants Michèle Fréchet Jafar Arkani-Hamed
Technicien en préimpression	Kien Tang Karine Lévesque	Correction Liliane Michaud

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre : Comprendre la terre
(Les guides de la connaissance ; 2)
Comprend un index.
ISBN 978 -2 -7644 -1111 -7

1. Terre- Encyclopédies. 2. Géologie - Encyclopédies. 3. Géographie - Encyclopédies. 4. Géomorphologie - Encyclopédies 5. Cartographie - Encyclopédies. I. Collection : Guides de la connaissance ; 2.

QE5.C65 2007 550'.3 C2001 -940320 -8



Comprendre la terre fut conçu et créé par **QA International**, une division de Les Éditions Québec Amérique inc., 329, rue de la Commune Ouest, 3^e étage
Montréal (Québec) H2Y 2E1 Canada
T 514.499.3000 F 514.499.3010

©2007 Éditions Québec Amérique inc.

Il est interdit de reproduire ou d'utiliser le contenu de cet ouvrage, sous quelque forme et par quelque moyen que ce soit - reproduction électronique ou mécanique, y compris la photocopie et l'enregistrement - sans la permission écrite de l'éditeur.

Nous reconnaissons l'aide financière du gouvernement du Canada par l'entremise du Programme d'aide au développement de l'industrie de l'édition (PADIÉ) pour nos activités d'édition.

Les Éditions Québec Amérique tiennent également à remercier les organismes suivants pour leurs appuis financiers :



Developpement des
ressources humaines Canada

Imprimé et relié en Slovaquie.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 08 07 06 05 04

www.quebec-amerique.com

La Terre

Comprendre notre planète

Table des



28	Les types de roches
26	Le cycle des roches
24	La forme des minéraux
22	Les minéraux
20	Le géomagnétisme
18	À l'intérieur de la Terre

68	Les marées
66	Les tsunamis
64	Les vagues
62	Les courants marins
60	Fosses et dorsales océaniques
58	Le fond de l'océan
56	L'océan mondial
54	Fleuves et lacs du monde
52	Les cours d'eau

6 L'histoire de la Terre	16 La structure de la Terre	30 La tectonique et le volcanisme	50 L'eau et les océans
-----------------------------------	--------------------------------------	--	---------------------------------

8	La naissance de la Terre
10	L'échelle du temps géologique
12	La vie à l'assaut des continents
14	La connaissance des temps géologiques

32	La tectonique des plaques
34	Le destin de la Pangée
36	La dérive des continents
38	Les volcans
40	Le volcanisme
42	Les éruptions volcaniques
43	Les points chauds
44	Les geysers
46	Les séismes
48	Les ondes sismiques

matières



- 87 Les icebergs
- 86 L'érosion glaciaire
- 84 Les glaciers
- 82 Configuration du littoral
- 80 Les montagnes du monde
- 78 La formation des montagnes
- 76 Les grottes
- 75 Les mouvements de terrain
- 74 Le cycle de l'érosion
- 72 L'érosion

- 122 L'Afrique
- 120 L'Océanie
- 118 L'Asie
- 116 L'Europe
- 114 L'Amérique du Sud
- 112 L'Amérique du Nord
- 111 L'Antarctique
- 110 La configuration des continents

70 | L'évolution des paysages

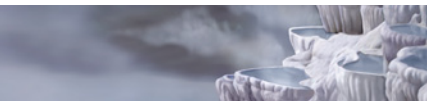
88 | La représentation de la Terre

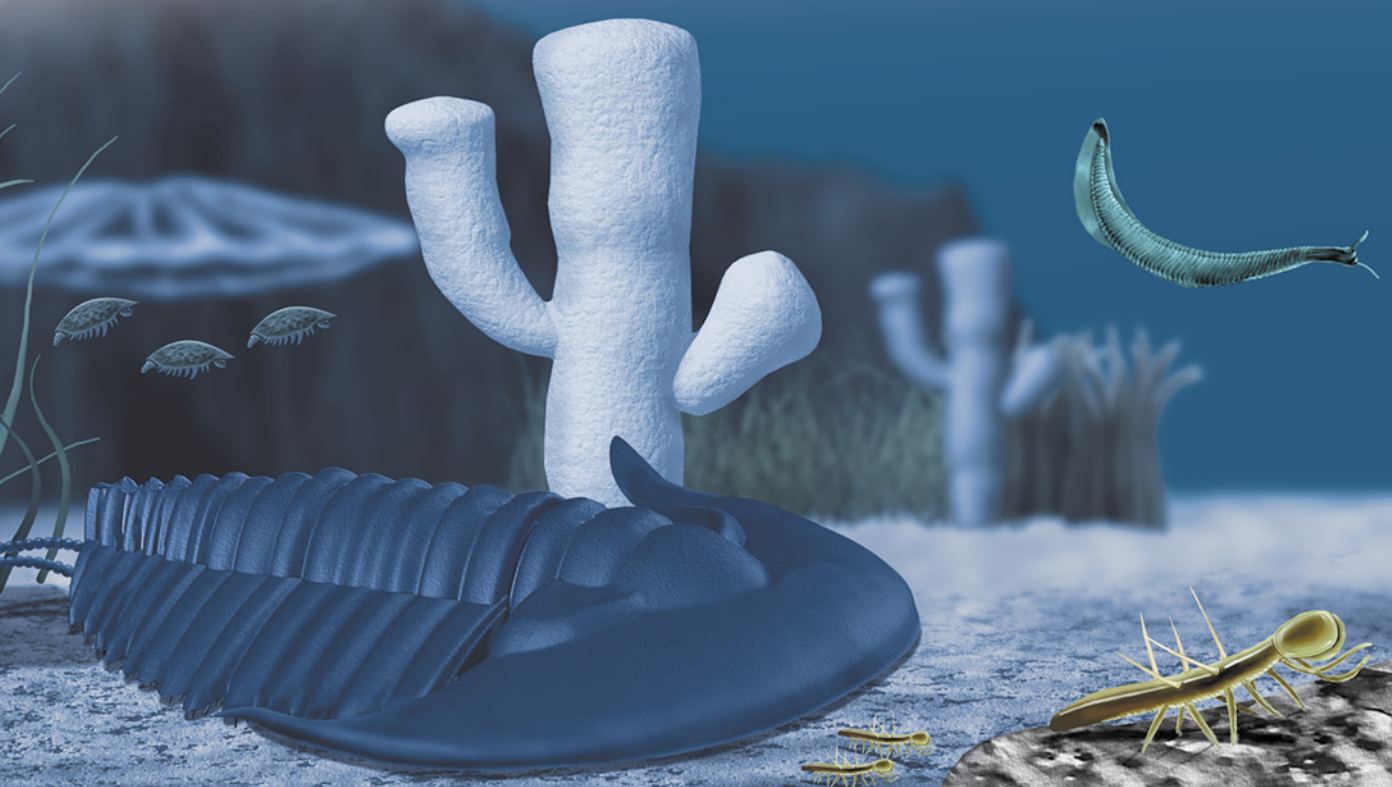
108 | Les continents

124 | Glossaire

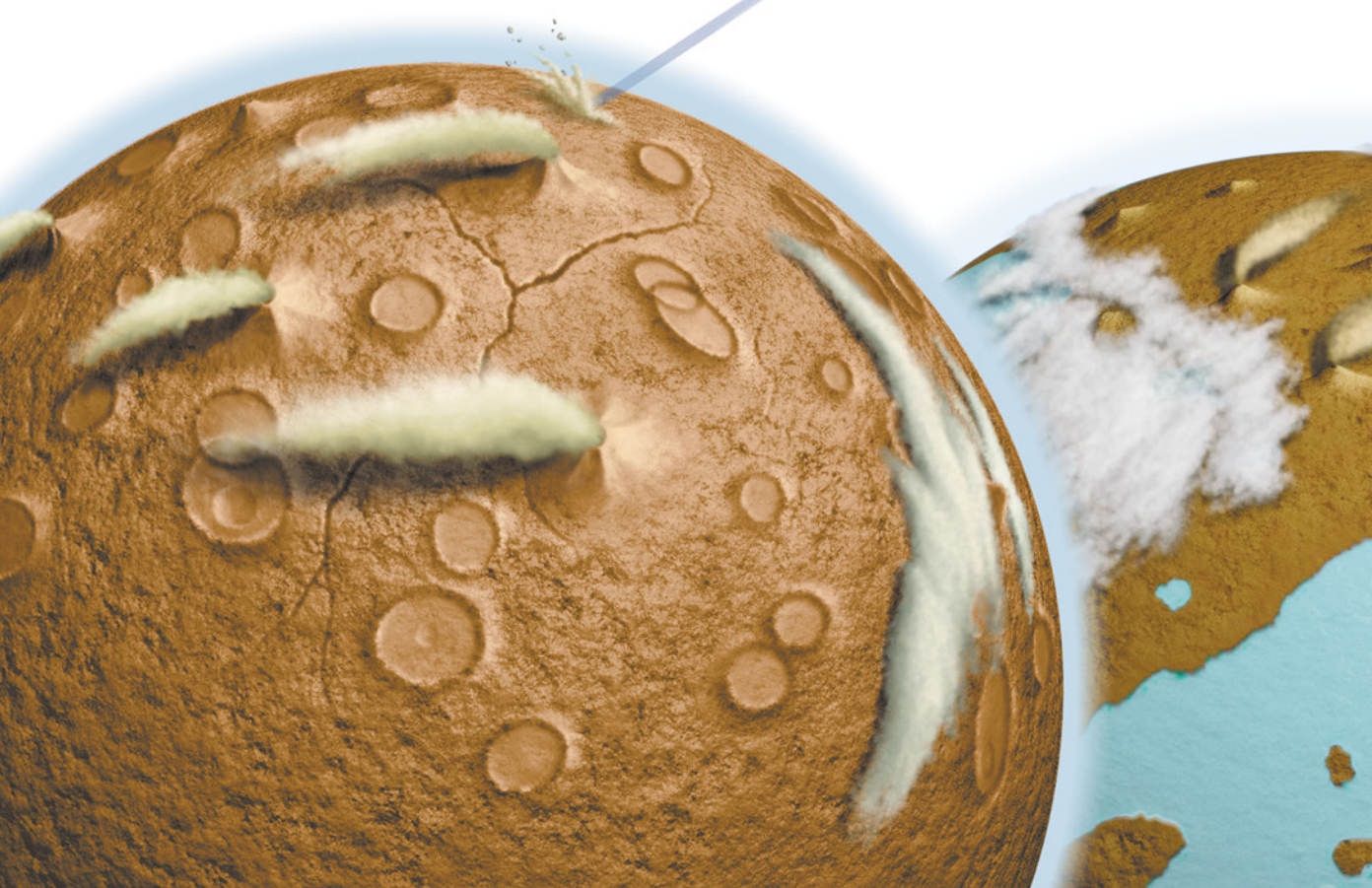
126 | Index

- 90 Les coordonnées terrestres
- 92 La projection cartographique
- 94 La cartographie
- 96 Les conventions cartographiques
- 98 Les cartes physiques et topographiques
- 100 Les cartes thématiques
- 102 La télédétection
- 104 Satellites et navettes
- 106 Les fuseaux horaires





Née d'un nuage de poussière spatiale il y a environ 4,6 milliards d'années, la Terre n'a pas toujours ressemblé à la planète que nous connaissons aujourd'hui. Au contraire, **elle s'est constamment transformée** tout au long de son histoire, devenant de plus en plus organisée, de plus en plus complexe. Cette fascinante évolution nous est révélée par les roches et les fossiles, témoins des premiers temps de notre planète.





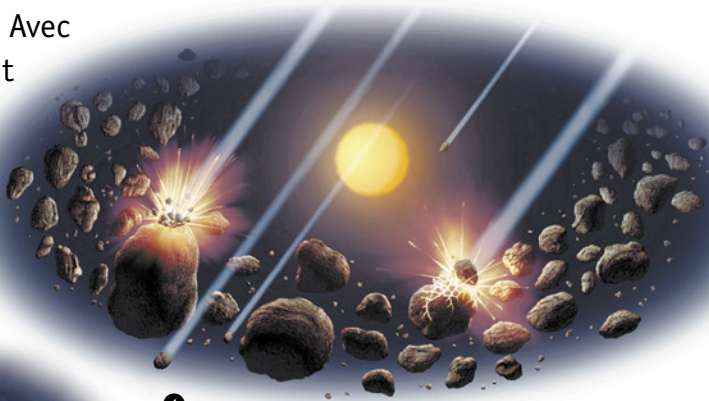
L'histoire de la Terre

- 8 **La naissance de la Terre**
Comment tout a commencé
- 10 **L'échelle du temps géologique**
Aux origines de la vie
- 12 **La vie à l'assaut des continents**
Des organismes de plus en plus complexes
- 14 **La connaissance des temps géologiques**
Les sources de la datation

La naissance de la Terre

Comment tout a commencé

Il y a quelque 5 milliards d'années, le Système solaire comprenant la Terre n'existait pas. Ce n'était qu'un immense nuage de poussière et de gaz diffus tournant lentement sur lui-même. Avec le temps, le Soleil naît, puis c'est le tour des neuf planètes, dont la Terre, qui se forment un peu à la manière de boules de neige, par agglomération de matière au sein de cette nébuleuse originelle.



4

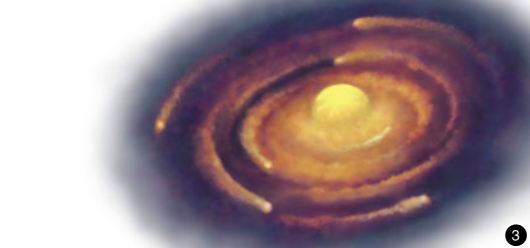
SORTIE D'UN NUAGE DE POUSSIÈRE

Tout commence il y a quelque 4,6 milliards d'années, dans l'un des bras spiraux de la Voie lactée. Sous l'effet d'une onde de choc provenant probablement de l'explosion d'étoiles massives, un nuage de poussière (la **nébuleuse primitive**) commence à graviter ①.

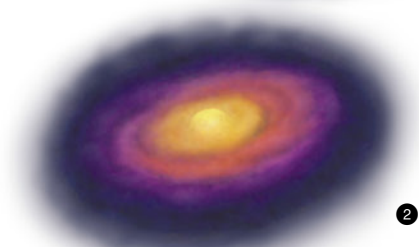
Au centre de ce nuage, la matière devient de plus en plus dense, chaude, puis lumineuse. Elle engendre un embryon d'étoile, qui devient le **Soleil** ②.

Les poussières environnantes s'agglomèrent. Des petits cailloux, dont la taille devient de plus en plus imposante, forment des embryons de planètes, ou **protoplanètes**, de quelques kilomètres de diamètre ③.

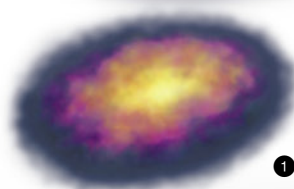
Ces protoplanètes entrent en collision les unes avec les autres et s'agglomèrent jusqu'à atteindre la taille de **planètes** (de plusieurs milliers de kilomètres). Durant des centaines de millions d'années, les planètes naissantes, dont la Terre, subissent le bombardement intense des autres corps rocheux ④.



3



2



1



DE LA LAVE À LA VIE

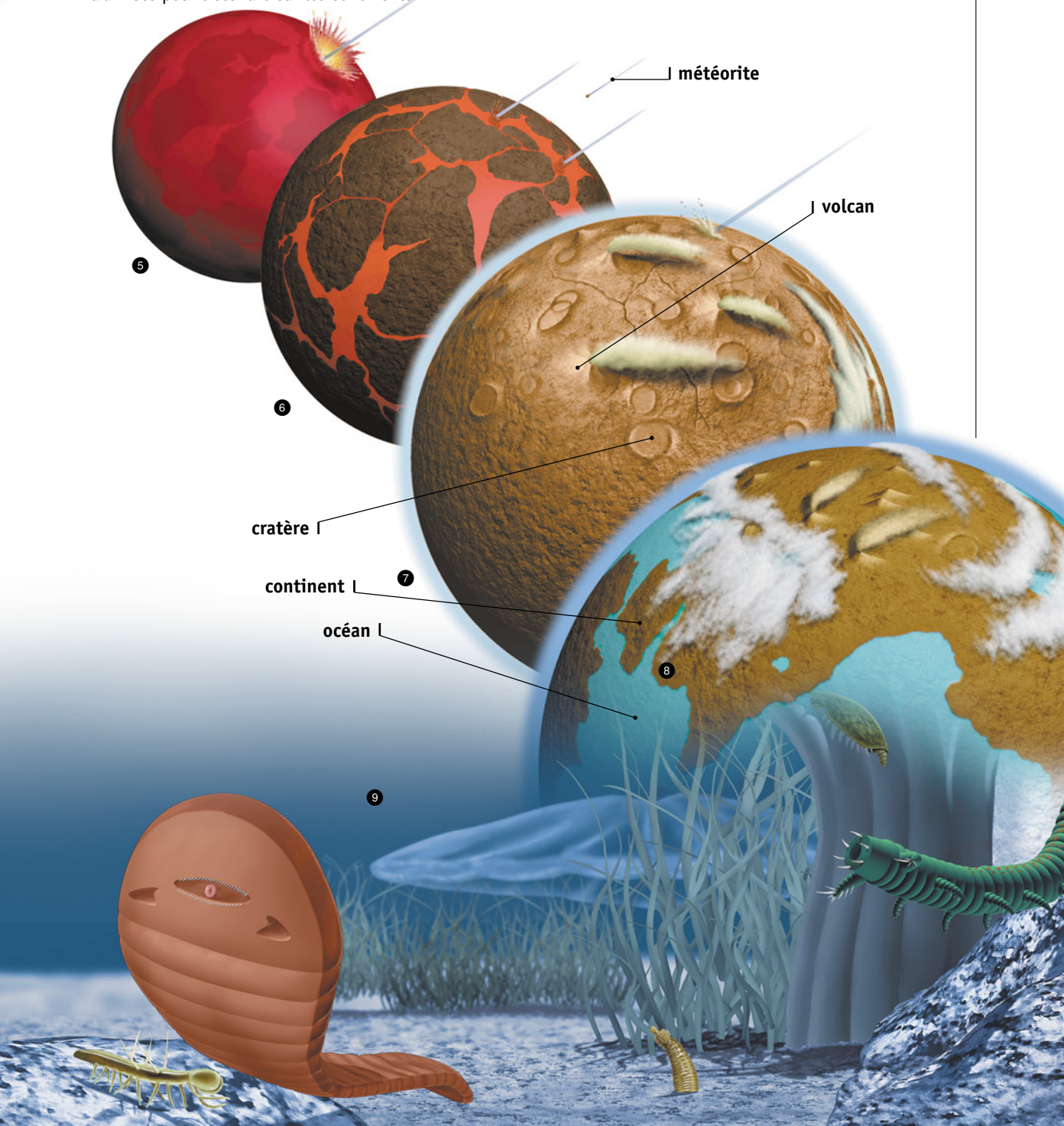
À ses débuts, il y a environ 4,6 milliards d'années, la Terre est entièrement couverte d'un **océan de lave brûlante** – de la roche liquide – de plusieurs centaines de kilomètres d'épaisseur. Elle ne possède alors ni croûte ni noyau ❶.

Petit à petit, cet océan de lave se refroidit. Des **morceaux de croûte** se forment et flottent à la surface de la planète, laquelle est toujours intensément bombardée par les météorites et les comètes ❷.

Avec le temps, une **croûte primitive** se forme. Les éléments lourds comme le fer et le nickel se concentrent pour former le noyau tandis que les éléments plus légers (oxygène, silicium, aluminium, etc.) composent la croûte ❸.

La Terre est aussi le théâtre d'une intense activité volcanique, qui mène à l'expulsion de gaz légers et libère une **atmosphère primitive** radicalement différente de la nôtre. En se condensant, la vapeur d'eau forme des nuages ; l'apparition de la pluie permet la création des lacs, des rivières et des océans. Parallèlement, la croûte se disloque et donne naissance aux continents ❹.

La présence de continents, d'océans et d'une atmosphère pauvre en oxygène qui permet la formation de molécules de plus en plus complexes engendre un phénomène remarquable : la **vie**. Moins d'un milliard d'années après la naissance de la Terre, cette vie apparaît dans les océans ❺. Elle mettra quelques milliards d'années pour s'étendre sur les continents...



L'échelle du temps géologique

Aux origines de la vie

Depuis son apparition, il y a 4,6 milliards d'années, la Terre a connu un très grand nombre de transformations. À ses débuts, elle ne ressemblait aucunement à ce que nous avons aujourd'hui sous les yeux. Le paysage terrestre s'est modifié très lentement : des continents et des océans se sont formés, des espèces animales et végétales sont apparues puis elles ont été remplacées par d'autres...

Afin de déterminer et dater les transformations majeures de ce monde en perpétuel changement, les géologues ont créé une échelle des temps géologiques.

LES DÉBUTS DU MONDE : UNE VIE AQUATIQUE

Le précambrien ❶ est la période la plus lointaine et la plus longue de l'histoire de la Terre.

C'est durant cette période que se sont formés, il y a environ 4 milliards d'années, la croûte terrestre, puis les continents et les océans.

Puis, 500 millions d'années plus tard, la vie se manifeste. Les premiers organismes cellulaires apparaissent, de même que les premières bactéries et les premières algues.

Au cambrien ❷, divers groupes d'invertébrés évoluent dans des mers peu profondes qui recouvrent une bonne partie de la Terre.

Les premiers vertébrés apparaissent à la période suivante : l'ordovicien ❸.

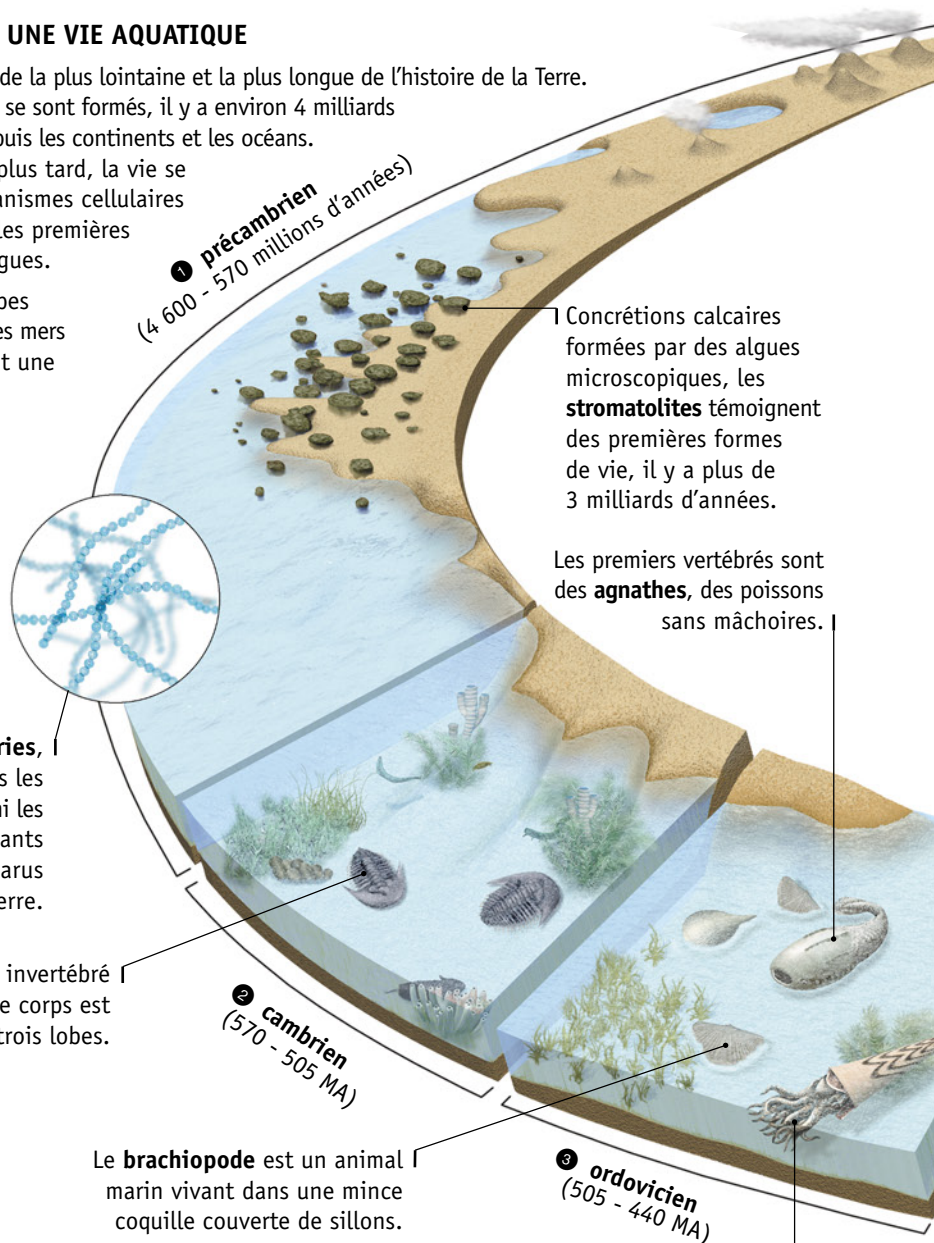
On y trouve également en abondance des coraux, des éponges et des mollusques, comme les céphalopodes.

Les **cyanobactéries**, communément appelées les algues bleu-vert, sont parmi les premiers organismes vivants microscopiques apparus sur Terre.

Le **trilobite** est un invertébré à carapace dont le corps est divisé en trois lobes.

Le **brachiopode** est un animal marin vivant dans une mince coquille couverte de sillons.

Ancêtre du calmar, du poulpe et du nautilus, le **céphalopode orthocère** possède une coquille droite ou légèrement incurvée.



L'HISTOIRE DE LA TERRE SUR UNE ANNÉE...

4,6 milliards d'années d'évolution : il est difficile de concevoir un tel nombre. On peut s'en faire une idée en ramenant cette période sur un an. Imaginons que la Terre ait été créée le 1^{er} janvier à minuit. La première forme de vie apparaît vers le mois d'avril. Les végétaux commencent à croître sur la terre ferme à la fin novembre. Les dinosaures voient le jour vers la mi-décembre, pour disparaître le 25 décembre vers 19 heures. L'espèce humaine peuple la Terre le 31 décembre à 23 h 25 et construit les pyramides d'Égypte à 23 heures 59 minutes 29 secondes. La découverte de l'Amérique se réalise à 23 heures 59 minutes 57 secondes !

À LA CONQUÊTE DE LA TERRE

Au cours du silurien ④, les premières plantes terrestres font leur apparition. On commence à trouver dans les eaux des poissons à mâchoires.

Le dévonien ⑤ marque l'arrivée des insectes et des premiers animaux terrestres, les amphibiens. Lors de cette période, les poissons se diversifient et les continents, jusqu'alors déserts, se couvrent de prêles et de fougères.

Pendant le carbonifère ⑥, l'élévation du niveau de la mer entraîne le développement d'immenses marécages, toute cette végétation finissant par pourrir et former des couches de tourbe qui seront à l'origine des dépôts de charbon. Les premiers reptiles voient le jour.

Les **fougères** commencent à croître sur le bord de l'eau. Certaines sont petites, d'autres sont géantes et hautes comme les arbres d'aujourd'hui.

Le plus ancien insecte connu, l'**archaeognathe**, ne possède pas d'ailes, mais il est pourvu de longues antennes.

Avec le temps, les nageoires de certains poissons se transforment en membres.

L'**ichtyostéga** est l'un des premiers amphibiens à voir le jour. Sa queue rappelle toujours celle d'un poisson.

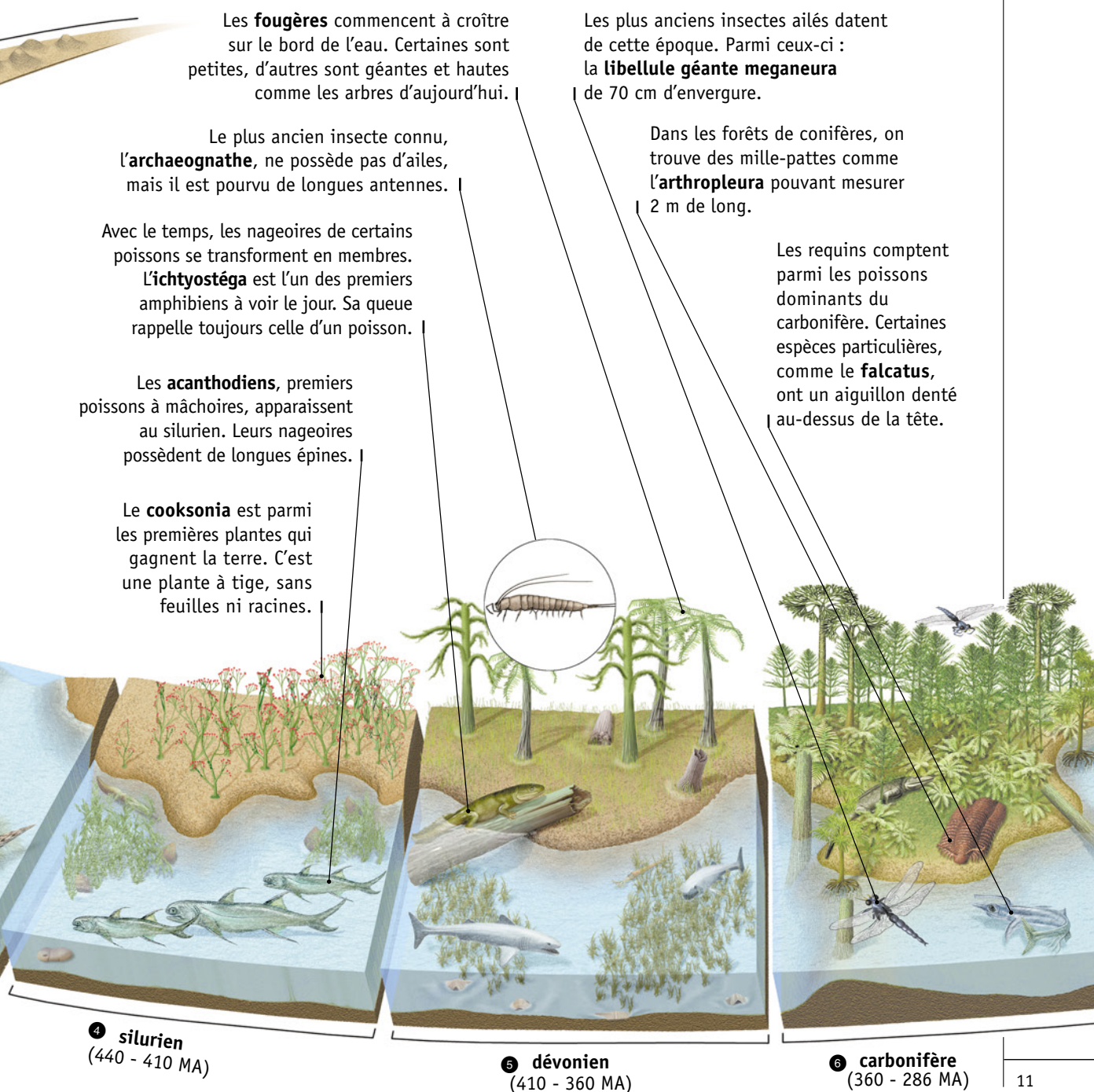
Les **acanthodiens**, premiers poissons à mâchoires, apparaissent au silurien. Leurs nageoires possèdent de longues épines.

Le **cooksonia** est parmi les premières plantes qui gagnent la terre. C'est une plante à tige, sans feuilles ni racines.

Les plus anciens insectes ailés datent de cette époque. Parmi ceux-ci : la **libellule géante meganeura** de 70 cm d'envergure.

Dans les forêts de conifères, on trouve des mille-pattes comme l'**arthropleura** pouvant mesurer 2 m de long.

Les requins comptent parmi les poissons dominants du carbonifère. Certaines espèces particulières, comme le **falcatus**, ont un aiguillon denté au-dessus de la tête.



④ **silurien**
(440 - 410 MA)

⑤ **dévonien**
(410 - 360 MA)

⑥ **carbonifère**
(360 - 286 MA)

La vie à l'assaut des continents

Des organismes de plus en plus complexes

REPTILES, MAMMIFÈRES ET DINOSAURES

Au permien ⑦, on trouve les reptiles en abondance. Ceux-ci supplantent les amphibiens lorsque se produit un assèchement du climat. Les masses continentales forment alors un seul supercontinent : la Pangée.

Au cours du trias ⑧, ce supercontinent se disloque pour donner naissance aux continents actuels. Les mammifères, les dinosaures et plusieurs reptiles aquatiques font leur apparition.

Pendant la période suivante, au jurassique ⑨, le morcellement de la Pangée forme une zone de rupture qui crée l'océan Atlantique. Les dinosaures comme le platéosaure ou le brontosauire dominent alors le monde. Certains reptiles et les premiers oiseaux prennent leur envol. Les plantes à fleurs croissent.

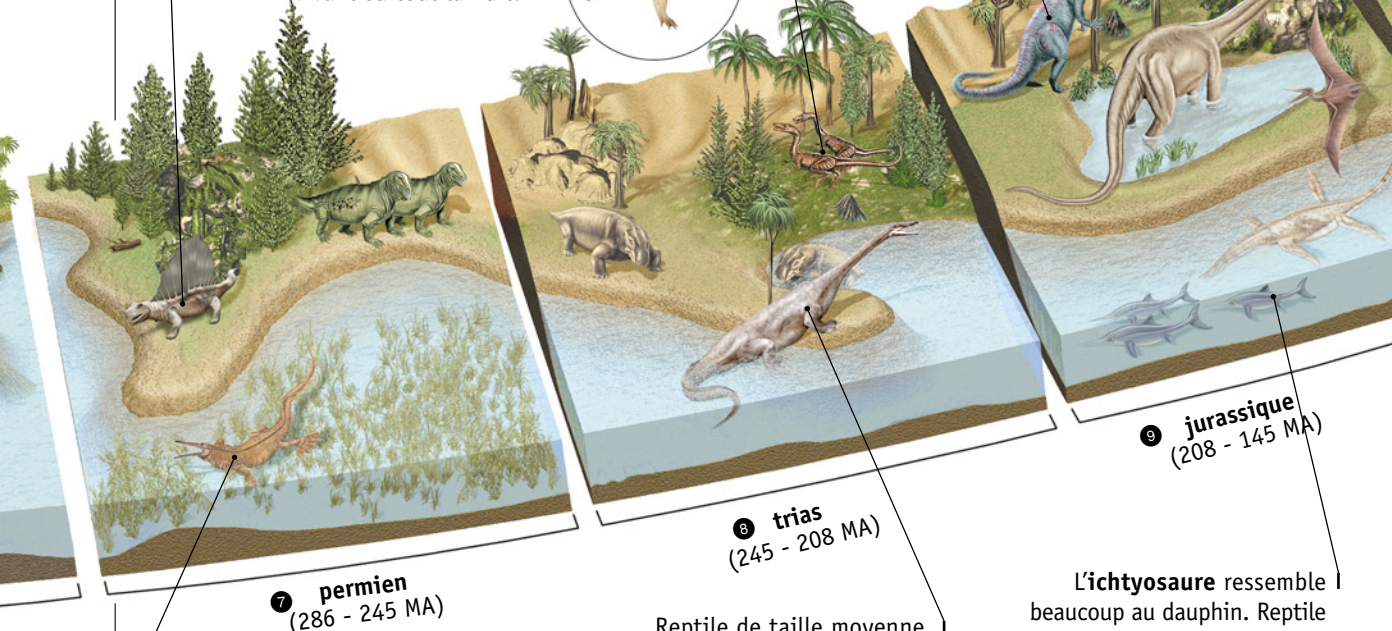
Le **diméetrodon** est l'un des reptiles carnivores qui dominent le permien. La large voilure de l'animal permet la régulation de sa température interne.

Le **platéosaure** est l'un des plus gros dinosaures du jurassique. Herbivore au long cou, il se dresse sur ses pattes pour atteindre les feuilles des arbres.

L'**archéoptéryx**, qui compte parmi les premiers êtres ailés, présente des caractéristiques appartenant aux reptiles (griffes, dents, longue queue) et aux oiseaux (ailes, plumes).

Parmi les représentants des dinosaures qui apparaissent au trias, on compte le **bipède coelophys**, un prédateur vorace pourvu de puissantes serres.

Le **mégazostrodon**, de la taille d'une souris, fait partie des premiers mammifères apparus sur Terre. Il s'agit d'un insectivore, vivant surtout la nuit.



⑦ **permien**
(286 - 245 MA)

Premier reptile aquatique, le **mésosaure** est un animal de petite taille, au long museau pointu, nageant dans les eaux peu profondes.

⑧ **trias**
(245 - 208 MA)

Reptile de taille moyenne, à long cou, le **nothosaure** possède des membres en forme de palette adaptés à la nage.

⑨ **jurassique**
(208 - 145 MA)

L'**ichtyosaure** ressemble beaucoup au dauphin. Reptile marin, mesurant de 1 à 5 m, il est très bien adapté à la vie aquatique.

L'ARRIVÉE DE L'HOMME

Les dinosaures, qui règnent encore pendant une partie du crétacé ⑩, disparaissent brusquement à la fin de cette période, probablement à la suite de la chute d'une gigantesque météorite qui provoque l'extinction des trois quarts des espèces végétales et animales.

Les premiers primates et les premiers grands singes voient le jour au tertiaire ⑪. Les mammifères se diversifient : on voit apparaître notamment des chevaux, des chameaux, des rhinocéros et des éléphants. Un refroidissement climatique se traduit par l'apparition de prairies.

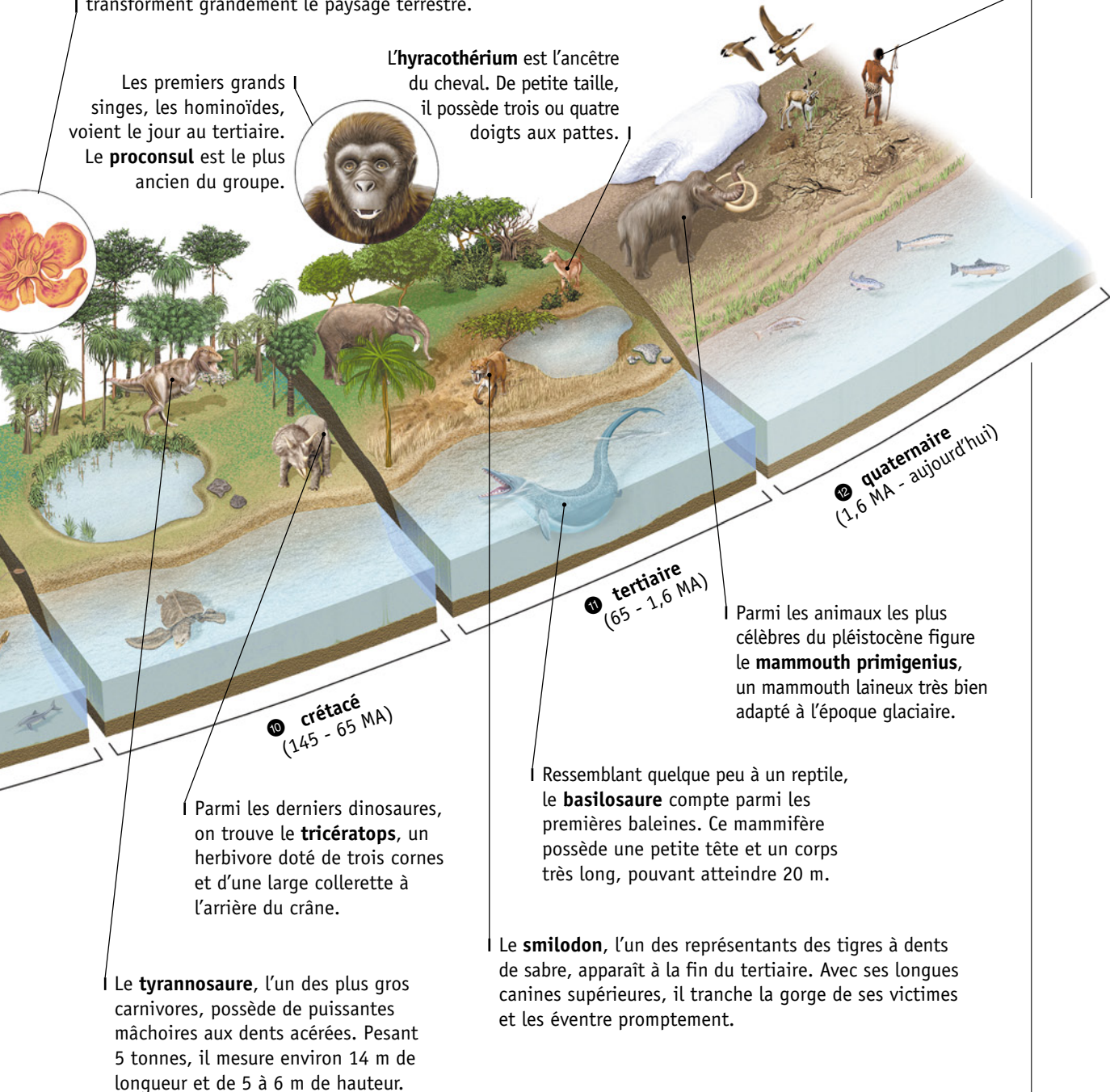
Par la suite, l'ère quaternaire ⑫ est ponctuée de quatre périodes glaciaires ; les glaciers atteignent leur extension maximale il y a 18 000 ans, pour commencer à se retirer 8 000 ans plus tard. Les mammifères et les oiseaux dominent la planète au cours de cette ère et les premiers humains apparaissent : *Homo habilis*, *Homo erectus* et *Homo sapiens*. Le temps historique commence avec l'invention de l'écriture, il y a 5 000 ans.

Les **plantes à fleurs**, apparues au jurassique, se développent et se diversifient. Leurs couleurs et leurs formes variées transforment grandement le paysage terrestre.

Homo sapiens, l'homme moderne, apparaît il y a environ 100 000 ans.

Les premiers grands singes, les hominoïdes, voient le jour au tertiaire. Le **proconsul** est le plus ancien du groupe.

L'**hyrachthérium** est l'ancêtre du cheval. De petite taille, il possède trois ou quatre doigts aux pattes.



MA : millions d'années

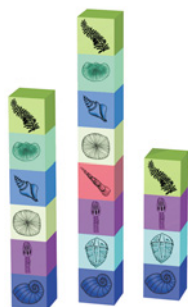
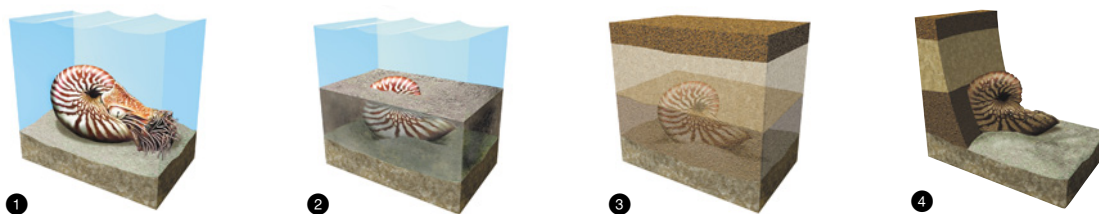
La connaissance des temps géologiques

Les sources de la datation

Quel âge ont les roches les plus anciennes ? Quel climat régnait sur Terre il y a 300 millions d'années ? Quand la vie aquatique a-t-elle cédé la place à la vie terrestre ? À quel moment sont apparus les oiseaux, les conifères, les dinosaures ou les fleurs ? L'un des grands défis des géologues est précisément de répondre à de telles questions. Pour dater une période passée en l'absence de documents écrits, ils ont notamment recours à deux méthodes : la datation relative et la datation absolue.

LES VESTIGES DU TEMPS

Ensevelis sous des couches de roches sédimentaires, les fossiles forment les vestiges du passé. Ce sont le plus souvent les parties dures (os, coquille, etc.) des animaux et des plantes qui sont conservées. Ici, une ammonite meurt et se dépose au fond de l'eau ①. Le corps du mollusque se décompose et les sédiments commencent à recouvrir la coquille ②. Avec le temps, les couches de sédiments se durcissent et retiennent captive la coquille ③. Après des millions d'années, des mouvements géologiques ou des fouilles ramènent parfois le fossile à la surface ④.



LA DATATION RELATIVE

La datation relative (ou stratigraphique) se fonde sur l'observation des différentes couches du sol pour établir un ordre chronologique entre plusieurs périodes. Au fil du temps, les sédiments anciens sont ensevelis sous d'autres, formant une accumulation de couches (ou strates) caractéristiques d'une époque, la plus récente étant en principe celle du dessus.

Lorsque des accidents géologiques retournent les strates ou les renversent à la verticale, on recourt au principe de l'identité paléontologique, qui suppose que deux couches contenant les mêmes fossiles sont de la même époque.

LA DATATION ABSOLUE

La datation absolue (ou radiométrique) permet de dater l'âge des fossiles. Elle est fondée sur le principe de désintégration de certains éléments chimiques dits radioactifs. La datation au carbone 14 (C^{14}) est la plus connue, le carbone étant un élément que l'on retrouve dans tout organisme vivant. Étant donné que les organismes contiennent du C^{14} et du C^{12} en proportion stable et qu'à leur mort le C^{14} se désintègre à un certain rythme, on détermine depuis combien de temps une plante ou un animal est mort en établissant la proportion de C^{14} restante par rapport au C^{12} .

Les scientifiques ont établi qu'il s'écoule 5 730 années avant que 50 % du C^{14} ne soit désintégré. Ce nombre d'années correspond à sa « demi-vie ». Le même temps sera nécessaire pour que la moitié de la matière restante se désintègre, ainsi de suite. De cette manière, on arrive par exemple à calculer que 22 920 ans se sont écoulés depuis la mort d'un organisme s'il reste seulement 1/16 du C^{14} par rapport au C^{12} .

Cette technique est couramment utilisée pour dater des vestiges de moins de 50 000 années. Il faut recourir à d'autres éléments (uranium, rubidium, etc.) pour des échantillons plus anciens.

DÉSINTÉGRATION DU CARBONE 14

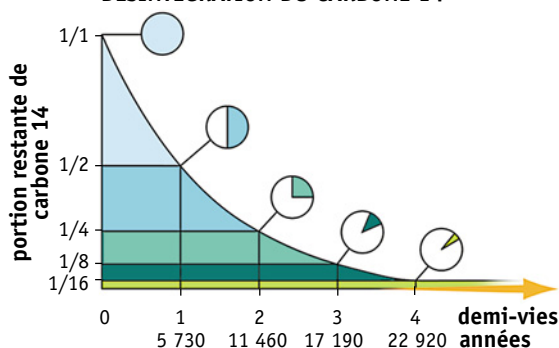


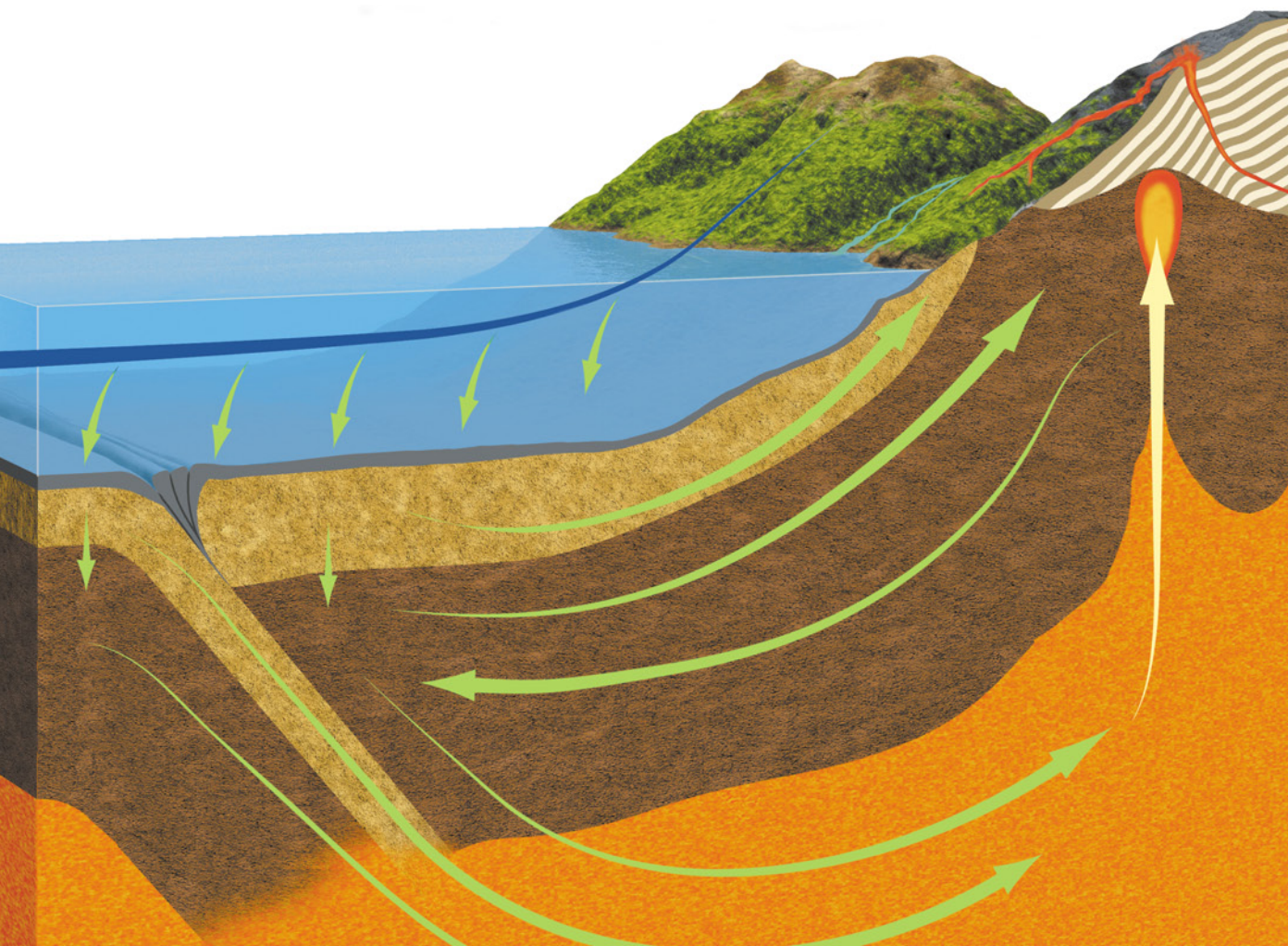
TABLEAU GÉOCHRONOLOGIQUE

À la manière des historiens, qui ont divisé l’histoire de l’humanité en différentes époques, les scientifiques ont découpé l’évolution de la Terre en périodes correspondant aux principaux changements. Ainsi, le temps écoulé depuis la création de la planète a été subdivisé en intervalles, appelés unités géochronologiques. Les plus grandes de ces unités, les éons, sont divisées en ères puis en périodes et en époques.

éon	ère	période	époque	millions d'années	événements
phanérozoïque	cénozoïque	quaternaire	holocène	0,01	- premiers humains - glaciations
			pléistocène		
		tertiaire	pliocène	1,6	- formation de l'Himalaya - premières graminées - diversification des mammifères - premiers primates
			miocène		
			oligocène		
			éocène		
			paléocène		
	mésozoïque	crétacé		65	- formation des Alpes et des Rocheuses - extinction massive d'espèces végétales et animales - disparition des dinosaures
		jurassique	145	- apparition des plantes à fleurs (angiospermes) - premiers oiseaux - règne des dinosaures - formation de l'océan Atlantique	
			208	- premiers dinosaures - premiers mammifères - dislocation de la Pangée	
		trias	245	- les masses continentales forment un supercontinent (la Pangée) - abondance de reptiles - assèchement du climat	
	paléozoïque	permien		286	- formation des Appalaches - premières plantes à graines - élévation du niveau de la mer - premiers reptiles
		carbonifère	360	- apparition des prêles et des fougères - diversification des poissons - premiers animaux terrestres (amphibiens) - premiers insectes	
			410	- premières plantes terrestres - poissons à mâchoires	
		silurien	440	- premiers vertébrés	
			ordovicien	505	- premiers invertébrés
		cambrien		570	- oxygène atmosphérique
précambrien			protérozoïque		2 500
	archéozoïque		4 600		



Qu'y a-t-il sous la surface terrestre? Peut-on pénétrer jusqu'au cœur de la Terre? L'intérieur de notre planète est encore un milieu mystérieux où règnent **des conditions extrêmes** de pression et de température. Modelée par des processus qui s'étalent sur des millions d'années, la matière minérale y est élaborée et métamorphosée en une multitude de formes et de structures étonnantes.





La structure de la Terre

- 18 **À l'intérieur de la Terre**
La structure interne de la planète
- 20 **Le géomagnétisme**
La Terre, un aimant gigantesque
- 22 **Les minéraux**
Des cristaux au cœur des roches
- 24 **La forme des minéraux**
Structures et faciès
- 26 **Le cycle des roches**
La matière terrestre en constante évolution
- 28 **Les types de roches**
Une extraordinaire diversité

À l'intérieur de la Terre

La structure interne de la planète

Même s'il est impossible de savoir avec certitude à quoi ressemble la structure interne de notre planète, la géophysique et l'astronomie (par l'observation et l'analyse des autres planètes du système solaire) ont permis de recueillir de nombreux renseignements concernant l'intérieur de la Terre.

D'une masse totale d'environ 6 milliards de milliards de tonnes, la planète est constituée de trois couches concentriques, de la plus dense à la plus légère, délimitées par des zones de transition appelées discontinuités :

le noyau, le manteau et la croûte. Chacune possède une composition chimique et des propriétés physiques particulières.

La **croûte terrestre** représente à peine 3 % du volume de la Terre.

discontinuité de Mohorovicic

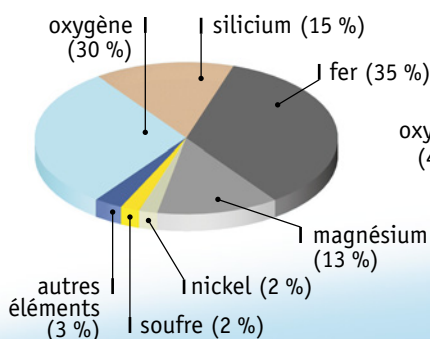
Le **manteau** occupe 80 % du volume total de la Terre. Principalement constitué de roches volcaniques, il est en état de fusion partielle à une température d'environ 3 000 °C.

Des **courants de convection** transportent la chaleur interne de la Terre vers la surface.

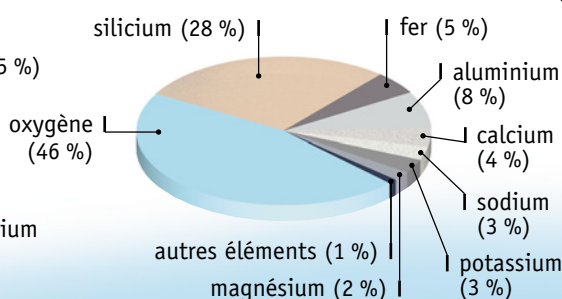
discontinuité de Gutenberg

Le **noyau**, qui occupe 16 % du volume de notre planète, concentre 33 % de sa masse. Il contient les éléments les plus lourds de la Terre, comme le fer et le nickel, qui se seraient accumulés au centre de notre planète il y a 4,5 milliards d'années.

COMPOSITION CHIMIQUE DE LA TERRE

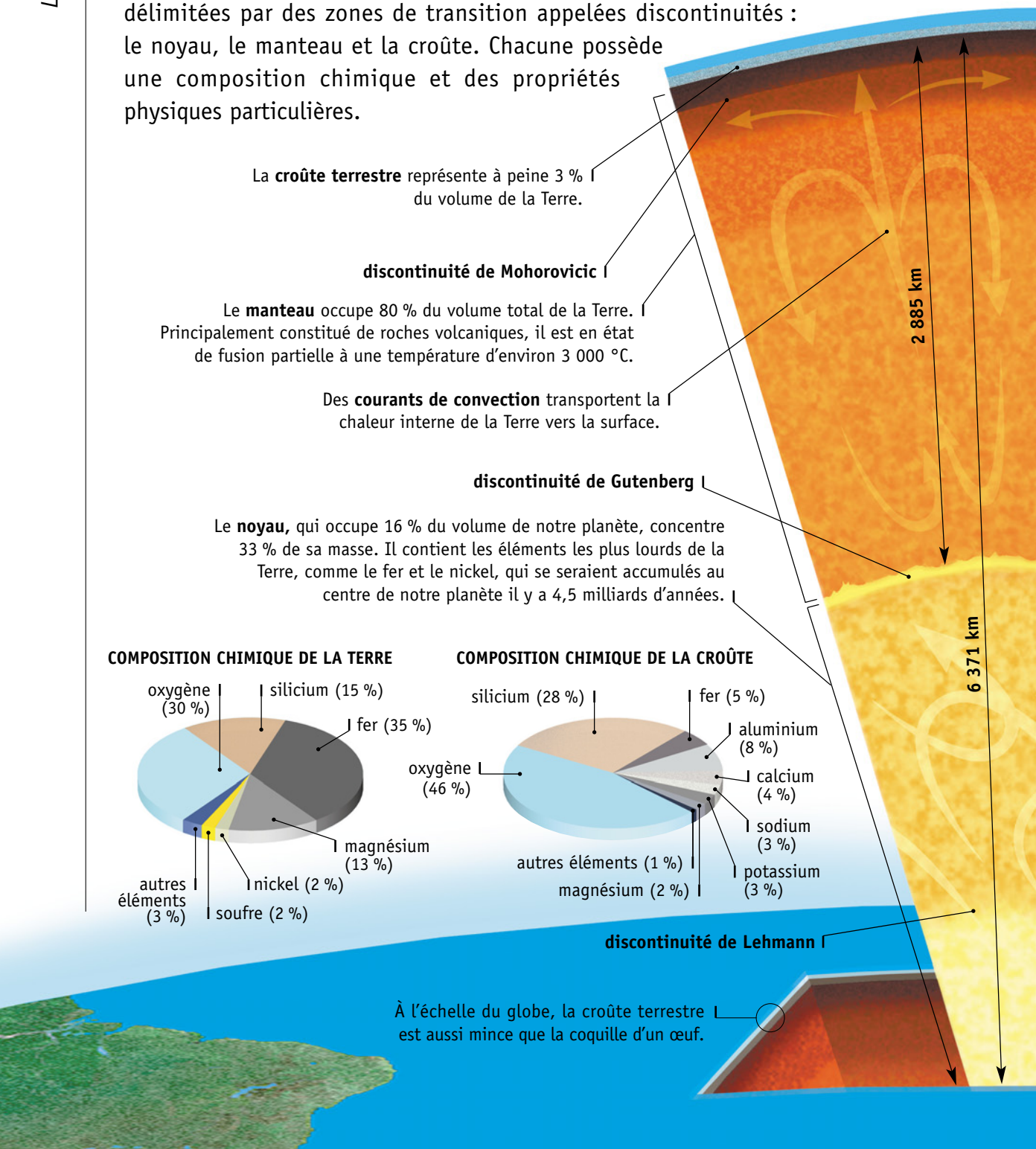


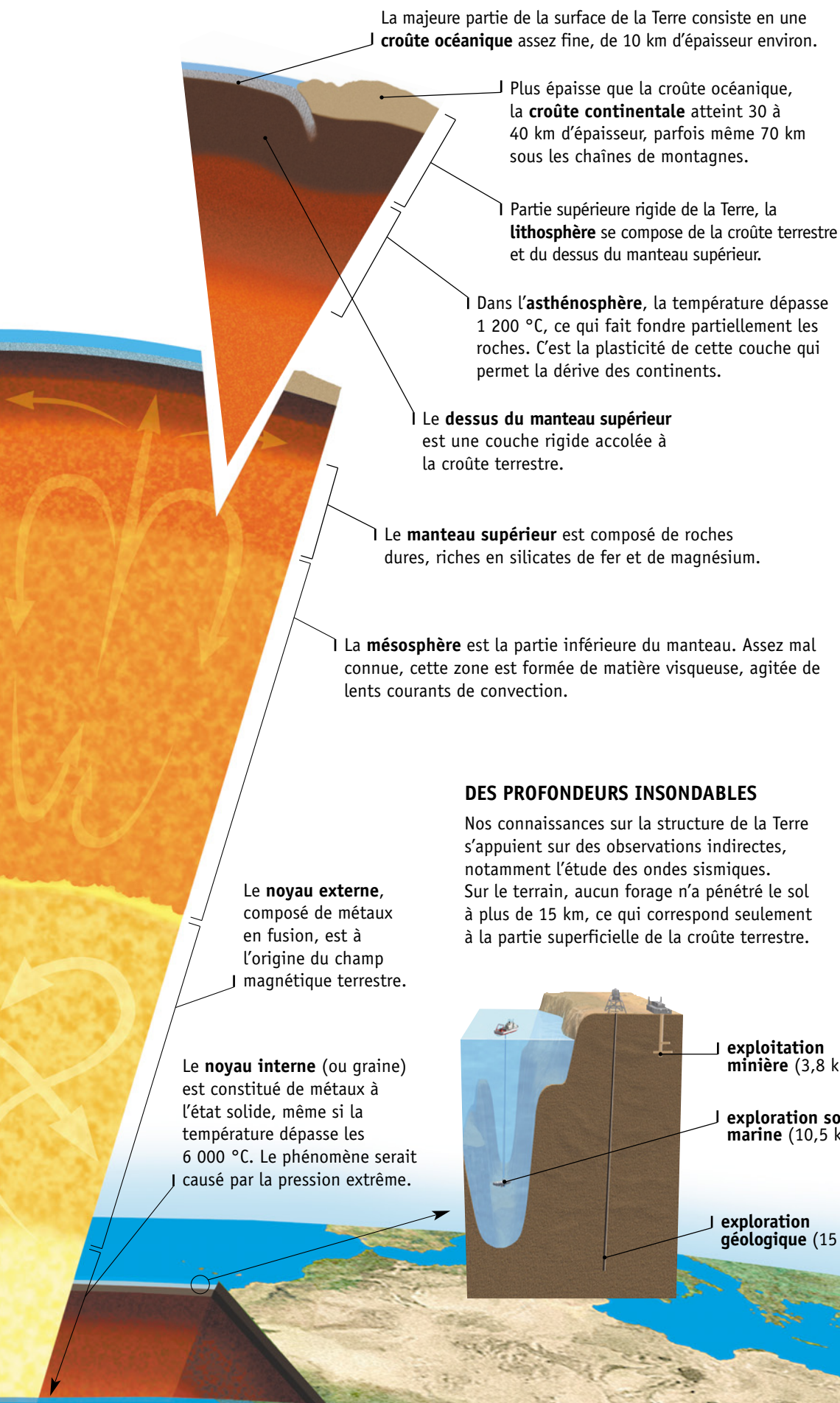
COMPOSITION CHIMIQUE DE LA CROÛTE



discontinuité de Lehmann

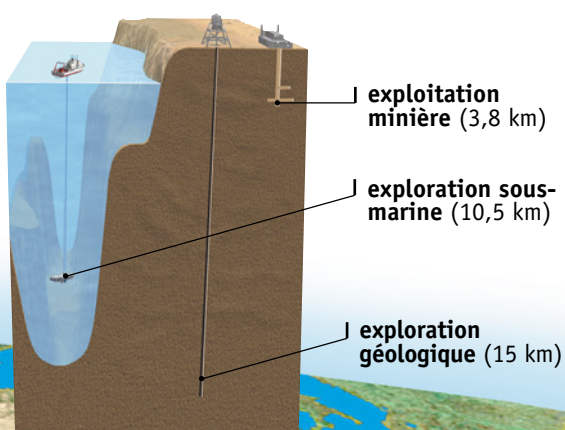
À l'échelle du globe, la croûte terrestre est aussi mince que la coquille d'un œuf.





DES PROFONDEURS INSONDABLES

Nos connaissances sur la structure de la Terre s'appuient sur des observations indirectes, notamment l'étude des ondes sismiques. Sur le terrain, aucun forage n'a pénétré le sol à plus de 15 km, ce qui correspond seulement à la partie superficielle de la croûte terrestre.



Le géomagnétisme

La Terre, un aimant gigantesque

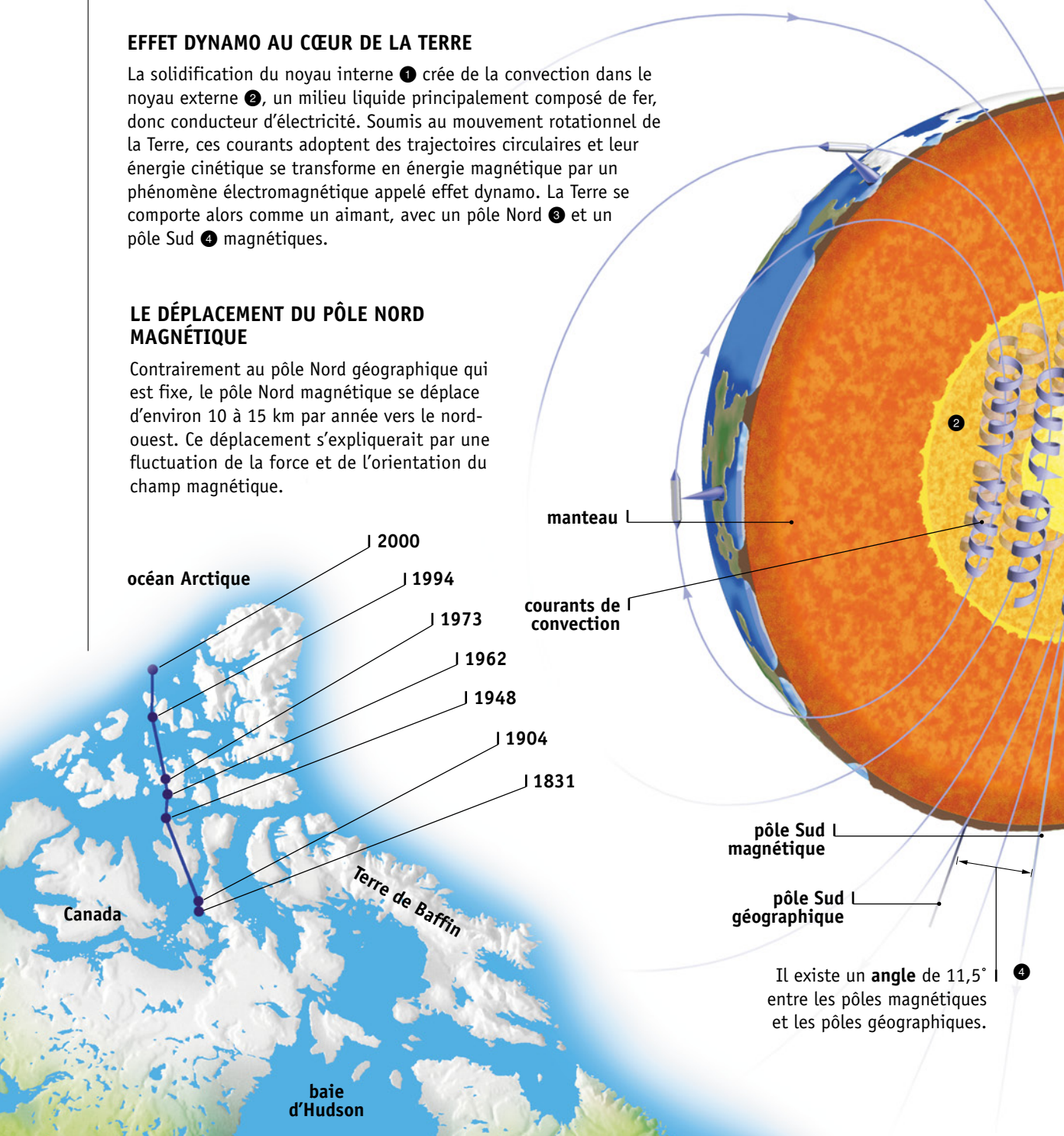
Lorsque l'aiguille d'une boussole s'aligne dans la direction nord-sud, c'est qu'elle obéit au champ magnétique naturel de la Terre. L'origine de ce phénomène, qui existe également dans d'autres corps célestes, demeure encore mystérieuse. L'hypothèse la plus communément admise estime toutefois que c'est au sein du noyau terrestre que se produisent les mécanismes qui font de la planète un gigantesque aimant. Cette explication ne résout cependant pas la question du déplacement des pôles magnétiques, ni celle de l'inversion de polarité qui affecte parfois la planète.

EFFET DYNAMO AU CŒUR DE LA TERRE

La solidification du noyau interne ❶ crée de la convection dans le noyau externe ❷, un milieu liquide principalement composé de fer, donc conducteur d'électricité. Soumis au mouvement rotationnel de la Terre, ces courants adoptent des trajectoires circulaires et leur énergie cinétique se transforme en énergie magnétique par un phénomène électromagnétique appelé effet dynamo. La Terre se comporte alors comme un aimant, avec un pôle Nord ❸ et un pôle Sud ❹ magnétiques.

LE DÉPLACEMENT DU PÔLE NORD MAGNÉTIQUE

Contrairement au pôle Nord géographique qui est fixe, le pôle Nord magnétique se déplace d'environ 10 à 15 km par année vers le nord-ouest. Ce déplacement s'expliquerait par une fluctuation de la force et de l'orientation du champ magnétique.

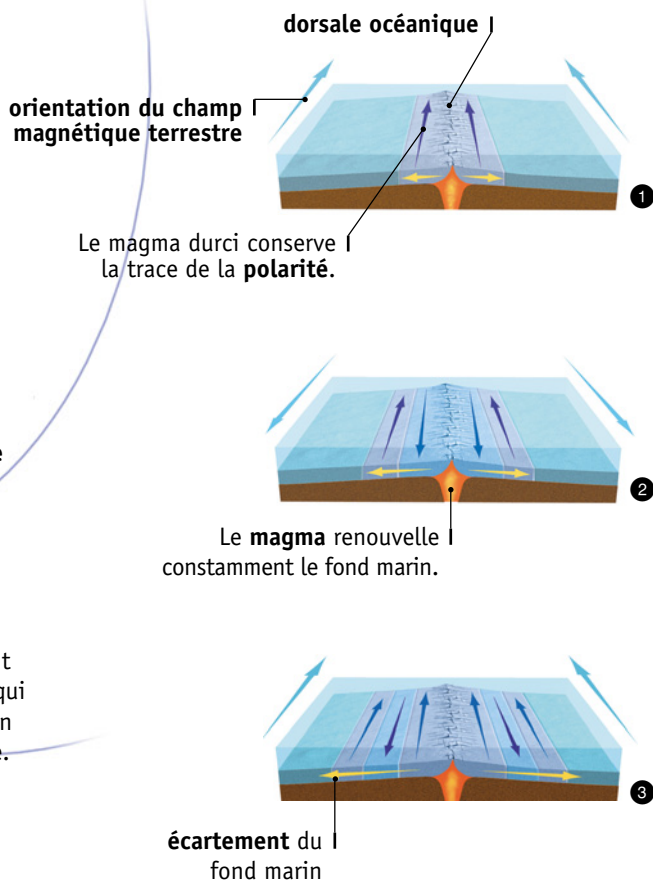
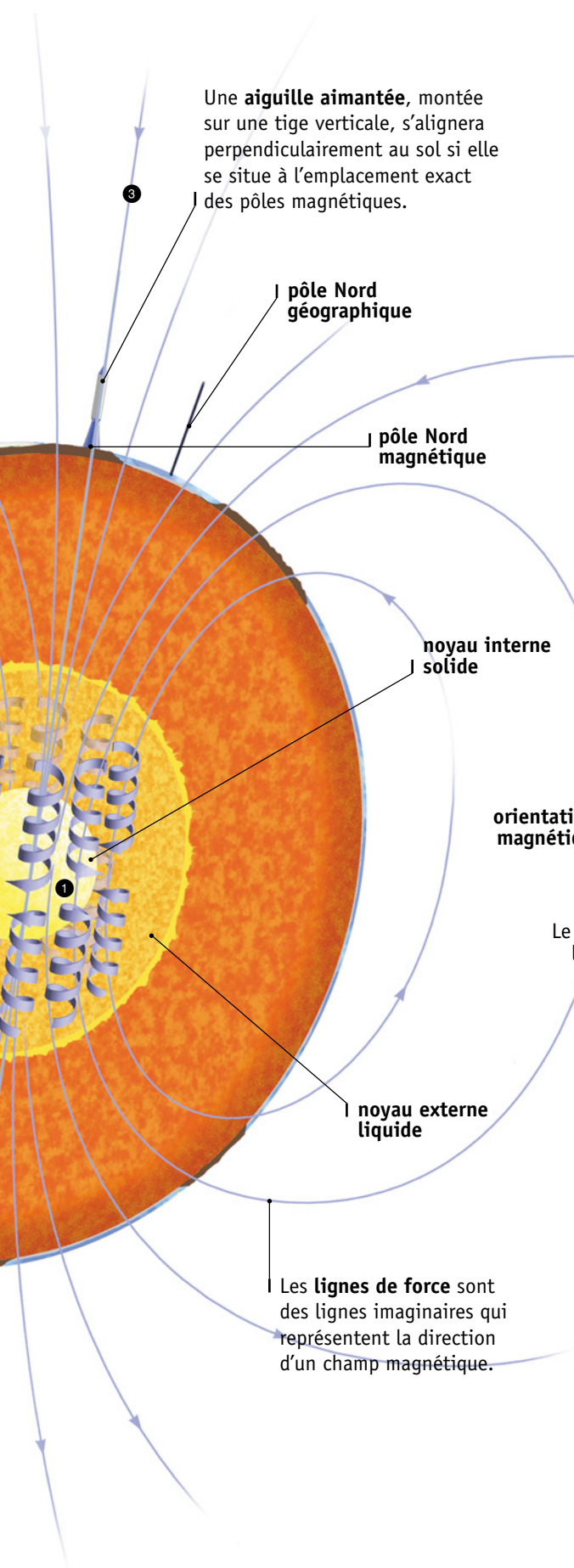


LE PALÉOMAGNÉTISME

Périodiquement, les pôles magnétiques s'inversent : le pôle Nord magnétique devient le pôle Sud magnétique, et vice versa. Cette inversion de polarité serait causée par les fluctuations des courants de convection dans le noyau externe.

L'exploration des fonds marins, de part et d'autre des dorsales océaniques, a permis d'analyser ce phénomène. Lorsque l'écartement des plaques océaniques fait remonter le magma à la surface, celui-ci s'y solidifie en gardant l'empreinte de la polarité qui règne alors sur la planète ❶. Le champ magnétique faiblit progressivement, perd sa polarité pour en acquérir une nouvelle, inversée, dont la trace est à son tour figée dans la lave ❷. En étudiant l'évolution du sens de polarité des fonds marins, on peut connaître et dater la succession des inversions du champ magnétique terrestre ❸.

On a ainsi découvert que le processus d'inversion ne dure pas plus de 5 000 ans. Une fois acquise, la nouvelle polarité demeure en place pendant des centaines de milliers, voire des millions d'années.



Les minéraux

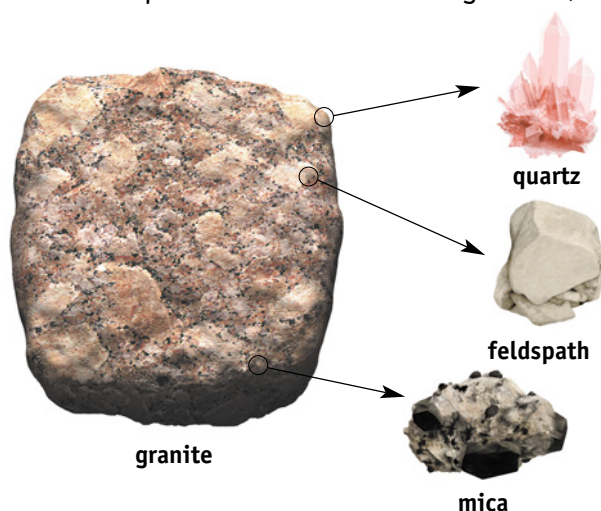
Des cristaux au cœur des roches

La croûte terrestre est composée de roches et de minéraux. On recense environ 3 500 minéraux qui diffèrent grandement les uns des autres. Il est possible de les classer selon des caractéristiques bien précises : leur couleur, la trace qu'ils laissent, leur transparence, leur dureté, leur structure cristalline et leur faciès sont parmi les nombreux indices qui servent à les regrouper par familles. Plusieurs minéraux sont peu abondants et même très rares. Quelques-uns sont considérés comme des pierres précieuses. C'est le cas du diamant. D'autres, comme l'agate, n'ont pas la valeur des pierres précieuses, mais leur forme ou leur couleur particulière en font des gemmes, des minéraux utilisés en joaillerie.

ROCHE OU MINÉRAL ?

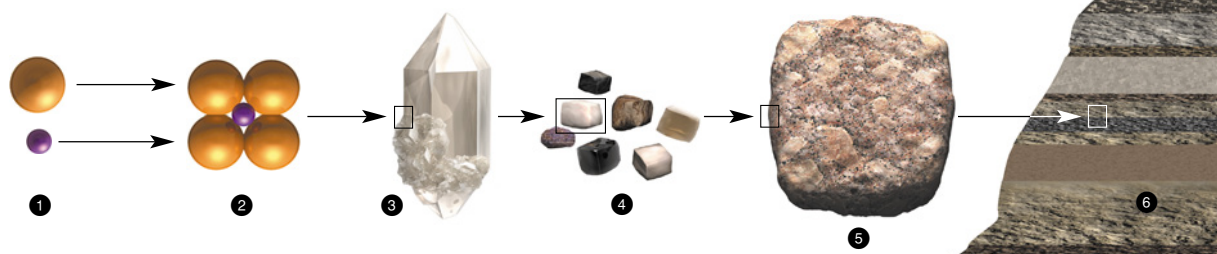
On confond souvent roches et minéraux. En fait, les roches sont des agrégats de plusieurs minéraux. Le granite, par exemple, est constitué de quartz, de feldspath et de mica.

Les minéraux sont des corps solides inorganiques produits par la nature, qui possèdent une composition chimique et une structure atomique définies.



LIAISON CHIMIQUE ET AGGLOMÉRATION

La combinaison d'éléments chimiques ❶ constitue le point de départ de la formation des minéraux. Ils composent une structure moléculaire de base appelée maille élémentaire ❷ qui, en s'agglomérant à d'autres mailles, forme un solide à la structure bien définie, un cristal ❸. Subissant la pression du sous-sol, les divers cristaux s'associent entre eux ❹ pour produire des roches ❺ qu'on retrouve dans le sous-sol ❻.



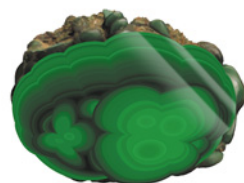
LA COMPOSITION DES MINÉRAUX

Il existe une classification des minéraux, associée à leur composition chimique, qui comporte neuf familles. Certaines d'entre elles sont mieux connues que d'autres. C'est le cas des éléments natifs, qui ont pour caractéristique principale d'être formés d'un seul élément chimique. Les métaux, comme l'or et l'argent, font partie de cette famille. Le diamant et le graphite sont aussi des éléments natifs : ils sont composés tous deux d'atomes de carbone, même si leur couleur, leur transparence et leur dureté diffèrent.

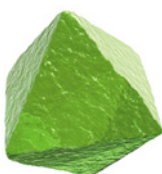


LA COULEUR

La couleur des minéraux peut permettre de les identifier. Certains d'entre eux, comme la malachite, ont en effet toujours la même couleur. D'autres en revanche, comme la fluorite ou le quartz, présentent des teintes variables selon la nature des impuretés présentes au moment de leur formation. Ces minéraux sont dits allochromatiques.



malachite



fluorites pourpre, jaune et verte



quartz rose et blanc

LE TRAIT

On appelle trait la bande de poudre que laisse un minéral sur une surface de porcelaine non polie. Il faut noter que des minéraux de même structure cristalline présentent toujours une trace de même couleur.



La trace de la **crocoïte** est jaune orangé.



Même si la **chalcopyrite** est dorée, sa trace sera toujours d'un noir verdâtre.



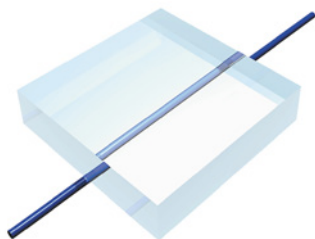
Le **cinabre**, ou cinnabarite, laisse une trace rouge.



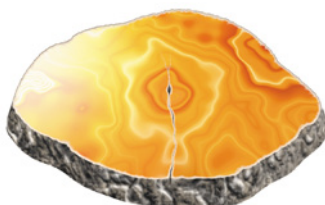
L'**orpiment** laisse une trace jaune doré.

LA TRANSPARENCE

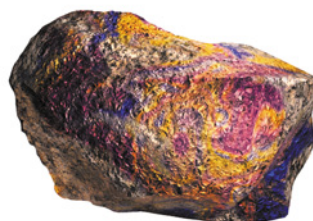
La quantité de lumière que laisse passer un minéral témoigne de sa transparence, de sa translucidité ou de son opacité.



Si on distingue un objet à travers un minéral, on le dit **transparent**. C'est le cas du quartz.



Si seule la lumière le traverse, le minéral est **translucide**. L'agate possède cette caractéristique.



Un minéral ne laissant aucune lumière le traverser sera **opaque**. Le cuivre en est un bon exemple.

L'ÉCHELLE DE MOHS

L'échelle de Mohs, qui compare la dureté des minéraux, comporte dix indices, du plus tendre (indice 1) au plus dur (indice 10). Chaque minéral y est classé selon sa façon de rayer les autres ou d'être rayé par eux. Par exemple, le talc, qui peut être rayé par un ongle, possède une dureté de 1, mais la calcite, qu'une pièce de monnaie raye, en possède une de 3. Le quartz, rayé par le verre, a un indice de dureté de 7. Le diamant, le plus dur de tous les minéraux, ne peut être rayé et par conséquent possède l'indice le plus élevé.



talc



gypse



calcite



fluorite



apatite



orthose



quartz



topaze



corindon



diamant

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

La forme des minéraux

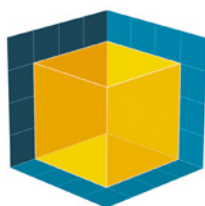
Structures et faciès

Même si elle n'est pas observable à l'œil nu, la caractéristique première des minéraux réside dans leur structure atomique particulière. Lorsque les minéraux se développent sans contrainte dans les profondeurs de la Terre, les cristaux qui les composent présentent des faces et des angles spécifiques à chaque famille, quelles que soient leur forme et leur grosseur. La cristallographie étudie les diverses structures que prennent les cristaux.

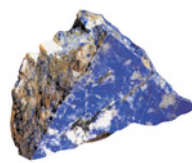
LES SYSTÈMES CRISTALLINS

Il existe sept systèmes cristallins qui déterminent les espèces minérales. Ces systèmes sont établis d'après la façon dont les atomes qui composent les cristaux se lient entre eux. Ils rendent donc compte de la structure interne des minéraux et non de leur apparence externe.

CUBIQUE



La **pyrite** ressemble beaucoup à de l'or, mais elle est beaucoup plus dure.

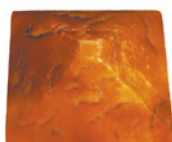


On utilise depuis longtemps le **lapis-lazuli** dans la fabrication de bijoux.



Le **grenat** peut être rouge, orangé, vert et même incolore.

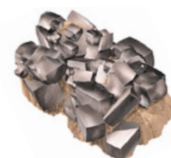
QUADRATIQUE



Lorsqu'il est poli et taillé, le **zircon** peut avoir l'aspect du diamant, sans toutefois être aussi dur.

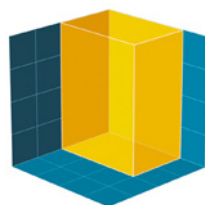


Aussi appelée idocrase, la **vésuvianite** a été découverte au pied du Vésuve.



La **cassitérite** est le minéral dont on extrait l'étain.

ORTHORHOMBIQUE



Bien qu'elle ne soit pas une pierre précieuse, la **topaze** est une gemme très recherchée.

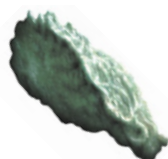
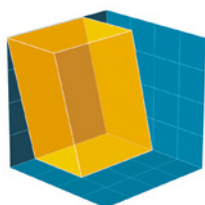


La **barytine** sert à la fabrication du baryum, utilisé pour les analyses radiographiques.



L'**olivine** se retrouve souvent dans les laves solidifiées.

MONOCLINIQUE



La **jadéite** n'est pas uniquement verte. Elle est parfois blanche, orange, or ou violette.

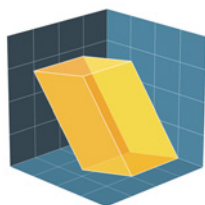


La poudre d'**azurite** a longtemps servi de pigment bleu en peinture.

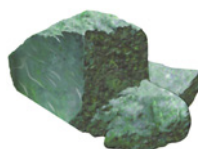


C'est de la **titanite**, ou sphène, qu'on extrait le titane.

TRICLINIQUE



La couleur caractéristique de la **turquoise** est due au cuivre et au fer qu'elle contient. Plus il y a de fer, plus elle est verte.

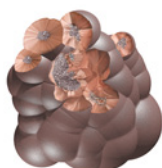
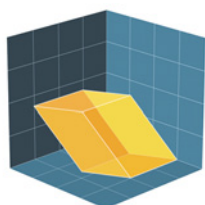


L'**amazonite** a servi de gemme à cause de sa couleur vert-bleu.



La **rhodonite** tire son nom du mot grec *rhodon* qui signifie « rose ».

RHOMBOÉDRIQUE



C'est à cause de ses pigments rouges que l'**hématite** a longtemps servi à la fabrication de produits de beauté.

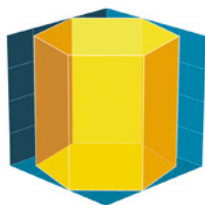


Une même pierre de **tourmaline** peut présenter plusieurs couleurs.



Ce sont les impuretés contenues dans le quartz qui donnent sa couleur à l'**améthyste**.

HEXAGONAL



L'**émeraude**, sorte de beryl, est l'une des quatre pierres précieuses reconnues.



La **hanksite** se forme par évaporation et on la trouve en abondance dans les dépôts salins de certains lacs.



L'**aigue-marine** est une variété transparente de beryl qu'on chauffe pour intensifier sa teinte bleue.

LE FACIÈS

Si le système cristallin renvoie à la structure interne d'un minéral, le faciès fait référence à sa forme extérieure globale, à son aspect général. Il est le résultat du développement inégal des faces d'un cristal qui subit diverses pressions lors de sa formation dans le sous-sol.

MASSIF



or

Ces minéraux présentent une forme pleine.

RÉNIFORME



hématite

Ce sont des cristaux qui ont la forme de reins.

LAMELLÉ



graphite

De fines dépressions parallèles caractérisent ces cristaux.

ACICULAIRE



scolécite

Ces cristaux possèdent de nombreuses aiguilles touffues.

PRISMATIQUE



beryl

Plusieurs faces parallèles alignées créent la forme de ces cristaux.

DENDRITIQUE



argent

Il s'agit de cristaux de forme arborescente.

Le cycle des roches

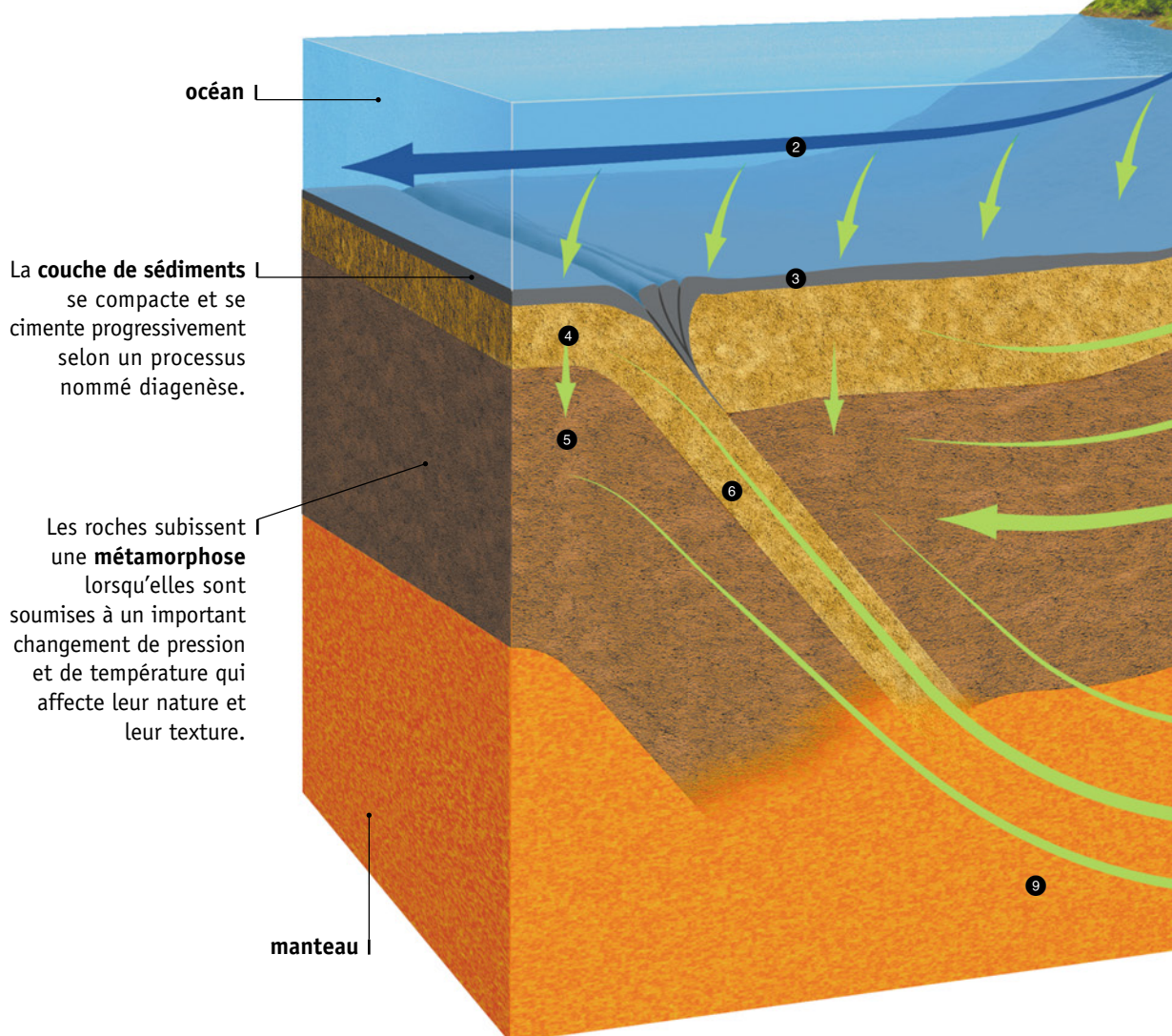
La matière terrestre en constante évolution

Immuable et solide comme le roc, dit-on souvent. Pourtant, contrairement à ce que l'on peut croire, les roches sont en évolution permanente. Elles se forment, se déforment et se transforment continuellement, s'enfonçant de la surface de la Terre vers ses profondeurs, puis émergeant à nouveau.

Recyclées par la nature et soumises à des processus chimiques et physiques qui s'étendent sur des millions d'années, les roches évoluent selon trois modes : la sédimentation, la métamorphose ou le magmatisme.

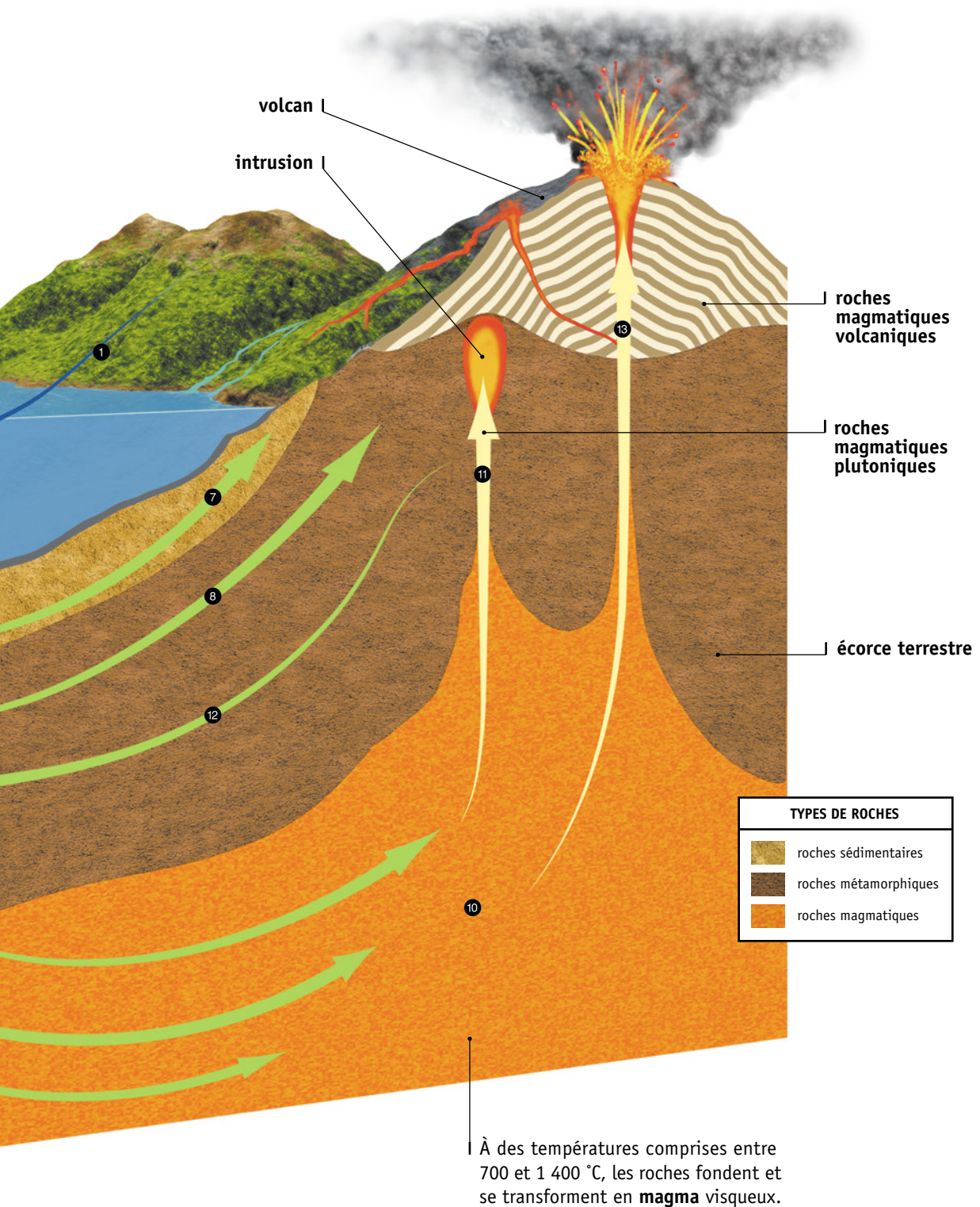
LA SÉDIMENTATION

Désagrégées par l'érosion ❶, les roches s'effritent en petites particules qui sont transportées par les cours d'eau et les courants marins ❷. Elles se déposent au fond des océans ❸ et forment peu à peu des roches sédimentaires ❹ qui s'enfoncent lentement dans l'écorce terrestre ❺. Les mouvements tectoniques les entraînent plus profondément ❻ ou les ramènent à la surface ❼.



LE MÉTAMORPHISME ET LE MAGMATISME

Soumises à de fortes pressions et à de hautes températures, les roches subissent d'importantes métamorphoses. Certaines de ces roches métamorphiques remontent à la surface ⑧, alors que d'autres s'enfoncent plus profondément dans le manteau ⑨, où elles fondent et se transforment en magma ⑩. Lorsque le magma remonte dans l'écorce terrestre ⑪, il se solidifie parfois avant d'atteindre la surface, formant ainsi des roches magmatiques (ou ignées) plutoniques. Celles-ci peuvent alors subir de nouvelles métamorphoses ⑫. Au contraire, les roches magmatiques volcaniques demeurent à l'état liquide (lave) jusqu'à leur expulsion ⑬ et ne se solidifient qu'à l'air libre.



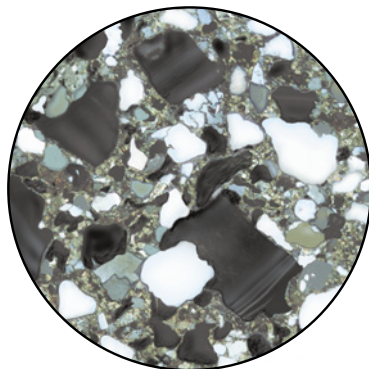
Les types de roches

Une extraordinaire diversité

Les roches sont définies comme des assemblages de minéraux : ce sont des solides qui se composent d'une immense variété de combinaisons d'éléments chimiques aujourd'hui bien connus. Quelque 3 500 espèces minérales ont été répertoriées et on en identifie régulièrement de nouvelles. Ce vaste ensemble se répartit en trois catégories : les roches sédimentaires, métamorphiques et magmatiques.

LES ROCHES SÉDIMENTAIRES

Les roches sédimentaires se forment à la surface de la Terre ou dans ses eaux. Loin d'être uniquement composées d'éléments minéraux, elles contiennent aussi des débris animaux et végétaux qui se sont liés aux particules minérales. On distingue trois types de roches sédimentaires : les roches biogènes, qui proviennent de débris organiques ; les roches détritiques, qui sont formées de débris divers, et les roches d'origine chimique.



Le **sel gemme** est une roche d'origine chimique qui fait partie des évaporites : il se forme par précipitation lorsque l'eau de la mer s'évapore et crée un dépôt de sel.



Formé par l'agglomération de grains de sable, le **grès** est une roche détritique que l'on utilise souvent comme matériau de construction.



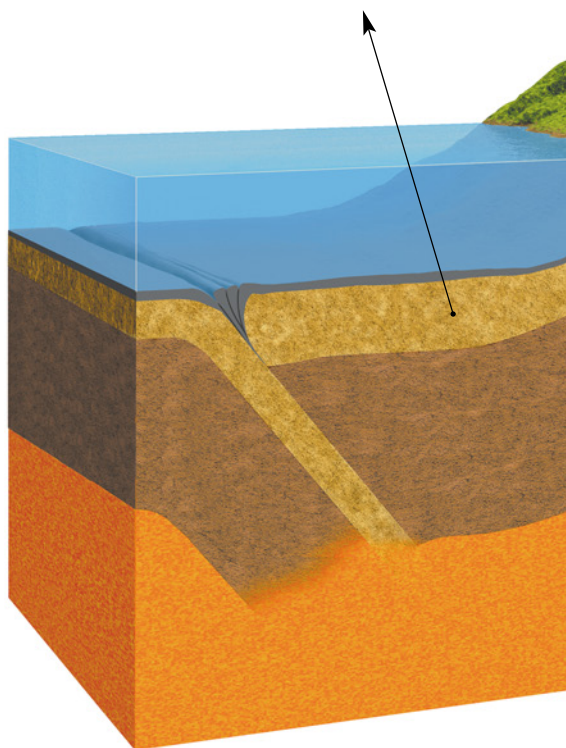
Constituée principalement de calcite, la **craie** est une roche à grain très fin, dont la texture est friable et poreuse. C'est une roche biogène formée de microfossiles marins.

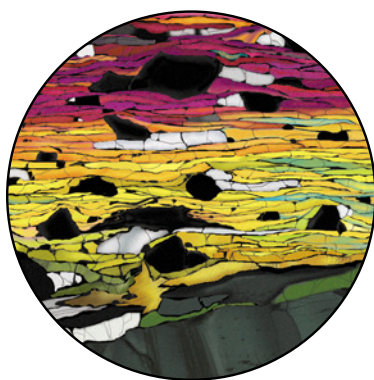


La **houille** est une roche biogène composée de débris de végétaux qui se forme en eau peu profonde, notamment dans les marécages. Mieux connue sous le nom de charbon, elle est utilisée comme combustible.



Roche biogène, le **calcaire** contient des débris de coquillages. Le calcaire fossilifère est un calcaire qui renferme des fossiles.





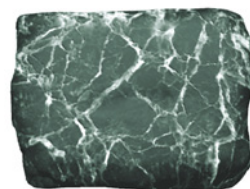
Le **quartzite** est issu de la métamorphose des grès siliceux. Il est composé de quartz en agrégats.



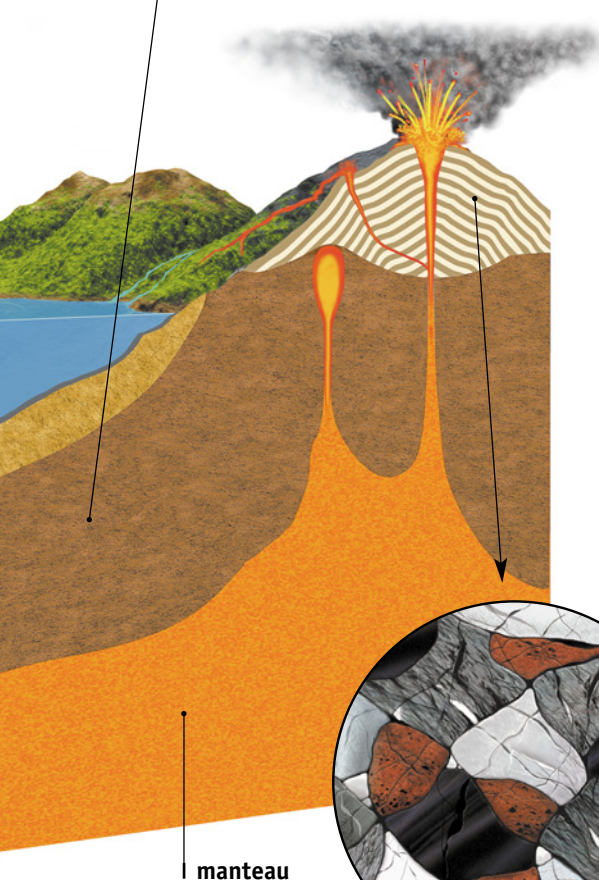
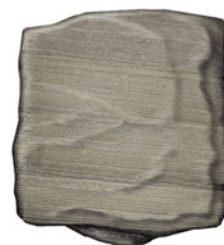
Le **gneiss granitique** est une roche feuilletée qui provient de la déformation du granite. Il se compose de minces couches claires et foncées.



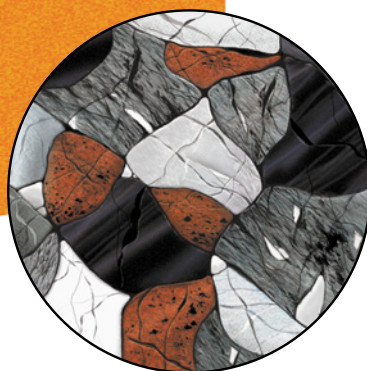
Sous la chaleur ou la pression, le calcaire se transforme en **marbre**. Roche veinée de couleurs variées, elle est prisée des architectes et des sculpteurs depuis des siècles. Le marbre de Carrare, en Italie, figure parmi les plus réputés.



La pression et la chaleur transforment le schiste argileux en **ardoise**. Noire, verte ou grise, l'ardoise se délite facilement ; on l'utilise depuis longtemps pour faire des toitures ou des tableaux.



manteau



LES ROCHES MAGMATIQUES

Les roches magmatiques (ou roches ignées) proviennent généralement du manteau supérieur de la Terre, là où le magma fond partiellement. Selon leur vitesse de refroidissement, le grain de ces roches sera plus ou moins fin. Les roches plutoniques (ou intrusives), qui se solidifient lentement, ont un gros grain, tandis que les roches volcaniques (ou effusives), qui se solidifient rapidement en atteignant la surface, ont un grain fin.

Le **basalte** est la plus commune des roches volcaniques. Résultat de la solidification de la lave, il est de couleur sombre, généralement noir ou vert très foncé. Plusieurs îles volcaniques, dont celles d'Hawaï, sont principalement constituées de basalte.



Essentiellement composé de quartz, de feldspath et de mica, le **granite** est la plus connue des roches plutoniques. Les granites roses ou polis sont très souvent utilisés dans la construction de monuments et d'édifices.



Alors qu'il nous paraît immobile, le sol sur lequel nous vivons se déplace de plusieurs centimètres chaque année. En dérivant à la surface du globe, les immenses plaques qui composent la croûte terrestre se heurtent les unes aux autres, **dressent des montagnes et ouvrent des océans**. Lents et continus, ces mouvements sont pourtant à l'origine des phénomènes les plus brutaux et les plus dévastateurs de la planète : les éruptions volcaniques et les séismes.





La tectonique et le volcanisme

- 32 **La tectonique des plaques**
Une surface en mouvement
- 34 **Le destin de la Pangée**
La fragmentation d'un supercontinent
- 36 **La dérive des continents**
La Terre, d'hier à demain
- 38 **Les volcans**
Des montagnes étonnantes
- 40 **Le volcanisme**
Une menace qui gronde aux quatre coins du monde
- 42 **Les éruptions volcaniques**
Quand les sommets des montagnes volent en éclats
- 43 **Les points chauds**
Des alignements de volcans
- 44 **Les geysers**
Quand la Terre crache de l'eau
- 46 **Les séismes**
Une libération brutale d'énergie
- 48 **Les ondes sismiques**
Mesurer et localiser les séismes

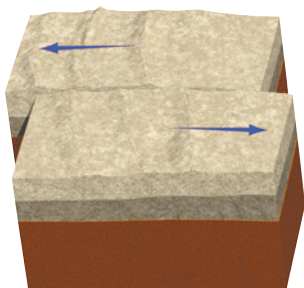
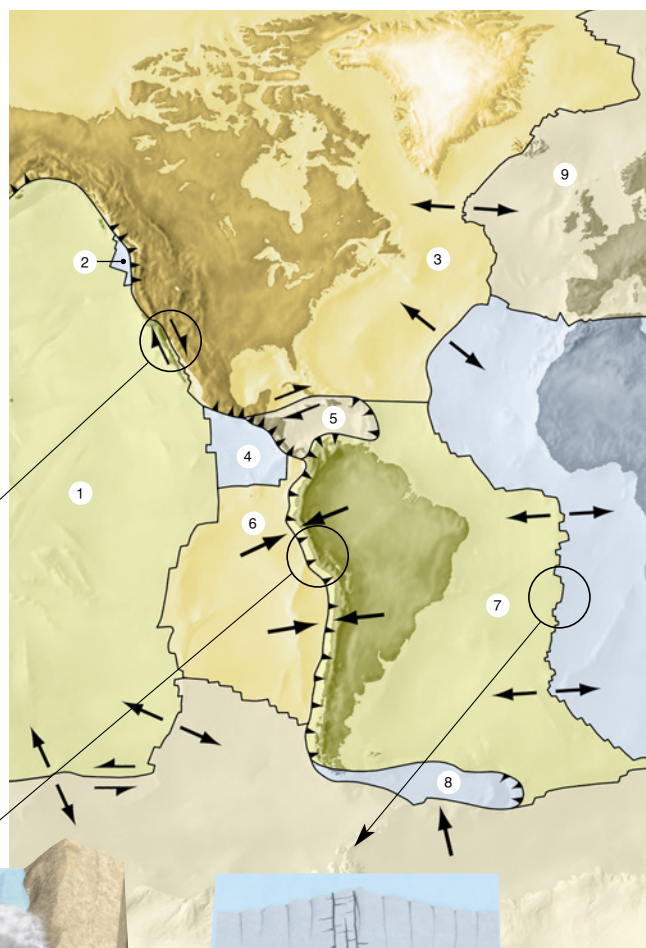
La tectonique des plaques

Une surface en mouvement

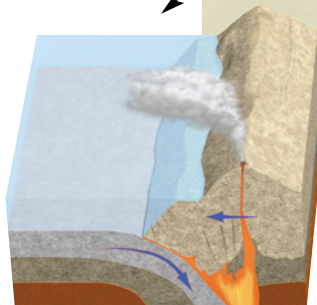
Le sol sur lequel nous nous trouvons est beaucoup moins fixe qu'il n'y paraît : chaque année, l'Europe et l'Amérique du Nord s'éloignent l'une de l'autre de 2,5 cm, alors que l'Inde et l'Asie se rapprochent de 4 à 6 cm ; ailleurs, certaines parties du globe se déplacent de 18 cm. Ce phénomène, qu'on appelle la tectonique des plaques, résulte du fait que la lithosphère (couche externe de la Terre) est fragmentée en une douzaine de plaques (d'immenses surfaces solides, épaisses d'environ 100 km) qui glissent sur l'asthénosphère, partie du manteau supérieur de la Terre.

PLAQUES CONVERGENTES, DIVERGENTES OU TRANSFORMANTES

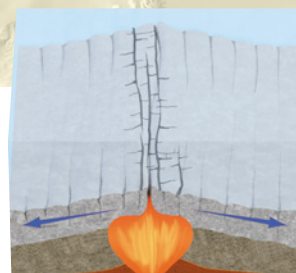
La tectonique des plaques explique la plupart des reliefs de la surface terrestre, qu'il s'agisse des océans qui sont créés lorsque deux plaques s'écartent l'une de l'autre ou des chaînes de montagnes qui naissent lorsqu'une plaque en percute une autre. La façon dont les plaques se rencontrent est déterminante. Les plaques dites convergentes entrent en collision ou glissent l'une sous l'autre (on parle alors de subduction) ; les plaques divergentes s'écartent l'une de l'autre et provoquent une remontée de magma qui génère une nouvelle croûte ; les plaques transformantes glissent l'une par rapport à l'autre.



Les plaques transformantes couissent l'une contre l'autre, sans converger ni diverger. Leur frottement provoque souvent des séismes. Il en est ainsi de la **faille de San Andreas**, qui se trouve en Californie, à la rencontre de la plaque pacifique et de la plaque nord-américaine.



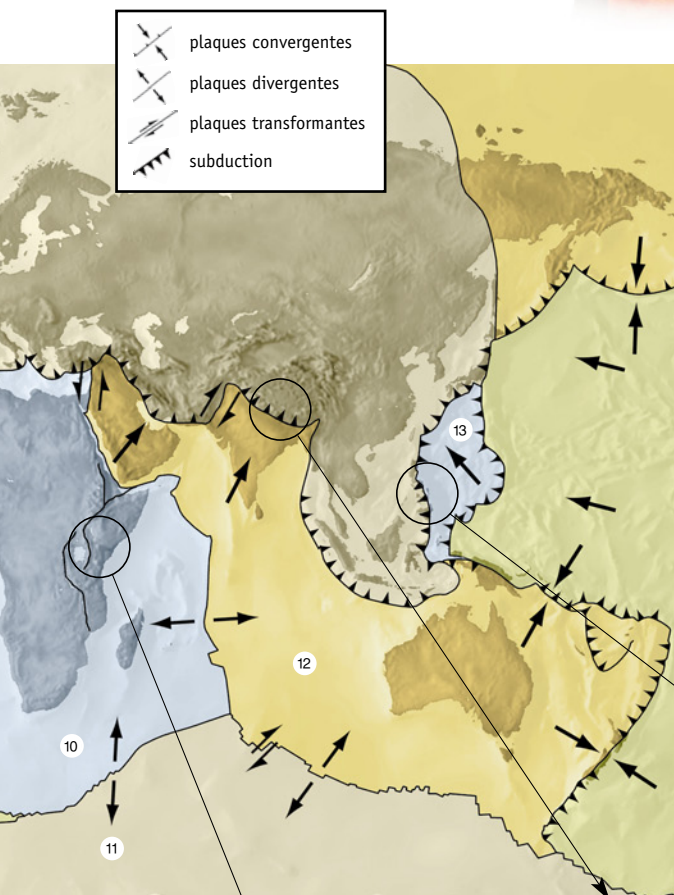
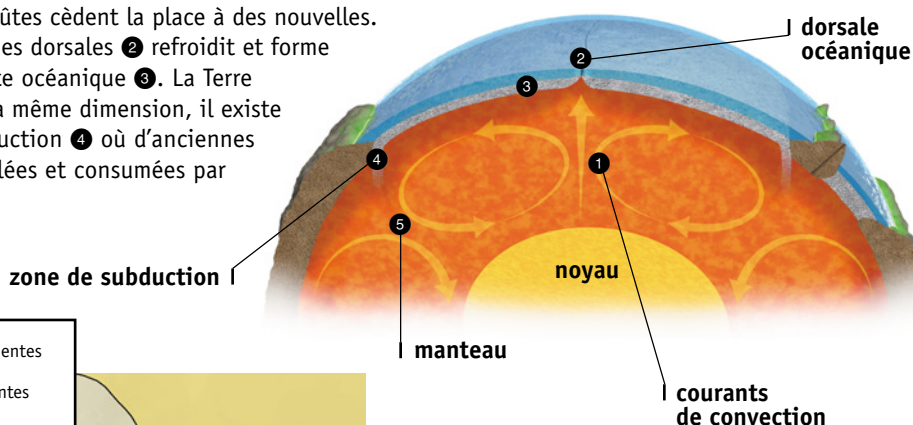
Lorsqu'une plaque océanique percute une plaque continentale, elle est engloutie du fait de sa plus grande densité. Des chaînes de montagnes volcaniques naissent en bordure du continent. La **cordillère des Andes** s'est formée ainsi.



L'écartement de deux plaques océaniques crée une zone de divergence où s'aligneront des montagnes volcaniques issues de la remontée du magma. La **dorsale médio-atlantique** est l'une de ces chaînes de montagnes sous-marines nommées dorsales océaniques.

LES COURANTS DE CONVECTION

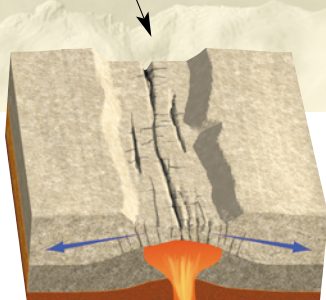
En remontant, la chaleur interne de la Terre engendre des mouvements ou des courants de convection ① qui sont le moteur de la tectonique des plaques. Ces courants constituent une sorte d'immense tapis roulant où d'anciennes croûtes cèdent la place à des nouvelles. La lave qui jaillit des dorsales ② refroidit et forme une nouvelle croûte océanique ③. La Terre gardant toujours la même dimension, il existe des zones de subduction ④ où d'anciennes croûtes sont refoulées et consommées par le manteau ⑤.



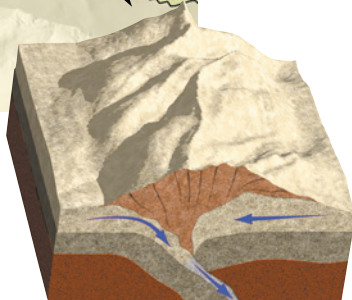
UNE PLANÈTE MORCELÉE

On dénombre une douzaine de plaques lithosphériques principales, de surfaces très variables. Certaines plaques portent des océans et des continents ; d'autres, seulement l'un ou l'autre (il s'agit alors de plaques océaniques ou continentales).

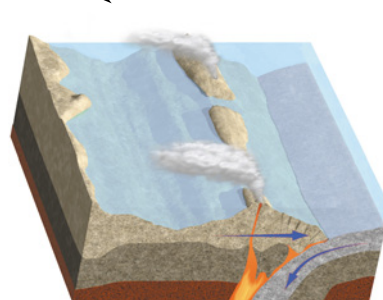
- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. plaque pacifique | 8. plaque Scotia |
| 2. plaque de Juan de Fuca | 9. plaque eurasiatique |
| 3. plaque nord-américaine | 10. plaque africaine |
| 4. plaque des îles Cocos | 11. plaque antarctique |
| 5. plaque des Caraïbes | 12. plaque indo-australienne |
| 6. plaque de Nazca | 13. plaque philippine |
| 7. plaque sud-américaine | |



Tout comme les plaques océaniques, les plaques continentales peuvent s'éloigner l'une de l'autre. C'est le cas du **Grand Rift africain**, un large fossé d'effondrement dont les parties basses seront graduellement envahies par la mer.



Lorsque deux plaques continentales convergent, il arrive qu'elles se soudent. Sous l'effet de la compression, la croûte de plus en plus épaisse se plisse. Le haut plateau du Tibet, où se trouve l'**Himalaya**, témoigne d'un tel choc.



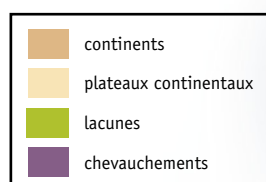
Lorsque deux plaques océaniques convergent, la plaque la plus dense glisse sous l'autre. La remontée du magma engendre alors des structures d'arcs insulaires, comme l'**archipel des Philippines**.

Le destin de la Pangée

La fragmentation d'un supercontinent

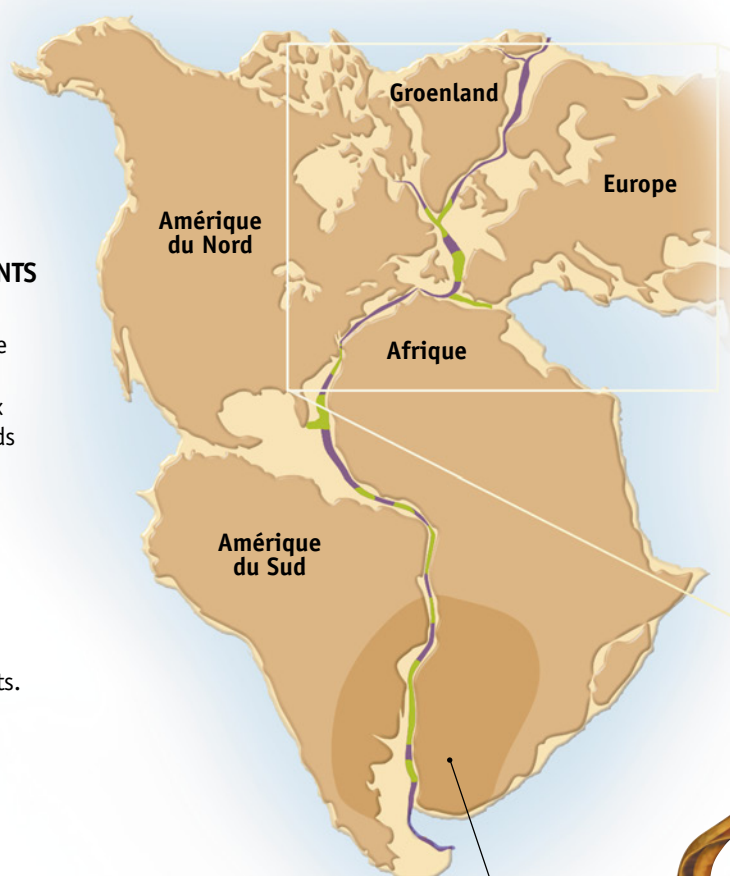
Au début du ^{xx}^e siècle, Alfred Wegener, géophysicien et climatologue allemand, remarque que les continents semblent pouvoir s'emboîter les uns dans les autres. Il constate par exemple que les contours de l'Afrique occidentale s'imbriquent presque parfaitement dans ceux de l'Amérique du Sud, sans compter que des formations géologiques semblables se font face de part et d'autre de ces continents.

L'hypothèse d'un seul grand continent, qui aurait existé il y a des millions d'années, voit le jour, mais il faudra attendre les années 1960 pour que les intuitions de Wegener soient confirmées et acceptées. Aujourd'hui, on s'accorde pour dire qu'un supercontinent, nommé la Pangée (signifiant « toutes les terres »), aurait baigné dans un océan unique, la Panthalassa (« toutes les mers »). Il se serait fragmenté progressivement, créant de nouveaux continents et de nouveaux océans qui dérivent toujours.



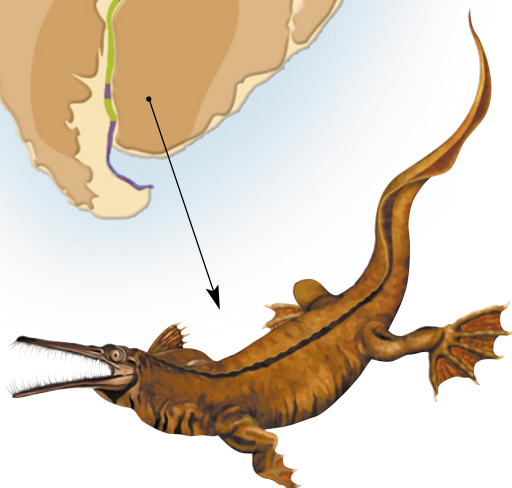
L'ASSEMBLAGE DES CONTINENTS

L'emboîtement des continents remarqué par Wegener est encore plus frappant lorsqu'on tient compte des limites des plateaux continentaux, c'est-à-dire les bords des continents submergés par l'océan, plutôt que des lignes de rivages. On utilise l'isobathe des 2 000 m (une courbe d'égale profondeur) pour établir une carte où sont clairement apparents les chevauchements et les lacunes entre les continents.



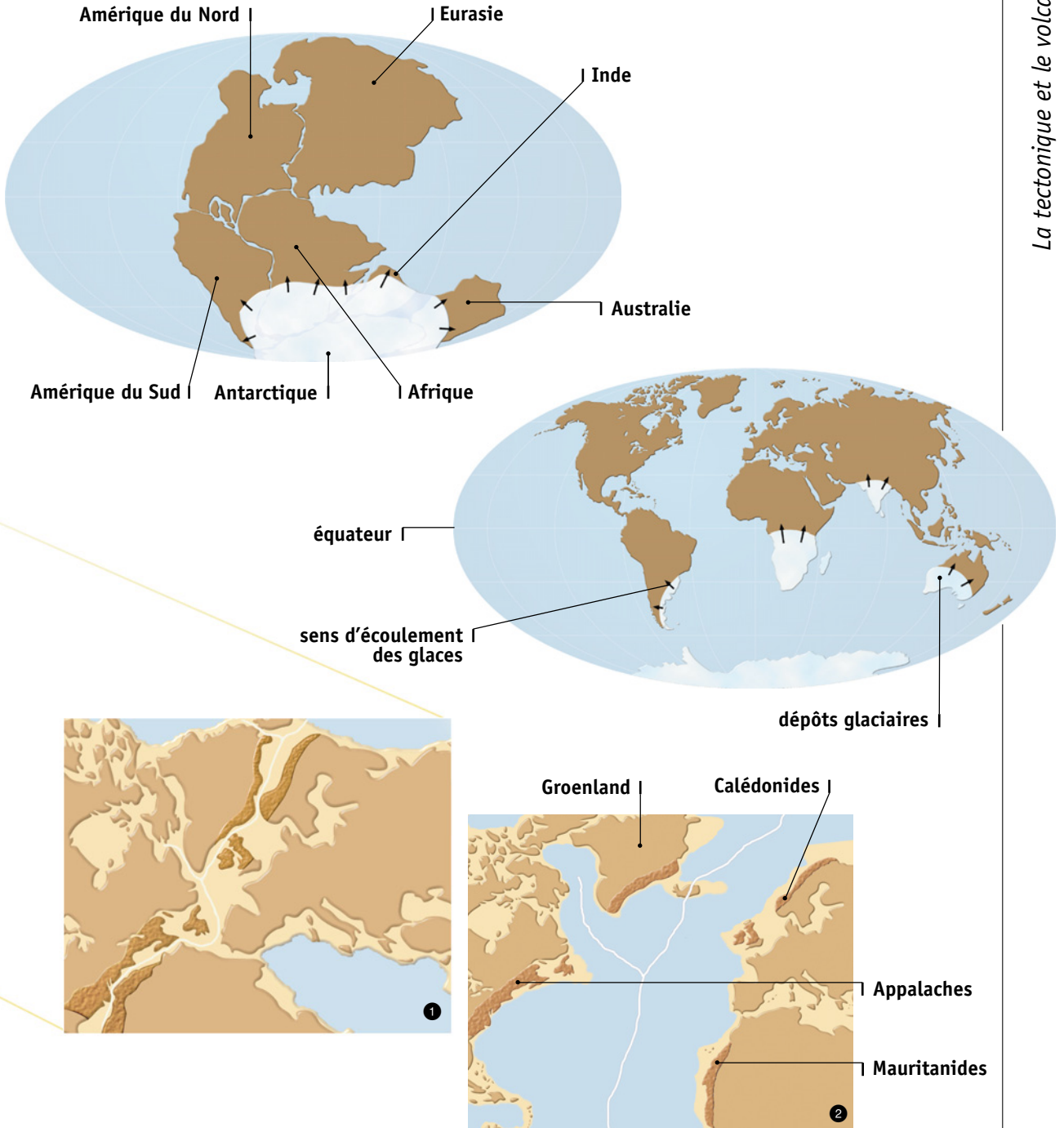
UN PRÉCIEUX REPTILE

La présence de fossiles animaux et végétaux sur certains continents a fourni des preuves tangibles de la dérive des continents. C'est le cas des fossiles du **mésosaure** qui ont été retrouvés tant en Amérique du Sud qu'en Afrique : le méso-saure étant un petit reptile d'eau douce, il est impossible qu'il ait pu traverser l'Atlantique, ce qui confirmerait l'existence du supercontinent Pangée.



DES GLACES EN ZONE TROPICALE ?

Parmi les autres faits venant appuyer la théorie de la dérive continentale, on retient la présence de dépôts glaciaires dans les régions australes de certains continents. C'est ainsi que l'on trouve des traces de glaciations en Amérique du Sud, en Australie, et même en Afrique et en Inde, des zones pourtant tropicales. Tout indique que ces dépôts glaciaires, qui portent la marque d'un écoulement des glaces vers l'intérieur des continents, sont dus à la calotte glaciaire antarctique.



LA CONCORDANCE DES MONTAGNES

Un des arguments décisifs en faveur de la dérive des continents est la concordance étonnante qui existe entre les structures géologiques de plusieurs régions du globe. Le rapprochement de l'Amérique du Nord, de l'Europe et de l'Afrique fait apparaître un important système montagneux ①. Or, les trois chaînes de montagnes que l'on trouve aujourd'hui de part et d'autre de l'Atlantique, à savoir les Appalaches, les Calédonides et les Mauritanides, ont le même âge (environ 300 millions d'années) et possèdent des structures géologiques identiques ②.

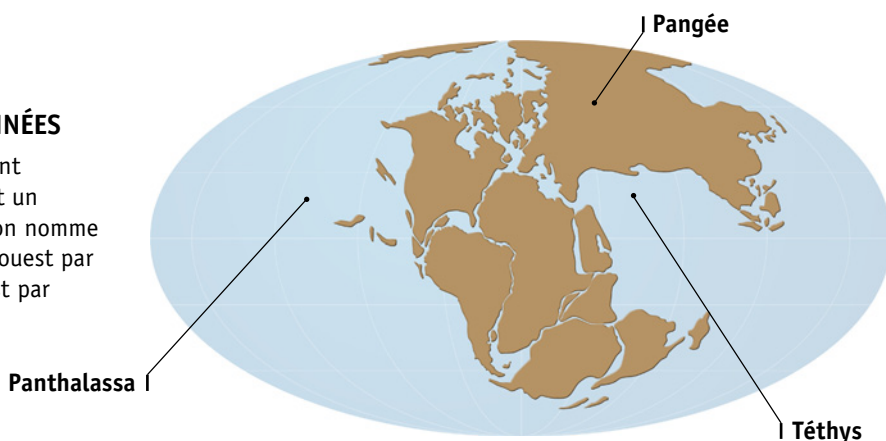
La dérive des continents

La Terre, d'hier à demain

À partir des années 1960, les idées de Wegener concernant la dérive des continents sont appuyées par de nouvelles découvertes. L'expansion des fonds océaniques et la tectonique des plaques expliquent le mouvement de la surface terrestre et le mécanisme de la dérive des continents. Sous l'effet des courants de convection qui circulent à l'intérieur de la Terre, les plaques portant les continents glissent sur l'asthénosphère, la partie visqueuse de la planète. Selon les courants, elles se rapprochent ou s'écartent les unes des autres à une vitesse variant de 1 à 18 cm par année. Ainsi, le déplacement des continents, commencé il y a des centaines de millions d'années, se poursuit toujours.

LA TERRE IL Y A 250 MILLIONS D'ANNÉES

Des masses de terre sont rassemblées et forment un supercontinent, que l'on nomme la Pangée, entouré à l'ouest par la Panthalassa et à l'est par la mer Téthys.



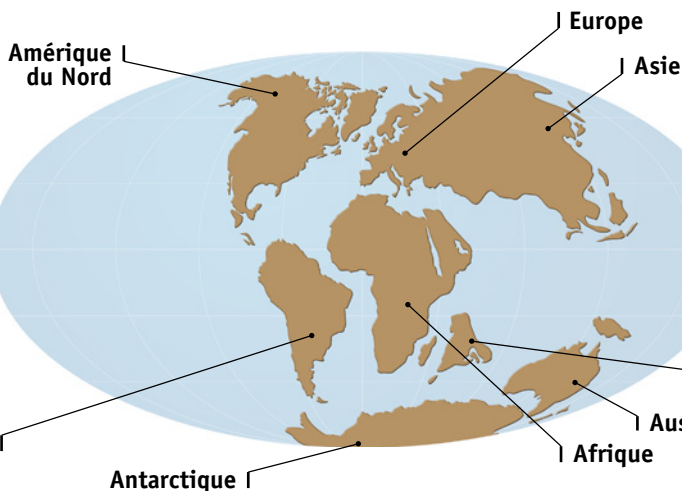
Laurasia



LA TERRE IL Y A 150 MILLIONS D'ANNÉES

Deux de ces masses se séparent. Il s'agit du continent Laurasia au nord (comprenant l'Amérique du Nord et le continent eurasiatique) et du continent Gondwana au sud (formé de l'Amérique du Sud, de l'Afrique, de l'Inde et de l'Australie). L'océan Indien s'ouvre peu à peu. La Pangée n'existe plus.

Gondwana

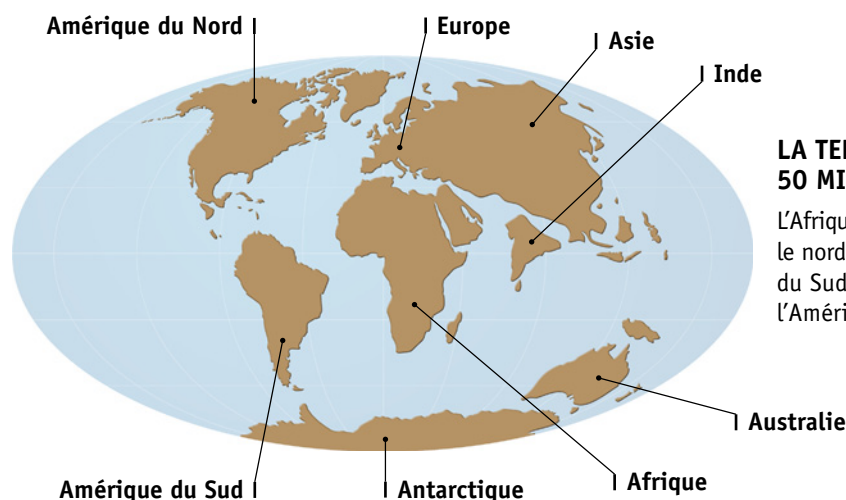


LA TERRE IL Y A 100 MILLIONS D'ANNÉES

L'Australie et l'Antarctique se dissocient. Une faille scinde le Gondwana et l'Amérique du Sud rompt avec l'Afrique. À mesure que les blocs continentaux s'écartent, les eaux de la mer Téthys s'infiltrèrent dans la faille. L'océan Atlantique prend forme.

Amérique du Sud

Antarctique

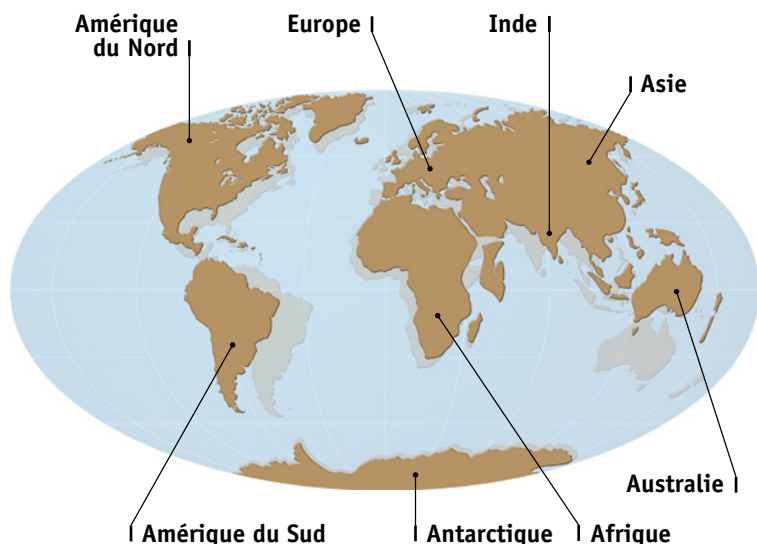
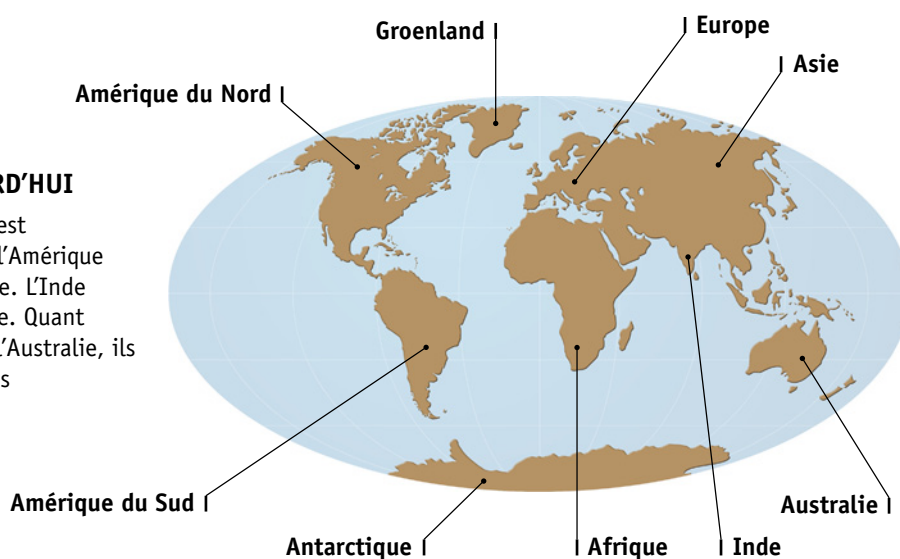


LA TERRE IL Y A 50 MILLIONS D'ANNÉES

L'Afrique et l'Inde dérivent vers le nord, tandis que l'Amérique du Sud se rapproche de l'Amérique du Nord.

LA TERRE AUJOURD'HUI

L'Amérique du Nord est aujourd'hui reliée à l'Amérique du Sud par un isthme. L'Inde s'est intégrée à l'Asie. Quant à l'Antarctique et à l'Australie, ils sont devenus des îles continentales.



LA TERRE DANS 50 MILLIONS D'ANNÉES

La remontée de l'Afrique vers l'Europe aura pour conséquence de resserrer la Méditerranée, de compresser la Corse, la Sardaigne et la Sicile, et de faire naître de nouvelles montagnes. La corne orientale de l'Afrique se séparera du continent, ce qui fera apparaître une nouvelle mer. L'Australie remontera vers l'Asie tandis que l'Inde continuera d'avancer dans le continent asiatique, poursuivant le modelage de l'Himalaya.

Les volcans

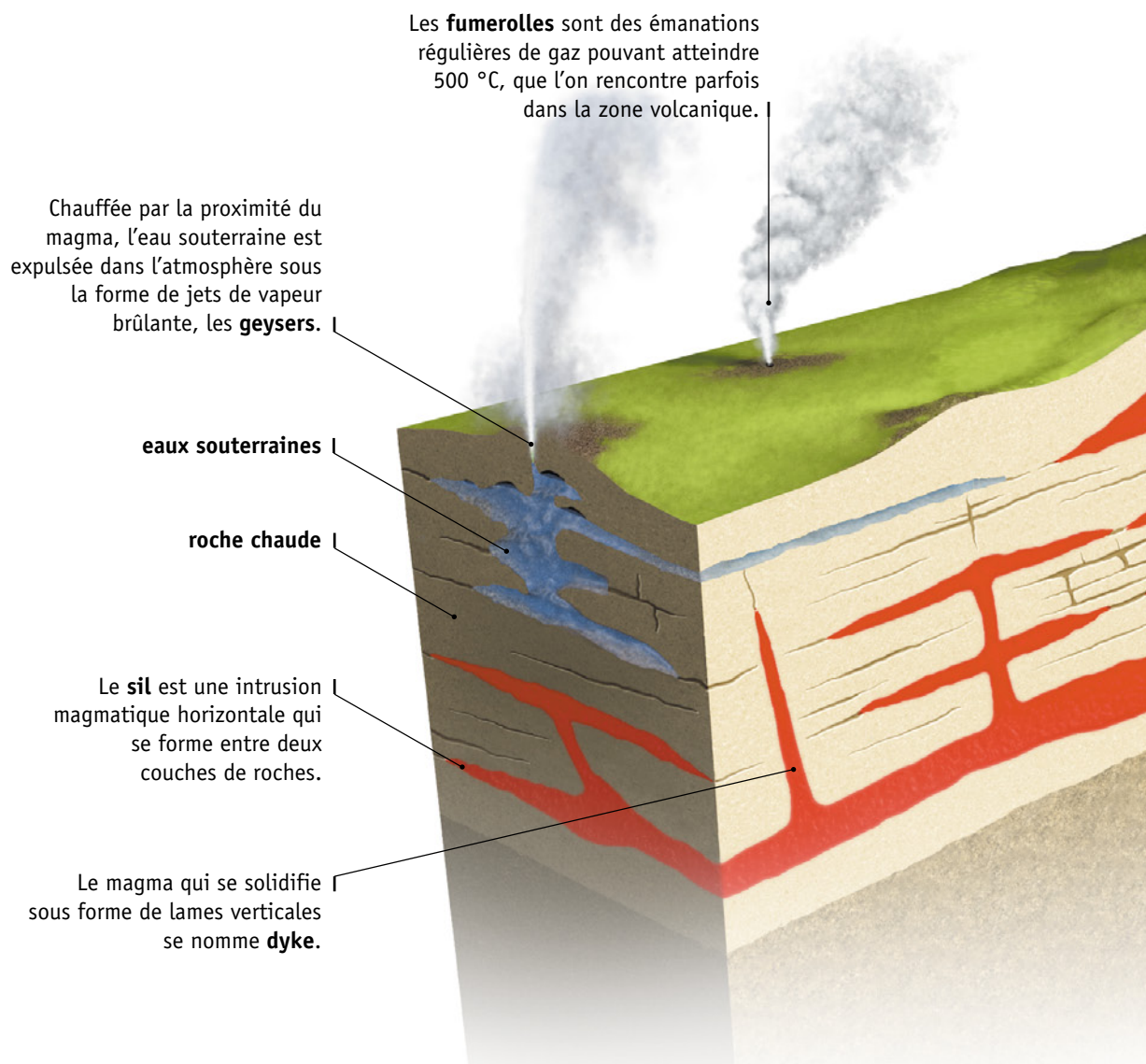
Des montagnes étonnantes

Les éruptions volcaniques figurent parmi les phénomènes naturels les plus spectaculaires que l'on puisse observer; elles témoignent de l'activité de la Terre et démontrent que les volcans ne sont pas des montagnes comme les autres.

Depuis la formation de notre planète, l'activité volcanique aurait contribué au développement des océans et de la vie sur Terre par l'émission de gaz, de vapeur d'eau et de matière venus des profondeurs. Pourtant, c'est à leur puissance de destruction et aux catastrophes qu'ils engendrent qu'on associe le plus souvent les volcans.

LE PHÉNOMÈNE DES VOLCANS

En remontant vers la surface, le magma ❶ (roche en fusion) chaud et léger, issu du manteau terrestre, est préalablement stocké dans la chambre magmatique ❷. Avec le temps, l'accumulation de matière élève le magma dans la cheminée ❸ et l'amène en surface, où il s'échappe du cratère ❹. Une coulée de lave ❺ liquide s'épanche sur les flancs de l'édifice volcanique. La colonne éruptive ❻ est constituée d'éléments de taille variable qui sont éjectés hors du cratère. Le magma qui n'atteint pas la surface pénètre parfois dans une couche de roche de nature différente et se solidifie ❼ sous forme de dykes, de laccolites ou de sils; ce phénomène se nomme intrusion.



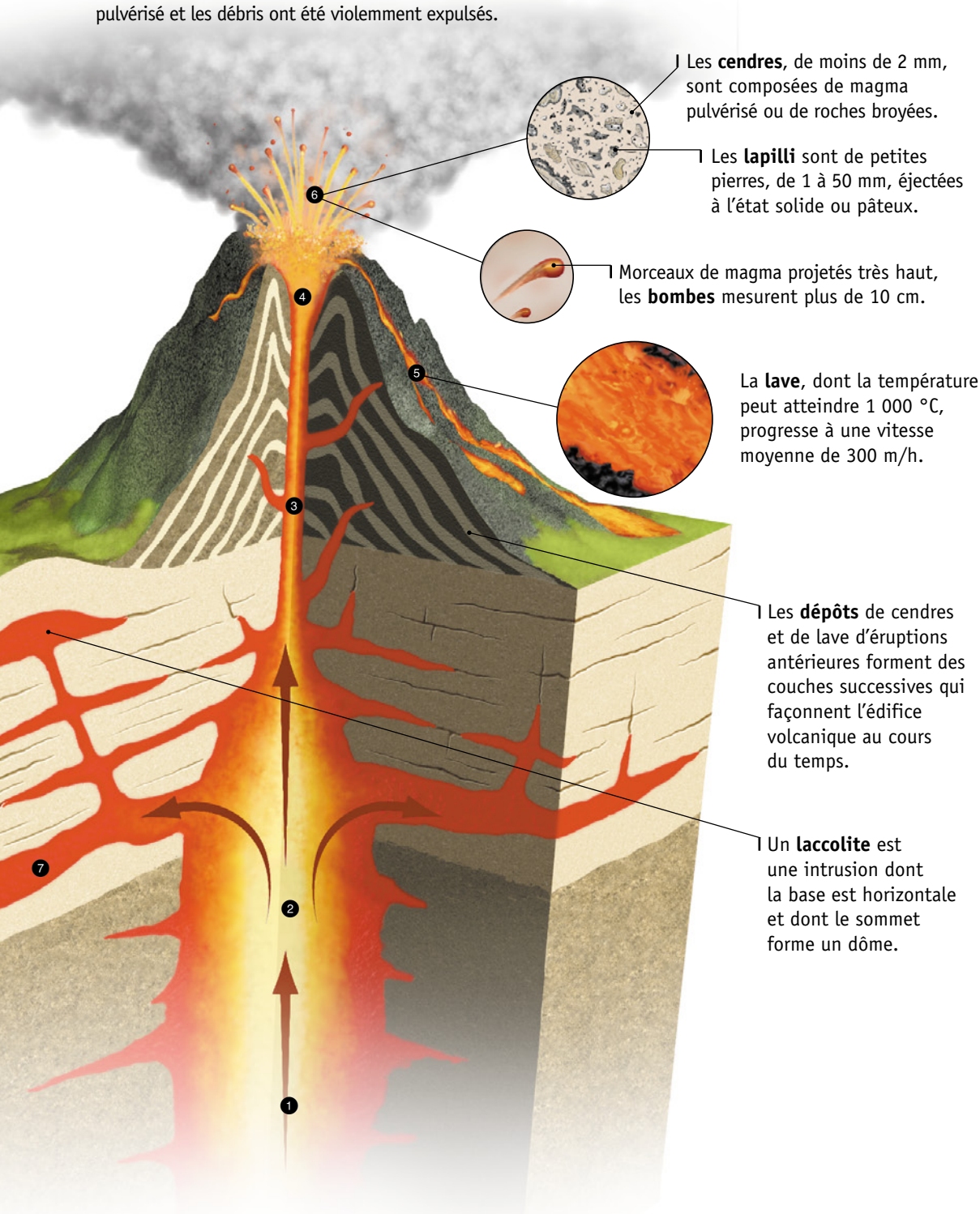
DIFFÉRENTS TYPES D'ÉRUPTIONS



En juin 1991, le mont **Pinatubo**, aux Philippines, entre en éruption après plus de six siècles d'inactivité. Cette éruption, de type explosif, fut l'une des plus violentes du xxe siècle. Sous la pression, le dôme du volcan a été pulvérisé et les débris ont été violemment expulsés.



Le volcan **Kilauea**, situé sur l'île d'Hawaii, compte parmi les volcans actifs les plus réputés. Depuis 1983, ce volcan de type effusif déverse de longues coulées de lave bouillonnante.



Le volcanisme

Une menace qui gronde aux quatre coins du monde

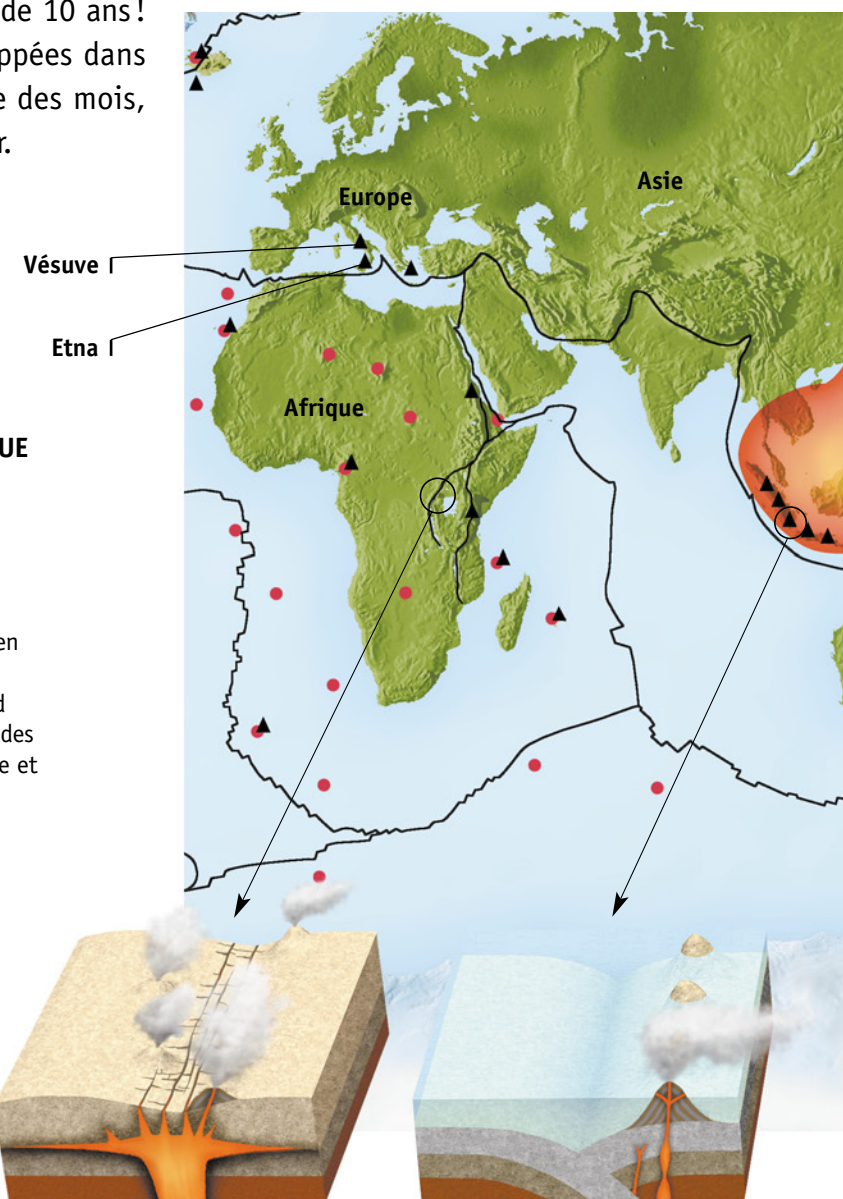
Un peu partout dans le monde, et dans certaines régions plus spécifiquement, des volcans sont susceptibles de se réveiller, parfois après des milliers d'années de sommeil, et de provoquer de violentes éruptions. Si certaines d'entre elles sont brèves, d'autres peuvent être particulièrement longues et dangereuses. Dans certains cas, elles durent même près de 10 ans ! Les nuages de cendres échappées dans l'atmosphère peuvent mettre des mois, voire une année, à se dissiper.

LA CEINTURE DE FEU DU PACIFIQUE

Le plus souvent, les volcans émergent le long des plaques lithosphériques et forment une guirlande. L'une des plus connues est la ceinture de feu du Pacifique, qui regroupe une grande partie des volcans du globe. Disposée en un arc insulaire qui encercle l'océan Pacifique, la ceinture de feu comprend notamment les archipels volcaniques des Aléoutiennes, du Japon, de l'Indonésie et des Philippines.

LES TYPES DE VOLCANISME

Il existe trois types de volcanisme, chacun d'eux pouvant apparaître sur les continents ou dans les océans. Les deux premiers types sont directement liés au phénomène des plaques lithosphériques : il s'agit du volcanisme de subduction (convergence des plaques) et du volcanisme de failles (divergence). Le troisième type ne se produit pas à la frontière de deux plaques mais plutôt au sein d'une seule plaque : c'est un volcanisme intraplaque connu sous le nom de points chauds.

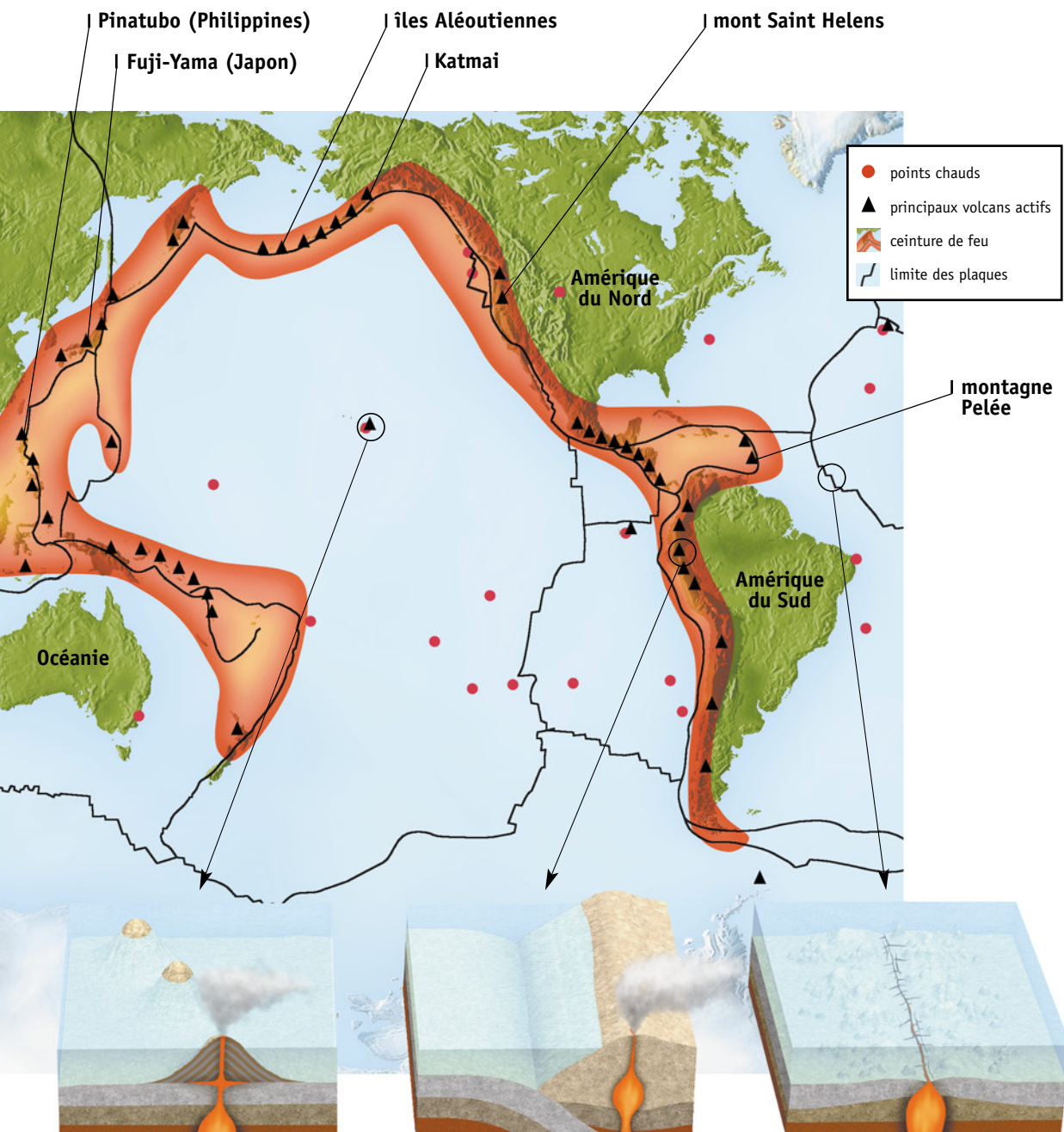


L'écartement des plaques continentales provoque un **volcanisme de faille**. Un volcan comme le Kilimandjaro est né le long d'une de ces failles située sur le continent africain.

Le **volcanisme de subduction océanique** se produit lorsqu'une plaque se glisse sous une autre. L'infiltration d'eau dans les profondeurs de la Terre provoque alors une baisse de la température de fusion qui favorise la montée du magma, causant des éruptions particulièrement explosives. Le volcan Krakatau est de ce type.

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Un volcan est dit actif si une éruption s'y est produite il y a moins de 100 ans. On estime à 1 500 le nombre de volcans actifs sur les continents, qui produisent chaque année une cinquantaine d'éruptions, sans compter tous ceux qui sont situés au fond des océans. La répartition géographique des volcans n'est pas aléatoire mais correspond à des zones de fracture de l'écorce terrestre ou à des points chauds.



Indépendant des interactions entre les plaques, le phénomène des **points chauds** survient au milieu des plaques océaniques ou continentales. Des poches de magma provenant du manteau inférieur de la Terre montent vers la surface et produisent des massifs volcaniques comme ceux d'Hawaï.

Le **volcanisme de subduction continentale** se produit le long des continents, à la rencontre d'une plaque océanique et d'une plaque continentale. La remontée du magma fait naître des volcans comme le Cotopaxi le long de la cordillère des Andes.

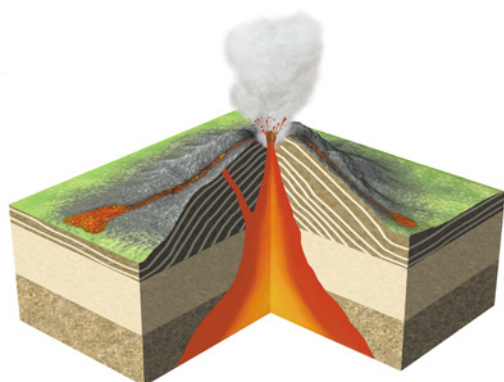
Le **volcanisme de faille** intervient le long des dorsales océaniques, qui s'étendent sur près de 60 000 km. Dans ces zones fragiles, l'écartement des plaques permet au magma de s'insinuer et de créer de longues chaînes de montagnes volcaniques, comme celle qui va de l'Islande jusqu'au sud de l'océan Atlantique.

Les éruptions volcaniques

Quand les sommets des montagnes volent en éclats

L'éruption d'un volcan pourrait être comparée à l'ouverture d'une bouteille de champagne : ce sont les gaz, dissous dans le magma, qui déclenchent tout. Au cours de la remontée du magma, ils se libèrent et poussent vers le haut, augmentant la pression. Lorsque le bouchon saute, le liquide est violemment expulsé.

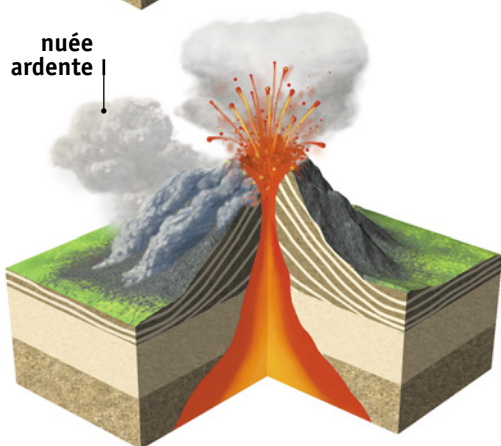
En perforant la surface de la Terre, l'éruption volcanique forme un cratère d'où sont expulsées différentes matières. Tous les volcans n'ont pas le même type d'éruption. La consistance du magma qu'ils renferment détermine en partie la façon dont les gaz s'échapperont et par conséquent la violence du phénomène.



VOLCANS EFFUSIFS

Dans les éruptions effusives, le magma est fluide et les gaz qu'il contient s'échappent aisément. La lave se répand en coulée ou en rivière, de 50 à 100 m/h, le long du volcan, sur des distances pouvant atteindre une centaine de kilomètres.

L'écoulement abondant de lave et la projection de lave incandescente correspondent aux éruptions hawaïennes ; on assiste parfois également à la projection de roches de diverses tailles et à l'écoulement de lave. Généralement, les volcans effusifs sont ronds, larges et plats.

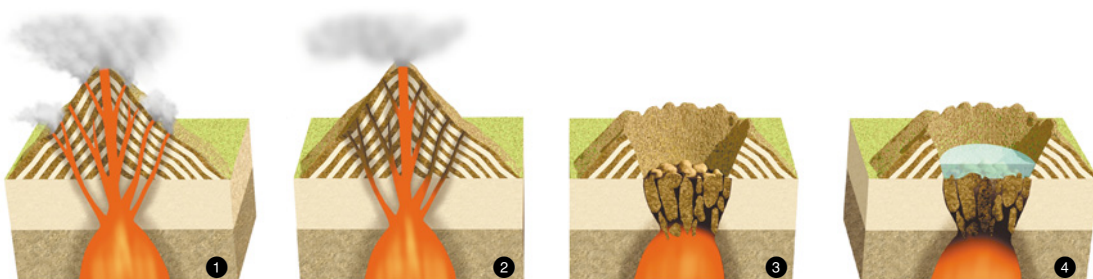


VOLCANS EXPLOSIFS

Les éruptions explosives sont les plus redoutables. Le magma, épais et visqueux, retient les gaz. La pression s'accroît, ce qui provoque de très fortes explosions projetant de toutes parts les roches, la lave et les gaz.

L'éruption produit une colonne éruptive pouvant atteindre des dizaines de kilomètres de hauteur ; les débris sont violemment expulsés et les cendres peuvent se déposer sur des centaines de kilomètres à la ronde. Les volcans provenant d'éruptions explosives présentent souvent des pentes escarpées.

FORMATION D'UNE CALDEIRA



On nomme caldeira un cratère de plus de 1 km, et pouvant atteindre jusqu'à 60 km de diamètre, formé par l'effondrement du sommet d'un volcan. Lors d'une éruption, le magma s'échappe de la chambre magmatique par la cheminée centrale ainsi que par des cheminées secondaires ❶. Progressivement, ces conduits se vident ❷. La partie centrale du volcan n'arrivant plus à supporter le poids du cône volcanique, le sommet s'effondre ❸. La matière du cône couvre le fond de la caldeira, dont les côtés sont très escarpés. Certaines caldeiras se remplissent parfois d'eau et forment des lacs ❹.

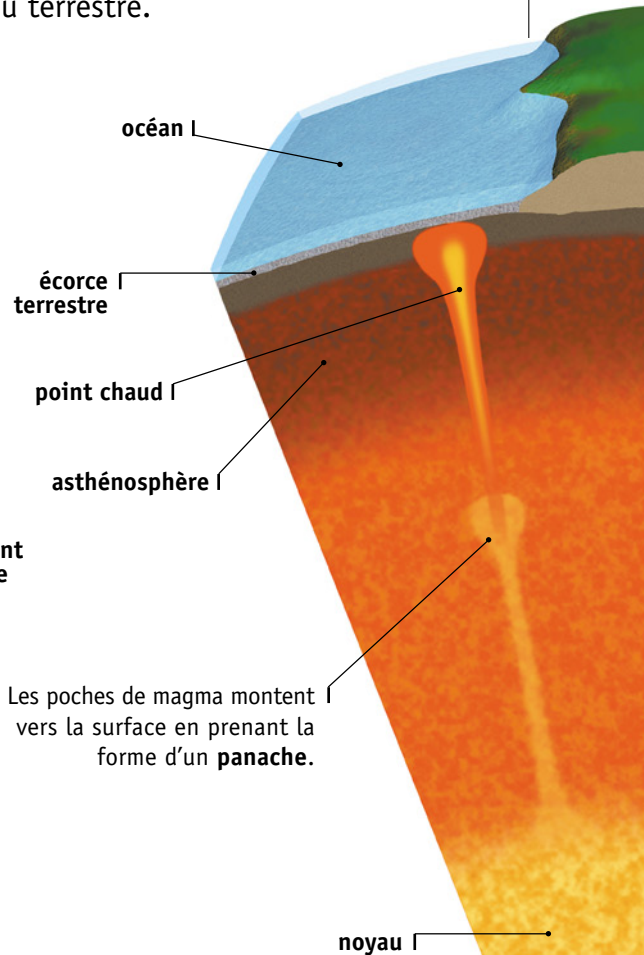
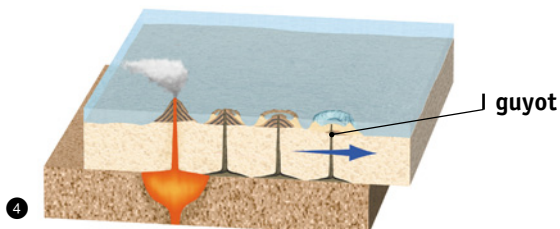
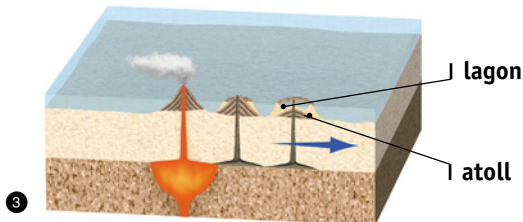
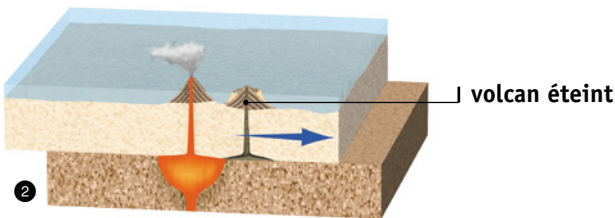
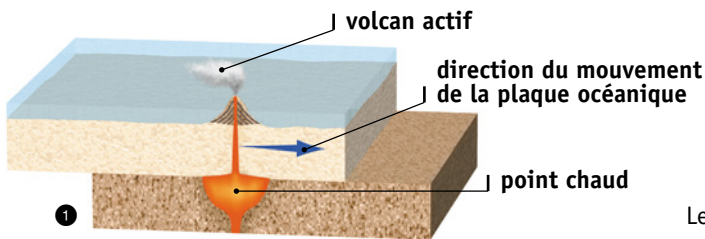
Les points chauds

Des alignements de volcans

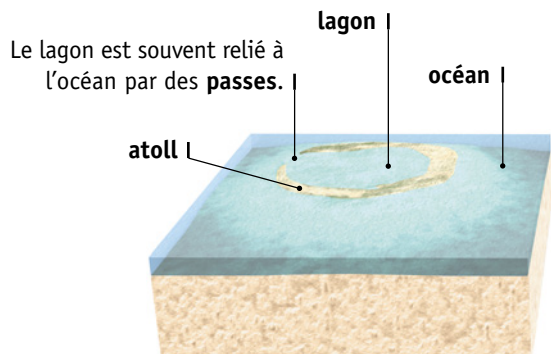
À certains endroits bien précis du globe, des poches de magma provenant du manteau inférieur de la Terre (la couche située au-dessus du noyau externe) montent très lentement vers la surface, transpercent l'écorce terrestre et produisent des massifs volcaniques au milieu des plaques lithosphériques. Ces points chauds sont fixes; les alignements de volcans qu'ils créent témoignent du déplacement des plaques au-dessus du manteau terrestre.

DES GÉNÉRATIONS DE VOLCANS DANS L'OcéAN

Dans les océans, les points chauds créent des alignements caractéristiques d'îles volcaniques. Lorsque le magma remonte à la surface, il perce la plaque océanique et produit un volcan ❶. La plaque se déplace mais le point chaud reste fixe, si bien qu'il cesse d'alimenter ce premier édifice volcanique et crée un nouveau volcan ❷. Le volcan éteint s'érode peu à peu et des récifs coralliens se développent sur ses flancs, formant un atoll, c'est-à-dire une île en forme d'anneau entourant une étendue d'eau peu profonde, le lagon ❸. Le volcan érodé qui a disparu sous la surface de l'océan est appelé un guyot ❹.



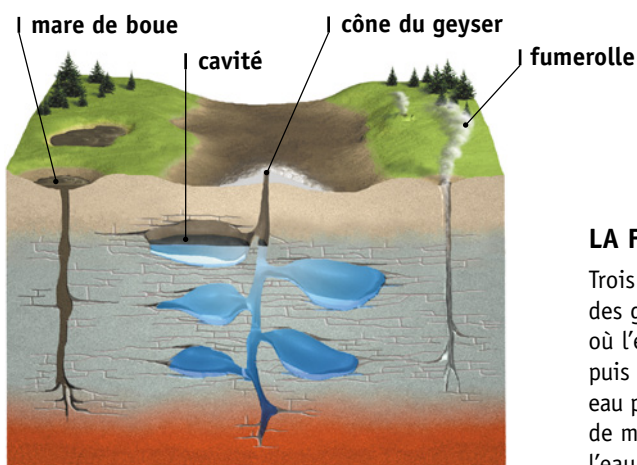
Les poches de magma montent vers la surface en prenant la forme d'un **panache**.



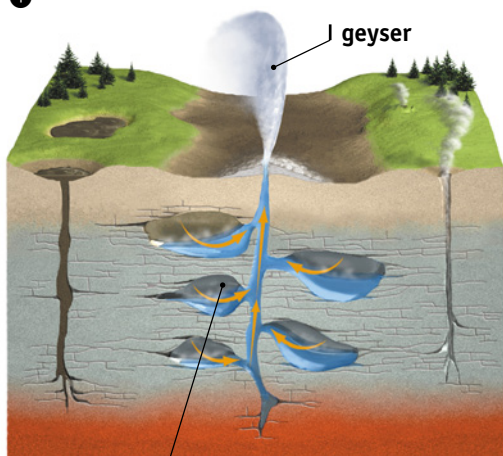
Les geysers

Quand la Terre crache de l'eau

Phénomènes spectaculaires, les geysers sont de véritables volcans d'eau qui projettent, de façon continue ou intermittente, d'immenses jets de vapeur et d'eau très chaude. La plupart des geysers sont situés dans des régions volcaniques où le magma est relativement proche de la surface terrestre. On les trouve notamment en Islande, d'où provient le mot *geyser* (signifiant « gerbe jaillissante »), en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis, dans le célèbre parc de Yellowstone qui en compte à lui seul plus de 250.

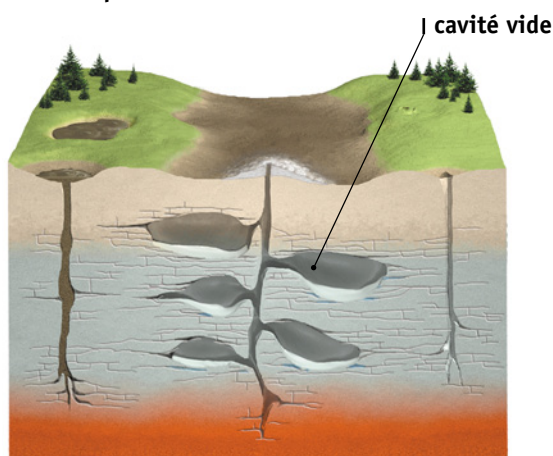


①



②

vapeur



③

LA FORMATION DES GEYSERS

Trois conditions sont nécessaires à la formation des geysers : la présence d'un circuit souterrain où l'eau qui s'infiltre dans le sol peut circuler puis remonter à la surface ; un réservoir, où cette eau peut s'accumuler ; et la proximité d'une poche de magma (roche en fusion) qui réchauffe l'eau emprisonnée.

L'eau s'infiltre d'abord dans le sol et s'accumule dans des cavités, à proximité d'une poche de magma ①. Ainsi chauffée, l'eau se transforme peu à peu en vapeur. La pression s'accroît et propulse vers la surface un puissant jet d'eau et de vapeur ②.

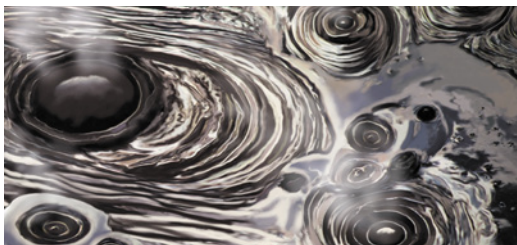
La durée du phénomène varie de quelques minutes à quelques heures. Le jet d'eau s'affaisse lorsque la cavité ne contient plus d'eau ni de vapeur ③.



Le **Old Faithful** (le Vieux Fidèle) est parmi les plus célèbres geysers du monde. Situé dans le parc de Yellowstone, ce geyser fait preuve d'une surprenante régularité : depuis 1870, il projette des milliers de litres d'eau toutes les 50 à 100 minutes, durant environ 4 minutes.

PAYSAGES VOLCANIQUES

Outre les geysers, l'activité volcanique engendre plusieurs phénomènes géothermiques. Chauffés par les roches volcaniques, l'eau et les gaz présents dans le sol composent des paysages surprenants où jaillissent de la boue, de l'eau ou des fumées.



Des gaz remontent à la surface et forment des **mares de boue** où des particules de roches volcaniques décomposées se mêlent à l'eau.



L'eau qui s'infiltre dans le sol près d'une zone volcanique est chauffée par les roches. Elle remonte à la surface et atteint des températures parfois très élevées. Plusieurs **sources chaudes** sont connues pour leurs vertus thérapeutiques, parmi lesquelles Bath, en Angleterre, et Vichy, en France.



Les **fumerolles** sont des émanations de gaz que l'on retrouve souvent sur les flancs des volcans. Comme les geysers, elles fusent de la terre par un conduit vertical en une colonne de vapeur soufrée.

Les **jets** de vapeur et d'eau qui jaillissent du sol atteignent parfois plus de 100 m de hauteur. Le plus haut geyser encore en activité se trouve dans le parc national de Yellowstone : il s'agit du Steamboat, dont le jet dépasse 110 m de hauteur. Au début du siècle, le Waimangu, un geyser de Nouvelle-Zélande, propulsait sa gerbe d'eau jusqu'à plus de 450 m dans les airs.

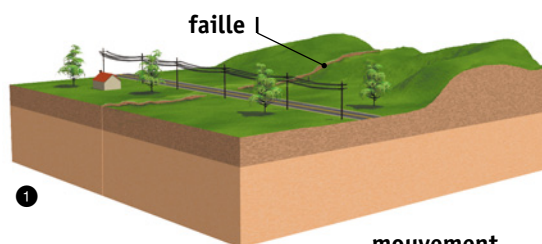
Des **dépôts de minéraux** se forment au pied du geyser.

Les séismes

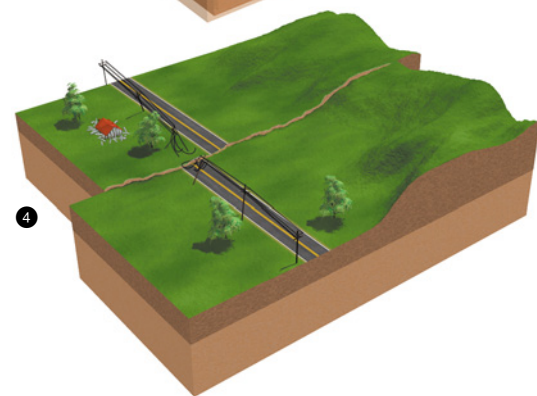
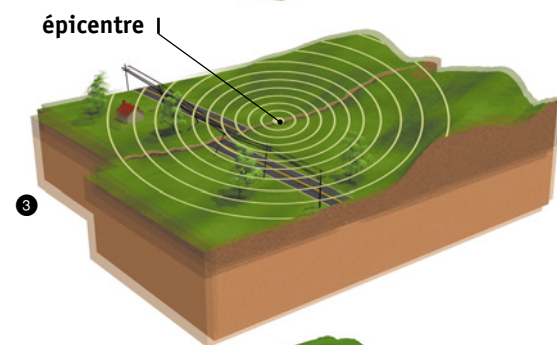
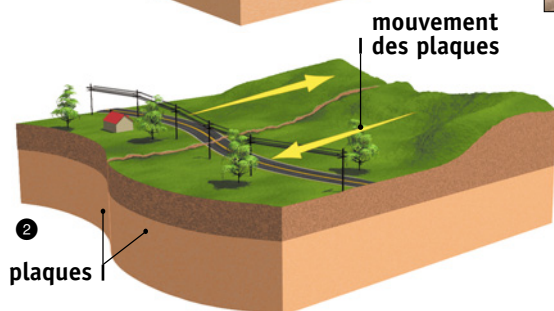
Une libération brutale d'énergie

Appelés communément « tremblements de terre », les séismes se produisent lorsque la surface du globe est secouée par une décharge d'énergie issue des profondeurs de la Terre. Le mouvement des plaques lithosphériques, qui se déplacent de 1 à 18 cm par année, et les énormes tensions qu'elles accumulent à leurs points de rencontre sont directement responsables de l'activité sismique. Les séismes se manifestent donc principalement dans les régions volcaniques et à proximité de jeunes chaînes de montagnes, en bordure des plaques.

On estime à près d'un million le nombre de séismes qui ébranlent la Terre chaque année, mais seuls un peu plus de 5 % d'entre eux sont ressentis, les autres étant de trop faible magnitude. Lorsqu'ils se produisent en milieu urbain, les séismes causent de véritables désastres, entraînant parfois la mort de milliers de personnes.



La **faille de San Andreas**, en Californie, compte parmi les fractures de l'écorce terrestre les plus connues.



COMMENT SE PRODUIT UN SÉISME

Les séismes se produisent habituellement le long des failles de l'écorce terrestre, au point de rencontre de deux plaques lithosphériques ①.

Le mouvement des plaques comprime et étire la roche, la soumettant ainsi à des tensions et des frictions considérables. À cette étape, les bords des plaques demeurent solidaires et immobiles ②.

Lorsque la force devient trop grande, une immense quantité d'énergie est libérée brutalement, produisant une série de secousses de l'écorce terrestre et des vibrations qui se propagent jusqu'à la surface ③.

Après le séisme, la région touchée subit une modification morphologique ④.

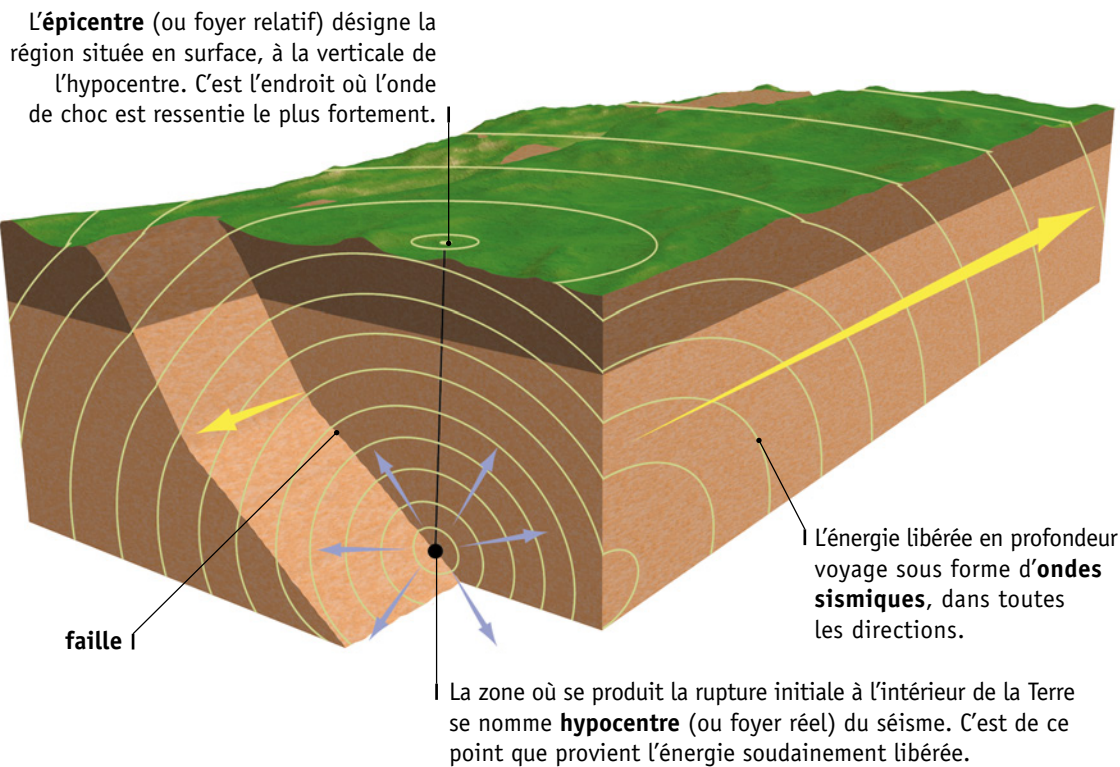
Peu à peu, les tensions recommencent à s'accumuler...



Le séisme survenu dans la région de Los Angeles, en Californie, en janvier 1994 a eu des effets dévastateurs.

LOCALISATION D'UN SÉISME

Lorsqu'on décrit la localisation d'un séisme, on distingue deux zones précises : l'hypocentre et l'épicentre. L'hypocentre peut se situer jusqu'à 700 km de la surface. Plus le foyer est profond, plus les ondes se propagent loin. Toutefois, la plupart des séismes ont leur hypocentre à moins de 20 km de profondeur. Chaque particule oscille, et cette oscillation se transmet très vite d'une particule à une autre sur de très longues distances, à la façon des cercles concentriques à la surface de l'eau.



L'ÉCHELLE DE RICHTER		
magnitude	effets	fréquence annuelle
< 2	microséisme, non perceptible, enregistré sur les instruments locaux	600 000
2 à 2,9	séisme potentiellement perceptible	300 000
3 à 3,9	séisme ressenti par peu de gens	50 000
4 à 4,9	séisme ressenti par la majorité des gens	6 200
5 à 5,9	séisme modéré, quelques dommages causés par les secousses	800
6 à 6,9	séisme important, dommages en zone habitée	100 à 300
7 à 7,9	séisme majeur, dommages importants en zone habitée	15 à 20
> 8	séisme très rare, destruction totale en zone habitée	1 à 4

Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'intensité d'un séisme. Certaines tiennent compte de l'ampleur des dégâts matériels (éclats de vitres, chutes des édifices, etc.) et nécessitent une observation sur place. C'est le cas de l'échelle de Mercalli.

Conçue par le géophysicien américain Charles Francis Richter, l'échelle de Richter mesure de façon plus précise la magnitude d'un séisme, c'est-à-dire la quantité d'énergie libérée. Chaque nombre entier sur l'échelle correspond à une force 32 fois plus puissante que le nombre précédent. Ainsi un séisme d'une magnitude de 6 est 32 fois plus puissant qu'un séisme d'une magnitude de 5.

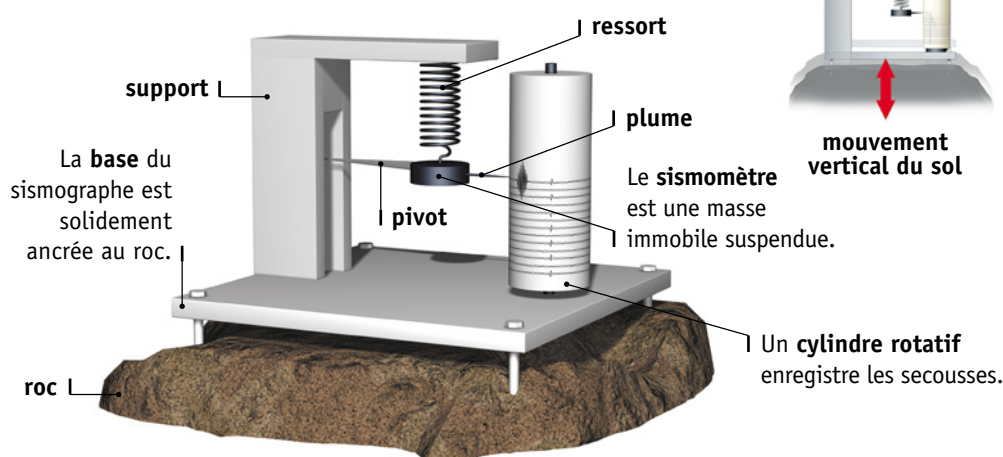
Les ondes sismiques

Mesurer et localiser les séismes

Lorsque la tension entre les plaques atteint son point culminant, une incroyable énergie est violemment relâchée sous la forme d'ondes de choc : les ondes sismiques. Ces ondes franchissent de grandes distances, provoquant des vibrations dans les roches jusqu'à la surface.

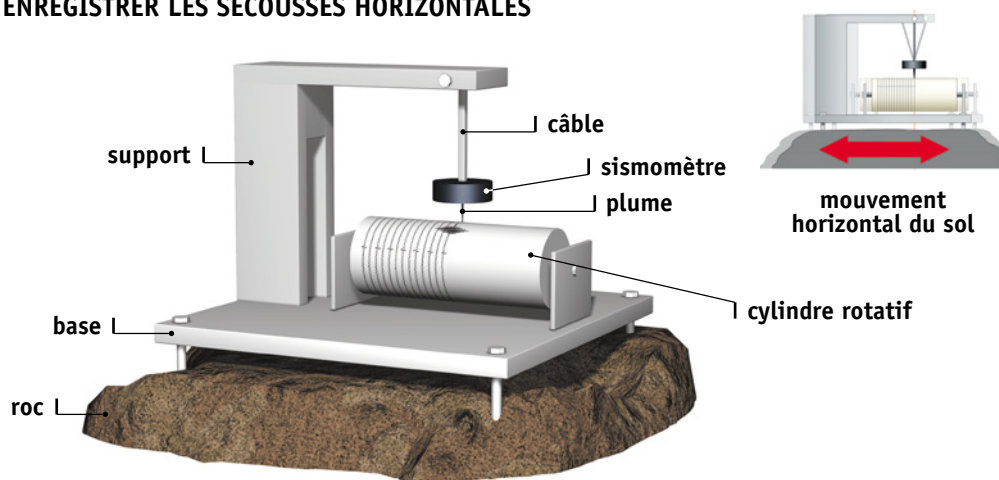
Afin de mesurer l'intensité d'un séisme, on utilise un sismographe, instrument permettant de mesurer les déplacements horizontal et vertical du sol. Le sismogramme (graphique produit par le sismographe) constitue un portrait des ondes qui secouent la Terre : il présente une ligne irrégulière, dont chaque écart correspond à un mouvement du sol.

ENREGISTRER LES SECOUSSES VERTICALES



Lorsque survient un séisme, le mouvement du sol causé par les ondes sismiques est transmis à la base de l'appareil. À la manière d'un pendule, le sismomètre demeure immobile par inertie, de sorte qu'il sert de point de référence indépendant par rapport au mouvement du sol. La plume reliée à la masse très lourde permet d'enregistrer ce déplacement sur le cylindre rotatif.

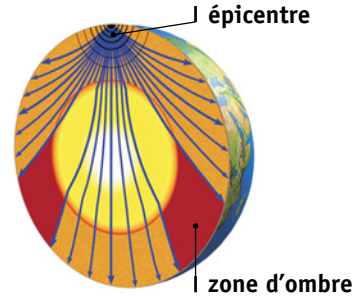
ENREGISTRER LES SECOUSSES HORIZONTALES



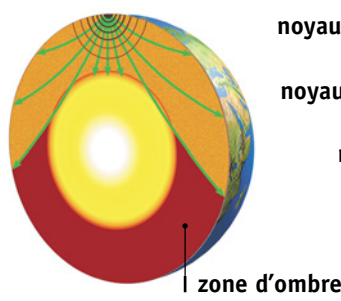
L'appareil utilisé pour enregistrer les secousses horizontales fonctionne de la même façon. Lorsque le sol bouge, l'ensemble du sismographe se déplace horizontalement à l'exception de la masse suspendue qui reste immobile, par inertie.

TROIS TYPES D'ONDES SISMQUES

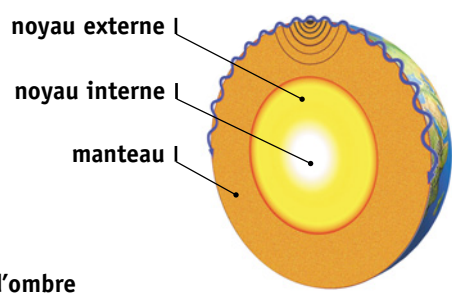
Les ondes sismiques produites par un séisme traversent de grandes distances et peuvent être détectées très loin de leur origine. À des vitesses différentes, trois types d'ondes voyagent ainsi à la surface et à l'intérieur du globe.



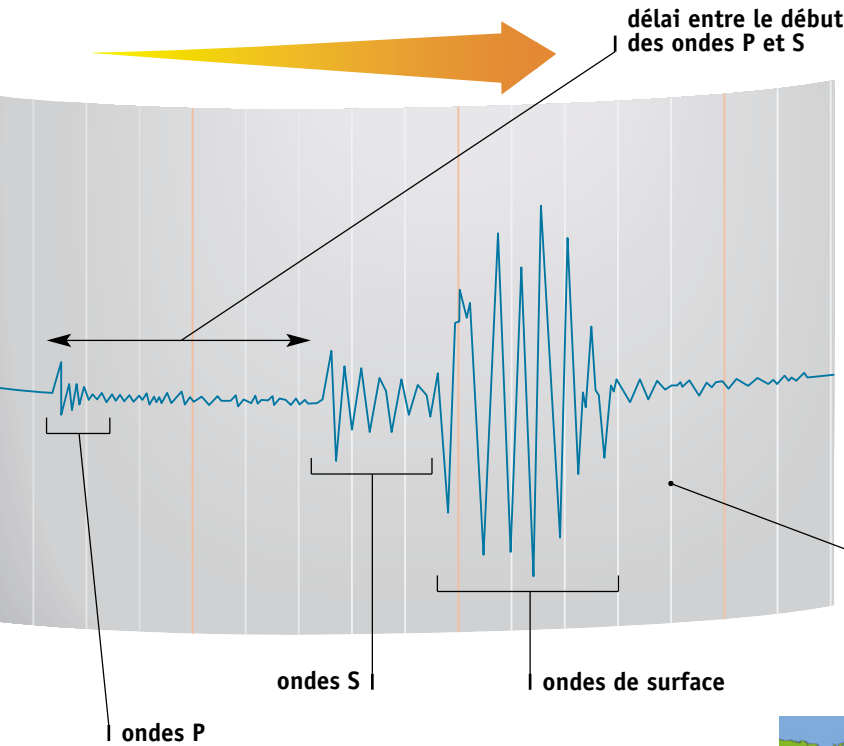
Les **ondes P** (ondes primaires) se transmettent dans tous les milieux, et sont les premières à être enregistrées par le sismographe. Des phénomènes de réfraction les empêchent toutefois d'atteindre certaines régions du globe, appelées zones d'ombre.



Les **ondes S** (ondes secondaires de cisaillement) ne se propagent que dans les milieux solides et arrivent après les ondes P. Bloquées par le noyau liquide, elles évitent une grande zone d'ombre.



Lorsqu'elles atteignent la surface, les ondes P et S sont converties en **ondes L** (ondes longues) qui agissent en surface seulement et sont les plus lentes des trois.



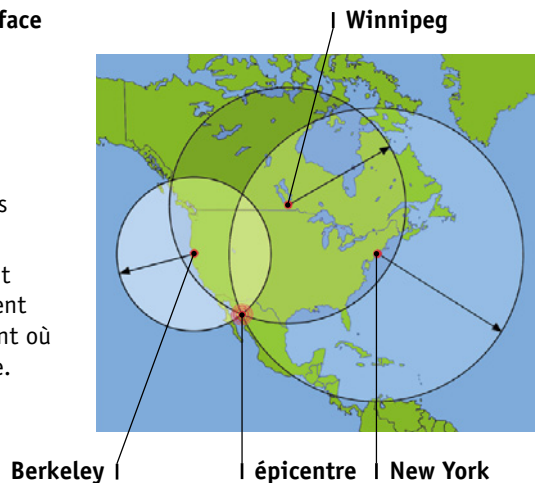
L'ANALYSE DU SISMOGRAMME

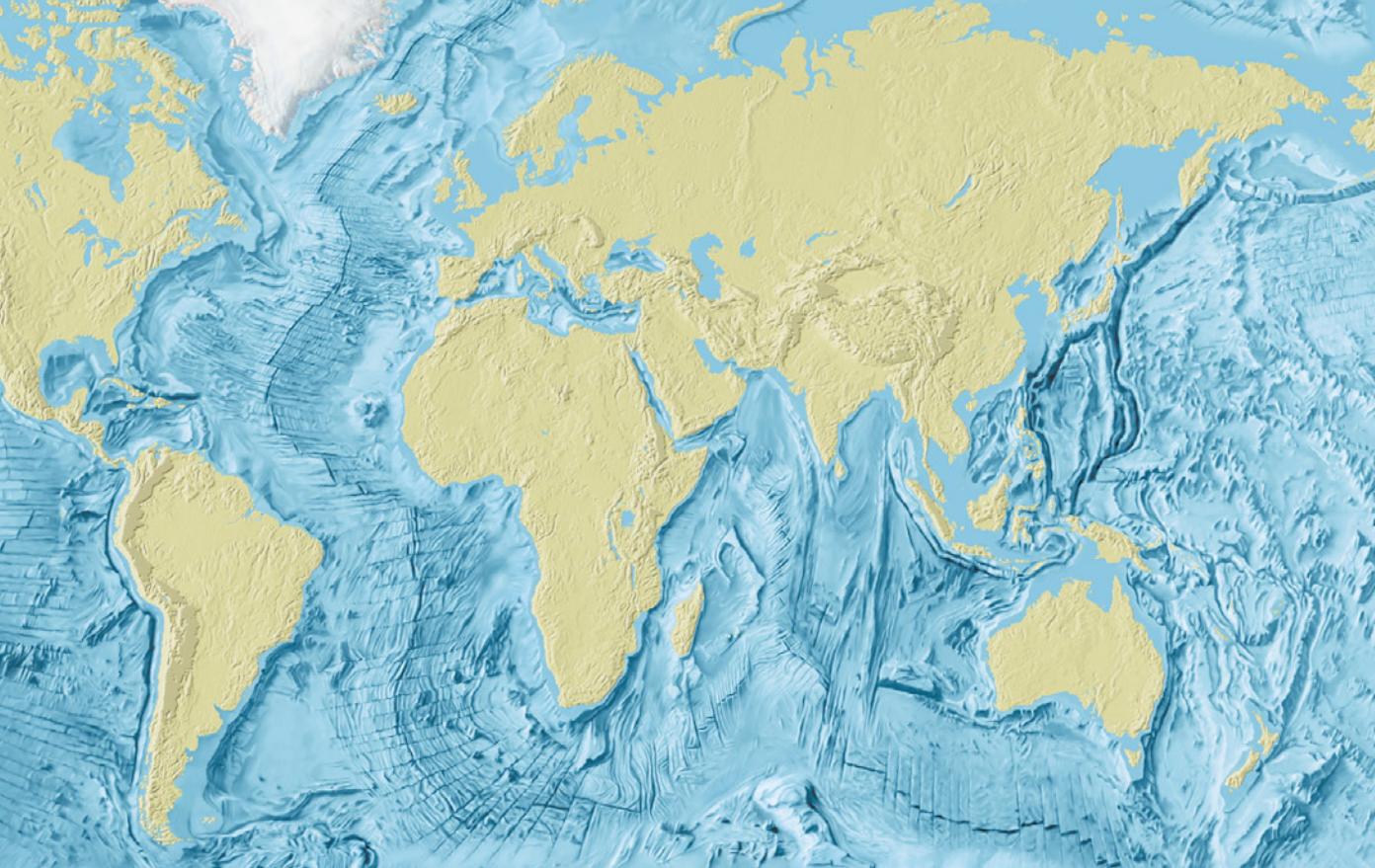
Lorsqu'un séisme se produit, les oscillations du sol sont matérialisées sur le sismographe par des ondulations caractéristiques, correspondant aux trois types d'ondes sismiques. En mesurant le délai entre le début des ondes P et le début des ondes S, il est possible de déterminer à quelle distance du sismographe se trouve l'épicentre du séisme.

LOCALISATION DE L'ÉPICENTRE

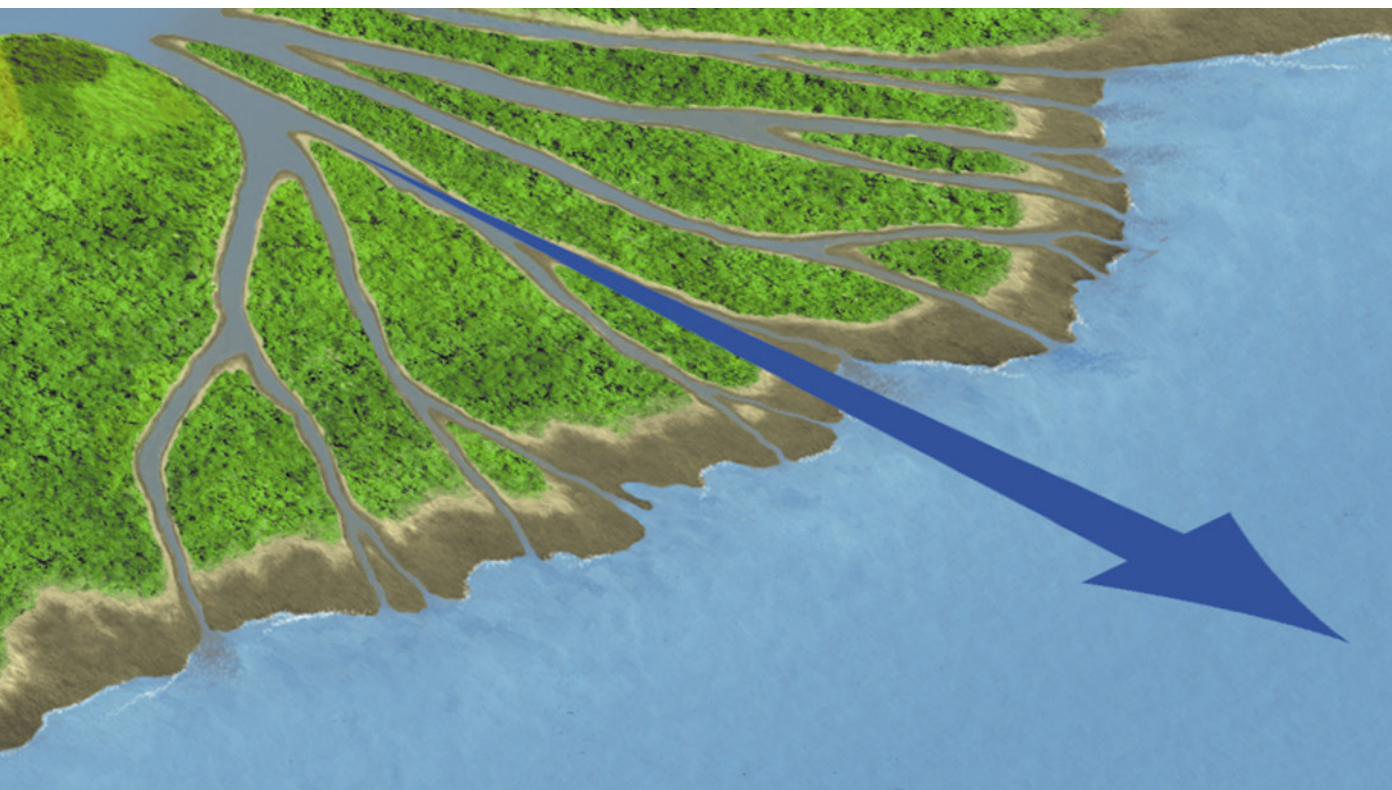
L'épicentre d'un séisme peut être localisé à partir de l'analyse des relevés provenant de trois stations situées à des endroits différents.

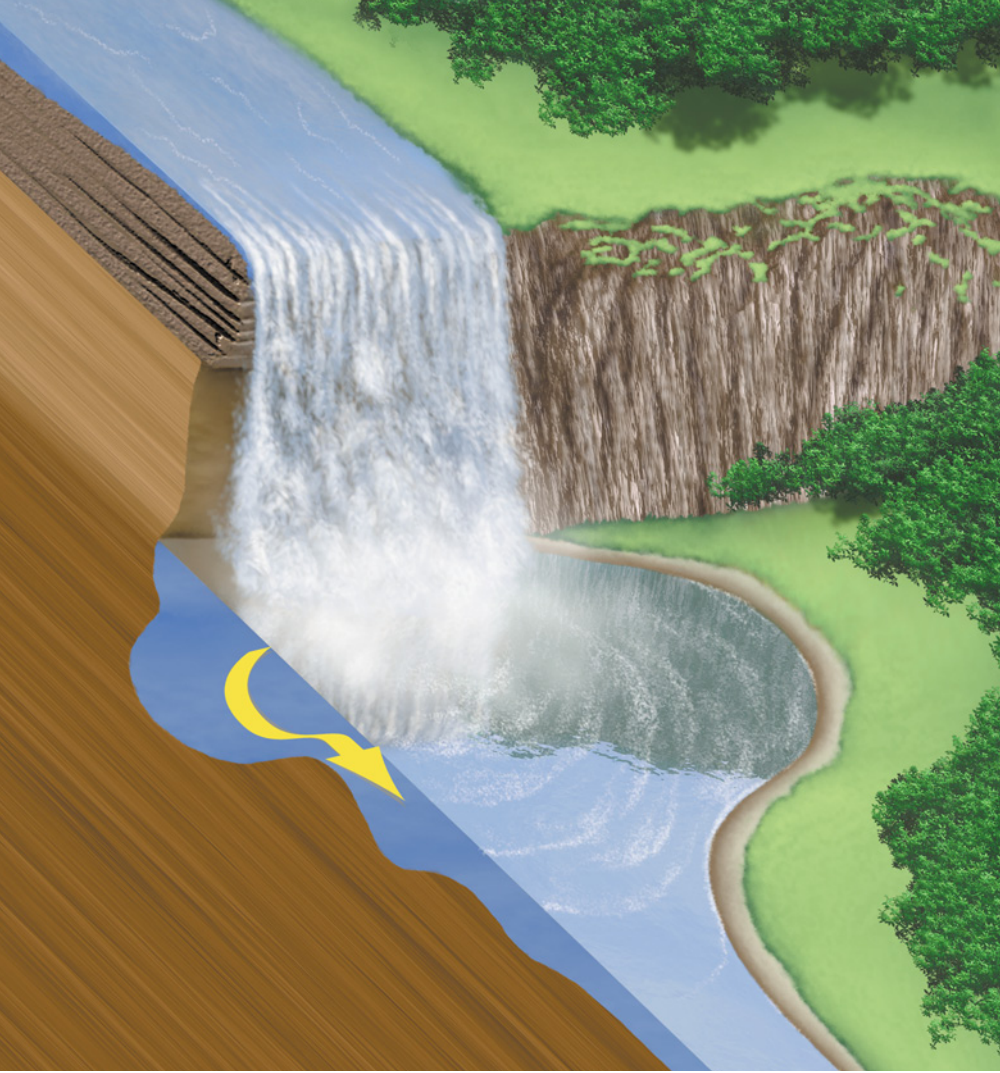
Pour le localiser précisément, les sismologues dessinent sur une carte géographique un cercle de rayon équivalent à la distance obtenue à partir du sismogramme. Le point où se rencontrent les trois cercles correspond à l'épicentre.





Comment un ruisseau devient-il fleuve? À quoi ressemblent les fonds marins? Pourquoi les marées existent-elles? Du sommet des montagnes jusqu'aux profondeurs abyssales, l'eau est partout présente sur notre planète : elle couvre même les deux tiers de sa surface. **Théâtre de phénomènes passionnants**, comme les courants marins, les tsunamis et les vagues, l'océan constitue un facteur essentiel d'échange d'énergie et de matière autour du globe.





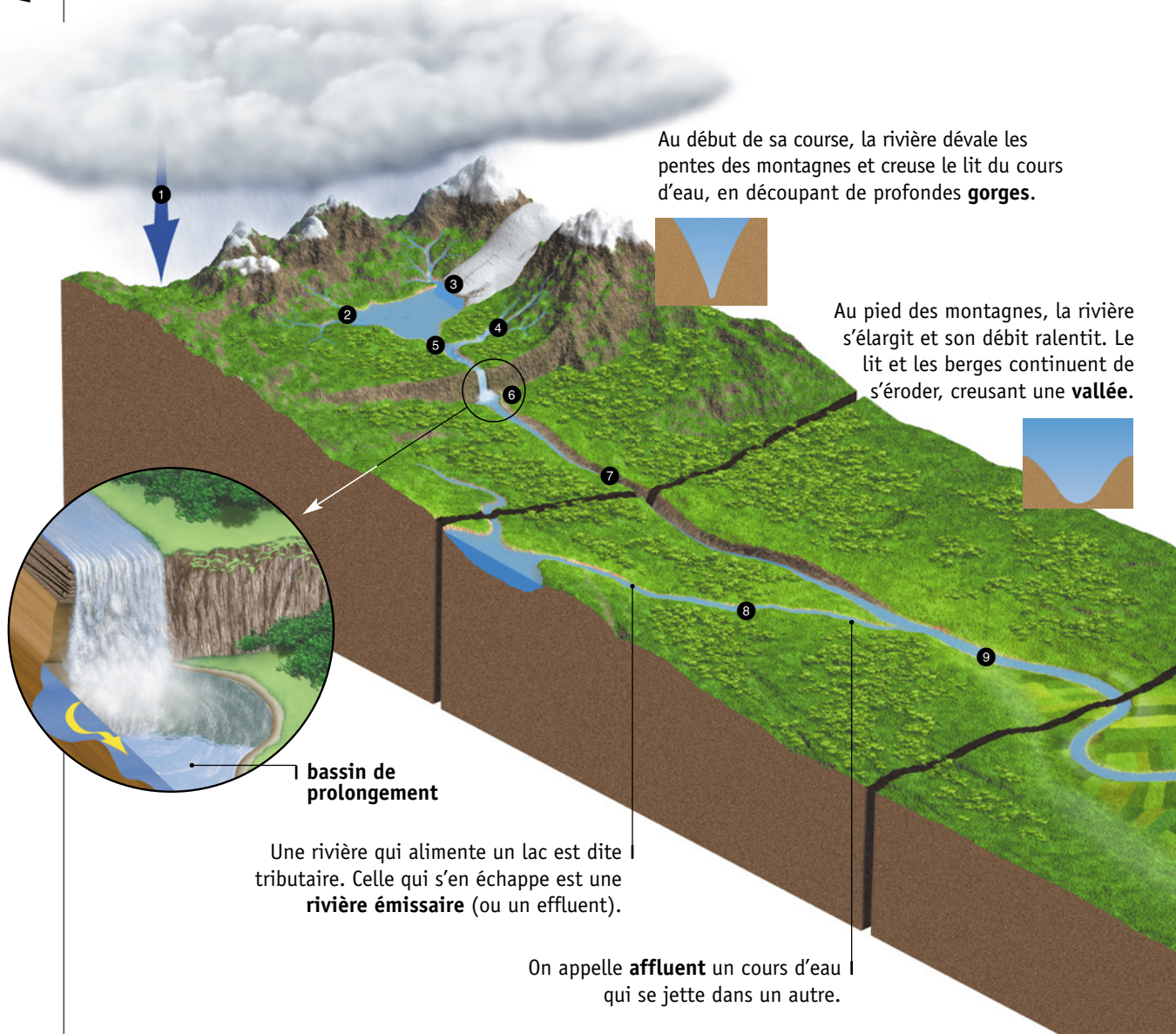
L'eau et les océans

- 52 **Les cours d'eau**
Comment fleuves et rivières irriguent la planète
- 54 **Fleuves et lacs du monde**
L'eau douce à la surface du globe
- 56 **L'océan mondial**
La vaste étendue d'eau qui couvre la Terre
- 58 **Le fond de l'océan**
Paysages sous-marins
- 60 **Fosses et dorsales océaniques**
Le relief des fonds marins
- 62 **Les courants marins**
La circulation des eaux océaniques
- 64 **Les vagues**
Un phénomène de surface
- 66 **Les tsunamis**
Des vagues gigantesques
- 68 **Les marées**
La mer au rythme des astres

Les cours d'eau

Comment fleuves et rivières irriguent la planète

En s'écoulant du sommet des montagnes jusqu'à la mer, l'eau alimente des glaciers, des lacs, des rivières et des fleuves. Parvenue dans l'océan, elle s'évapore et forme des nuages, qui approvisionnent à nouveau les cours d'eau. Depuis des millions d'années, ce vaste cycle de l'eau dessine les paysages en creusant les vallées, en érodant les montagnes, en modifiant les littoraux.



À L'EMBOUCHURE DES FLEUVES

Lorsqu'un fleuve rencontre une marée plus puissante que son courant, les sédiments qu'il charrie se dispersent. Le fleuve s'ouvre comme un entonnoir : c'est ce qu'on appelle un **estuaire**.

Lorsqu'il ne se heurte pas à un courant plus fort, le fleuve dépose ses sédiments à l'embouchure. Les alluvions, c'est-à-dire les dépôts de sédiments, se disposent en un éventail que divisent plusieurs chenaux de grosseurs et de formes variées. On parle alors de **delta**.



L'estuaire du Saint-Laurent, au Canada. Le delta du Nil, en Égypte.

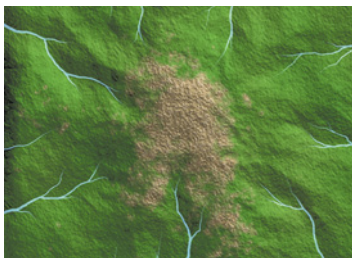
LES RÉSEAUX HYDROGRAPHIQUES

Les cours d'eau (sources, rivières, fleuves et lacs) forment un réseau hydrographique hiérarchisé. Chacun d'eux se jette dans un cours d'eau plus important pour aboutir à la mer. Ils s'organisent selon une géométrie constante qui varie selon le climat, les reliefs et la nature des roches. On dénombre une douzaine de ces réseaux caractéristiques.

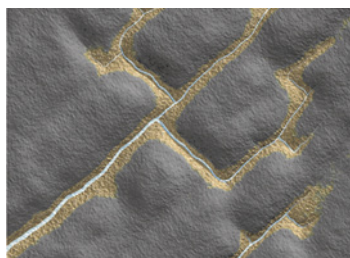
Chaque bassin hydrographique est limité par une frontière naturelle que forment les crêtes des plus hautes altitudes : il s'agit de la ligne de partage des eaux. En Amérique du Nord, cette ligne traverse du nord au sud les montagnes Rocheuses : à l'est des Rocheuses, les cours d'eau se déversent dans l'Atlantique ; à l'ouest, ils gagnent le Pacifique.



Le **réseau dendritique** (ou arborescent) est l'un des plus communs. On le retrouve dans les zones où le relief et la nature des roches sont homogènes.



Le **réseau étoilé** (ou radial) est caractéristique des montagnes, où les cours d'eau divergent à partir du sommet.



Le **réseau réticulé**, en forme de damier, apparaît fréquemment sur les sols constitués de roches alternativement dures et tendres, souvent entaillés par des failles.

LE CYCLE DE L'EAU

L'eau de pluie ❶ s'infiltre dans le sol et affleure ensuite à la surface sous forme de source ❷, dévalant collines et montagnes. Alimenté parfois par l'eau de la fonte des glaciers ❸, le ruisseau se transforme en torrent ❹ à la croisée de plusieurs sources, puis devient une jeune rivière ❺ qui poursuit sa course à travers la montagne, suivant les pentes abruptes et plongeant dans des chutes ❻. La rivière creuse de profondes gorges ❼, puis s'élargit. Alimentée par des affluents ❽, elle devient fleuve ❾. De plus en plus large, le fleuve engendre des méandres ❿. Il forme souvent à son embouchure un delta ⓫ saturé des sédiments qu'il a transportés, et se déverse finalement dans la mer ⓬. L'évaporation ⓭ de l'eau des océans forme à nouveau des nuages. Le cycle de l'eau recommence.

Lorsqu'elle atteint la **plaine**, la rivière arrive à son niveau de base et façonne des méandres où se déposent des sédiments.



Fleuves et lacs du monde

L'eau douce à la surface du globe

Baignés par les océans, les continents sont aussi parcourus par de vastes réseaux hydrographiques. Par rapport à la somme totale d'eau que l'on trouve sur Terre, la quantité d'eau des rivières, des fleuves et des lacs est minime (à peine 0,03 %), mais elle représente tout de même un volume très important. Ruisselant des montagnes, les eaux de surface irriguent les vallées et les plaines sur tout le globe. Un fleuve comme l'Amazone bénéficie de l'apport de 15 000 affluents. Même les zones désertiques offrent parfois une oasis découvrant une nappe d'eau souterraine.



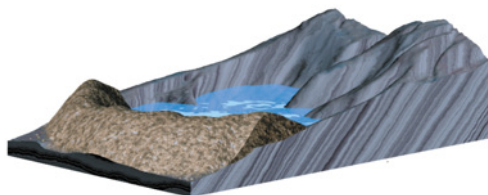
LES PLUS LONGS FLEUVES		
	longueur (km)	bassin (km ²)
① Nil	6 670	3 349 000
② Amazone	6 570	6 000 000
③ Yangzi Jiang	6 300	1 808 000
④ Mississippi-Missouri	5 970	3 290 000
⑤ Ienisseï-Angara	5 870	2 554 000
⑥ Ob-Irtych	5 410	2 972 000
⑦ Paraná-Rio de la Plata	4 880	2 800 000
⑧ Huang He	4 840	752 000
⑨ Congo	4 630	3 730 000
⑩ Amour	4 440	1 930 000

LES PLUS GRANDS LACS		
	superficie (km ²)	profondeur (m)
① mer Caspienne	386 400	1 025
② lac Supérieur	82 100	405
③ lac Victoria	69 500	82
④ lac Huron	59 800	228
⑤ lac Michigan	57 750	281
⑥ mer d'Aral	33 800	54
⑦ lac Tanganyika	32 900	1 436
⑧ lac Baïkal	31 700	1 620
⑨ Grand Lac de l'Ours	31 600	82
⑩ Grand Lac des Esclaves	28 900	614

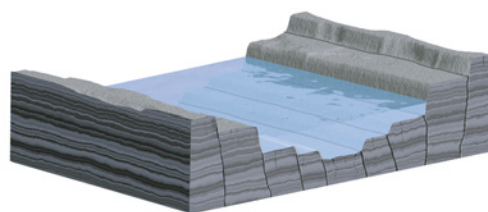
LES LACS

Les eaux de surface s'écoulent généralement vers la mer, mais il arrive parfois qu'elles soient retenues par une dépression ou un barrage et qu'elles forment alors un lac. Même si la plupart des lacs sont remplis d'eau douce, d'autres présentent une salinité élevée due à une importante évaporation d'eau et à l'accumulation de sels minéraux dissous. Le Grand Lac salé de l'Utah, aux États-Unis, est même plus salé que l'océan. Ce n'est donc pas la nature de l'eau qui distingue les mers des lacs, mais le fait qu'ils subissent ou non l'influence de l'océan mondial (ensemble comprenant les grands océans).

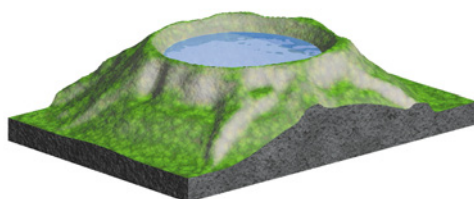
Les eaux des **lacs d'origine glaciaire** se sont accumulées dans les dépressions creusées par les glaciers et dans les vallées où des moraines parfois hautes de 200 m ont créé des barrages. La plupart des lacs de l'hémisphère Nord sont de ce type.



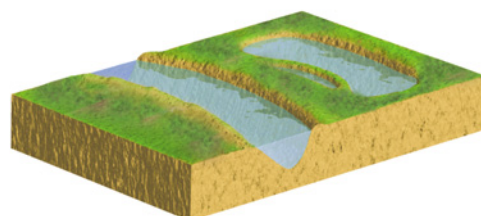
Les **lacs d'origine tectonique** occupent des bassins naturels qui résultent des mouvements de la croûte terrestre le long des plis et des failles. Souvent situés sous le niveau de la mer, ils forment parfois des systèmes fermés, sans effluents.



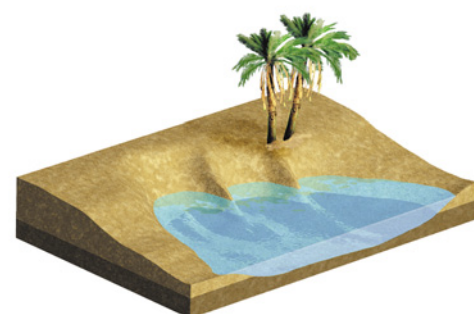
Les cratères de certains volcans se sont remplis d'eau. Ces **lacs d'origine volcanique** peuvent aussi se former dans les vallées où des coulées de lave retiennent les eaux.



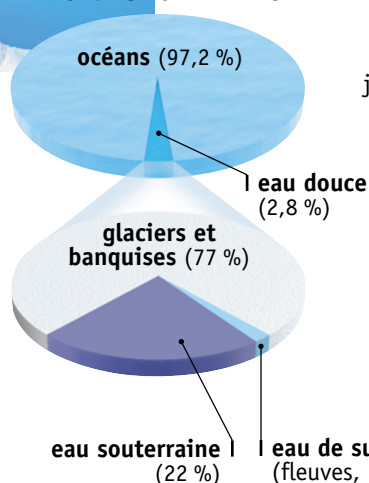
Des lacs en croissance apparaissent parfois aux abords des rivières et des fleuves. On les nomme **bras morts**, car il s'agit de méandres abandonnés par le cours d'eau. À moins qu'ils ne soient régulièrement alimentés, ces lacs s'assèchent rapidement.



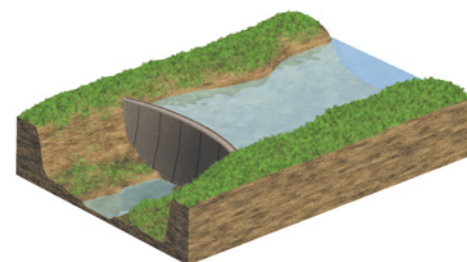
Une **oasis** se forme dans les déserts lorsque le vent érode le sol et permet à la nappe phréatique d'affleurer. Elle apparaît aussi à la faveur d'une ligne de faille qui fait jaillir l'eau en un point donné.



DISTRIBUTION DE L'EAU



Les **réservoirs**, des lacs artificiels dont les eaux sont souvent retenues par des barrages, fournissent l'eau nécessaire à la consommation, l'irrigation des terres ou la production d'énergie hydroélectrique.



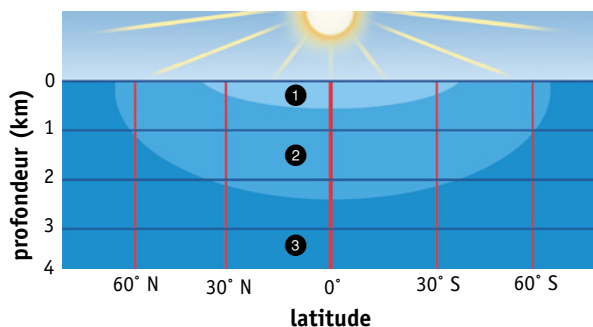
L'océan mondial

La vaste étendue d'eau qui couvre la planète

Les terres émergées ne composent que 30 % de la surface terrestre. Le reste est couvert par une formidable masse d'eau salée de plus d'un milliard de kilomètres cubes (97,2 % de l'eau de la planète), l'océan mondial. Ce vaste ensemble océanique est divisé par les continents en quatre régions principales (les océans Pacifique, Atlantique, Indien et Arctique) et en de nombreux bassins de moindre importance, souvent peu profonds et situés en retrait, les mers. Bien qu'ils soient situés à l'intérieur des terres, sans aucun lien avec l'océan mondial, certains lacs salés sont aussi qualifiés de mers. C'est le cas de la mer Caspienne et de la mer Morte.

LA TEMPÉRATURE DE L'OcéAN

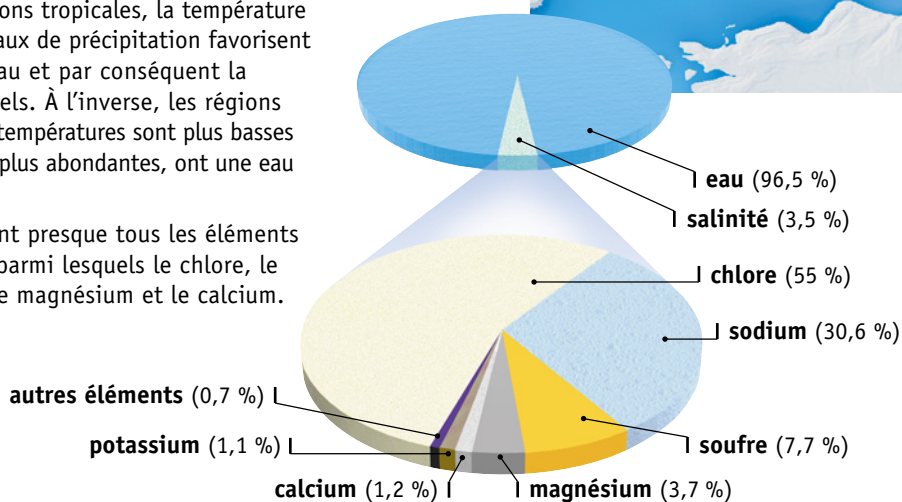
La température de l'eau de mer dépend de la saison et de la latitude, mais surtout de la profondeur. Chauffées par les rayons solaires, les eaux de surface ❶ ont une température moyenne qui varie de 25 à 28 °C à l'équateur, de 12 à 17 °C dans les zones tempérées, mais seulement de -1 à 4 °C dans les régions polaires. La couche d'eau inférieure est appelée thermocline ❷. Il s'agit d'une zone de transition, où la diminution de la luminosité fait chuter brutalement la température jusqu'à 5 °C. Enfin, dans la zone la plus profonde ❸, il règne une température à peu près uniforme, variant à peine de 0 à 4 °C, sous n'importe quelle latitude et en toutes saisons.



LA COMPOSITION DE L'EAU DE MER

Variable d'un endroit à l'autre, la salinité des eaux océaniques se situe généralement entre 3,2 % et 3,7 %. Dans les régions tropicales, la température élevée et le faible taux de précipitation favorisent l'évaporation de l'eau et par conséquent la concentration des sels. À l'inverse, les régions tempérées, dont les températures sont plus basses et les précipitations plus abondantes, ont une eau moins salée.

L'eau de mer contient presque tous les éléments chimiques connus, parmi lesquels le chlore, le sodium, le soufre, le magnésium et le calcium.



PRINCIPAUX OCÉANS ET MERS DU MONDE

1. mer de Bering

2. golfe d'Alaska

3. mer de Beaufort

4. baie d'Hudson

5. mer du Labrador

6. golfe du Mexique

7. mer des Caraïbes
8. mer de Weddell

9. mer du Groenland

10. mer de Norvège

11. mer du Nord

12. mer Baltique

13. mer Adriatique

14. mer Noire
15. mer Méditerranée

16. mer Rouge

17. golfe Persique

18. mer d'Oman

19. golfe du Bengale

20. mer de Chine

21. mer des Philippines
22. mer du Japon

23. mer d'Okhotsk

24. mer de Corail

25. mer de Tasman

26. mer de Ross



océans	superficie	volume	point le plus profond
Pacifique	165 000 000 km ²	707 000 000 km ³	11 034 m (fosse des Mariannes)
Atlantique	82 400 000 km ²	323 600 000 km ³	9 218 m (fosse de Porto Rico)
Indien	73 400 000 km ²	292 000 000 km ³	7 450 m (fosse de Java)
Arctique	14 000 000 km ²	16 700 000 km ³	5 450 m (bassin de Nansen)

Le fond de l'océan

Paysages sous-marins

Il est difficile d'imaginer que les montagnes et les vallées que nous avons sous les yeux existent aussi sous les océans. Les fonds sous-marins recèlent pourtant des éléments de relief beaucoup plus diversifiés que ce qu'on pourrait croire. Montagnes, plaines, plateaux, volcans, fosses et canyons y composent des paysages stupéfiants, très semblables à ceux des continents, à la différence près que leur dimension dépasse souvent tout ce qui existe à la surface.

Le **plateau continental** borde les côtes des continents. Il s'agit d'une extension sous-marine de la terre ferme recouverte de sédiments. Le plateau (ou plate-forme) s'étend sur des distances qui varient de 1 à 1 000 km. Il gagne généralement le large en pente douce, à des profondeurs de 150 à 200 m.

Coïncidant avec la fin du plateau continental, le **talus continental** forme la véritable frontière entre le continent et l'océan. C'est une dénivellation abrupte, plongeant à plus de 3 000 m de profondeur.

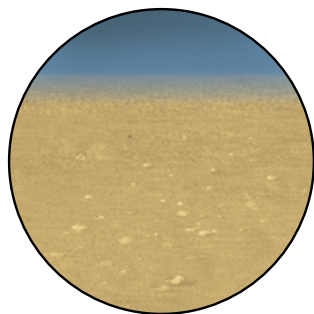
canyon

Les sédiments s'écoulant par les canyons forment des **éventails**.

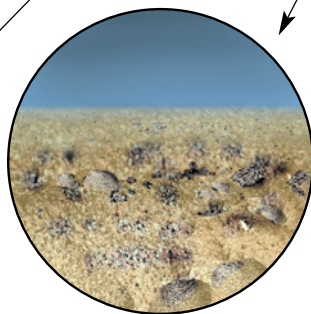
Les **guyots** sont des volcans dont le sommet a été érodé.

LES TAPIS SOUS-MARINS

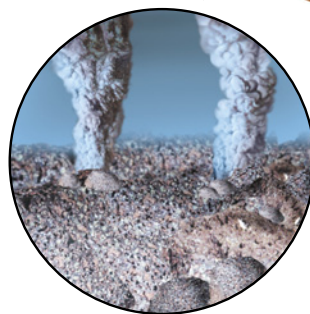
Alors que les roches composant les continents datent de 3,8 milliards d'années, aucune de celles qui forment le fond des océans n'a plus de 200 millions d'années. La croûte océanique est en effet constamment renouvelée par l'activité volcanique.



Les fonds sous-marins éloignés des dorsales océaniques sont recouverts de **sédiments** (résidus d'organismes marins, de sable, de poussières volcaniques et de pierrailles) dont l'épaisseur peut atteindre 500 m.



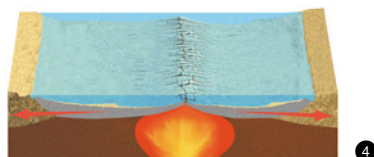
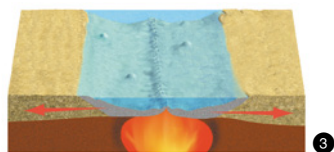
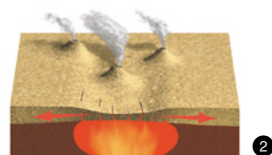
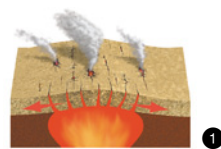
Les **plaines abyssales** sont constituées de roches volcaniques dont la surface a été usée par le temps. Des sédiments commencent à s'y accumuler.



À proximité des dorsales océaniques, ce sont des **roches volcaniques** qui composent les sols sous-marins. Les sédiments ne s'y sont pas encore déposés.

LA NAISSANCE D'UN OcéAN

Sans que nous le percevions, des océans sont en train de naître sur la planète. Ce processus qui s'étend sur plusieurs dizaines de millions d'années, débute lorsque deux plaques continentales s'écartent et laissent le magma du manteau s'infiltrer par les fissures ❶. La croûte s'amincit, se bombe puis s'affaisse, ce qui produit un rift ❷. L'eau envahit progressivement la nouvelle vallée ❸, alors que le mouvement d'écartement se poursuit. En s'accumulant, la lave forme une nouvelle croûte océanique tandis que l'ancienne croûte est repoussée vers l'extérieur. Le long de la zone de fracture, la croûte se plisse comme un tapis, jusqu'à former des montagnes au fond du nouvel océan ❹.



La plus grande partie du fond de l'océan est occupée par de vastes **plaines abyssales** composées de croûte océanique. Généralement situées à 3 000 m de profondeur, ces plaines descendent parfois jusqu'à 6 000 m, mais la dénivellation est si douce qu'elle est à peine perceptible.

dorsale
océanique

montagne sous-marine

niveau de la mer

plaque océanique
plongeante

arc insulaire

Les **fosses océaniques** se trouvent au point de rencontre des plaques lithosphériques, dans les zones de subduction. Elles peuvent atteindre plus de 10 000 mètres de profondeur.

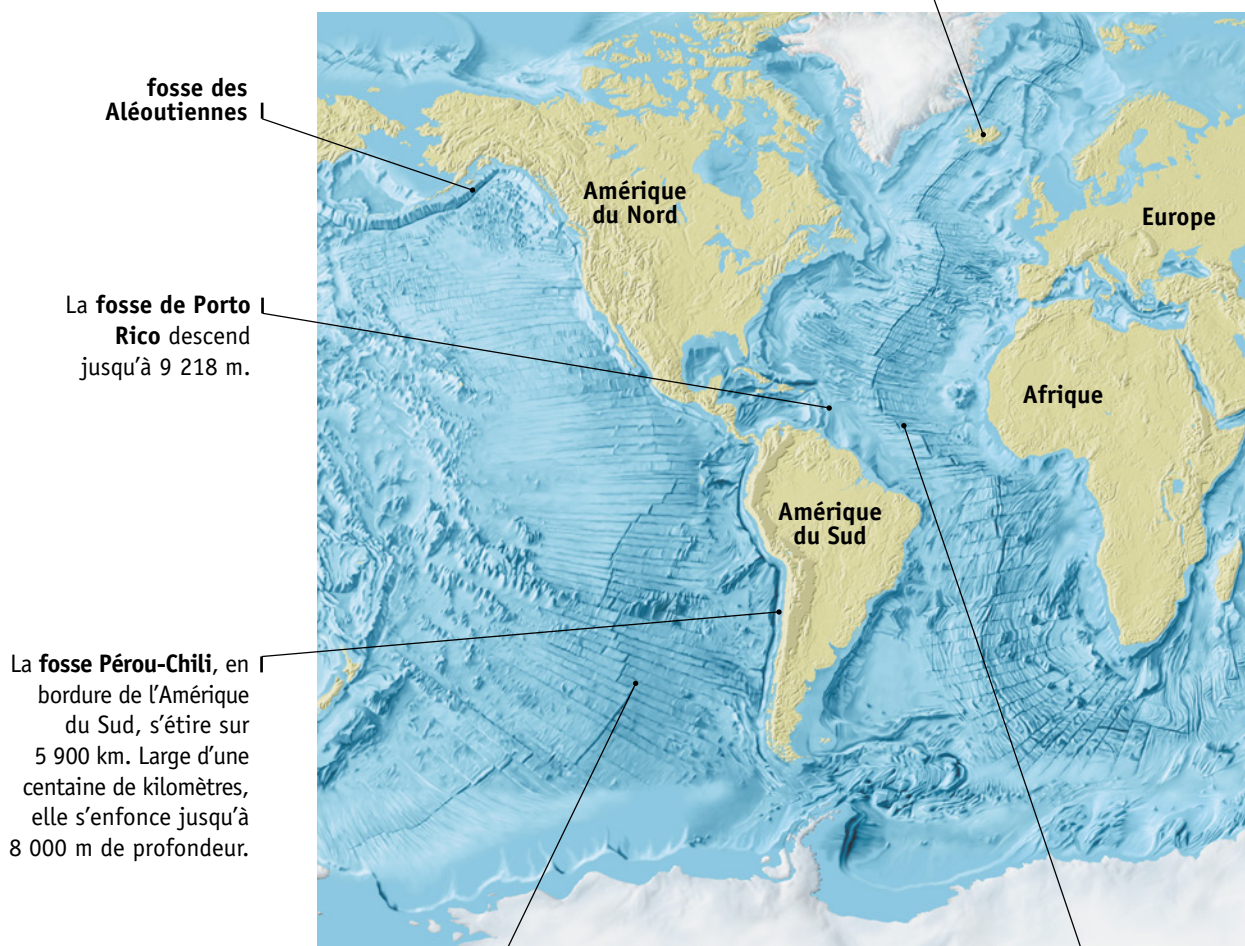
Parmi les reliefs étonnants que présente le fond de l'océan, on trouve des **volcans**, dont certains émergent pour former des îles.

Fosses et dorsales océaniques

Le relief des fonds marins

Le fond de l'océan n'est pas uniformément plat. Les plaines abyssales sont en effet traversées par d'immenses chaînes montagneuses, les dorsales océaniques, qui s'étendent sur près de 70 000 km de longueur ! Hautes de 1 000 à 3 000 m, ces montagnes sous-marines sont entaillées sur toute leur longueur par un rift, une plaine d'effondrement centrale qui se forme à mesure que les plaques océaniques s'écartent. À la rencontre des plaques lithosphériques, de gigantesques dépressions océaniques, les fosses, atteignent des profondeurs comparables à l'altitude des plus hauts sommets continentaux.

Certaines montagnes sous-marines de la dorsale médio-atlantique atteignent la surface, formant des îles parfois imposantes comme l'**Islande**.



Le submersible *Alvin* a découvert près de la **dorsale est-pacifique** des événements, ou « fumeurs noirs ». Ces cheminées naturelles, qui crachent des sulfures de fer à plus de 270 °C, mesurent jusqu'à 20 m de hauteur.

La **dorsale médio-atlantique** se trouve au milieu de l'océan Atlantique, à mi-chemin entre les continents américains et l'Europe et l'Afrique.

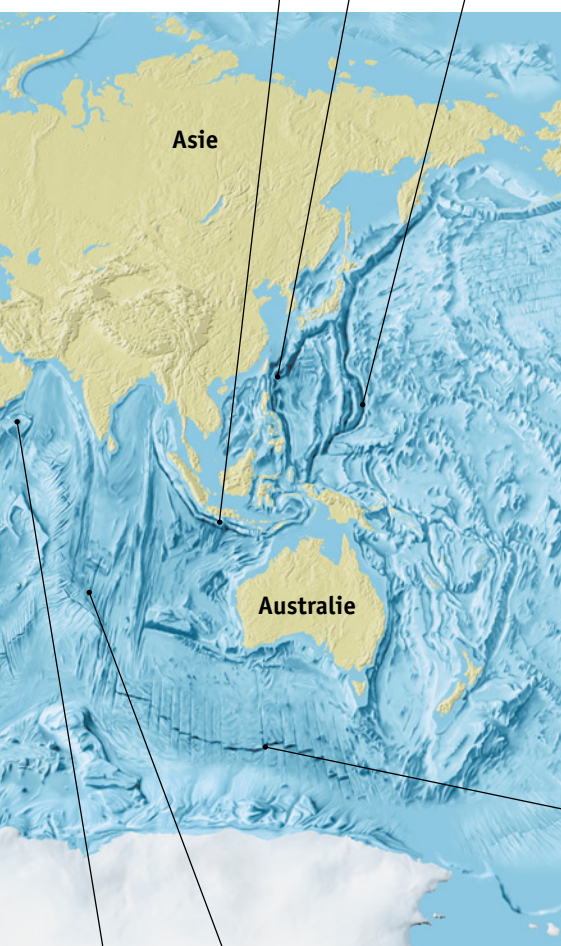
SCRUTER LES PROFONDEURS

Depuis la bathysphère construite par William Beebe dans les années 1930, plusieurs engins ont été construits successivement dans le but d'explorer les océans. Ils ont plongé de plus en plus profondément, jusqu'à atteindre des profondeurs extrêmes. Avec 10 912 m, le bathyscaphe Trieste détient le record de plongée depuis 1960.

La **fosse des Mariannes**, au nord-ouest du Pacifique, plonge jusqu'à 11 034 m. Elle pourrait facilement contenir l'Everest, haut de 8 848 m. C'est le point le plus profond du monde.

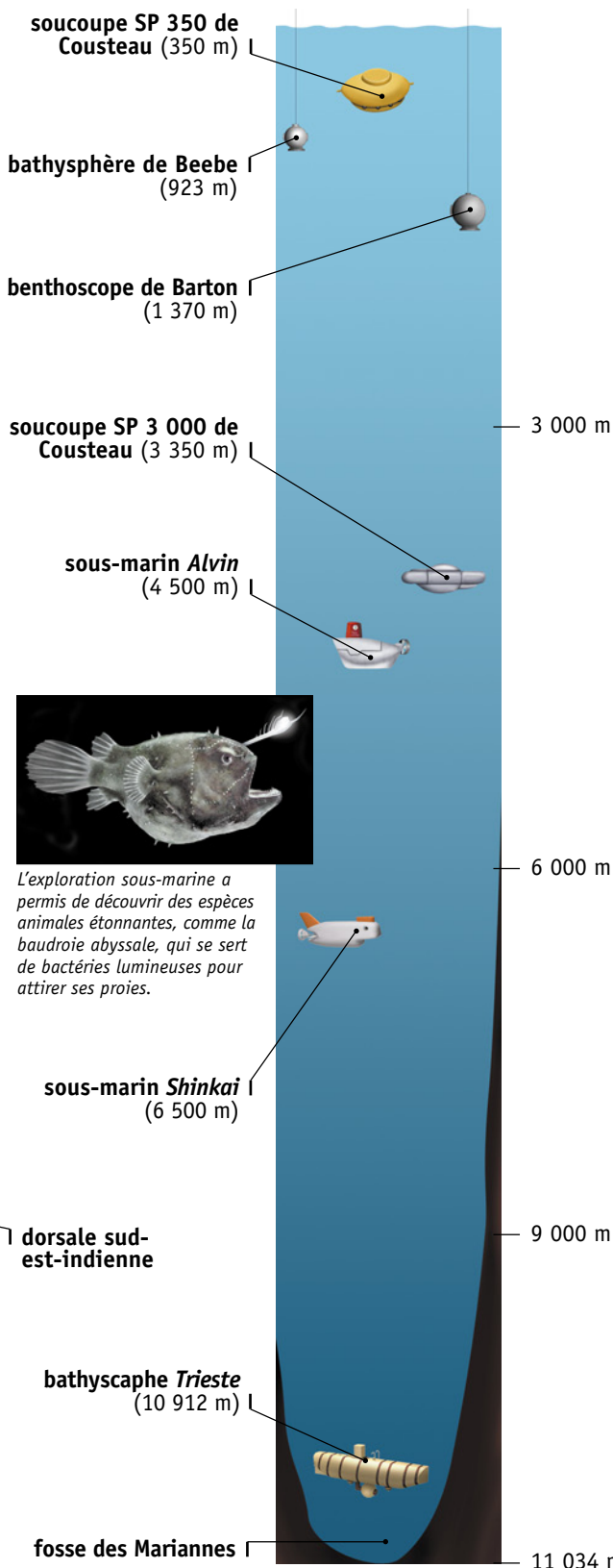
La **fosse des Philippines** atteint une profondeur de 10 500 m.

fosse de Java



Asie

Australie



L'exploration sous-marine a permis de découvrir des espèces animales étonnantes, comme la baudroie abyssale, qui se sert de bactéries lumineuses pour attirer ses proies.

La **ride de Carlsberg** rejoint le Grand Rift africain, dans le golfe d'Aden.

dorsale centrale indienne

dorsale sud-est-indienne

Les courants marins

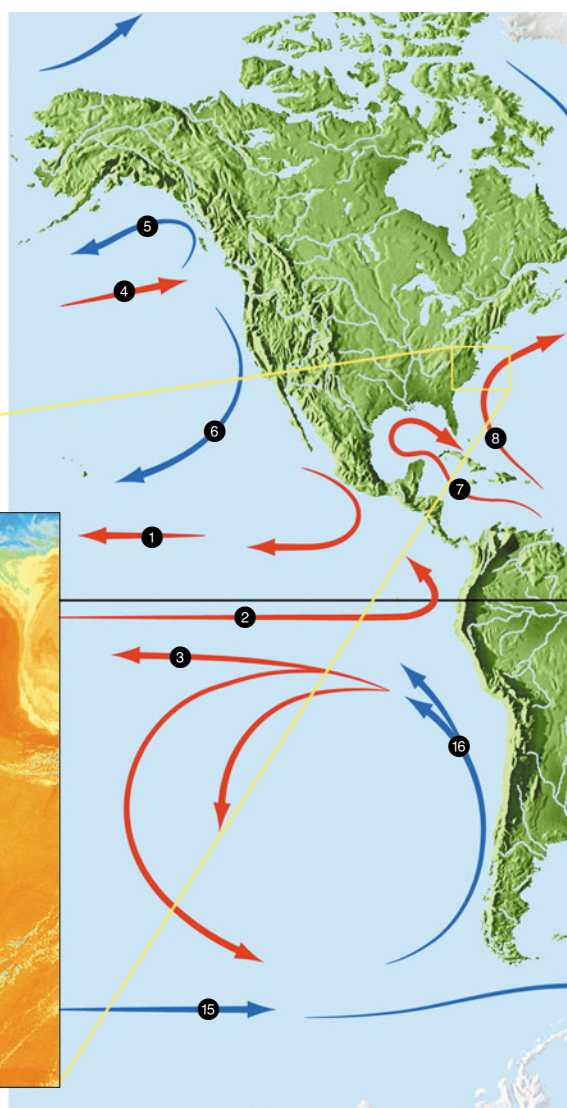
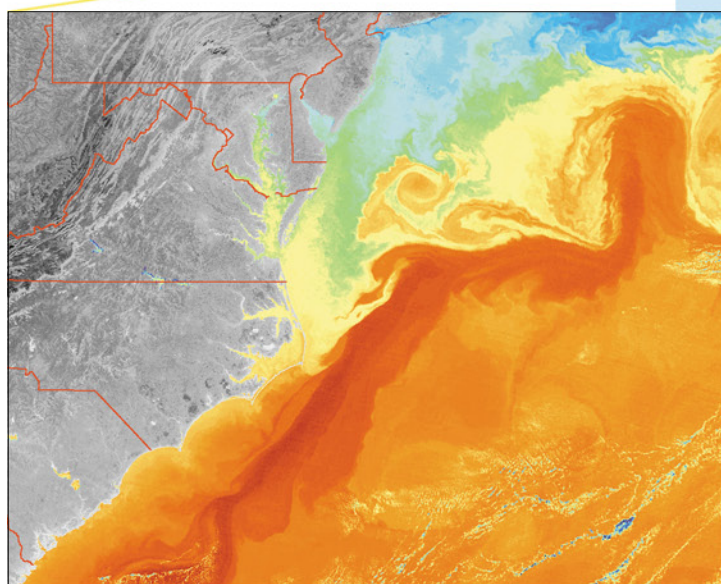
La circulation des eaux océaniques

Les vents qui balaient la surface des océans engendrent de puissants courants marins. Sous la pression de l'air, les molécules d'eau s'animent d'abord en surface, puis en profondeur, créant ainsi des mouvements de masse qui empruntent des itinéraires réguliers. Ce vaste brassage des eaux alimente les océans en oxygène. Il est aussi parfois la cause de graves bouleversements climatiques, comme en témoigne le courant chaud cyclique El Niño, responsable de pluies torrentielles en Amérique du Sud et de sécheresses en Asie.

COURANTS DE SURFACE ET COURANTS PROFONDS

Mus par les vents dominants, les courants qui sillonnent les couches superficielles des océans peuvent être chauds ou froids.

Il existe aussi des courants profonds, toujours froids, qui sont créés par la différence de densité des masses d'eau. Dans les régions polaires, les eaux froides et denses plongent en profondeur et se dirigent vers l'équateur. Au cours de ce long trajet, qui peut prendre plusieurs siècles, les eaux se réchauffent progressivement et remontent vers la surface.



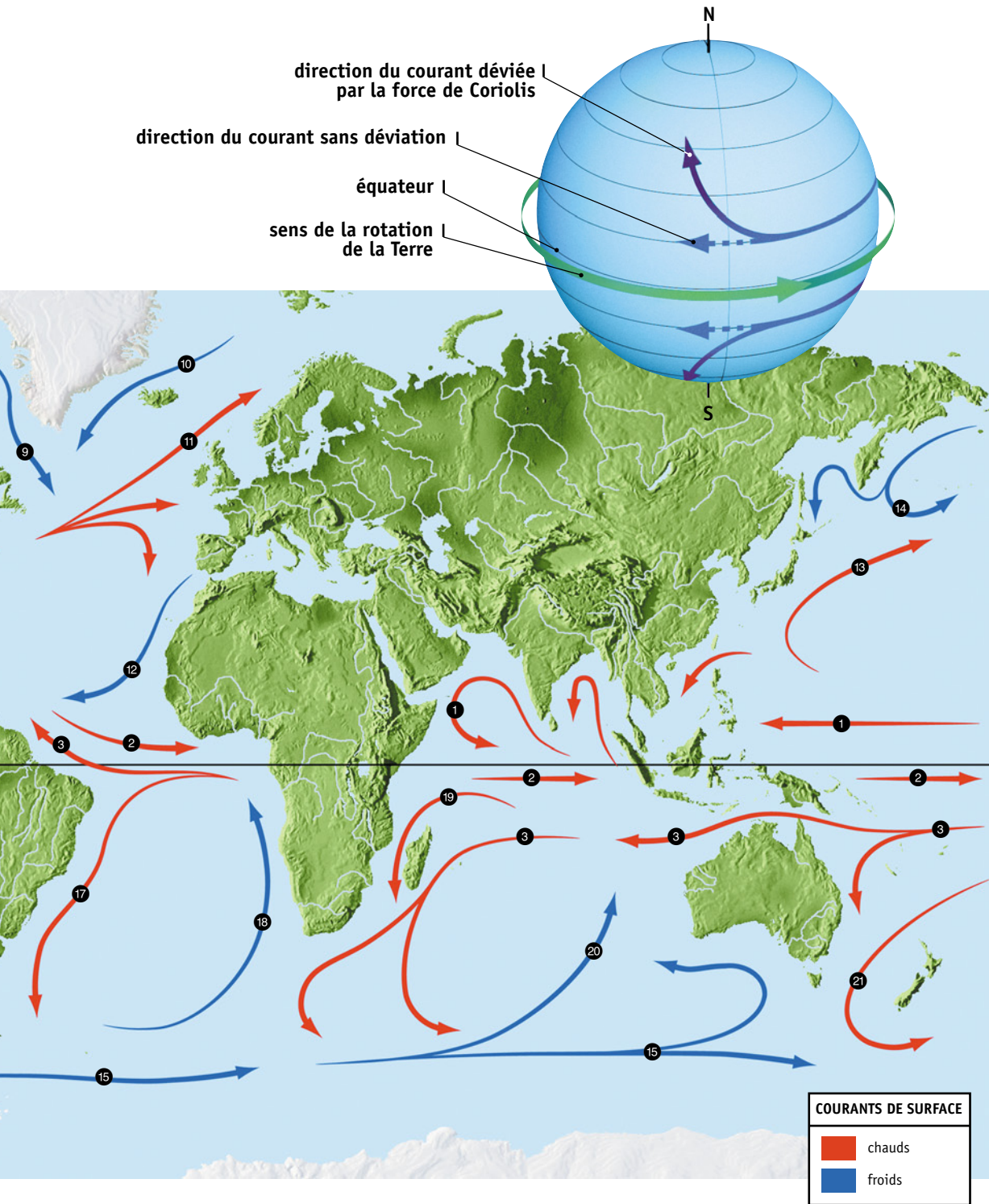
LE GULF STREAM

Parmi les courants générés par des vents dominants, le Gulf Stream est sans doute le plus connu. Comme le courant du Brésil, il prend naissance près de l'équateur, où soufflent les alizés, mais alors que celui-ci se déploie dans l'hémisphère Sud, le Gulf Stream se dirige vers le nord, puis le nord-est. Large de 60 km et profond d'au moins 600 m, il parcourt 120 km par jour.

L'image satellite (ci-dessus) montre comment les eaux chaudes du Gulf Stream (colorées en rouge et en jaune) réchauffent le climat jusqu'aux hautes latitudes.

L'INFLUENCE DE LA ROTATION TERRESTRE

Les courants marins suivent une trajectoire qui n'épouse pas parfaitement la direction des vents, car ils sont déviés par la force de Coriolis, un phénomène généré par la rotation de la Terre. Ainsi, les courants tracent généralement une courbe vers la droite dans l'hémisphère Nord, tandis qu'ils dévient vers la gauche au sud.



PRINCIPAUX COURANTS MARINS DE SURFACE

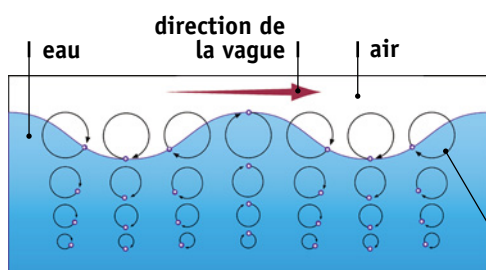
- | | | | |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| 1. courant nord-équatorial | 5. courant de l'Alaska | 11. dérive nord-atlantique | 17. courant du Brésil |
| 2. contre-courant équatorial | 6. courant de Californie | 12. courant des Canaries | 18. courant de Benguela |
| 3. courant sud-équatorial | 7. courant des Caraïbes | 13. Kuroshio | 19. courant des Aiguilles |
| 4. dérive nord-pacifique | 8. Gulf Stream | 14. Oyashio | 20. courant d'Australie occidentale |
| | 9. courant du Labrador | 15. courant antarctique | 21. courant d'Australie orientale |
| | 10. courant du Groenland | 16. courant du Pérou | |

Les vagues

Un phénomène de surface

À quoi doit-on le spectacle continu des vagues venant se briser sur les rivages ? Contrairement à ce que l'on peut croire, les vagues ne sont pas produites par des déplacements d'eau considérables. Bien qu'une illusion d'optique suggère que l'eau voyage du large vers la rive, une vague n'est en effet qu'une forme produite par le mouvement d'une onde générée par le vent. Cette onde se brise lorsque les vagues atteignent le rivage.

La force du vent, sa durée d'action et sa course, qui est l'étendue d'eau sur laquelle il agit sans obstacle, déterminent la puissance des vagues. La plus haute vague a été observée dans l'océan Pacifique en 1933 : elle atteignait 34 mètres de hauteur.



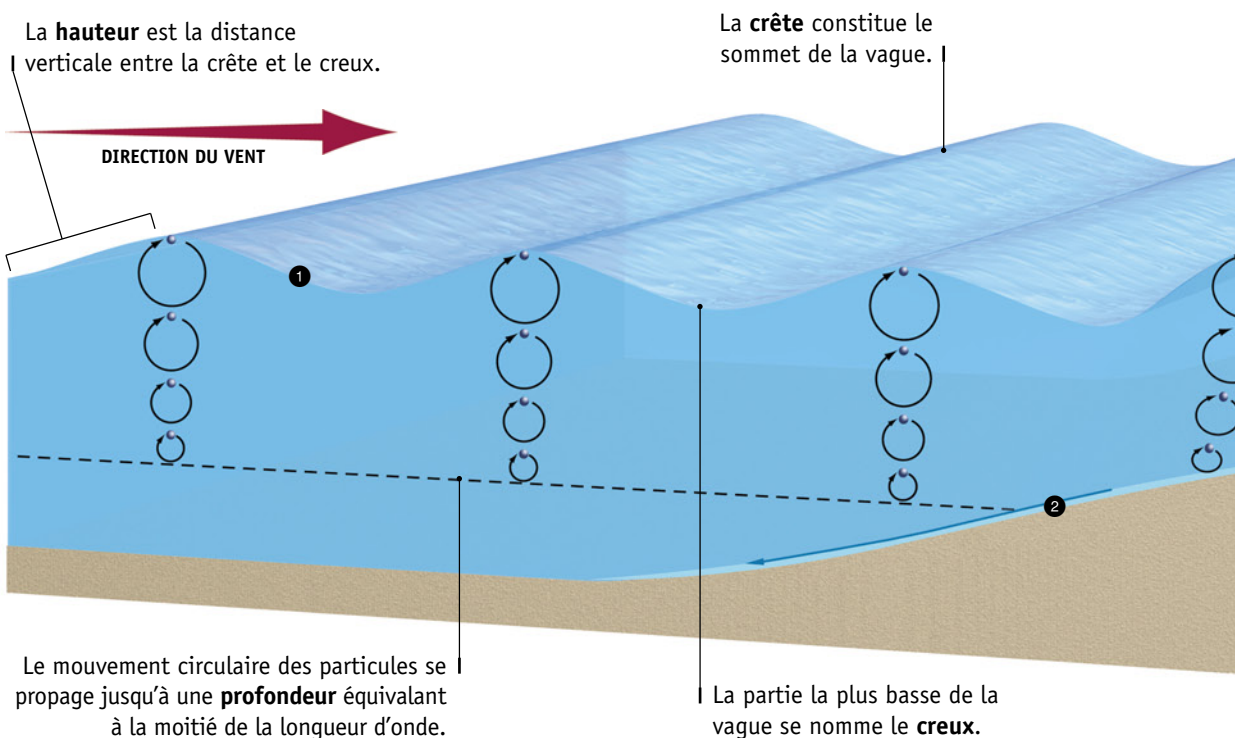
DES PARTICULES EN ROTATION

Dans une vague, seules bougent quelques particules d'eau animées par la différence de pression causée par le vent. Ces particules se déplacent très peu horizontalement, mais décrivent une orbite circulaire qui s'accomplit au passage de chaque crête et qui présente un diamètre égal à la hauteur de la vague.

le mouvement circulaire des particules

L'ONDE QUI DÉFERLE

Sous l'effet du vent, les particules d'eau roulent en surface et l'oscillation de l'eau se propage sous forme d'ondes ❶. Les vagues se maintiennent tant que le vent ne faiblit pas et qu'aucun obstacle ne les entrave. Lorsque la houle atteint la côte, elle est freinée par la remontée du fond ❷ et les vagues changent d'aspect : leurs crêtes se resserrent ❸ et leur longueur d'onde diminue, même si la période (l'intervalle de temps séparant deux crêtes) demeure la même. La hauteur de la vague s'accroît ❹ et le mouvement des particules d'eau devient elliptique ❺. Lorsque ce mouvement ne peut plus s'accomplir, la vague se brise : c'est le déferlement. L'énergie se disperse en projetant les particules vers l'avant ❻, en un flux d'écume.





DES VAGUES EXCEPTIONNELLES

Plus une onde se propage sans rencontrer d'obstacle, plus les vagues sont puissantes. Les rives de l'île d'Oahu à Hawaï reçoivent des vagues exceptionnelles, atteignant souvent 10 mètres de hauteur. Elles prennent naissance au large des îles Aléoutiennes, près de l'Alaska, et ne sont freinées que par le plateau continental sous-marin, à leur arrivée.

La **houle** désigne le mouvement ondulatoire des vagues au large, avant qu'elles ne se brisent.

La **longueur d'onde** désigne la distance horizontale entre deux crêtes successives.

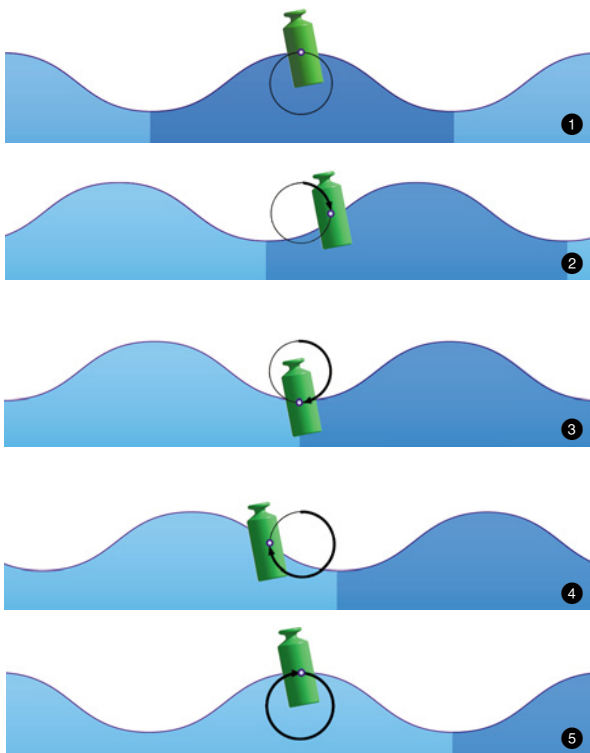
La vague s'affaisse et s'enfonce dans la mer, créant un **courant de retour**.

Au moment de déferler sur le rivage, la crête forme pendant un court instant un **rouleau** (cylindre d'air).

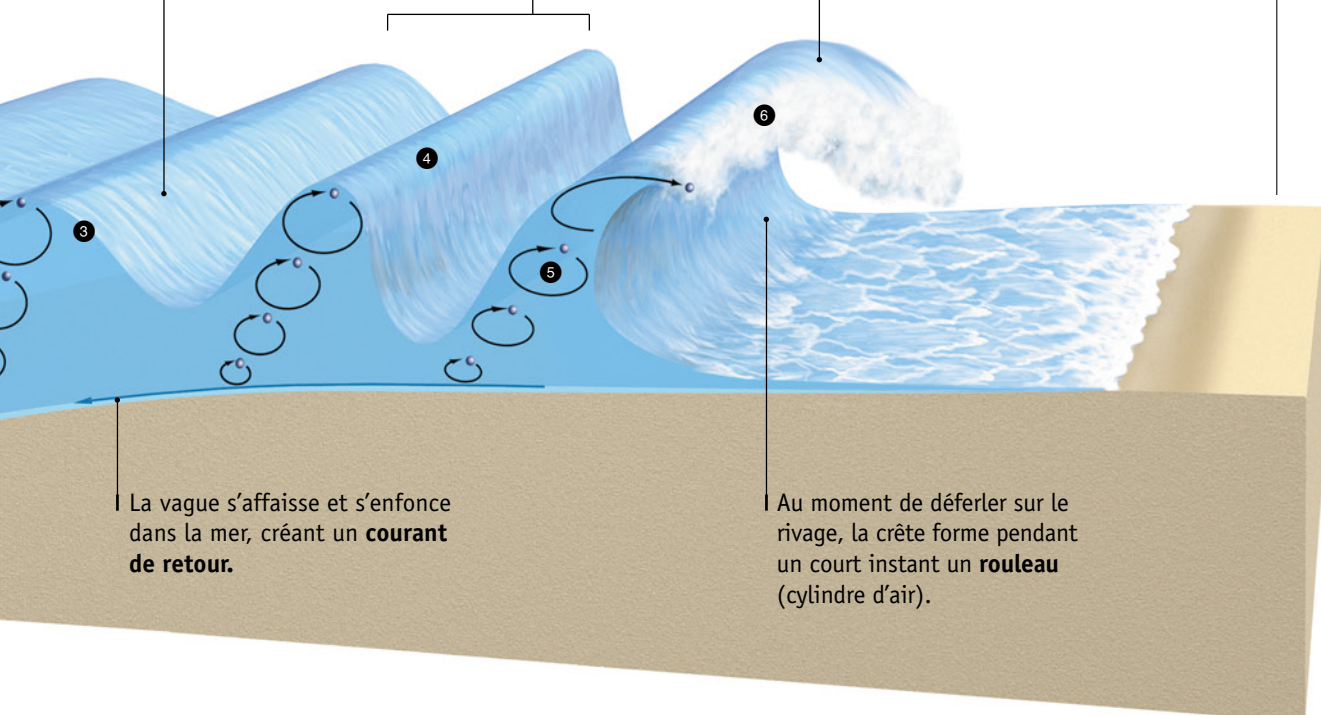
UNE BOUTEILLE À LA MER

À moins d'être poussée au large par un courant marin ou le vent, une bouteille lancée à la mer ne se déplace presque pas ; elle suit simplement le mouvement circulaire des particules d'eau.

Portée par le mouvement de la houle, elle monte dans les crêtes ❶, avance ❷, descend dans les creux ❸, recule à l'approche d'une nouvelle vague ❹ et remonte pour revenir à sa position originale à l'arrivée de la nouvelle crête ❺.



On nomme **déferlantes** les vagues qui se brisent en écume sur les côtes.



Les tsunamis

Des vagues gigantesques

Très différent des phénomènes de surface provoqués par les ouragans ou les tempêtes, le tsunami est une succession de vagues gigantesques produites par un accident géologique sous-marin : séisme, éruption volcanique ou glissement de terrain. L'appellation « raz-de-marée », qui lui est parfois donnée, est donc inexacte car le phénomène n'a rien à voir avec les marées.

Le volume d'eau déplacée et l'énergie qui résultent d'un tsunami sont immenses, ce qui explique que le phénomène soit généralement plus meurtrier que les éruptions volcaniques ou les tremblements de terre. En Alaska, en 1958, un glissement de terrain a produit une vague d'une hauteur exceptionnelle de 52 mètres.

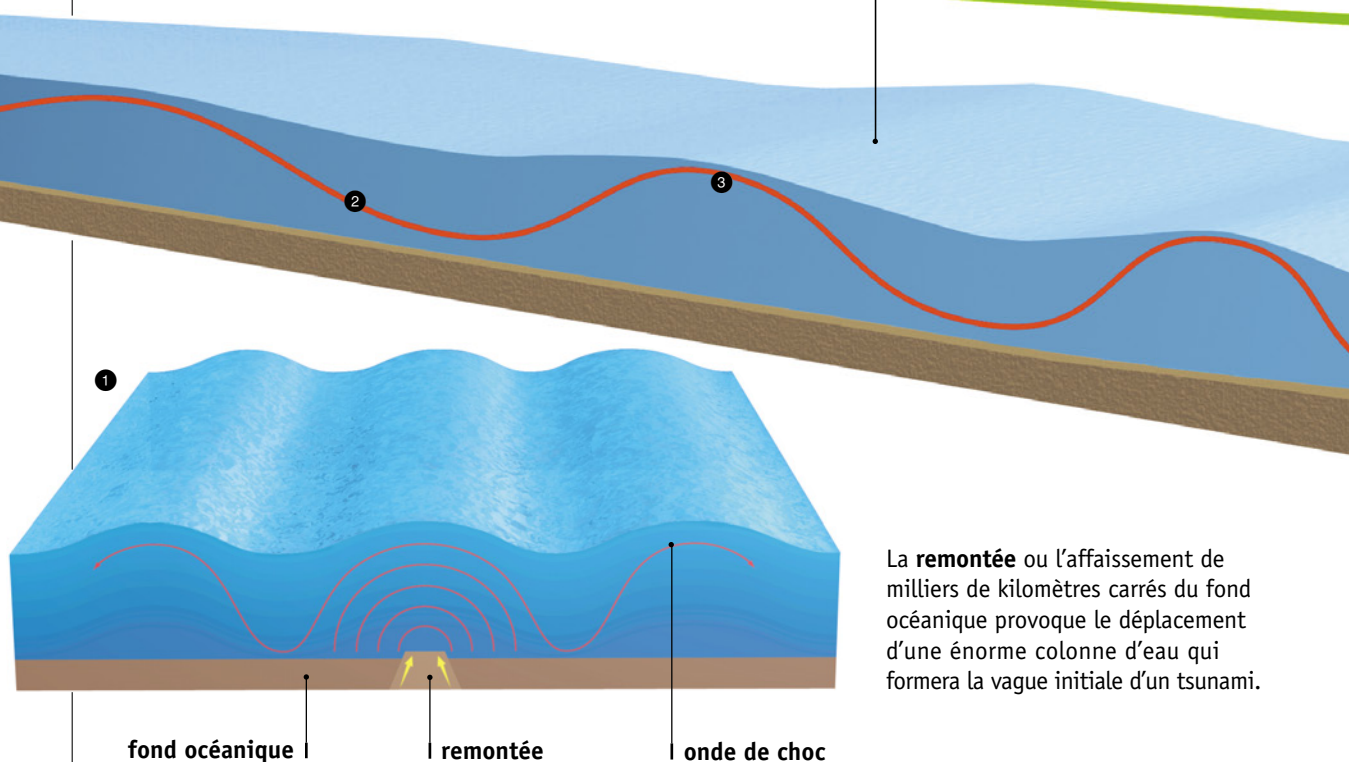
LE DÉVELOPPEMENT D'UN TSUNAMI

Un accident géologique survenant au fond de la mer, à des milliers de mètres de profondeur, provoque l'affaissement ou la remontée ❶ d'une partie du fond de l'océan. Une onde de choc ❷ se forme et crée des vagues ❸ qui se déplacent à la vitesse de 600 à 800 km/h. Cette vitesse étant proportionnelle à la profondeur, elle diminue lorsque le tsunami s'approche de la côte ; la remontée ❹ graduelle du fond augmente la hauteur de la vague. Lorsque le fond sous-marin devient peu profond, la houle se forme ; la vitesse de l'onde diminue alors jusqu'à environ 50 km/h, mais la hauteur ❺ des vagues augmente considérablement. En fin de parcours, ces gigantesques vagues ❻ déferlent sur le littoral.

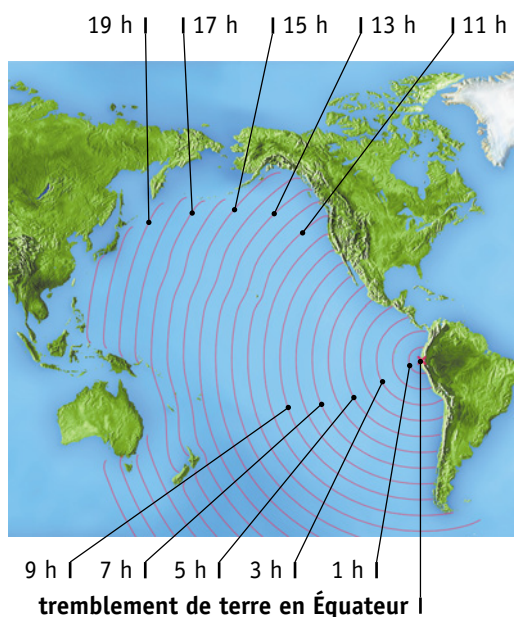
Au large, les tsunamis ne sont pas perceptibles par les marins, car la hauteur des **vagues** ne dépasse pas un mètre et leur longueur d'onde peut atteindre 150 km.

VITESSE DE LA VAGUE

800 km/h



La **remontée** ou l'affaissement de milliers de kilomètres carrés du fond océanique provoque le déplacement d'une énorme colonne d'eau qui formera la vague initiale d'un tsunami.



DANGER ! TSUNAMIS EN VUE !

Quoique des tsunamis se produisent dans tous les océans du globe, la majorité d'entre eux ont lieu dans le Pacifique. L'activité géologique des failles sous-marines de la ceinture de feu du Pacifique rend cette région plus propice à la formation de tsunamis. Les risques dépendent de la topographie du fond marin et du littoral : les baies et les péninsules augmentent la hauteur des vagues des tsunamis, alors que des récifs coralliens au large contribuent à en dissiper la force.

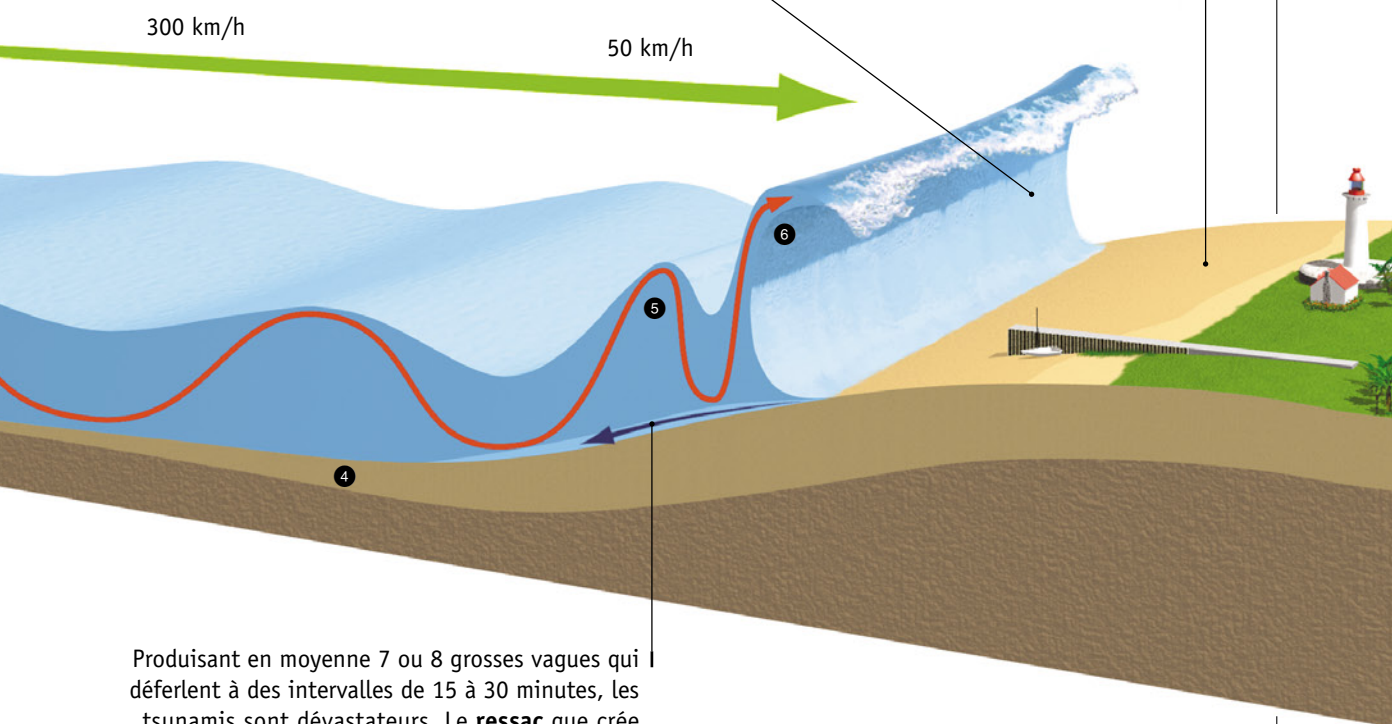
Les tsunamis voyageant pendant plusieurs heures avant d'atteindre les côtes, plusieurs pays limitrophes du Pacifique coopèrent afin de surveiller en permanence les fonds marins. Les données enregistrées par les sismographes sont transmises par satellite au centre de contrôle international d'Hawaï, l'International Tsunami Warning System.

Un séisme survenant en Équateur peut provoquer un tsunami qui voyagera pendant plus de 20 heures avant de frapper avec force le Japon.

Une vague atteignant jusqu'à 30 m de hauteur (soit la hauteur d'un édifice de 10 étages) déverse un **mur d'eau** d'une force extraordinaire sur le rivage et dévaste tout sur son passage.

Sur la plage, le signe avant-coureur d'un tsunami est le **retrait** soudain de l'eau. Il faut alors se réfugier le plus rapidement possible sur des hauteurs.

Les embarcations près du littoral doivent gagner le large sans délai.



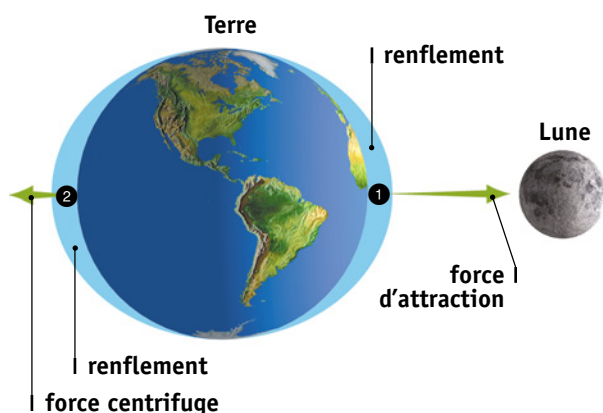
Produisant en moyenne 7 ou 8 grosses vagues qui déferlent à des intervalles de 15 à 30 minutes, les tsunamis sont dévastateurs. Le **ressac** que crée chacune de ces vagues est encore plus puissant et emporte souvent tout avec lui.

Les marées

La mer au rythme des astres

Tous les corps de l'Univers, quels qu'ils soient, s'attirent mutuellement avec une force qui dépend de leurs masses et de la distance qui les sépare. C'est cette loi fondamentale de la physique, appelée attraction gravitationnelle, qui explique que, deux fois par jour, les mers du globe se soulèvent et s'abaissent de plusieurs mètres. Le phénomène des marées est en effet la manifestation concrète de l'attraction qu'exercent la Lune et le Soleil sur la Terre.

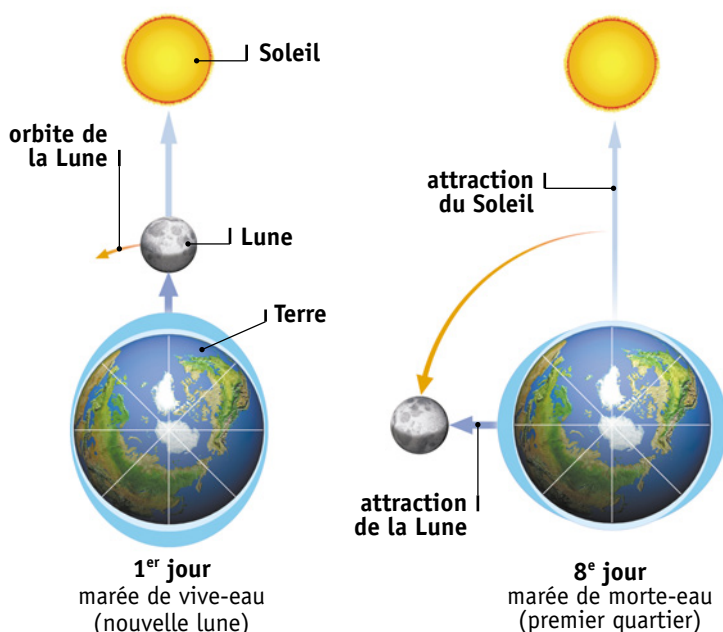
Parce qu'elle est l'astre le plus proche de notre planète, la Lune joue le plus grand rôle dans les mouvements des marées, mais l'action du Soleil, dont la masse est considérable, n'est pas négligeable : on estime que sa force d'attraction sur l'eau des océans correspond à 46 % de celle de la Lune.



Les forces gravitationnelles ne sont pas seules à influencer sur les marées : de nombreux facteurs liés à la géographie locale ont été recensés. Alors que les mers fermées ne ressentent presque pas le phénomène, la **baie de Fundy**, sur la côte atlantique du Canada, est l'endroit du monde qui enregistre les variations les plus marquées : le marnage (l'amplitude entre les marées basses et les marées hautes) y atteint 16 mètres.

LA FORCE D'ATTRACTION DE LA LUNE

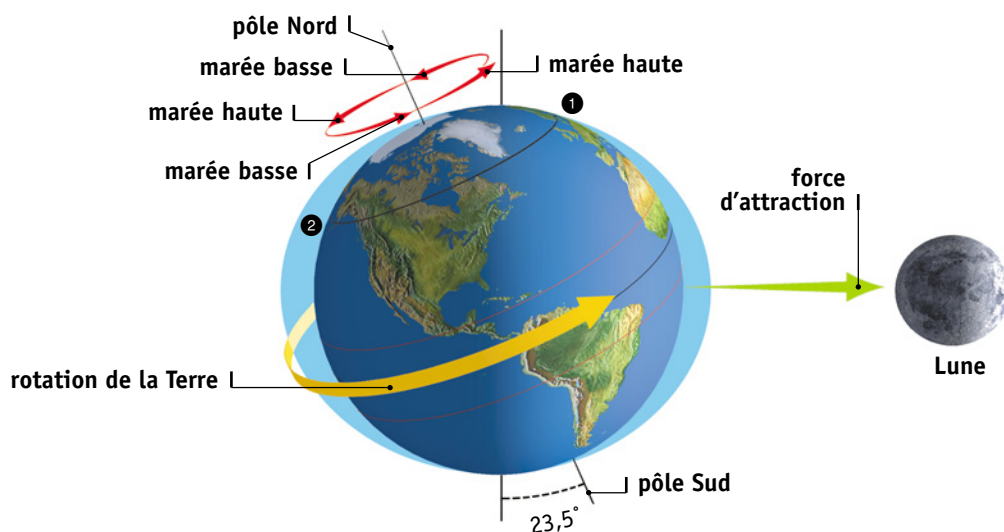
Même si la Lune est située à 378 000 km de la Terre, elle exerce tout de même une force d'attraction suffisante pour déformer les océans. Lorsque le mouvement de rotation de la Terre place une masse d'eau face au satellite, l'eau se soulève en sa direction : ce renflement produit une marée haute ①. Au même moment, l'eau qui se trouve de l'autre côté de la Terre subit une attraction lunaire nettement plus faible. Elle obéit alors à la force centrifuge créée par la rotation du système Terre-Lune et tend à s'échapper en formant un autre renflement, correspondant à une autre marée haute ②. Si la Terre n'était pas constituée de matières rigides, elle se déformerait elle aussi sous l'action de ces deux forces et aurait la forme d'un œuf.



LES MARÉES AU QUOTIDIEN

À tout moment, il existe autour de la Terre deux régions de marées hautes, correspondant aux zones de renflement de part et d'autre du globe, séparées par deux régions de marées basses. Au cours d'une même journée, chaque point de l'océan mondial passe donc par ces quatre zones. Cependant, la durée de la rotation de la Terre par rapport à la Lune n'est pas de 24 heures mais de 24 heures et 50 minutes. Il faut donc compter environ 6 heures et 12 minutes entre une marée haute et une marée basse.

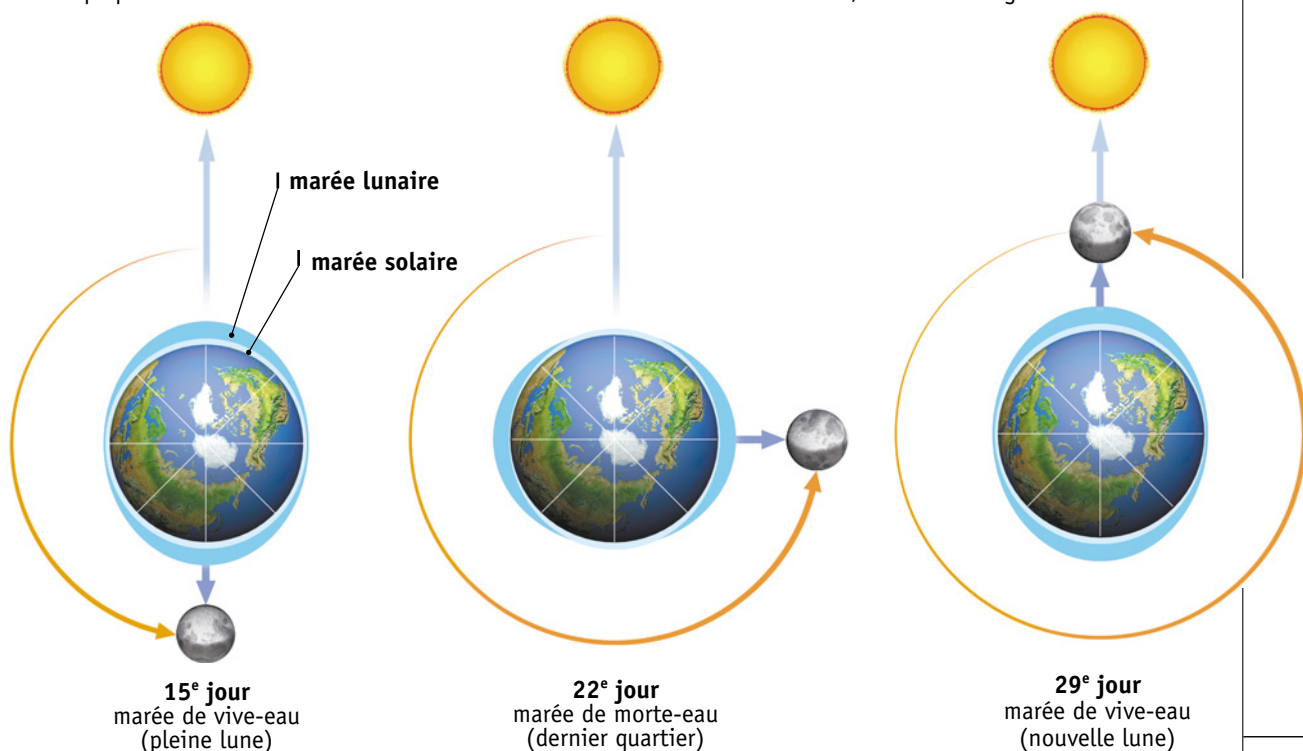
L'inclinaison de la Terre par rapport à l'écliptique (le plan de l'orbite terrestre), qui est de $23,5^\circ$, a aussi une incidence sur le niveau des marées hautes. Aux hautes latitudes, on observe une différence marquée entre la première marée haute de la journée, de faible importance ①, et la seconde, qui survient 12 heures et 25 minutes plus tard et qui atteint un niveau beaucoup plus élevé ②.

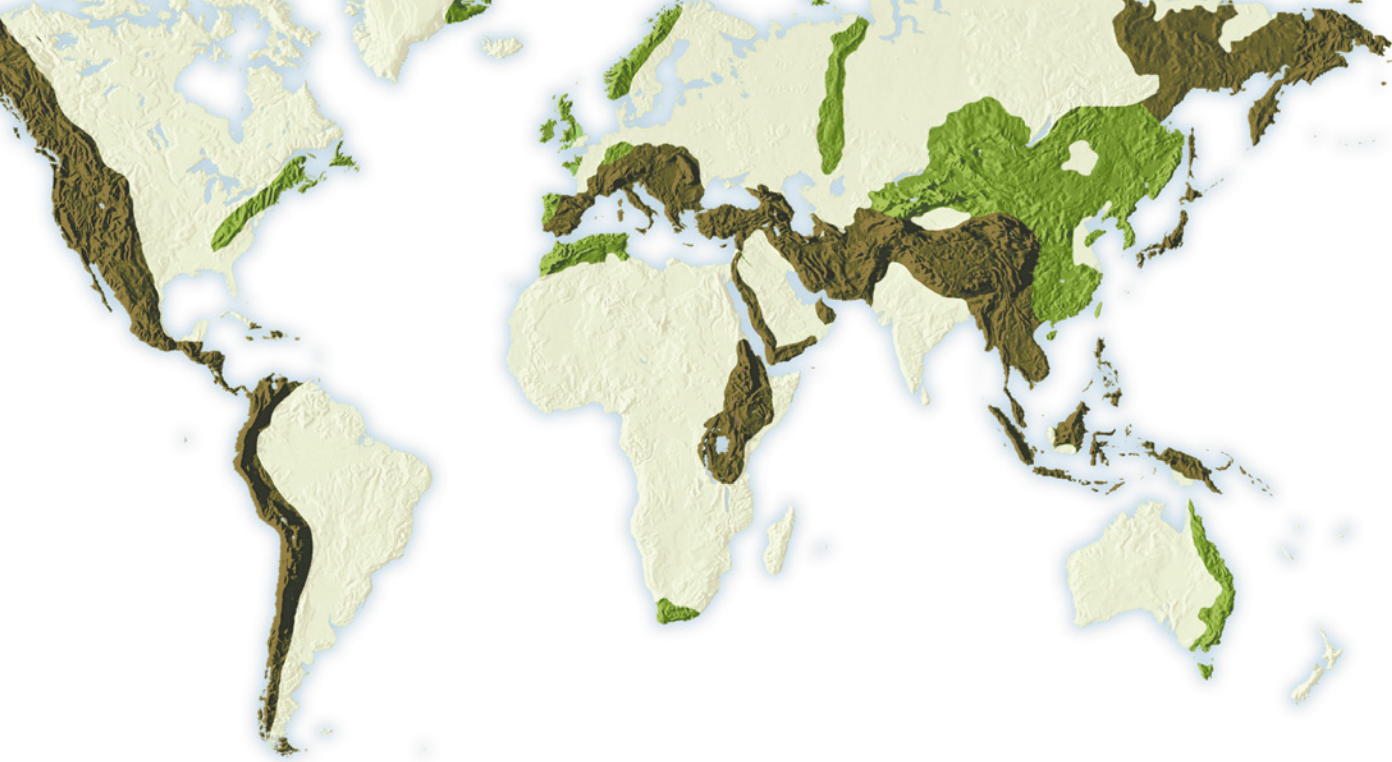


MARÉE DE VIVE-EAU, MARÉE DE MORTE-EAU

Moins considérable que celle de la Lune, la force d'attraction du Soleil joue tout de même un rôle important dans le phénomène des marées. Lorsque les trois astres sont alignés, c'est-à-dire les jours de pleine lune et de nouvelle lune, l'attraction gravitationnelle du Soleil et celle de la Lune se conjuguent pour produire des marées de grande amplitude, les marées de vive-eau.

À l'inverse, les influences du Soleil et de la Lune s'annulent partiellement pendant les périodes intermédiaires du cycle lunaire (premier quartier et dernier quartier), lorsque les deux astres exercent des forces perpendiculaires sur la Terre. Ces situations causent des marées de morte-eau, dont le marnage est faible.





Alors que les montagnes sont le fruit de processus tectoniques de grande échelle, la métamorphose des paysages s'opère beaucoup plus discrètement, **au fil des jours**. Tout autour de nous, des vallées se creusent, des dunes s'accumulent, des rochers s'aplanissent, des grottes s'ouvrent. Transformée par le lent travail d'érosion de l'eau, du vent et du gel, la surface de **la Terre évolue constamment**, façonnant des paysages d'une étonnante diversité.





L'évolution des paysages

- 72 **L'érosion**
Les mécanismes de transformation des paysages
- 74 **Le cycle de l'érosion**
L'action du temps sur le paysage
- 75 **Les mouvements de terrain**
Quand la pesanteur façonne le relief
- 76 **Les grottes**
Des excavations sculptées par l'eau
- 78 **La formation des montagnes**
Des processus géologiques complexes
- 80 **Les montagnes du monde**
Des reliefs témoins de l'activité tectonique
- 82 **Configuration du littoral**
Entre mer et terre
- 84 **Les glaciers**
Des fleuves de glace
- 86 **L'érosion glaciaire**
Le pouvoir transformateur des glaciers
- 87 **Les icebergs**
Des glaciers à la dérive

L'érosion

Les mécanismes de transformation des paysages

Les paysages en apparence immuables que nous observons tous les jours sont en réalité en perpétuelle évolution. Des phénomènes spectaculaires, comme les éruptions volcaniques ou les inondations, les bouleversent de manière parfois radicale, mais c'est l'érosion, pourtant bien plus discrète, qui constitue l'un des principaux mécanismes de transformation du relief terrestre.

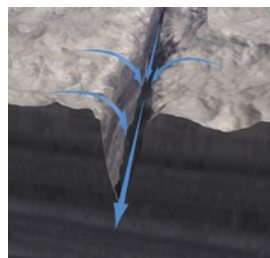
Processus d'usure, de transformation et d'aplanissement, l'érosion est un cycle, qui commence avec l'ablation progressive des matériaux de surface et se poursuit avec le transport des particules dégagées jusqu'à ce que celles-ci s'accumulent sous la forme de sédiments.

DIFFÉRENTS TYPES D'ÉROSION

L'eau, sous toutes ses formes, le vent et le gel sont les principaux agents d'érosion : par des procédés chimiques ou mécaniques, ils altèrent profondément le paysage.

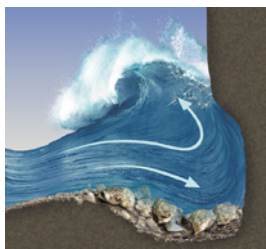
ÉROSION PAR INFILTRATION

Le **ruissellement** de l'eau déplace des particules du sol et creuse des ravins.



ÉROSION PAR LES VAGUES

Les falaises sont sculptées par les **vagues** de la mer. La roche, rendue fragile par l'action abrasive et chimique des sels et des algues, se modifie sous l'impact répété de la houle et de la marée.

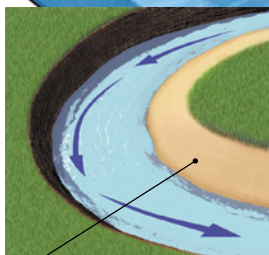


dépôts deltaïques

dépôts océaniques

ÉROSION FLUVIALE

L'eau des **fleuves** ou des rivières arrache des matériaux sur les berges ou au fond du lit, les roule les uns sur les autres et les fragmente. Ces particules ont un effet abrasif qui creuse les rives.

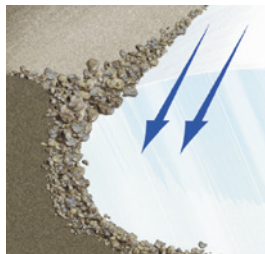


dépôts fluviaux

dépôts lagunaires

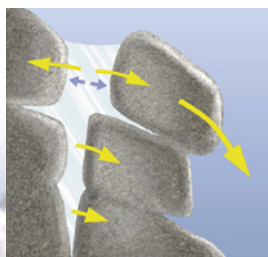
UN EXEMPLE DE TRANSFORMATION DU PAYSAGE : LES MONOLITHES

Dans certaines régions, le vent projette avec violence des grains de sable sur des rochers et agit alors comme un abrasif. Au fil des millénaires, cette forme d'érosion modèle des monolithes aux formes curieuses, comme ceux de Monument Valley, dans l'Arizona.



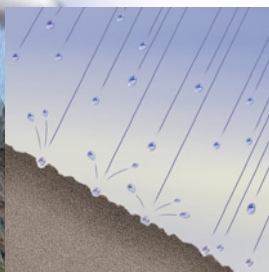
ÉROSION GLACIAIRE

Les glaciers qui rabotent les pentes des hautes montagnes constituent une forme d'altération mécanique. Par gravité, une **langue glaciaire** s'étale vers le bas. Au cours de sa descente, cette masse de glace emporte des fragments de roches, des cailloux et du sable, creusant une vallée sur son passage.



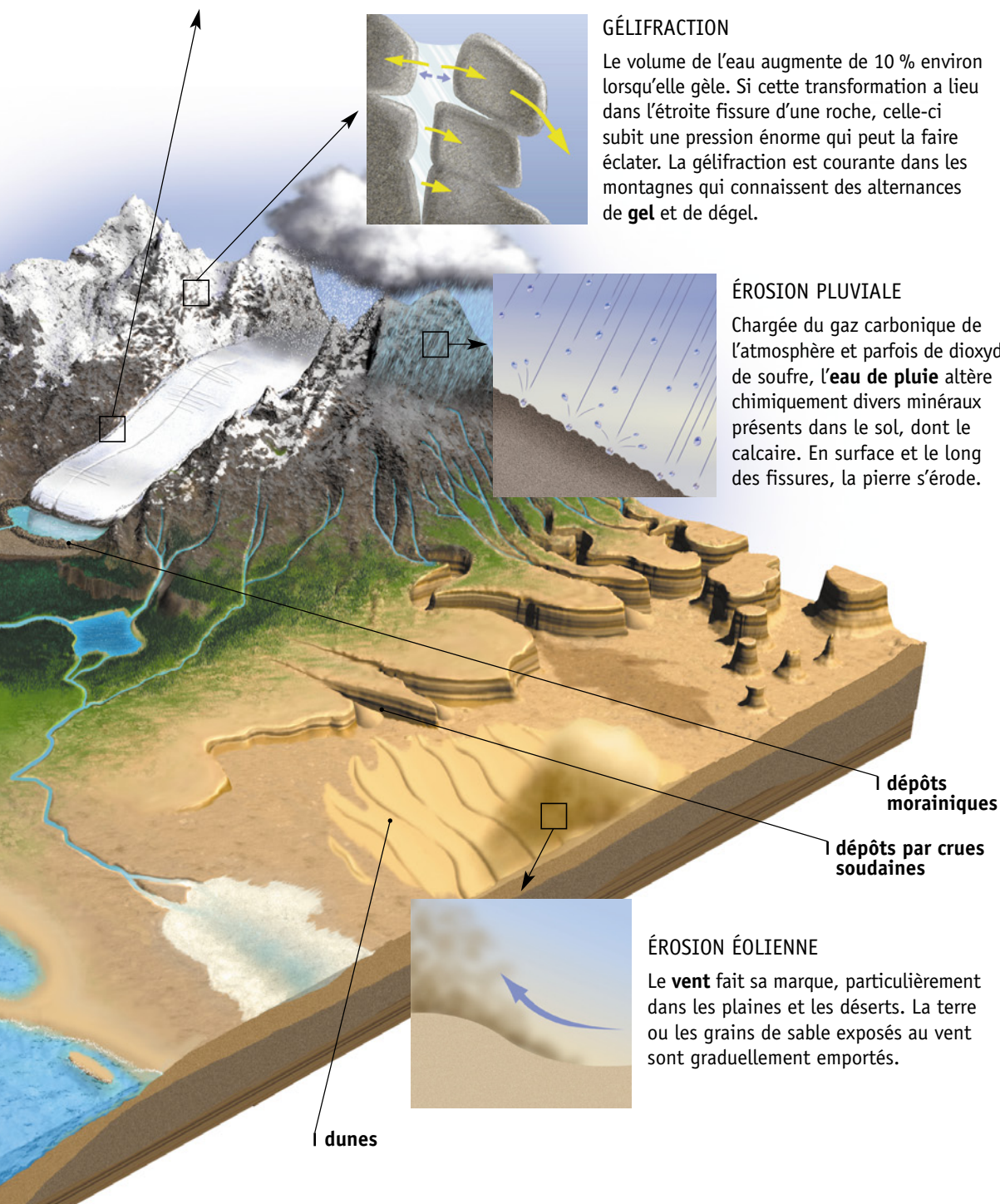
GÉLIFRACTION

Le volume de l'eau augmente de 10 % environ lorsqu'elle gèle. Si cette transformation a lieu dans l'étroite fissure d'une roche, celle-ci subit une pression énorme qui peut la faire éclater. La gélifraction est courante dans les montagnes qui connaissent des alternances de **gel** et de **dégel**.



ÉROSION PLUVIALE

Chargée du gaz carbonique de l'atmosphère et parfois de dioxyde de soufre, l'**eau de pluie** altère chimiquement divers minéraux présents dans le sol, dont le calcaire. En surface et le long des fissures, la pierre s'érode.



ÉROSION ÉOLIENNE

Le **vent** fait sa marque, particulièrement dans les plaines et les déserts. La terre ou les grains de sable exposés au vent sont graduellement emportés.

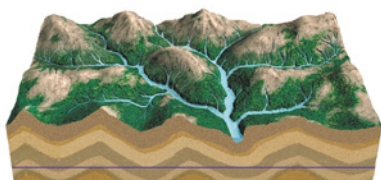
Le cycle de l'érosion

L'action du temps sur le paysage

Le cycle de l'érosion se déroule à des rythmes variables mais qui sont néanmoins tous très lents à l'échelle humaine : une fissure dans un bloc de granite ne s'élargit généralement que de quelques millimètres en 1 000 ans. Les massifs montagneux, les régions semi-arides et celles où la surface du sol a été modifiée par l'activité humaine (coupe à blanc, constructions de routes et de villes, etc.) connaissent évidemment l'érosion la plus rapide. La plus lente est associée aux régions basses où les matériaux sont très résistants, comme le bouclier canadien.

L'ÉVOLUTION D'UN PAYSAGE

L'évolution du relief passe par plusieurs stades successifs. Il en est ainsi des paysages fluviaux, transformés par l'érosion des cours d'eau.



Lorsque le paysage est encore fortement accidenté, avec de hauts sommets et des pentes escarpées, l'érosion est très rapide. Les cours d'eau creusent de profondes **vallées en V** et emportent de nombreux débris rocheux.

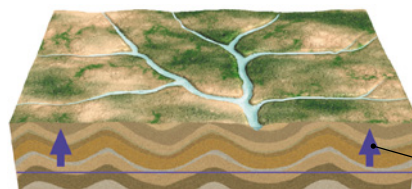


Sous l'action de l'érosion, le relief s'aplanit : les sommets s'arrondissent, les pentes s'adoucissent. Les cours d'eau transportent moins de débris et leur vitesse diminue.



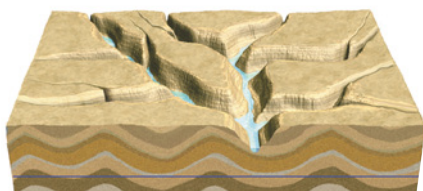
Après plusieurs millions d'années d'érosion, le paysage prend la forme d'une **pénéplaine** : son relief n'est pratiquement plus marqué et il s'élève très peu au-dessus du niveau de base. Le processus d'érosion ralentit considérablement.

niveau de base



Des phénomènes géologiques ou tectoniques peuvent provoquer une soudaine élévation de terrain. Dans ce cas, la pénéplaine se retrouve beaucoup plus haut que le niveau de base.

élévation de terrain



Le mouvement d'**érosion** peut alors recommencer : les cours d'eau creusent à nouveau de profondes vallées. Le paysage est rajeuni.

LE GRAND CANYON DU COLORADO

L'élévation du plateau du Colorado, en Arizona, a entraîné le creusement de profondes gorges. Afin de rejoindre à nouveau son niveau de base, le fleuve Colorado s'est enfoncé en élargissant son lit, entaillant des canyons qui atteignent 1,5 km de profondeur.



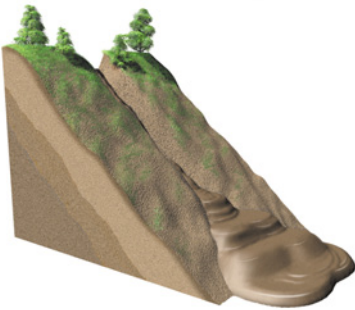
Les mouvements de terrain

Quand la pesanteur façonne le relief

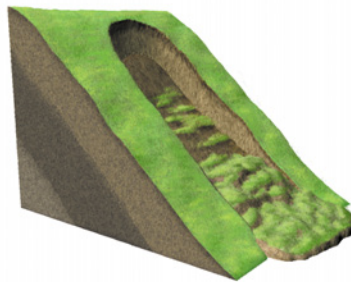
Les mouvements de terrain concourent, de façon lente ou rapide et parfois même brutale, à l'évolution des paysages. Déclenchés par des changements climatiques importants (gel ou dégel, pluies torrentielles), par des travaux rompant l'équilibre des sols (déforestation, construction) ou encore par des séismes ou des éruptions volcaniques, ils représentent une forme particulière d'érosion, liée à la gravité terrestre. Selon l'inclinaison des pentes, la nature des sols et l'élément déclencheur, ces phénomènes aussi nommés « mouvements de masse » se manifestent sous différentes formes : coulées, reptation, chutes ou glissements.

LES COULÉES ET LA REPTATION

En imprégnant les matériaux d'un versant, l'eau et la neige diminuent la cohésion des particules de terre et de roche, les rendant mobiles.



La **coulée de boue** compte parmi les mouvements de masse les plus fluides et les plus rapides. Elle survient surtout dans les régions arides ou semi-arides, lorsque des pluies torrentielles saturant rapidement les sols. Elle emprunte alors des ravines naturelles et se répand jusqu'au pied de la pente.



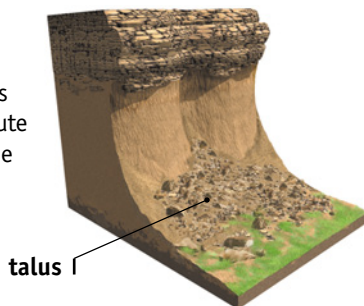
Une **coulée de terre** se produit lorsque la partie supérieure d'un terrain cède et descend en formant une langue de terre plus ou moins longue. Ce phénomène affecte particulièrement les sols argileux et schisteux des régions humides.



Phénomène imperceptible car très lent (quelques millimètres par an), la **reptation** laisse pourtant à long terme des marques décelables sur le paysage. Arbres incurvés, poteaux inclinés et murets affaissés signalent le déplacement de la partie supérieure du sol. L'alternance d'humidité et de sécheresse est la principale cause de la reptation.

LES CHUTES

Lorsqu'elles sont abruptes, les pentes sont sujettes à la chute libre de morceaux de terre ou de roches.

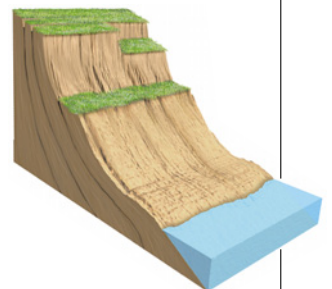


talus

L'**éboulement** est une chute soudaine de pierres, désolidarisées par le gel ou par les racines des végétaux. Ce phénomène se rencontre surtout le long des canyons, des falaises ou des routes de montagnes. L'accumulation de pierres au pied des rochers forme un talus.

LES GLISSEMENTS

Les glissements entraînent les matériaux (terre ou roches) le long d'une ou de plusieurs surfaces.



On parle de **glissement rotationnel** lorsqu'une portion de versant glisse le long d'une surface courbe ou concave. Ce phénomène, qui affecte les sols mal consolidés, peut être causé par l'érosion qui travaille la base d'une pente (rivière ou vagues) ou par l'ajout de poids (construction) qui fragilise l'ensemble et en menace l'équilibre.

Les grottes

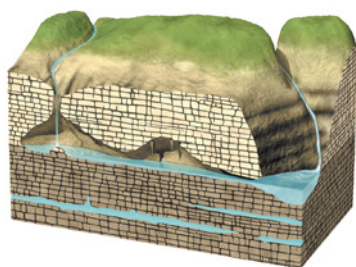
Des excavations sculptées par l'eau

On trouve des cavités souterraines un peu partout : dans les falaises qui surplombent la mer, dans la lave solidifiée et même dans les glaciers. Ce sont toutefois les roches poreuses, comme le calcaire et la dolomite, qui abritent les plus vastes réseaux de grottes. Ces excavations naturelles, qui s'allongent horizontalement (galeries) ou verticalement (avens, puits), sont le résultat du lent travail de l'eau sur la roche. Plusieurs dizaines de milliers d'années sont nécessaires pour que se forme une grotte de quelques mètres de diamètre et il faut près de 100 ans pour qu'une stalactite, masse de calcite qui pointe vers le sol, croisse d'un centimètre !

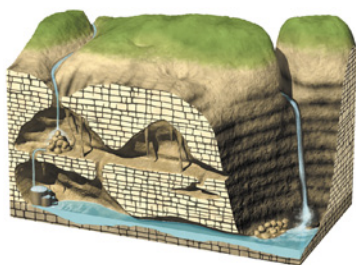
FORMATION D'UNE GROTTE



1. En s'infiltrant dans la roche, l'eau de pluie naturellement acide dissout le calcaire et élargit lentement les fissures existantes.



2. Lorsqu'elle a atteint la nappe phréatique, l'eau s'écoule à l'horizontale vers une issue naturelle et creuse des galeries, qui s'agrandissent peu à peu.



3. En continuant de creuser la roche, l'eau provoque l'abaissement progressif du niveau de la nappe phréatique et l'assèchement de la galerie supérieure, qu'on dit alors fossile.

Les **lapiaz** sont de grandes zones planes cannelées dues à l'érosion chimique du calcaire.

Des ouvertures abruptes appelées gouffres ou **avens** se forment à la surface lorsque la voûte d'une grotte s'effondre.

ancien niveau de la nappe phréatique

La calcite (carbonate de calcium) se dépose sous la forme de petits barrages en escalier qu'on appelle des **gours**.

Alimentée par l'eau de pluie infiltrée dans le sol, la **nappe phréatique** circule lentement dans la roche qu'elle imprègne.

puits

lac

DE TRÈS VASTES RÉSEAUX



Lorsque les stalactites et les stalagmites se rencontrent, elles forment des **colonnes**.

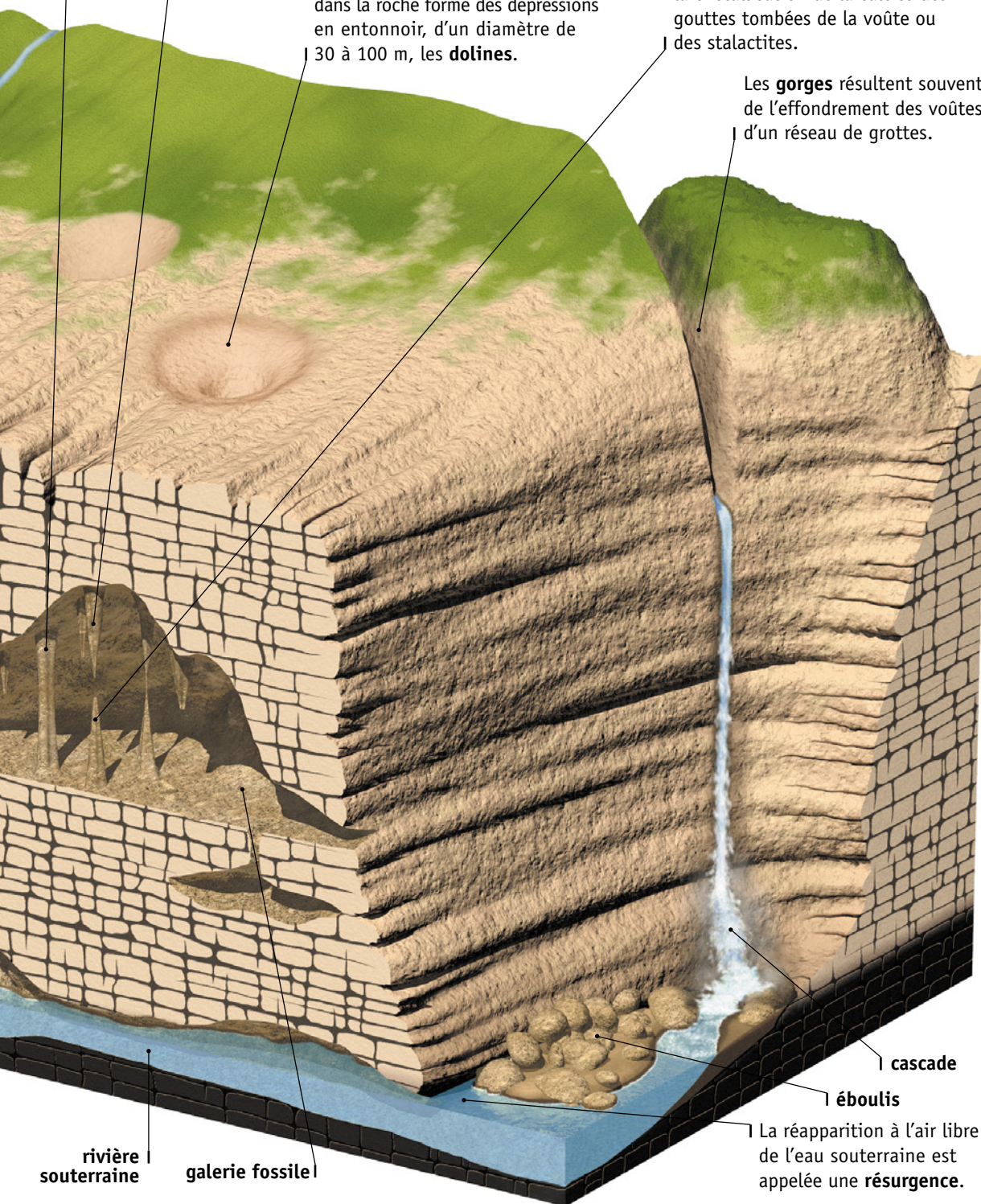
Les grottes s'organisent en réseaux qui peuvent s'étendre sur de très grandes distances. Le plus vaste ensemble souterrain du monde, le Mammoth Cave, se trouve dans l'État américain du Kentucky; il regroupe plus de 550 km de galeries.

Les **stalactites** proviennent de la cristallisation de la calcite contenue dans les gouttes d'eau qui suintent du plafond de la grotte.

L'infiltration continue de l'eau dans la roche forme des dépressions en entonnoir, d'un diamètre de 30 à 100 m, les **dolines**.

Les **stalagmites** semblent pousser du sol. En fait, elles résultent de la cristallisation de la calcite des gouttes tombées de la voûte ou des stalactites.

Les **gorges** résultent souvent de l'effondrement des voûtes d'un réseau de grottes.



rivière souterraine

galerie fossile

cascade

éboulis

La réapparition à l'air libre de l'eau souterraine est appelée une **résurgence**.

La formation des montagnes

Des processus géologiques complexes

Le soulèvement du relief, qu'on appelle surrection, est le fruit de processus complexes : une même chaîne de montagnes peut être constituée à la fois de roches métamorphiques, de lambeaux de croûte océanique et de roches volcaniques. Ces différents types de roches se trouvent généralement disposés en strates, qui ont été plissées, renversées ou même disloquées le long de failles.

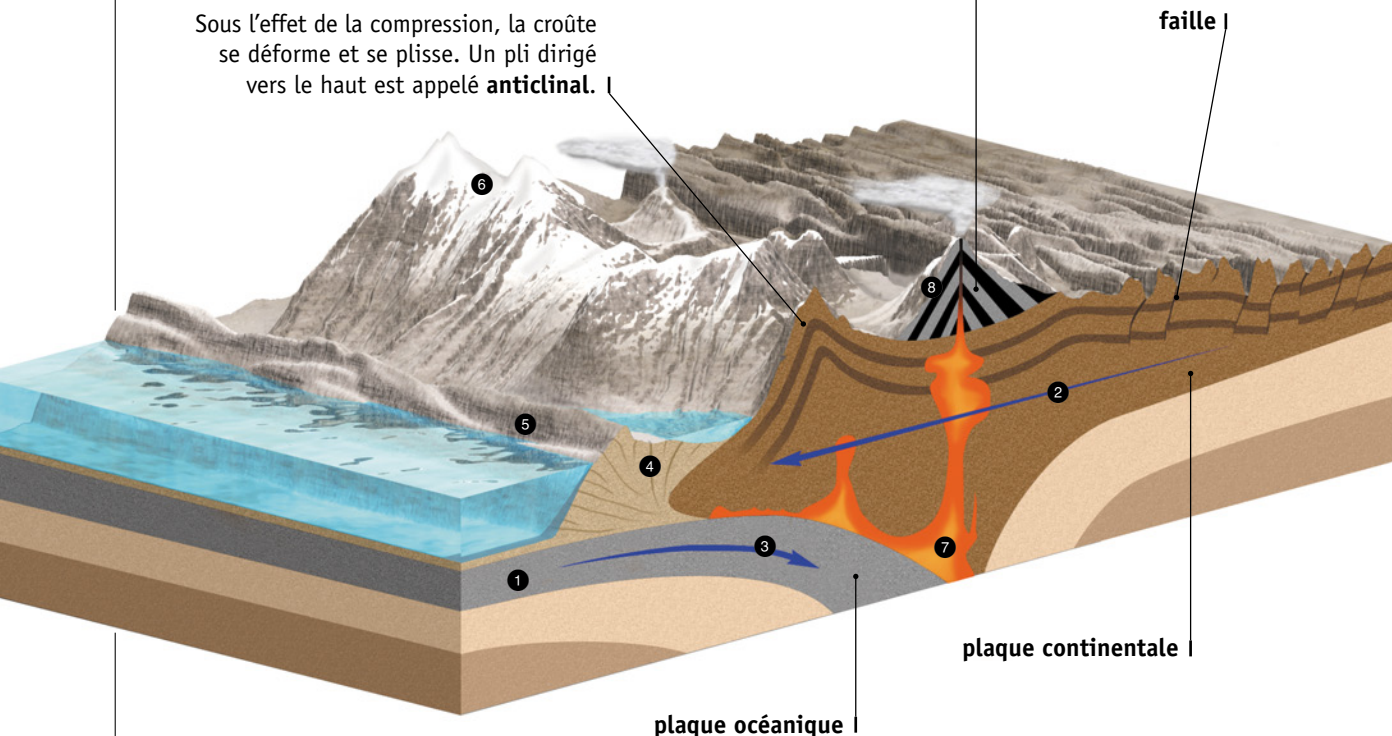
La découverte de l'existence des plaques lithosphériques a permis de faire de grands pas dans la compréhension de l'orogénèse (le processus de formation des montagnes). C'est en effet le mouvement des plaques océaniques et continentales qui a engendré la plupart des montagnes.

ENTRE OCÉAN ET CONTINENT

Lorsqu'une plaque océanique ❶ rencontre un continent ❷, elle s'enfonce ❸ sous la plaque continentale. Râpés par ce contact, les sédiments océaniques s'accumulent dans ce qu'on appelle un prisme d'accrétion ❹. À mesure que la plaque océanique s'enfonce, le volume du prisme d'accrétion augmente, si bien qu'il s'élève parfois bien au-dessus du niveau de la mer et forme des montagnes côtières ❺. Quant à la plaque continentale, soumise à des forces considérables, elle se plisse et se déforme en donnant naissance à des chaînes de montagnes de subduction ❻. Lorsque la plaque océanique parvient jusqu'au manteau, les roches qui la composent fondent et se transforment en magma ❼. Ces roches en fusion remontent parfois à la surface, où elles sont expulsées par des volcans ❽.

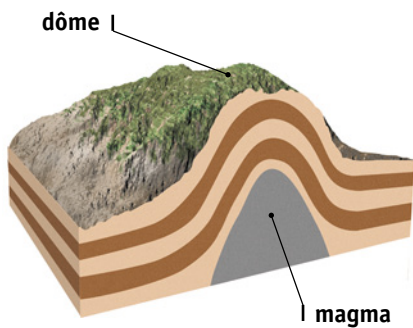
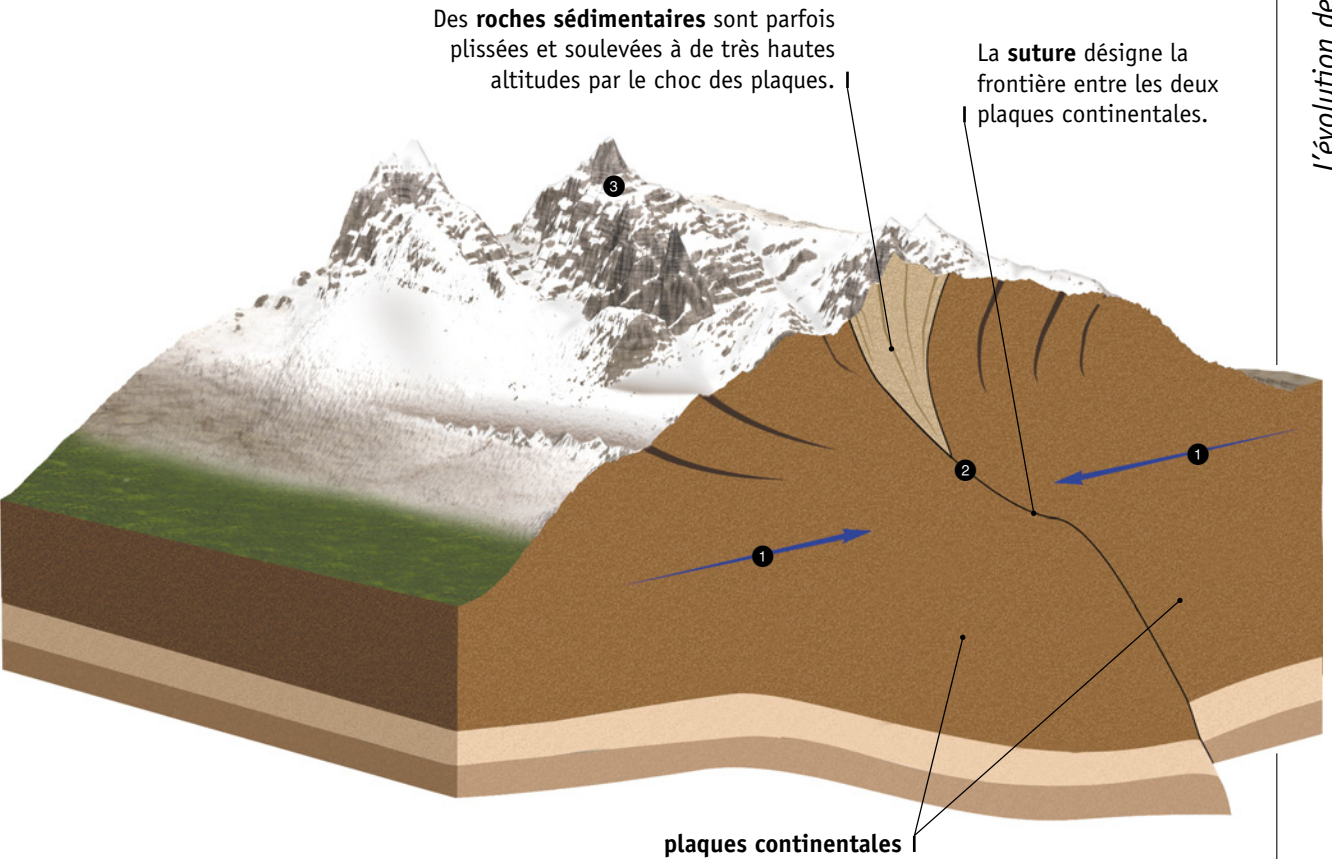
Constitués de couches superposées de cendres, de lave durcie et de pyroclastes expulsés lors d'éruptions successives, les **volcans** forment souvent de très hautes montagnes.

Sous l'effet de la compression, la croûte se déforme et se plisse. Un pli dirigé vers le haut est appelé **anticlinal**.



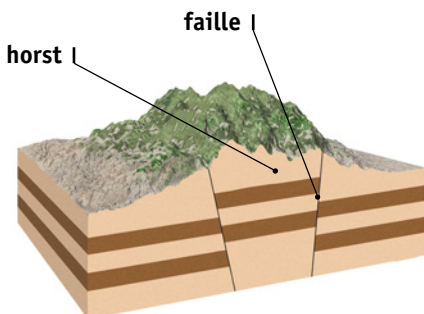
LE CHOC DE DEUX CONTINENTS

La rencontre de deux plaques continentales cause un choc si important qu'il en résulte des bouleversements géologiques majeurs. C'est une collision de cette nature, survenue il y a 53 millions d'années, qui a provoqué la naissance de l'Himalaya, la plus haute chaîne de montagnes du monde. Lorsque deux plaques continentales ❶ entrent en contact, elles poursuivent leur rapprochement en se pressant l'une contre l'autre ❷ et en se chevauchant. Soulevées par ce mouvement, les roches se plissent et forment une chaîne de montagnes de collision ❸.



LES MONTAGNES EN DÔME

Le magma qui remonte vers la surface terrestre s'accumule dans de gigantesques chambres magmatiques. Si la roche en fusion n'est pas expulsée par une éruption volcanique, elle soulève les couches rocheuses de surface et leur donne la forme de dômes.



LES HORSTS MONTAGNEUX

Les tensions et les pressions qui s'exercent sur les plaques peuvent faire apparaître des failles, le long desquelles des blocs rocheux glissent et se déplacent. Les horsts sont des blocs qui ont été soulevés verticalement. Ils forment parfois de véritables montagnes.

Les montagnes du monde

Des reliefs témoins de l'activité tectonique

L'aspect d'une montagne dépend en grande partie de son âge. Façonnées par des chocs tectoniques récents, les chaînes de montagnes les plus jeunes de la planète (Alpes, Himalaya, Rocheuses, Andes, Caucase) ont un relief très marqué, avec des pentes abruptes et des sommets acérés. La plupart d'entre elles n'ont pas fini de s'élever, car les lents mouvements des plaques lithosphériques continuent de déformer le relief. Les montagnes anciennes (Oural, Appalaches, Cordillère australienne, Drakensberg) présentent un aspect moins accidenté : elles ont été aplanies par l'érosion, qui a arraché des matériaux aux versants et les a déposés dans les creux.



LES MONTAGNES ANCIENNES

Nées il y a plus de 300 millions d'années, les **Appalaches** figurent parmi les plus vieilles montagnes du monde. Leur relief témoigne du lent travail d'érosion du gel, du vent et de l'eau, qui ont adouci les cimes et les versants.

Les **Rocheuses** ont été érigées par subduction le long de la côte occidentale de l'Amérique du Nord. Elles sont bordées par une chaîne côtière qui résulte du soulèvement du prisme d'accrétion sédimentaire.

La **Sierra Nevada** est une montagne à structure faillée constituée de horsts.

Les **Andes** constituent la plus longue chaîne de montagnes du monde : elles s'étendent du nord au sud sur près de 8 000 km. La partie méridionale (Chili, Argentine), qui comprend les plus hauts sommets de la chaîne, a été formée par subduction de la plaque pacifique sous le continent sud-américain.

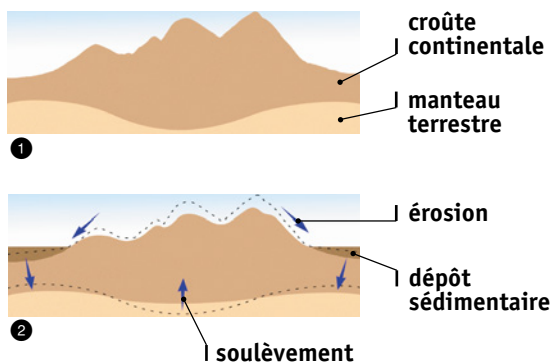


TYPES DE MONTAGNES

- montagnes anciennes
- montagnes jeunes

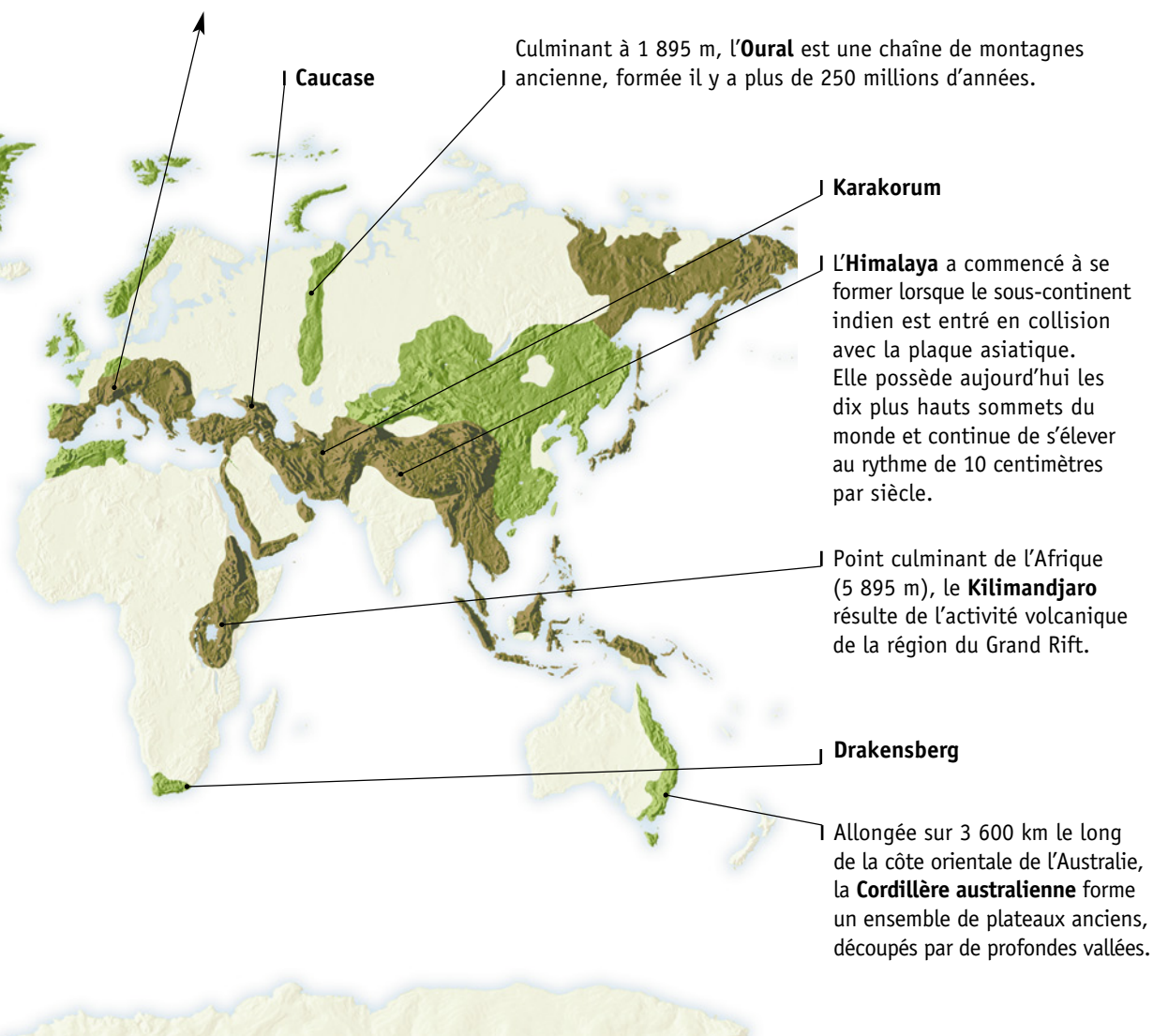
DES MONTAGNES EN ÉQUILIBRE

Plus une montagne est élevée, plus ses racines sont profondément ancrées dans le manteau terrestre ❶. Lorsqu'elle s'érode, sa masse diminue. À la manière d'un cargo dont la flottaison remonte lorsqu'il est libéré de sa charge, elle se soulève. Parallèlement, l'accumulation des dépôts sédimentaires autour de la montagne force la croûte à s'enfoncer dans le manteau ❷. Cet effet de compensation est appelé isostasie.



LES MONTAGNES JEUNES

Les hauts pics et les pentes escarpées des **Alpes** témoignent de la jeunesse de cette chaîne de montagnes. Son relief accidenté est le résultat d'une impressionnante surrection qui se serait produite il y a environ 50 millions d'années, lorsque la plaque eurasiatique est entrée en collision avec la plaque africaine.



Configuration du littoral

Entre mer et terre

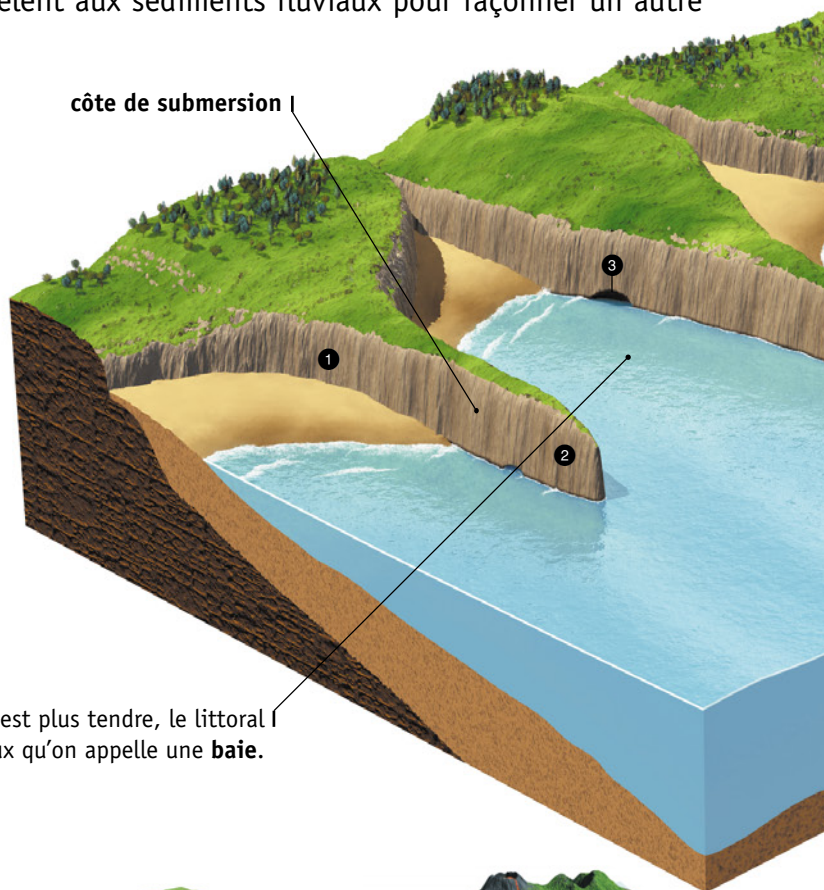
Le littoral désigne la zone côtière comprise entre la limite des marées basses et celle des marées hautes. Ce paysage en perpétuelle transformation subit l'action continue de la mer, des fleuves et du vent, et peut prendre des formes très variées selon la nature géologique de la côte.

On distingue deux types de côtes. Les côtes rocheuses sont érodées par les vagues, qui frappent leurs parois avec une force considérable (3 tonnes par mètre cube, et jusqu'à 50 tonnes lors des tempêtes). Les roches ainsi arrachées à la côte sont progressivement réduites en particules plus fines qui se déposent sur les côtes d'accumulation, où elles se mêlent aux sédiments fluviaux pour façonner un autre type de littoral.

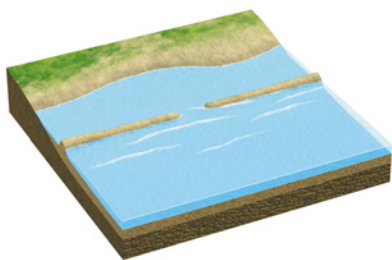
DE LA FALAISE À L'ÉCUEIL

Selon le type des roches qui les composent, certaines parties de la côte sont érodées plus rapidement. Il en est ainsi des falaises ❶ qui pointent vers la mer en formant un cap ❷. L'eau creuse cette zone exposée et transforme une fissure en une grotte ❸. Lorsque deux grottes communiquent, de chaque côté du cap, elles créent une arche ❹. En s'effondrant, celle-ci laisse une aiguille ❺ qui se transforme ultérieurement en îlot ou en écueil ❻.

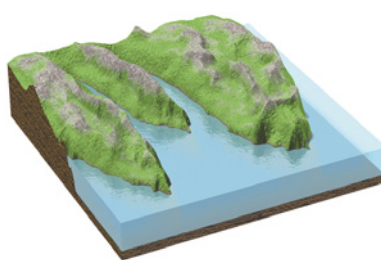
Là où la roche est plus tendre, le littoral affiche un creux qu'on appelle une **baie**.



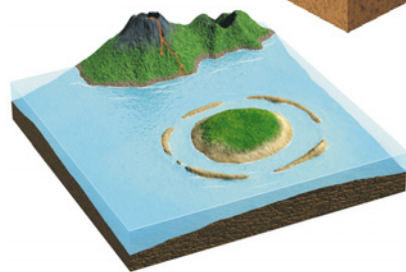
DIFFÉRENTS TYPES DE CÔTES



Le **récif-barrière** (ou île barrière) est une bande de sable qui s'allonge parallèlement à la côte, à une distance variant de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres. Derrière ce récif se forme un lagon.



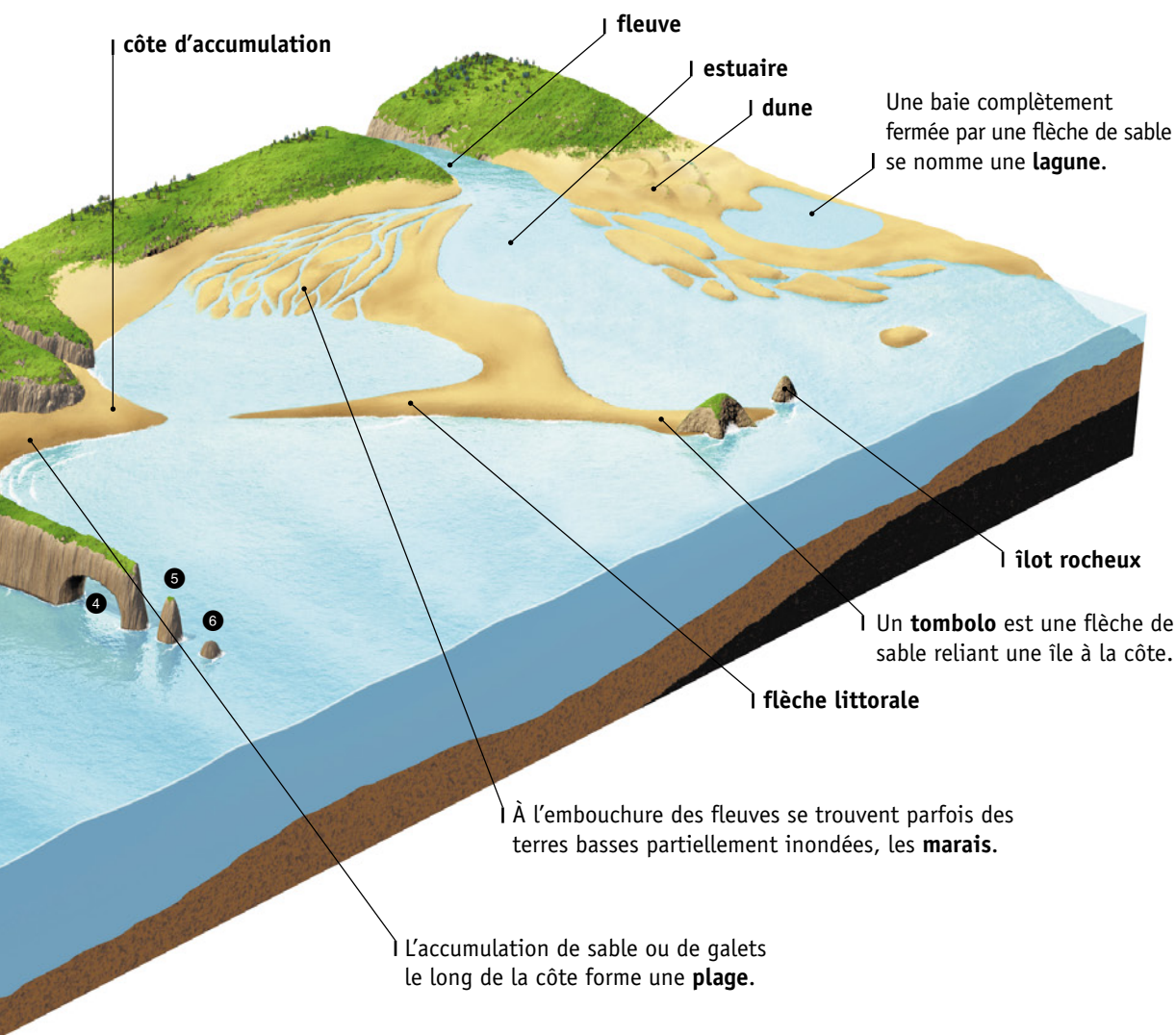
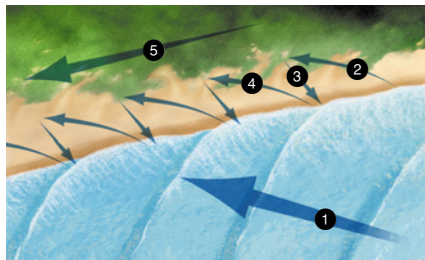
Les **fjords** (mot qui signifie « longs bras de mer », en norvégien) sont des vallées qui ont été creusées autrefois par des glaciers puis envahies par les eaux. On les trouve en abondance sur la côte norvégienne.



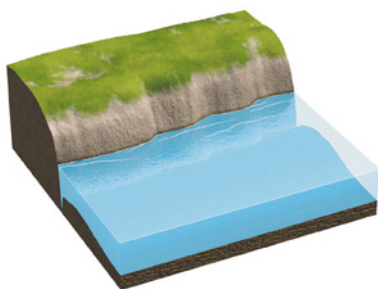
Certaines côtes sont le résultat d'éruptions volcaniques. Le récif corallien ou **atoll**, qui se développe autour d'une île volcanique, présente la forme d'un anneau encerclant un lagon.

LA DÉRIVE LITTORALE

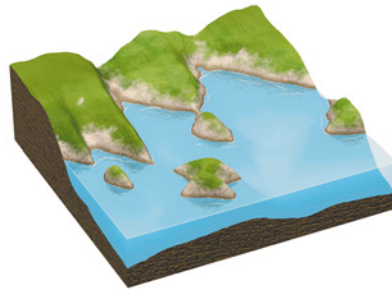
Les grains de sable et les galets qui se déposent sur la côte ne se fixent pas de façon définitive; ils sont agités par les vagues ❶ qui les poussent sur le rivage obliquement ❷ puis les entraînent perpendiculairement lors du reflux ❸, avant de les ramener à nouveau de biais ❹. Ce déplacement en dents de scie, nommé **dérive littorale**, finit par imposer un mouvement aux sédiments dans une direction précise ❺.



Les **deltas** se forment à l'embouchure des fleuves. Ils résultent de l'accumulation et du dépôt de sédiments transportés par les cours d'eau.



Des accidents géologiques ont parfois modifié la côte en produisant des failles. C'est le cas des très hautes **falaises côtières** qui ont été découpées par des failles tectoniques.



Une vallée fluviale submergée à la suite d'une élévation de la mer ou de l'affaissement des terres forme un ensemble de criques ciselant la côte, qu'on appelle des **rias**.

Les glaciers

Des fleuves de glace

Toutes les régions de neiges éternelles, qu'elles soient situées près des pôles ou au sommet des hautes montagnes sous n'importe quelle latitude, possèdent des glaciers. En fait, ce sont près de 10 % des terres émergées (surtout en Antarctique et au Groenland) qui sont couvertes par ces masses de glace qui se déplacent sous l'action de leur propre poids. Longs de plusieurs kilomètres et épais de quelques dizaines de mètres, les glaciers de montagnes descendent les vallées à la vitesse de 100 à 200 m par an. Leur action d'érosion transforme profondément les paysages, créant des cirques, sculptant des vallées à fond plat et déposant des amas de roches.

En se détachant de la paroi rocheuse, le glacier laisse apparaître une profonde crevasse parallèle à la paroi, la **rimaye**.

Le glacier principal est souvent alimenté par des **glaciers tributaires**.

Une **moraine médiane** se forme à l'endroit où se rencontrent deux langues glaciaires.

glacier principal

La vallée glaciaire se rétrécit parfois pour former un **verrou**, qui se caractérise aussi par un relief rocheux transversal.



DE LA NEIGE À LA GLACE

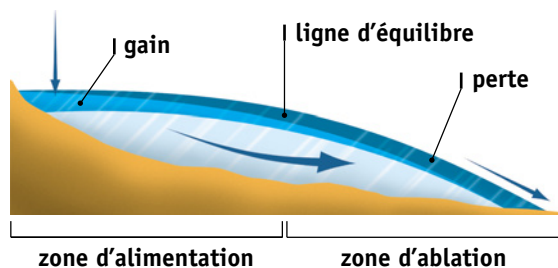
Sous l'action de la pression, les flocons de neige accumulés ① éliminent l'air qui les compose et deviennent plus denses ②. Les basses températures favorisent le regel des cristaux fondus en surface, qui s'agglomèrent ③ et finissent par se transformer en véritable glace ④. Cette métamorphose prend plusieurs années (jusqu'à 3 500 ans dans l'Antarctique) pour se compléter.

UN ÉQUILIBRE ENTRE LES PRÉCIPITATIONS ET LA FONTE

Tous les glaciers se composent de deux zones successives : la zone d'alimentation, située en amont, et la zone d'ablation, en aval. La ligne d'équilibre, qui sépare les deux régions, est nettement visible à la fin de l'été, lorsque le haut du glacier est recouvert de neige blanche et fraîche, tandis que sa partie inférieure est

constituée de glace et de vieille neige de couleur plus sombre. Dans les Alpes, cette ligne se situe à 3 000 m d'altitude, mais elle est beaucoup plus élevée dans l'Himalaya et dans les Andes.

L'équilibre du glacier est acquis lorsque les gains de nouvelles neiges dans la zone d'alimentation compensent les pertes dans la zone d'ablation. Quand cet équilibre est rompu, on parle de retrait ou d'avancée du glacier.



L'ÉVOLUTION D'UN GLACIER DE VALLÉE

Un glacier naît dans un cirque glaciaire ❶, lorsque la neige accumulée, compactée et transformée en glace s'écoule ❷ le long du versant. Entraînée par la gravité, elle envahit la vallée. En descendant, le glacier érode le sol en lui arrachant des roches et des débris ❸, qu'il entraîne sous sa masse et qui accentuent l'abrasion. Ces frottements ralentissent la base du glacier, tandis que sa surface progresse plus rapidement et se déforme en créant des crevasses ❹. Au cours de sa descente, le glacier principal est souvent rejoint par des glaciers tributaires ❺. Parvenu à une altitude où la température est plus élevée, le front du glacier fond ❻ et libère des débris de roches qui se déposent en moraines ❼. L'eau de fonte ruisselle et s'accumule parfois en lacs ❽, là où la moraine a formé des barrages.

Les **glaciers suspendus** ont la particularité de demeurer dans leur cirque.

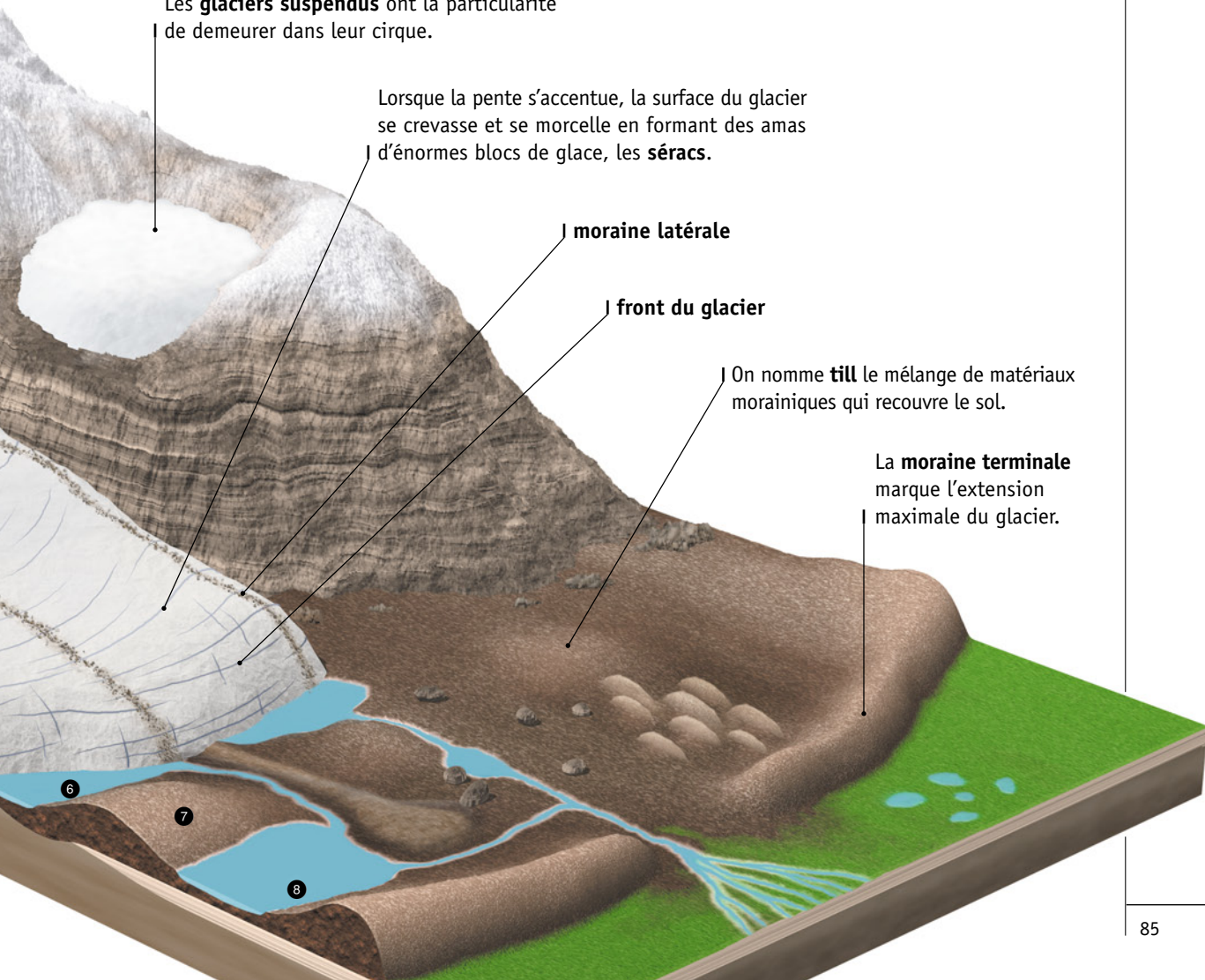
Lorsque la pente s'accroît, la surface du glacier se crevasse et se morcelle en formant des amas d'énormes blocs de glace, les **séracs**.

moraine latérale

front du glacier

On nomme **till** le mélange de matériaux morainiques qui recouvre le sol.

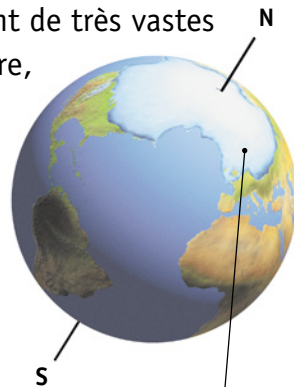
La **moraine terminale** marque l'extension maximale du glacier.



L'érosion glaciaire

Le pouvoir transformateur des glaciers

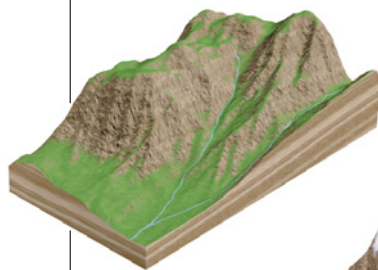
Les glaciers sont bien moins présents aujourd'hui qu'ils ne l'ont été il y a des milliers d'années. À certaines époques où le climat de la planète était nettement plus froid, c'est-à-dire durant les périodes glaciaires, ils occupaient de très vastes territoires. Lors de chacune des glaciations qu'a connues la Terre, le passage des glaciers a laissé une empreinte indélébile sur le paysage. Encore aujourd'hui, ces fleuves de glace façonnent les montagnes et creusent les vallées, engendrant de nouvelles formes de paysages.



LA TRANSFORMATION DU PAYSAGE PAR LE PASSAGE DES GLACIERS

AVANT

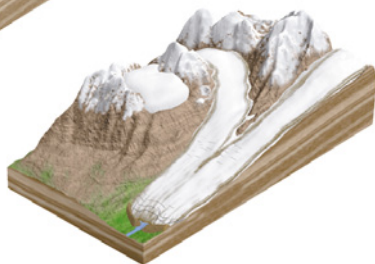
Avant le passage du glacier, le paysage comprend une vallée en V et des sommets aux formes arrondies.



Durant l'**âge glaciaire** du pléistocène, qui s'est achevé il y a environ 10 000 ans, les glaces s'étalaient sur presque 30 % de la surface de la Terre, couvrant près de la moitié de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

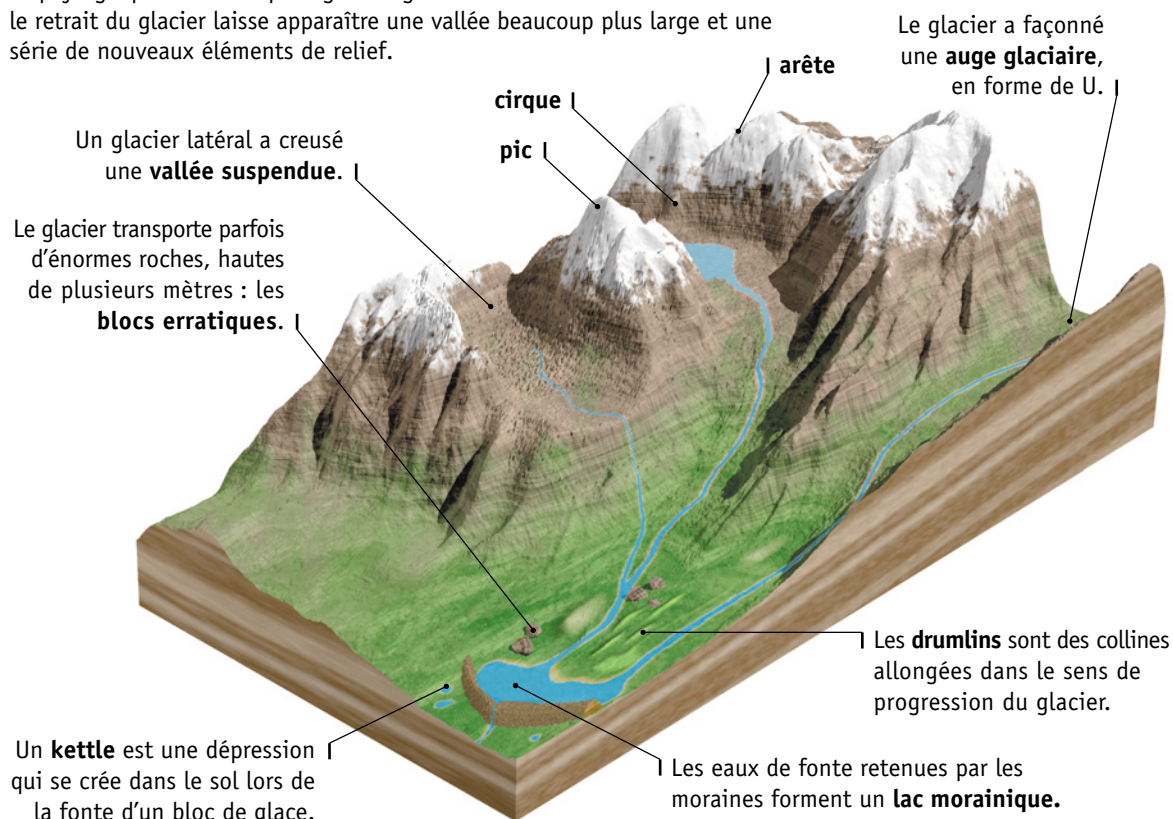
PENDANT

Le glacier envahit la vallée et amasse une grande quantité de roches et de débris qui rabotent les côtés et le fond de la vallée.



APRÈS

Le paysage qui résulte du passage d'un glacier est considérablement transformé : le retrait du glacier laisse apparaître une vallée beaucoup plus large et une série de nouveaux éléments de relief.



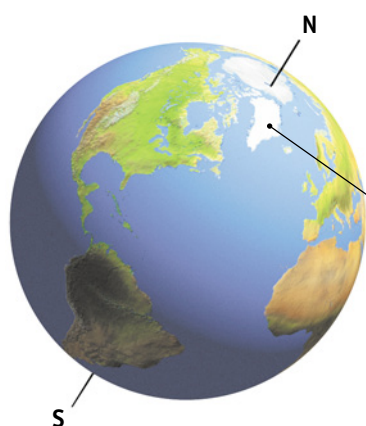
Les icebergs

Des glaciers à la dérive

Dans les régions froides, les glaciers parviennent jusqu'à la mer avant d'avoir fondu. La force des vagues et des marées fragmente alors les langues glaciaires en gigantesques blocs de glace flottants dont seule une faible partie émerge. Poussés par les vents et les grands courants océaniques, ces icebergs parcourent des milliers de kilomètres, dérivant parfois jusqu'aux tropiques avant de fondre dans l'océan sous l'action conjuguée des vagues, du sel et des rayonnements solaires.

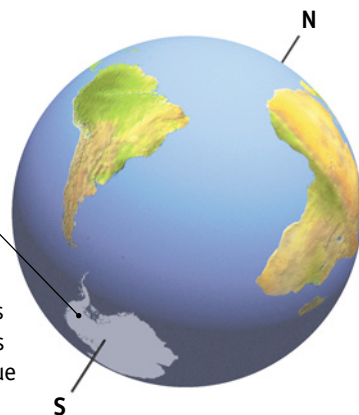
LES INLANDSIS

On nomme inlandsis les vastes glaciers continentaux qui couvrent la presque totalité du Groenland et de l'Antarctique. Ces épaisses couches de glace se déplacent très lentement du centre des terres vers la périphérie, avant de se désagréger dans l'océan sous forme d'icebergs.



Épais de 1,5 km en moyenne, l'**inlandsis du Groenland** recouvre une surface de 1 700 000 km², soit 80 % de l'île. Chaque année, cette immense calotte glaciaire produit de 10 000 à 50 000 icebergs, d'une superficie moyenne de 1,6 km² et d'une hauteur de 300 m. Certains d'entre eux dérivent jusqu'aux eaux tropicales des Bermudes.

inlandsis antarctique



Couvrant 14 000 000 km² sur une épaisseur maximale de 4,3 km, l'**inlandsis de l'Antarctique** représente 91 % du volume mondial des glaces. Cette masse considérable écrase le continent jusqu'à plusieurs centaines de mètres sous le niveau de la mer. L'inlandsis livre chaque année à la mer près de 100 000 icebergs, qui sont généralement dix fois plus volumineux que ceux de l'Arctique.

DIVERSES FORMES D'ICEBERGS

Selon la forme de leur partie émergée, on donne différents noms aux icebergs. Les plus fréquents sont les icebergs tabulaires, de larges plaques qui se détachent en grand nombre de l'inlandsis antarctique.



iceberg tabulaire



iceberg en dôme



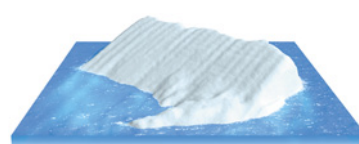
iceberg érodé



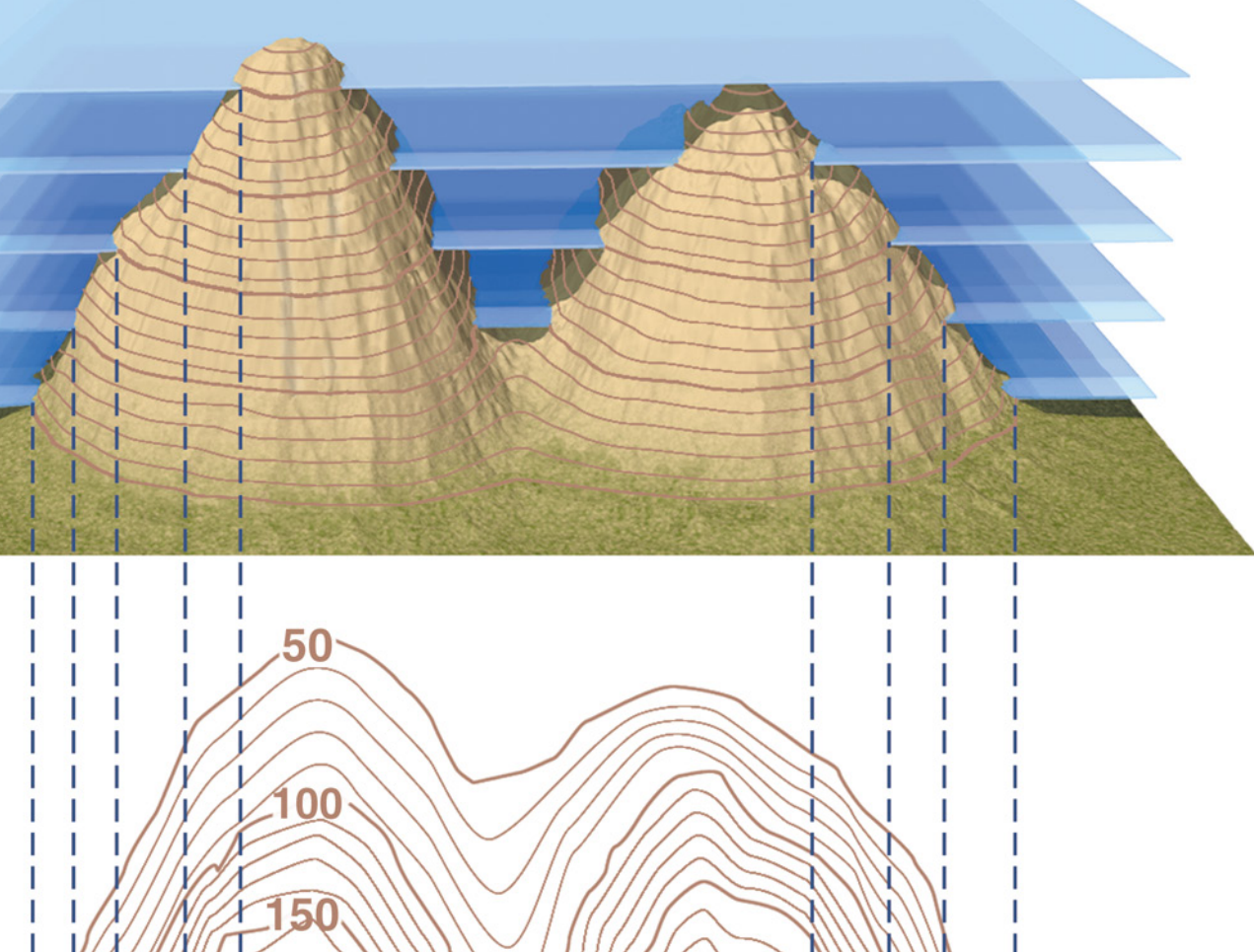
iceberg pointu



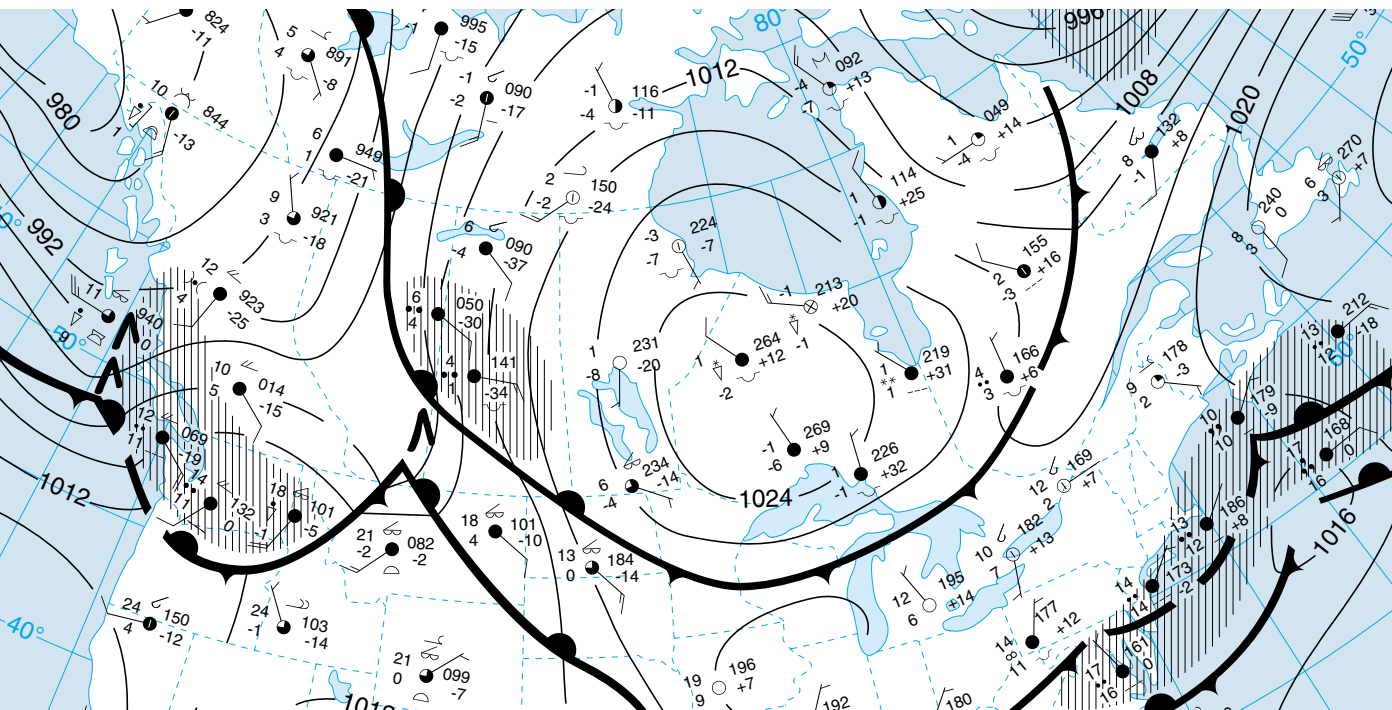
iceberg en bloc

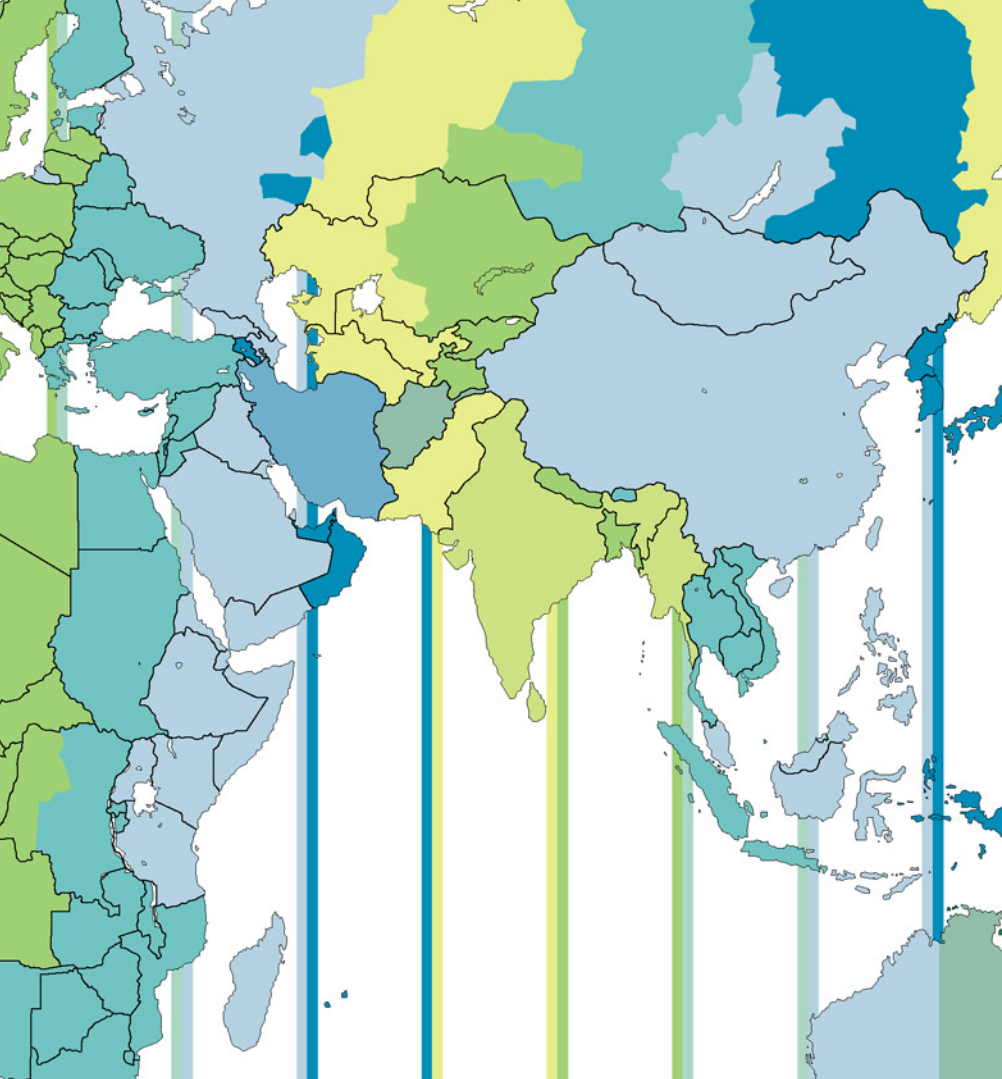


iceberg biseauté



Consulter une carte du monde, se repérer grâce à un plan sont des gestes qui nous semblent naturels. La transcription de la réalité sur une feuille de papier pose pourtant plusieurs questions. Comment situer précisément un lieu? Comment connaître la topographie d'une région inaccessible? Comment représenter l'altitude d'une ville? Les techniques modernes de télédétection et les systèmes de conventions graphiques permettent aujourd'hui à la cartographie de donner **une image très précise de notre environnement**, dans toute sa complexité physique et humaine.





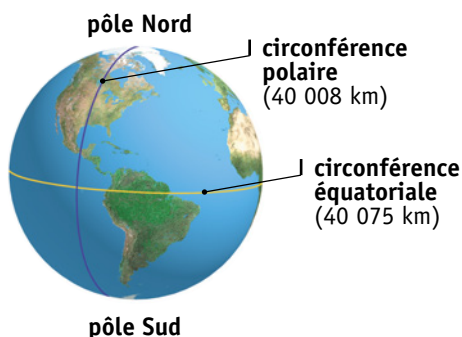
La représentation de la Terre

- 90 **Les coordonnées terrestres**
Comment se situer sur la Terre
- 92 **La projection cartographique**
Représenter la Terre sur une surface plane
- 94 **La cartographie**
Le monde à plat
- 96 **Les conventions cartographiques**
Les outils pour lire une carte
- 98 **Les cartes physiques et topographiques**
Donner l'illusion du relief
- 100 **Les cartes thématiques**
Une multitude d'applications
- 102 **La télédétection**
Observer la Terre d'en haut
- 104 **Satellites et navettes**
Des yeux dans l'espace
- 106 **Les fuseaux horaires**
Le monde en 24 heures

Les coordonnées terrestres

Comment se situer sur la Terre

Les géographes ont conçu un système de coordonnées sphériques qui permet de localiser tout point de la Terre grâce aux angles qu'il forme avec le plan de l'équateur (sa latitude) et avec un méridien origine, en général celui de Greenwich (sa longitude). La surface terrestre peut ainsi être imaginée quadrillée par des lignes est-ouest (les parallèles) et nord-sud (les méridiens).



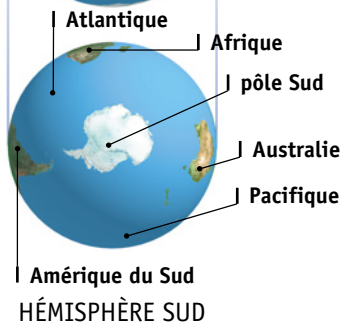
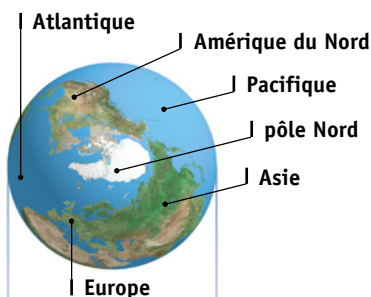
UNE PLANÈTE SPHÉRIQUE

Malgré un très léger aplatissement aux deux pôles, la Terre présente une forme quasi sphérique. Ses circonférences polaire et équatoriale sont donc pratiquement identiques.

LE NORD ET LE SUD

L'équateur, le parallèle situé exactement à mi-chemin des pôles, divise la Terre en deux parties : l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud.

HÉMISPÈRE NORD



Le **tropique du Cancer**, situé à 23° 26' de latitude Nord, est l'un des cinq parallèles fondamentaux.

Le Soleil y est à son zénith le 21 juin, au solstice d'été.

Montréal
(45° 30' N et 73° 34' O)

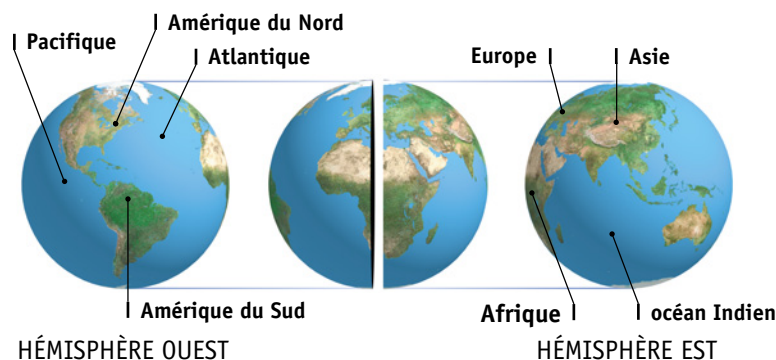
méridien

Lima
(12° 03' S et 77° 03' O)

Le **tropique du Capricorne** est situé à 23° 26' de latitude Sud. Au solstice d'hiver, le 21 décembre, le Soleil y est à son zénith.

L'EST ET L'OUEST

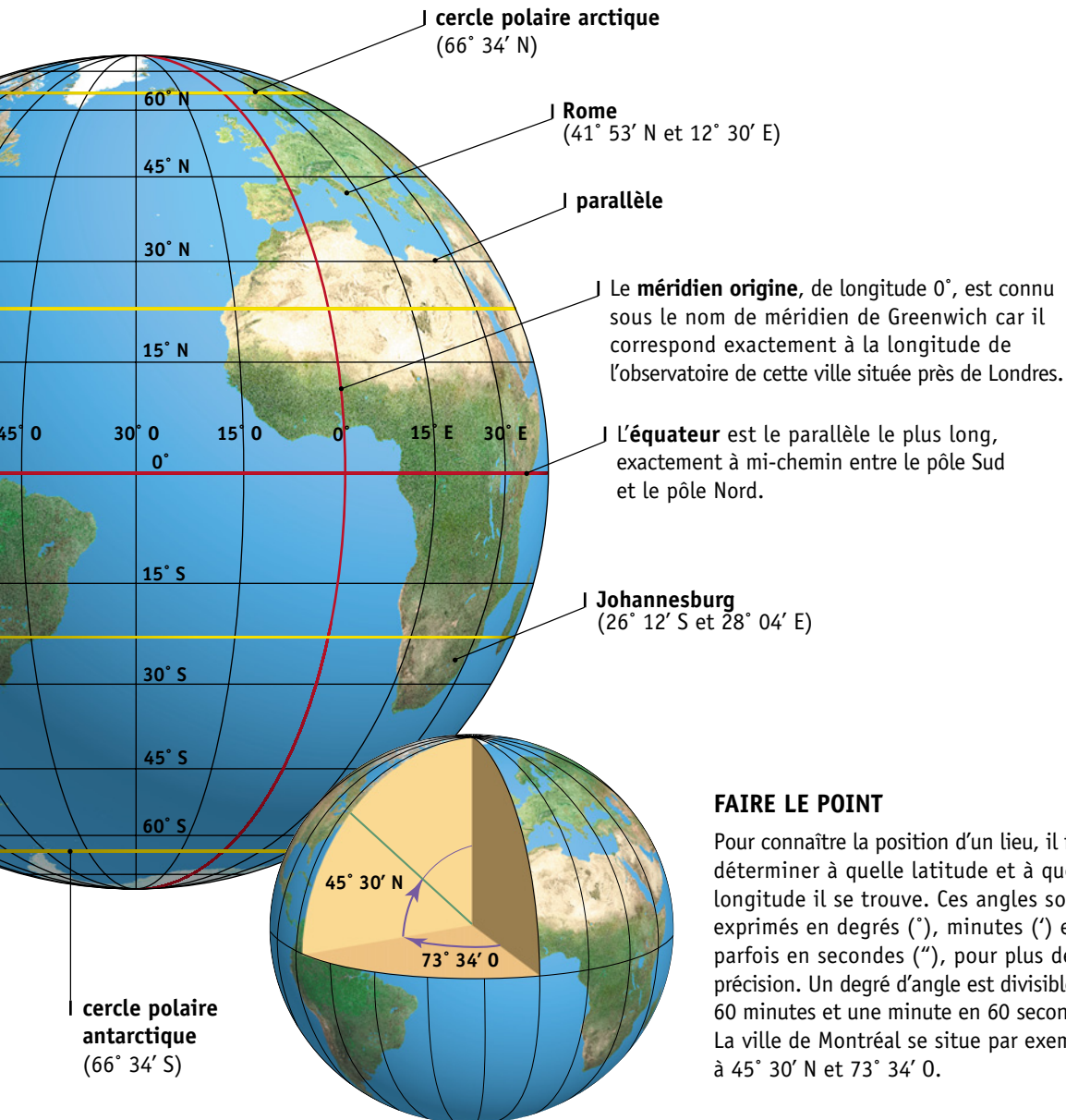
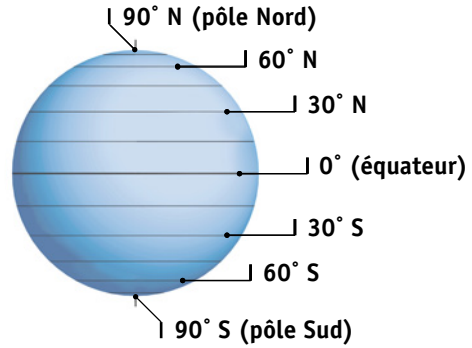
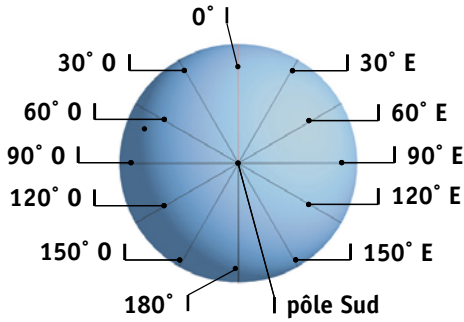
Le méridien origine, une ligne imaginaire passant à la latitude de Greenwich, en Angleterre, sépare également le globe en deux : l'hémisphère Est et l'hémisphère Ouest.



LES MÉRIDIENS ET LES PARALLÈLES

Les **méridiens** sont des lignes imaginaires convergeant aux pôles et reliant tous les points de la Terre ayant la même longitude. Le méridien origine (0°) sert de repère au calcul des longitudes, qui varient entre 180° O et 180° E.

Les **parallèles** sont des lignes imaginaires parallèles à l'équateur et reliant tous les points ayant la même latitude. Situé à la latitude 0° , l'équateur sert de repère au calcul des latitudes, qui varient entre 90° N (au pôle Nord) et 90° S (au pôle Sud).



FAIRE LE POINT

Pour connaître la position d'un lieu, il faut déterminer à quelle latitude et à quelle longitude il se trouve. Ces angles sont exprimés en degrés ($^\circ$), minutes ($'$) et parfois en secondes ($''$), pour plus de précision. Un degré d'angle est divisible en 60 minutes et une minute en 60 secondes. La ville de Montréal se situe par exemple à $45^\circ 30' \text{ N}$ et $73^\circ 34' \text{ O}$.

La projection cartographique

Représenter la Terre sur une surface plane

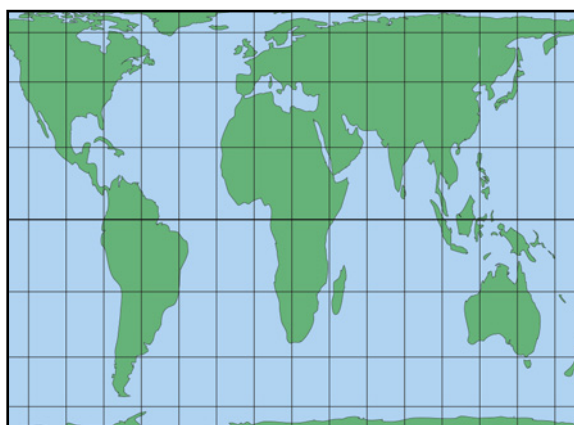
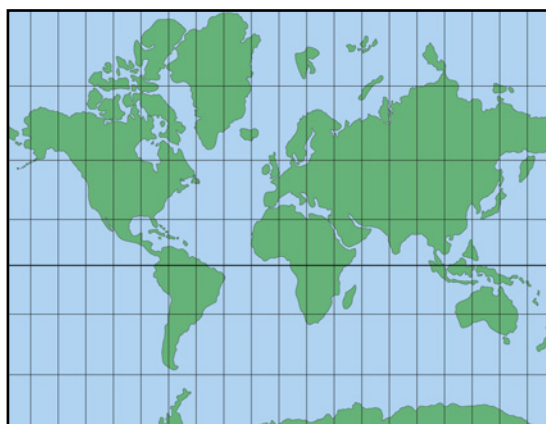
Si la courbure de la Terre n'est guère perceptible lorsqu'on cherche à représenter une petite surface, il en est autrement pour un continent complet, voire pour le monde entier. Pour transposer la surface du globe terrestre sur une carte plane, il faut utiliser un système de projection, c'est-à-dire une correspondance entre la réalité (en trois dimensions) et sa représentation (en deux dimensions). Il existe plusieurs systèmes, mais aucun d'entre eux ne peut empêcher des déformations de se produire, soit dans les superficies, soit dans les angles, soit encore dans les distances. Le choix d'une projection cartographique résulte donc toujours d'un compromis acceptable pour l'utilisation qui en sera faite.

LES PROJECTIONS CYLINDRIQUES

Lorsqu'on projette la surface terrestre sur un cylindre, les méridiens et les parallèles sont représentés sur la carte obtenue par des lignes droites qui se coupent à angle droit. La zone équatoriale subit peu de déformations mais les régions polaires apparaissent considérablement étirées dans le sens est-ouest.



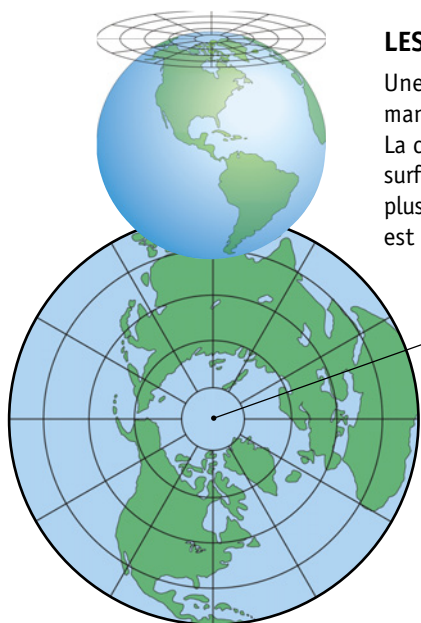
Imaginée en 1569 par le géographe hollandais Gerard Mercator, la **projection de Mercator** compense l'étirement est-ouest par un étirement sud-nord équivalent des régions polaires. Cette propriété lui permet de conserver les angles, ce qui en fait toujours l'un des systèmes les plus utilisés dans la navigation. La correction cause toutefois un accroissement des superficies, qui s'accroît à mesure que l'on s'approche des pôles.



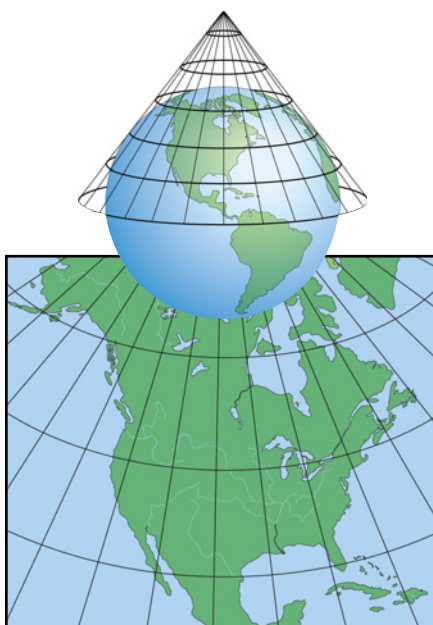
La **projection de Peters** suppose que le cylindre coupe la sphère au niveau des parallèles 45° Nord et Sud. La distorsion des distances est donc répartie à l'équateur et aux pôles, tandis que les latitudes moyennes apparaissent relativement peu déformées. Ce système de projection conserve les angles et les surfaces.

LES PROJECTIONS AZIMUTALES

Une projection azimutale (ou plane) s'effectue sur un plan placé de manière à ce qu'il soit tangent en un point de la surface de la sphère. La carte obtenue, de forme circulaire, ne peut pas représenter plus que la surface d'un hémisphère. Parce que la distorsion des formes est d'autant plus importante qu'on s'éloigne du point tangent, ce type de projection est principalement utilisé pour représenter les régions polaires.



Si le **point tangent** est un pôle, les méridiens apparaissent comme des droites et les parallèles comme des cercles concentriques.

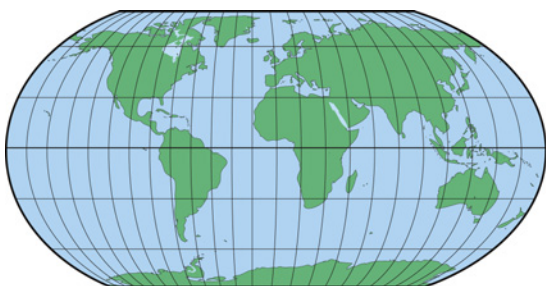


LES PROJECTIONS CONIQUES

Une projection conique est obtenue en projetant la surface de la Terre sur un cône, celui-ci étant placé en contact avec un parallèle terrestre. Sur la carte obtenue, en forme d'éventail, les distorsions s'accroissent de part et d'autre de la zone de contact. Ce système de projection, qui ne permet de représenter qu'une partie du globe terrestre, est fréquemment utilisé pour produire des cartes des régions de latitudes moyennes.

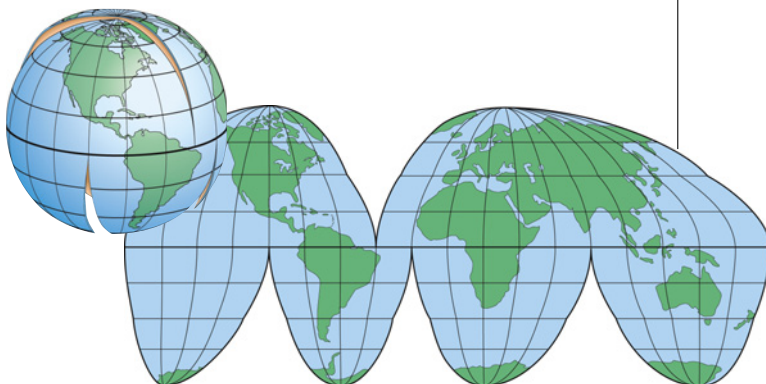
LES PROJECTIONS MIXTES

À l'aide d'ordinateurs, les cartographes modernes combinent plusieurs types de projections pour produire des cartes du monde de formes et d'aspects variables.



La **projection de Robinson** n'est pas une véritable projection cylindrique, car les méridiens autres que le méridien d'origine n'apparaissent pas rectilignes. Les cartes produites avec ce système ne conservent ni les angles, ni les surfaces, ni les distances, mais elles proposent un compromis intéressant entre ces trois contraintes.

La **projection de Goode**, qui combine deux méthodes de projection, est appelée interrompue car la carte obtenue n'est pas continue. Les coupures, qui ne suppriment aucun point du globe, sont généralement placées au milieu des océans, ce qui permet de représenter les continents avec très peu de distorsions.



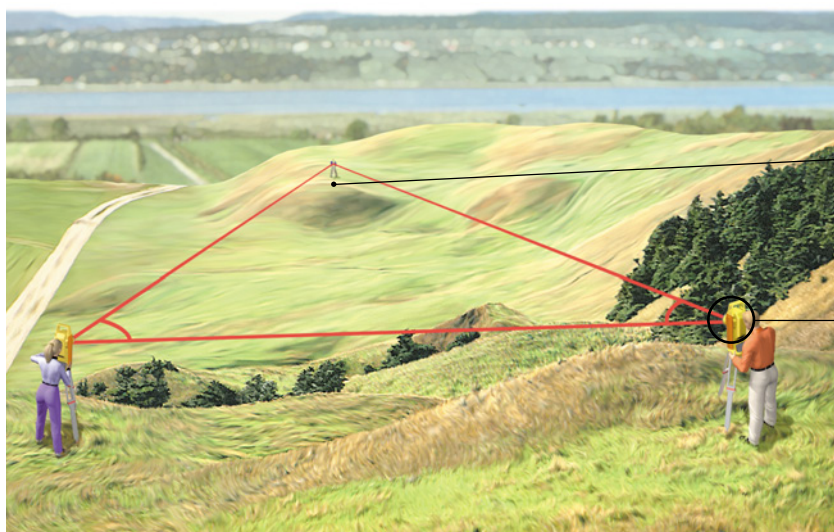
La cartographie

Le monde à plat

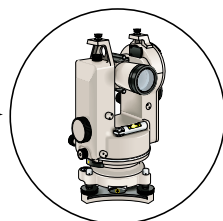
Le rôle d'une carte géographique consiste à transmettre des informations naturelles et humaines à propos d'une partie de la surface terrestre. Pour les cartographes, il s'agit donc de créer un document fidèle à la topologie du terrain, sur lequel ils porteront différents signes graphiques capables de mettre en évidence les caractéristiques désirées. La fabrication d'une carte représente un long travail de repérage, de recherche et de codage d'informations.

UN TERRITOIRE DÉCOUPÉ EN TRIANGLES

La première étape de la fabrication d'une carte consiste à repérer précisément un certain nombre de points dans la région à représenter : c'est ce qu'on appelle le levé. Les mesures sur le terrain s'effectuent par un procédé de triangulation. Après avoir déterminé avec précision la distance entre deux points, on choisit un troisième point et on mesure les angles qu'il forme avec la base du triangle. Un calcul trigonométrique permet alors d'obtenir les longueurs des deux autres côtés du triangle. De point en point, on conçoit ainsi un réseau géodésique qui couvre la totalité du territoire.



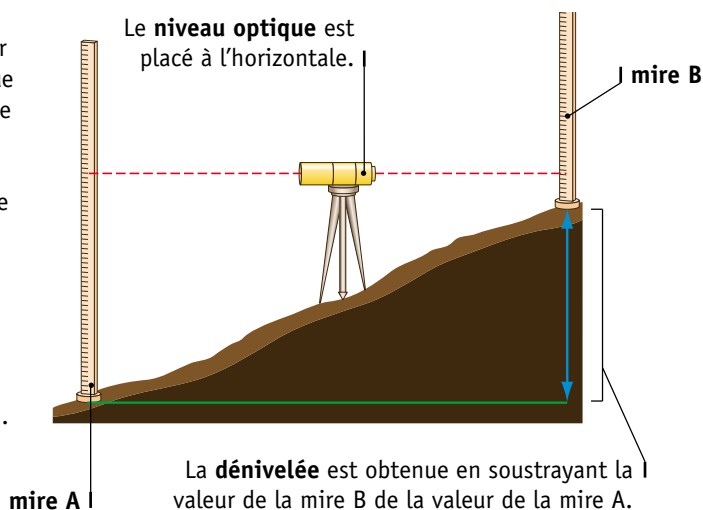
On appelle **point géodésique** un point du territoire dont les coordonnées ont été précisément mesurées.



Le **théodolite** sert à mesurer les angles avec exactitude.

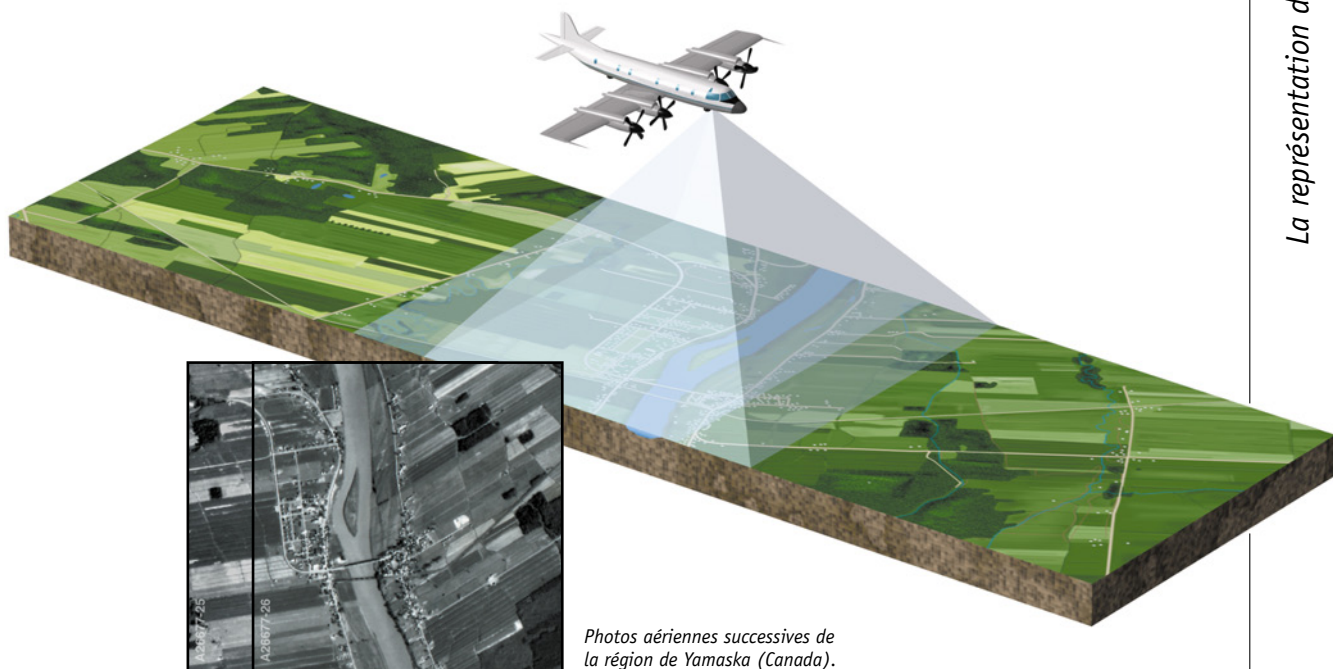
LE NIVELLEMENT

Le procédé le plus précis pour déterminer l'altitude d'un point du réseau géodésique s'appelle le nivellement direct. Il consiste à comparer deux mires graduées, l'une étant placée sur le point à mesurer (B), l'autre sur un point proche dont l'altitude est déjà connue (A). Placé à égale distance des deux mires, un niveau optique établit la dénivelée (différence d'altitude) entre les deux points. Cette opération s'effectue de point en point sur tout le territoire en partant d'un niveau de base (niveau de la mer).



LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE

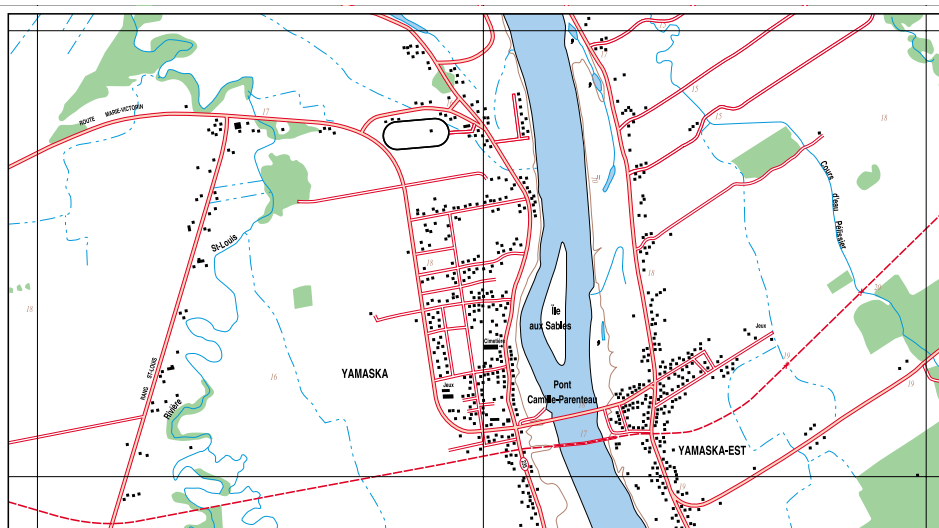
Le réseau de points géodésiques n'est qu'une trame de base, sur laquelle de nombreuses autres données doivent être ajoutées. Depuis le milieu du xx^e siècle, le levé de ces éléments se fait essentiellement par photographie aérienne. À altitude, vitesse et direction constantes, un avion survole le territoire à cartographier et le photographie à intervalles réguliers, chaque photo couvrant une partie de la précédente. Le recouvrement de deux photos successives permet de visualiser la zone en trois dimensions à l'aide d'un stéréoscope et ainsi d'obtenir des indications sur son relief.



Photos aériennes successives de la région de Yamaska (Canada).

LA CARTE DE BASE

Un complément, c'est-à-dire une étude complémentaire sur le terrain, permet d'obtenir des données que la photographie aérienne ne peut pas fournir : toponymie, types de routes, éléments cachés par la végétation... L'ensemble des informations obtenues est ensuite utilisé pour dresser une carte très précise du territoire, généralement au 1/20 000. Cette carte de base servira de référence pour réaliser toutes sortes de cartes dérivées.



Carte de base (1/20 000) de la région de Yamaska (Canada).

Les conventions cartographiques

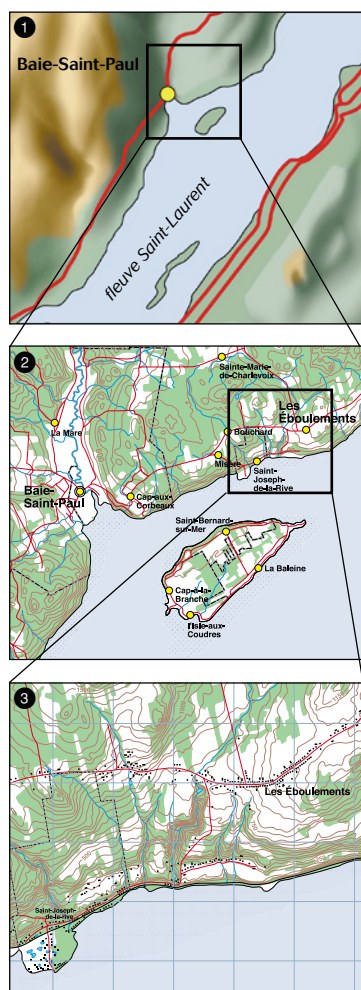
Les outils pour lire une carte

Pour représenter la réalité, le cartographe doit traduire les données recueillies en éléments graphiques compréhensibles. Cette opération complexe fait appel à des signes conventionnels, définis dans la légende de la carte, que le lecteur doit apprendre à décoder. Outre ces symboles graphiques (pictogrammes, couleurs, trames, typographie), les cartes obéissent à plusieurs autres conventions, comme les échelles, l'orientation et la généralisation des tracés.

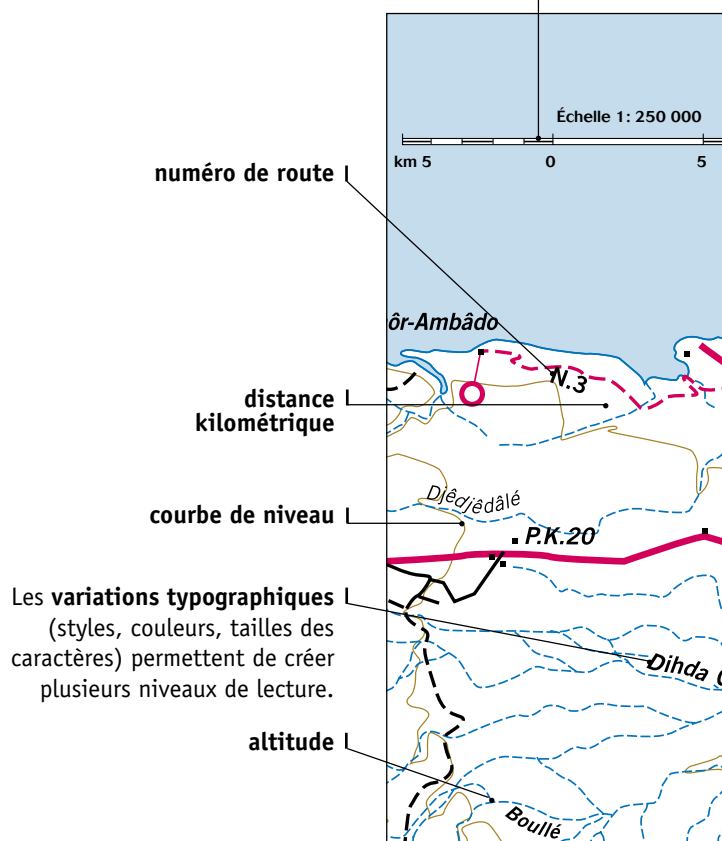
LES ÉCHELLES

Les longueurs mesurées sur une carte sont proportionnelles aux distances réelles qu'elles représentent. Ce rapport constant constitue ce qu'on appelle l'échelle de la carte; il est exprimé soit par une fraction, soit graphiquement. Chaque échelle possède ses avantages : une carte à grande échelle montre plus de détails, alors qu'une petite échelle permet de représenter une plus grande surface.

Plus l'échelle de la carte est petite, plus les tracés qui y figurent doivent être simplifiés et sélectionnés. Cet ajustement est appelé la généralisation. À l'échelle 1/1 300 000, 1 cm sur la carte représente 13 km sur le terrain ❶. À l'échelle 1/400 000, 1 cm sur la carte représente 4 km sur le terrain ❷. À l'échelle 1/130 000, 1 cm sur la carte représente 1,3 km sur le terrain ❸.



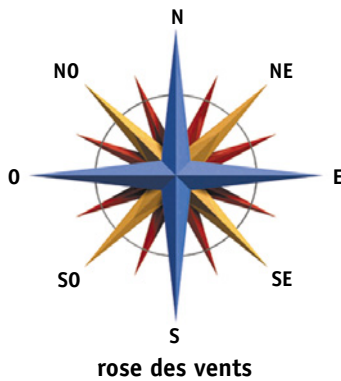
L'échelle graphique exprime visuellement le rapport de taille entre la carte et la réalité.



COMMENT LIRE UNE CARTE ?

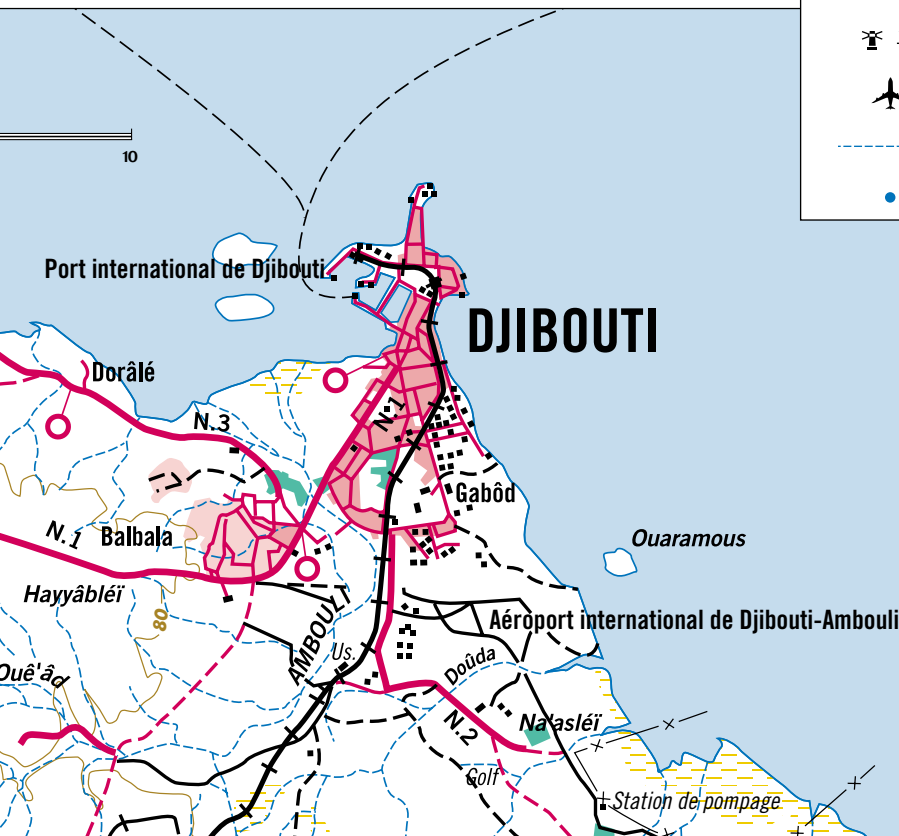
Quelle que soit sa nature, une carte utilise différentes conventions graphiques pour exprimer la réalité. Les couleurs sont fréquemment employées pour représenter les altitudes, pour hiérarchiser certains éléments (comme les routes) ou pour différencier des zones adjacentes. La forme des symboles, évocatrice ou pas de la réalité qu'ils représentent, peut être très variée. Quant au texte, il transmet des indications toponymiques, susceptibles d'être reprises dans un index. Une hiérarchie peut être créée grâce aux variations typographiques, par exemple par l'utilisation des majuscules et des minuscules. Outre les indications de latitude et de longitude, on trouve parfois sur les cartes un quadrillage alphanumérique (c'est-à-dire composé de chiffres et de lettres) qui facilite le repérage.

La **légende** constitue le véritable mode d'emploi de la carte. Il s'agit d'un encadré qui fournit au lecteur la signification des différents symboles utilisés. Ceux-ci y sont généralement regroupés par thèmes : relief, routes, taille des villes, types de végétation, hydrographie...



Bien que, par convention, le haut d'une carte soit presque toujours dirigé vers le nord, son orientation est souvent précisée, soit par une simple flèche indiquant le nord, soit par une **rose des vents** indiquant les quatre points cardinaux (nord, est, sud, ouest) ainsi que les directions intermédiaires (nord-est, sud-est, sud-ouest, nord-ouest).

	Route revêtue
	Route non revêtue
	Sentier
	Chemin de fer
	Zone urbaine
	Village
	Habitation
	Mosquée
	Église
	Bureau de poste
	Hôpital
	Dispensaire
	École
	Marché
	Pylône
	Gendarmerie
	Hôtel
	Essence
	Limite de zone réglementée
	Forêt
	Zone inondable
	Talus
	Phare
	Épave
	Aérodrome
	Cours d'eau temporaire
	Château d'eau



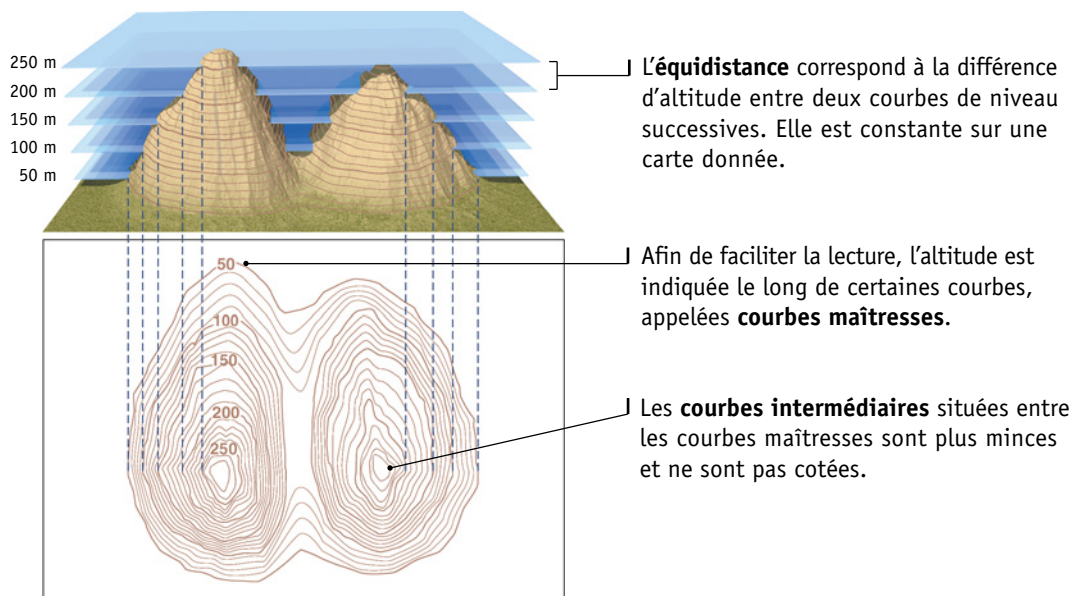
Les cartes physiques et topographiques

Donner l'illusion du relief

Les cartes physiques et topographiques ont pour objet de donner l'image la plus exacte possible de la surface terrestre (relief, cours d'eau, étendues aquatiques, routes, agglomérations...). Pour représenter le relief, elles utilisent différentes techniques : les courbes de niveau, une échelle de couleurs ou l'ombrage.

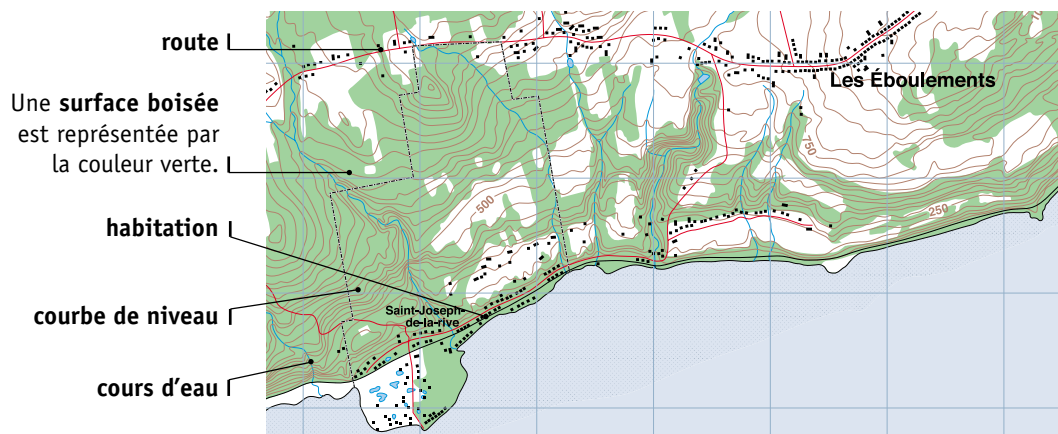
LES COURBES DE NIVEAU

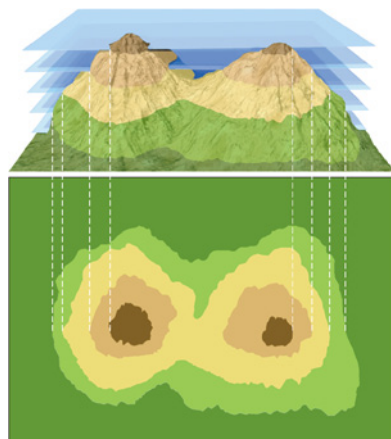
Les courbes de niveau sont des lignes imaginaires reliant entre eux tous les points situés à la même altitude. Elles permettent de reconnaître facilement les différents types de reliefs : des lignes largement espacées correspondent à une surface presque plate, tandis que des lignes très rapprochées révèlent une pente abrupte. Il est ainsi possible de distinguer les collines, les falaises, les vallées, les plateaux, les plaines, etc.



LA CARTE TOPOGRAPHIQUE

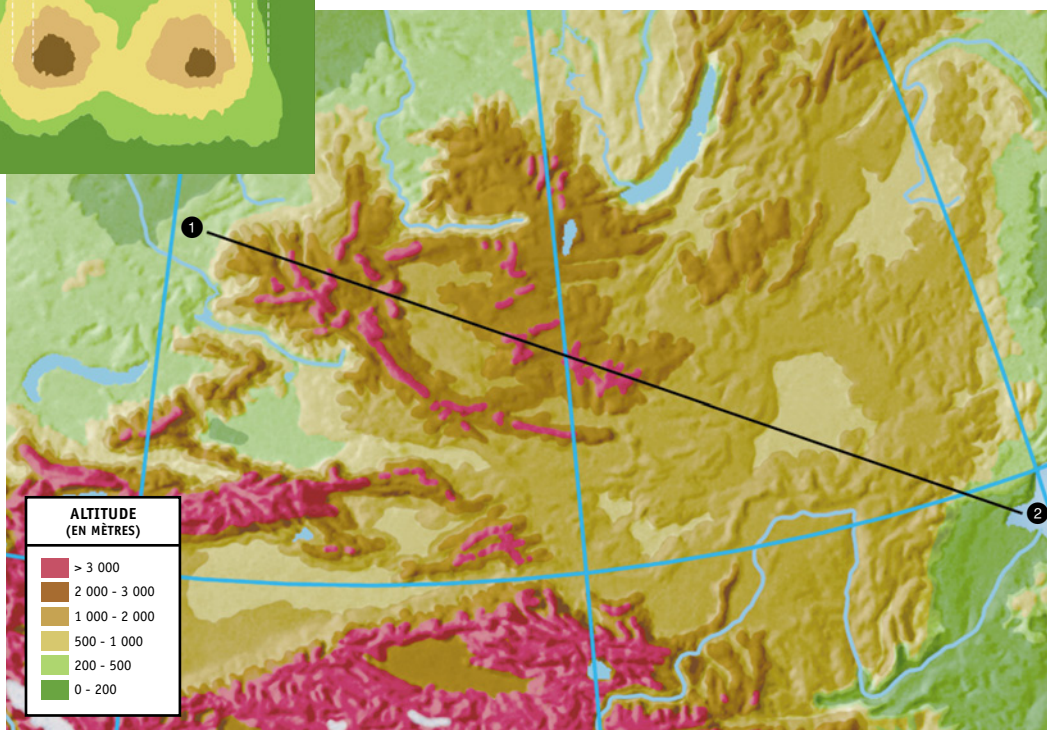
Conçue à grande échelle, la carte topographique ne couvre qu'une portion restreinte du territoire. Sa grande précision lui permet de représenter le relief du terrain à l'aide de courbes de niveau, ainsi qu'un grand nombre de détails naturels et humains : végétation, cours d'eau, éléments bâtis, routes, etc. Elle indique également les délimitations territoriales et le nom des lieux représentés.





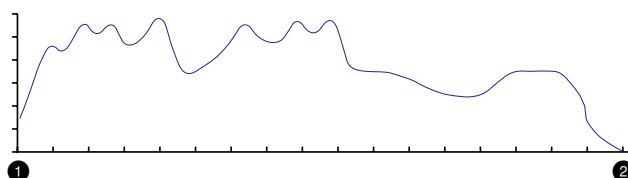
LES ÉCHELLES DE COULEURS

Dans les cartes physiques à plus petite échelle, les courbes de niveau sont rarement employées. Elles sont remplacées par des plages de couleurs correspondant à des intervalles d'altitude. La signification des couleurs est donnée en légende.

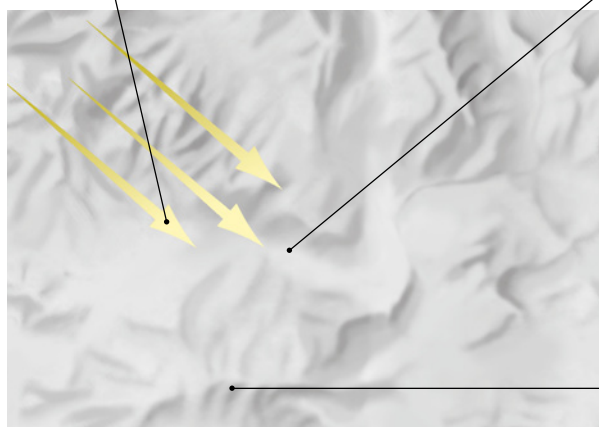


LE RELIEF EN PROFIL

La vue en coupe d'un terrain montre la variation de son relief le long d'une ligne droite tracée sur la carte.



La **source lumineuse** n'est pas explicitement indiquée sur la carte : seule l'orientation des ombres permet de l'imaginer.



vallée

L'ESTOMPAGE

L'estompage est une technique graphique donnant l'illusion du relief. Il s'agit pour le cartographe de simuler les effets d'une source lumineuse sur le paysage en estompant (c'est-à-dire en ombrant légèrement) les versants à l'ombre. Ce procédé ne donne aucune indication sur l'altitude, mais il permet de distinguer facilement les régions montagneuses des plaines et des plateaux. Les vallées et les sommets sont également reconnaissables.

arête

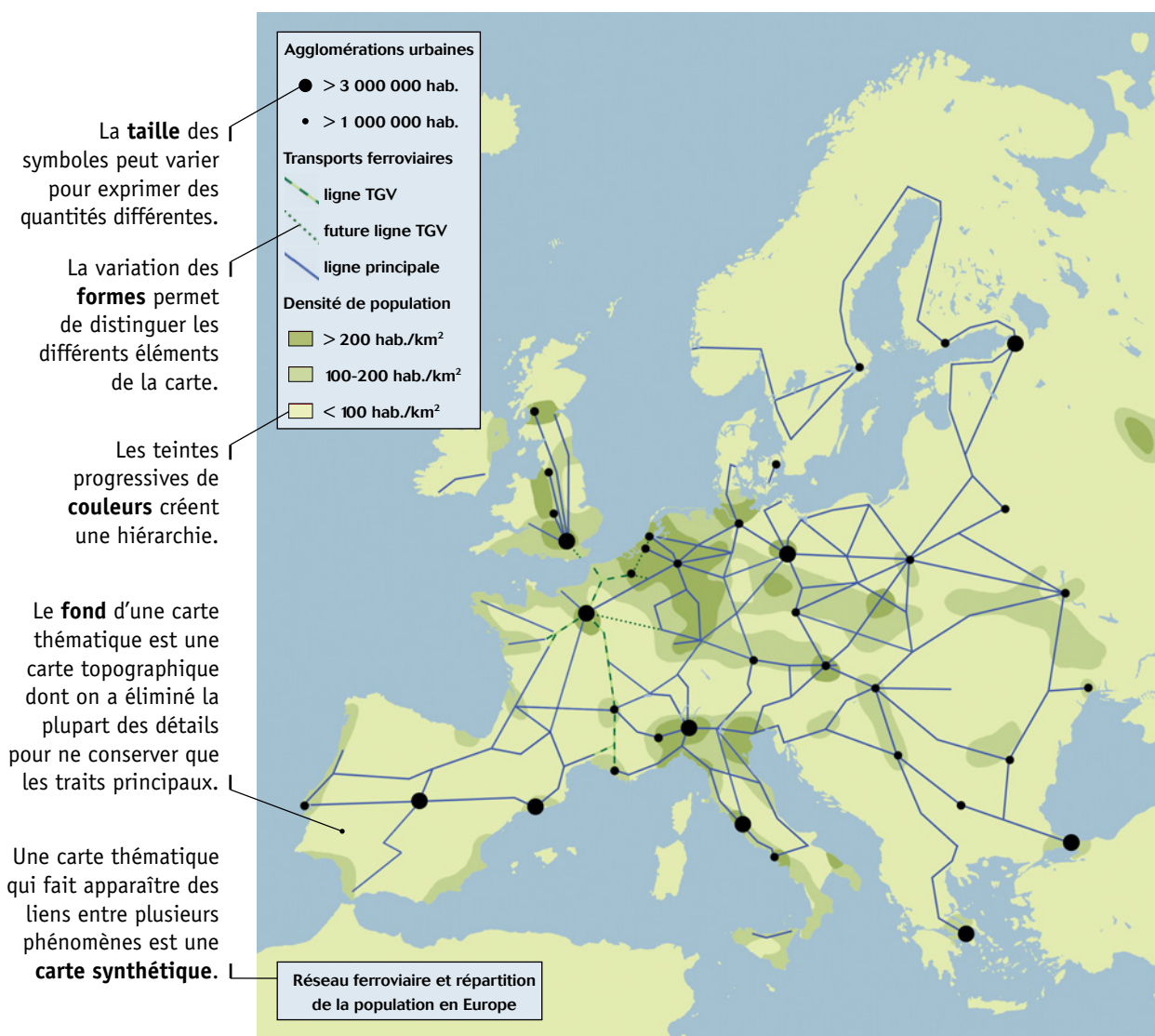
Les cartes thématiques

Une multitude d'applications

La cartographie ne se limite pas à montrer les aspects physiques d'un territoire. Certaines cartes sont capables de représenter des phénomènes quantitatifs ou qualitatifs très variés, pour peu qu'ils puissent être localisés géographiquement. Ces cartes, dites thématiques, utilisent un fond de carte topographique, mais elles négligent la plupart de leurs détails pour faire ressortir un phénomène bien précis à l'aide d'un véritable langage graphique. Climat, démographie, ressources naturelles, économie et même phénomènes variables dans le temps : les cartes thématiques sont capables de traiter les sujets les plus variés.

LE LANGAGE GRAPHIQUE DES CARTES THÉMATIQUES

Plus encore que les cartes topographiques, les cartes thématiques utilisent un langage graphique structuré. Les symboles visuels employés pour localiser un phénomène traduisent d'abord son type d'implantation, qui peut être ponctuel (ville), linéaire (ligne ferroviaire) ou zonal (densité de population). Les variations de taille, de forme ou de couleur distinguent les différents signes graphiques selon des critères quantitatifs, qualitatifs et même hiérarchiques.

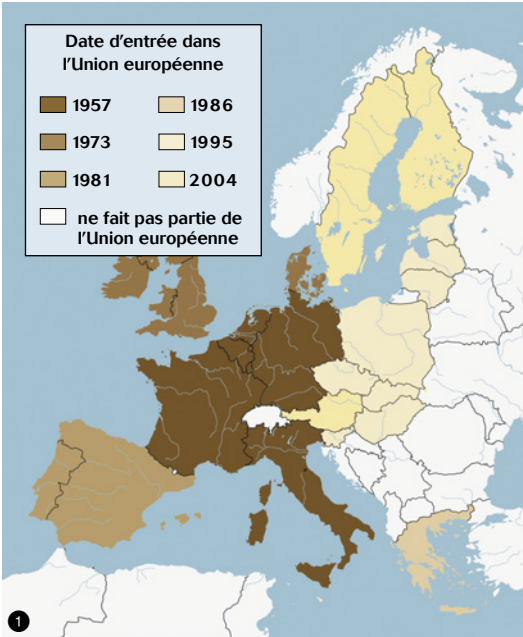


L'HISTOIRE PAR LES CARTES

Contrairement aux cartes topographiques, qui présentent la situation d'un territoire à un moment donné, les cartes thématiques peuvent exprimer l'évolution dans le temps d'un phénomène grâce à différentes techniques cartographiques.

La carte ❶ emploie une gamme de couleurs pour représenter la croissance de l'Union européenne au fur et à mesure des adhésions successives. La gradation des couleurs (dont chacune correspond à une date) donne une indication visuelle de la progression temporelle.

Dans la carte ❷, qui montre les déplacements des Tsiganes en Europe, l'évolution dans le temps est représentée par une série de flèches reliant les lieux où ce peuple nomade s'est successivement implanté. La date de la première arrivée des Tsiganes dans une ville est indiquée directement sur la carte, à côté du nom de la ville.

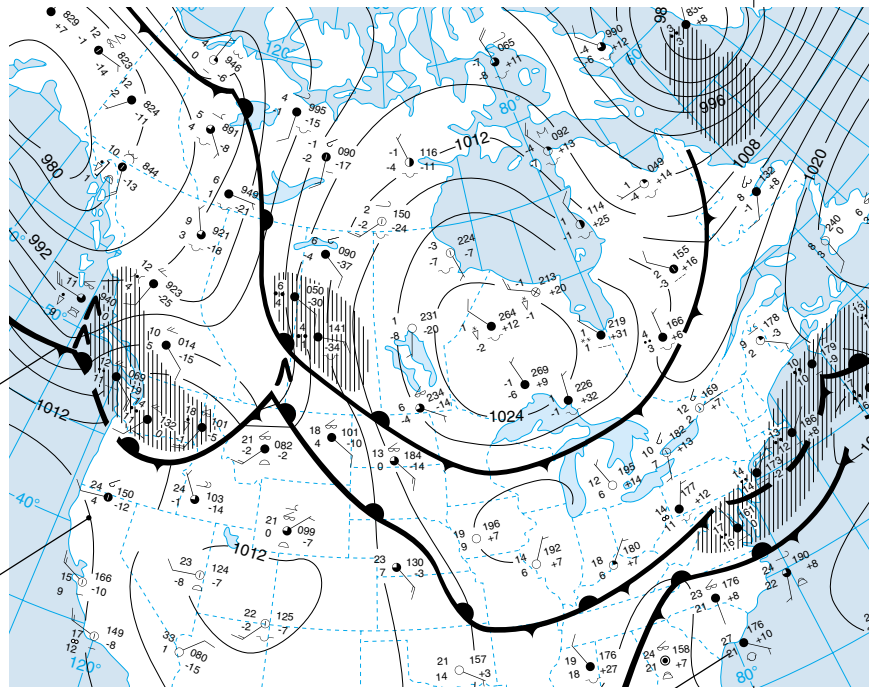


LES CARTES MÉTÉOROLOGIQUES

Les météorologues ont mis au point un système complexe de signes et de conventions graphiques, qui leur permet de représenter avec beaucoup de précision l'état atmosphérique d'une région à un moment donné. Les cartes météo ne comportent généralement pas de légendes, car ce système est codifié internationalement de manière très stricte.

Les **fronts atmosphériques** sont matérialisés par des lignes plus épaisses.

Les **isobares** sont des lignes qui joignent tous les points de même pression atmosphérique.



Des **symboles** indiquent le type de précipitations, ainsi que la force et la direction du vent dans chaque station météorologique.

La télédétection

Observer la Terre d'en haut

La plupart des structures et des phénomènes géologiques s'étendent sur des surfaces considérables, ce qui les rend impossibles à observer à l'échelle humaine. La télédétection, c'est-à-dire l'acquisition à distance de renseignements, fait appel à différentes techniques d'imagerie (photographie, radar, sonar) qui permettent de s'éloigner de la planète pour mieux l'examiner. Ces données ont des applications dans un grand nombre de domaines, de la cartographie à l'agriculture.



LA PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE

La photographie, qui capte les longueurs d'ondes dans le spectre du visible, constitue le système de télédétection le plus simple et le plus ancien. Les premières photos aériennes ont été prises à partir d'un ballon par le Français Félix Nadar en 1858.

L'ÉCHO AU SERVICE DE LA TÉLÉDÉTECTION

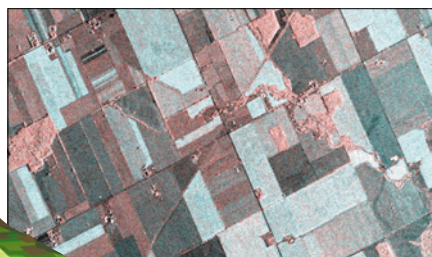
Les radars et les sonars sont des instruments de télédétection qui utilisent le principe de l'écho pour détecter des masses à distance. Dans les deux cas, il s'agit d'émettre des ondes dans une certaine fréquence, puis de capter et d'analyser la partie du rayonnement que l'objet réfléchit pour déterminer sa distance et sa position. Les données reçues sont utilisées pour produire automatiquement une image de la zone observée.

Installé à bord d'un avion, le **radar** (de l'anglais *Radio Detection and Ranging*, détection et estimation des ondes radio) émet des ondes en direction du sol.

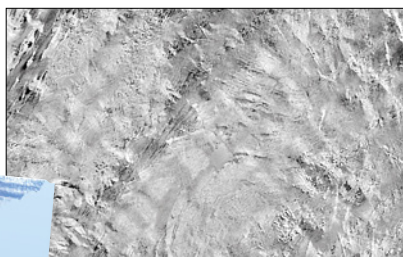
Les **ondes radio** émises par le radar sont en partie réfléchies par la cible.

trajectoire de l'avion

Surtout utilisé pour cartographier les fonds marins, le **sonar** (de l'anglais *Sound Navigation Ranging*, navigation et repérage par le son) est embarqué dans un navire.



Une image radar permet de distinguer différents types de végétation.

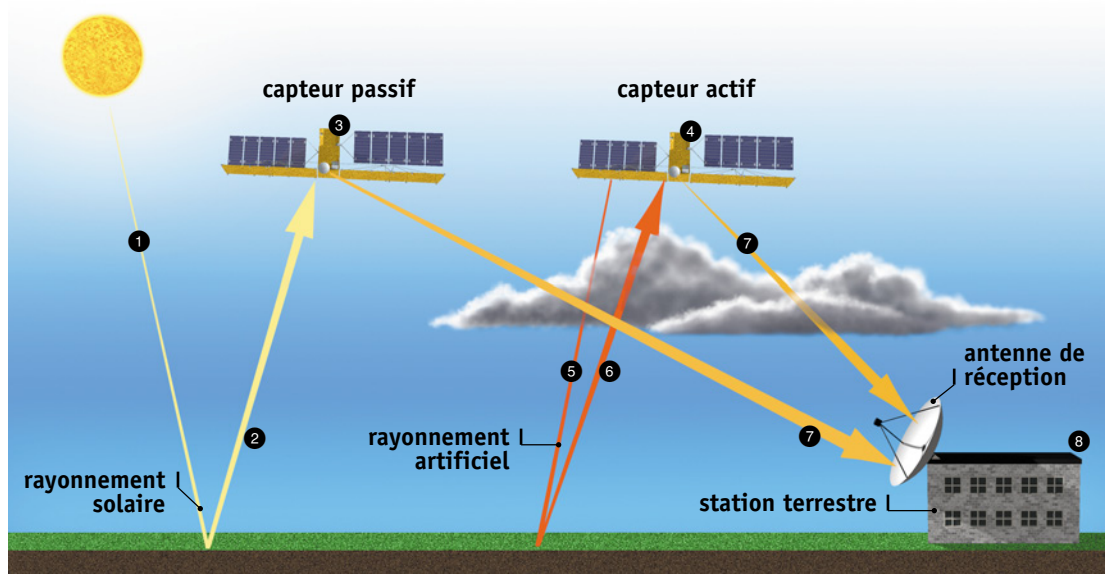


L'image sonar montre le relief sous-marin.

Les **ultrasons** émis par le sonar sont réfléchis par le fond de l'océan, ce qui permet de calculer précisément sa profondeur.

CAPTEURS PASSIFS ET ACTIFS

Les satellites qui observent la surface terrestre utilisent eux aussi la technique du radar. Dans le processus classique de télédétection, c'est le rayonnement ❶ naturel du Soleil, partiellement réfléchi ❷ par la plupart des surfaces, qui est recueilli par un capteur dit passif ❸. Mais les conditions atmosphériques empêchent parfois l'illumination de la cible par le Soleil. On utilise alors un capteur actif ❹, capable d'émettre des rayonnements électromagnétiques ❺ dans différentes fréquences et d'en recevoir la partie réfléchie ❻ par le sol. Dans les deux cas, le capteur communique ❼ ces données brutes à une station terrestre ❽, qui en fait l'analyse et l'interprétation.

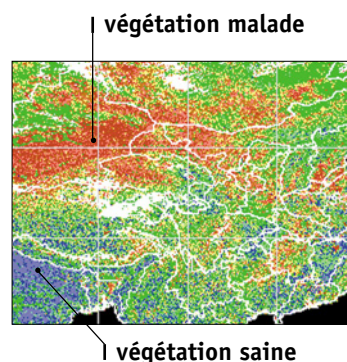
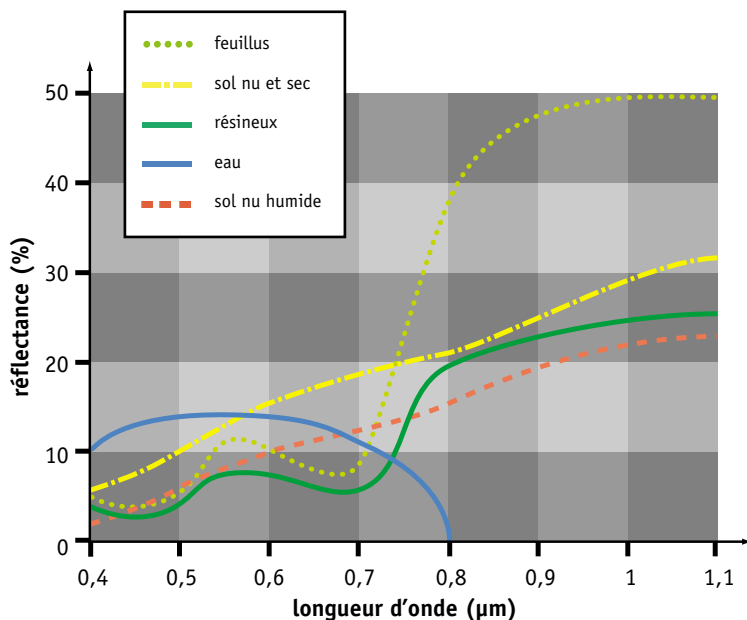


LA SIGNATURE SPECTRALE

Chaque objet émet et réfléchit des radiations électromagnétiques selon ses propriétés physiques. En mesurant ce rayonnement, on détermine la réflectance de l'objet, c'est-à-dire le rapport entre les radiations qu'il a reçues et celles qu'il a réfléchies dans une longueur d'onde donnée. Le comportement spectral d'un objet équivaut à une véritable signature.

DIFFÉRENCIER LES SURFACES

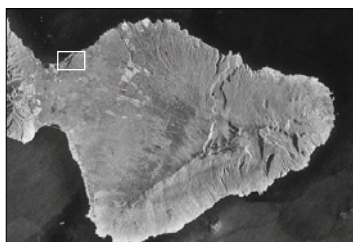
La signature spectrale des objets est parfois la seule manière de les distinguer lorsqu'on les observe de l'espace. Alors qu'une végétation saine captée dans le spectre infrarouge apparaît en bleu, des arbres malades présentent une couleur rouge.



Satellites et navettes

Des yeux dans l'espace

Jusqu'à une époque récente, on ne possédait pas de cartes très détaillées de l'ensemble de la planète, certaines régions étant difficiles d'accès et les conditions climatiques pouvant entraver le travail des avions chargés de photographier le sol. L'utilisation des radars par les satellites de télédétection permet désormais de dresser la cartographie précise et complète de la surface terrestre.



Une observation avec **faisceau standard** ① montre les grandes formations géologiques de l'île de Maui, dans l'archipel d'Hawaii.

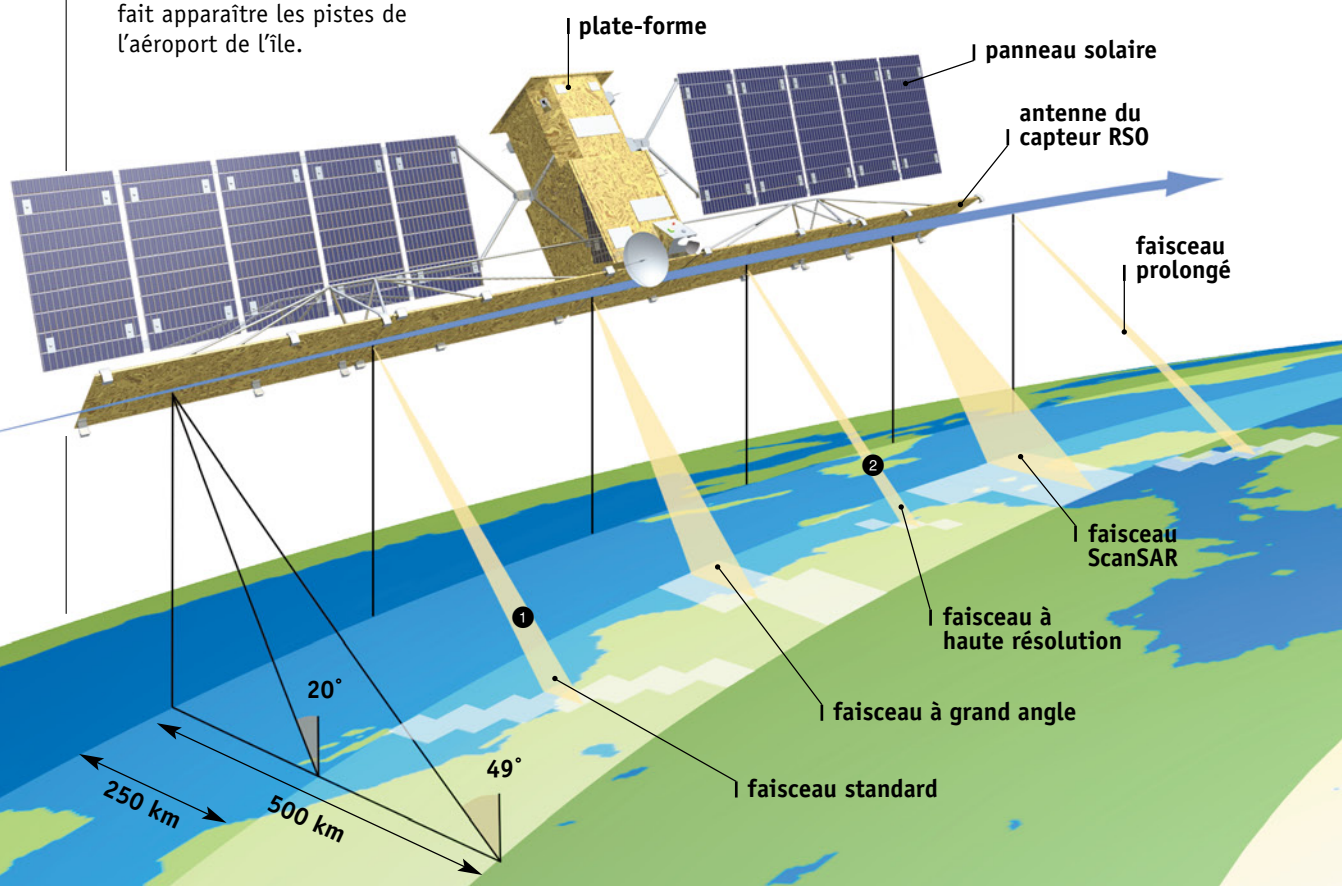
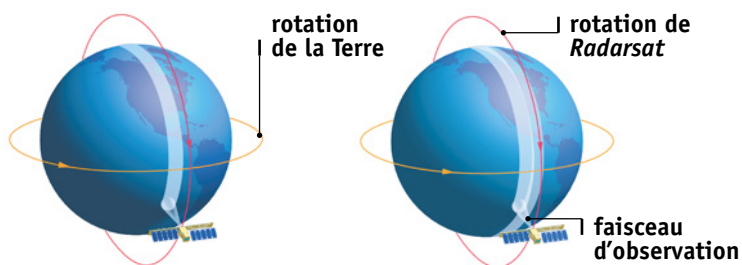


Un **faisceau à haute résolution** ② fait apparaître les pistes de l'aéroport de l'île.

RADARSAT SCRUTE LA TERRE

Lancé en 1995, le satellite canadien *Radarsat 1* surveille les changements environnementaux et l'utilisation des ressources terrestres. Puisqu'il décrit une orbite polaire et que la planète tourne vers l'est, chaque passage de *Radarsat* est décalé vers l'ouest par rapport au précédent. Cela lui permet de couvrir la totalité de la surface terrestre.

Capable de recueillir des images de la Terre de jour comme de nuit et dans toutes les conditions climatiques, son puissant radar à synthèse d'ouverture (RSO) peut diriger plusieurs types de faisceaux différents dans un couloir large de 500 km, à des résolutions variant entre 8 m et 100 m et sous des angles d'incidence de 20° à 49°.

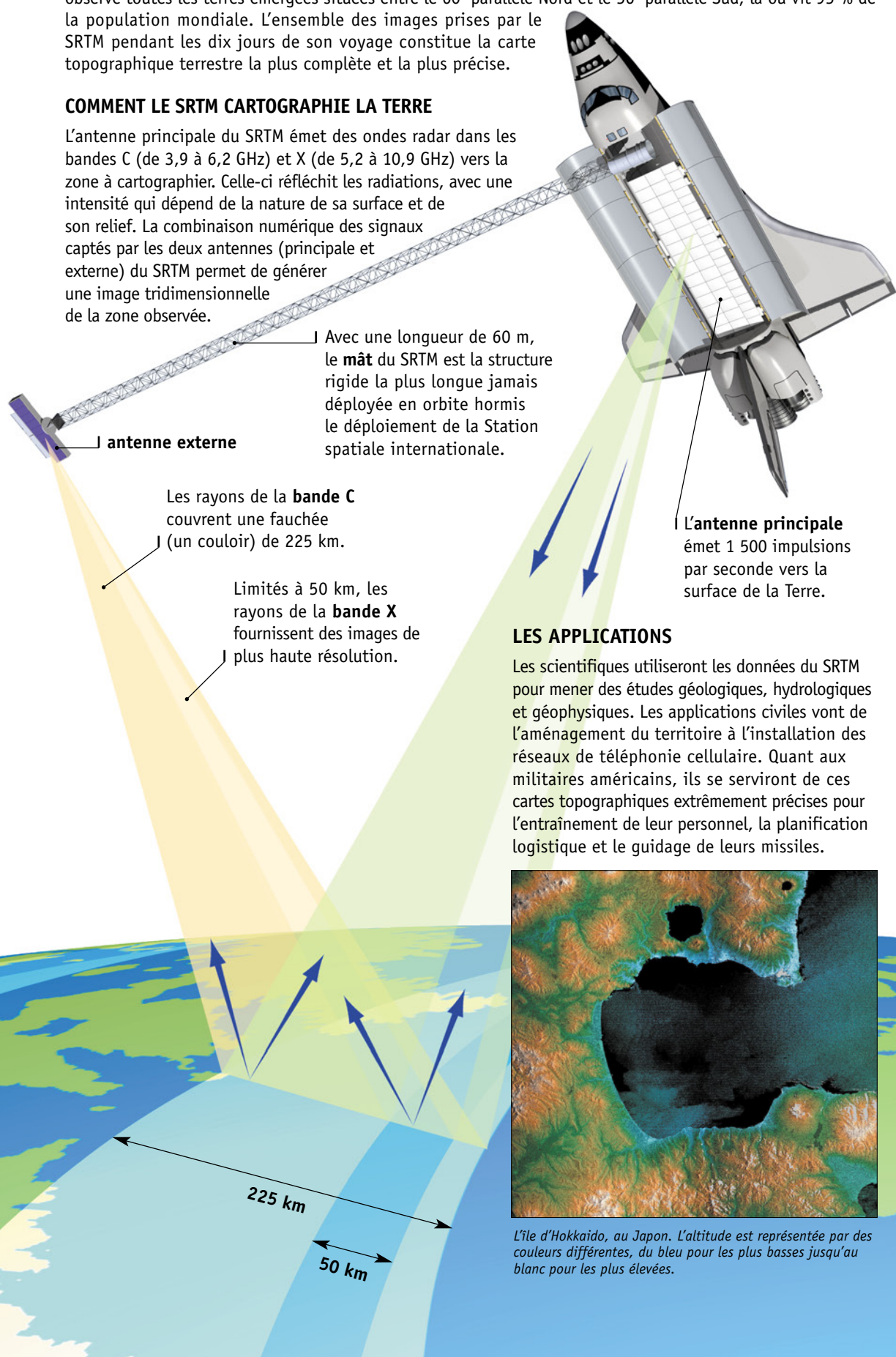


LA MISSION SRTM

En février 2000, la NASA a réalisé la plus ambitieuse mission de cartographie de la Terre, nommée SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Installé à bord de la navette spatiale *Endeavour*, le système SRTM a observé toutes les terres émergées situées entre le 60° parallèle Nord et le 56° parallèle Sud, là où vit 95 % de la population mondiale. L'ensemble des images prises par le SRTM pendant les dix jours de son voyage constitue la carte topographique terrestre la plus complète et la plus précise.

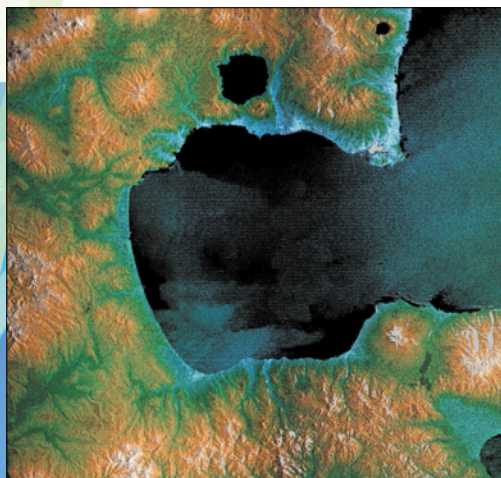
COMMENT LE SRTM CARTOGRAPHIE LA TERRE

L'antenne principale du SRTM émet des ondes radar dans les bandes C (de 3,9 à 6,2 GHz) et X (de 5,2 à 10,9 GHz) vers la zone à cartographier. Celle-ci réfléchit les radiations, avec une intensité qui dépend de la nature de sa surface et de son relief. La combinaison numérique des signaux captés par les deux antennes (principale et externe) du SRTM permet de générer une image tridimensionnelle de la zone observée.



LES APPLICATIONS

Les scientifiques utiliseront les données du SRTM pour mener des études géologiques, hydrologiques et géophysiques. Les applications civiles vont de l'aménagement du territoire à l'installation des réseaux de téléphonie cellulaire. Quant aux militaires américains, ils se serviront de ces cartes topographiques extrêmement précises pour l'entraînement de leur personnel, la planification logistique et le guidage de leurs missiles.



L'île d'Hokkaido, au Japon. L'altitude est représentée par des couleurs différentes, du bleu pour les plus basses jusqu'au blanc pour les plus élevées.

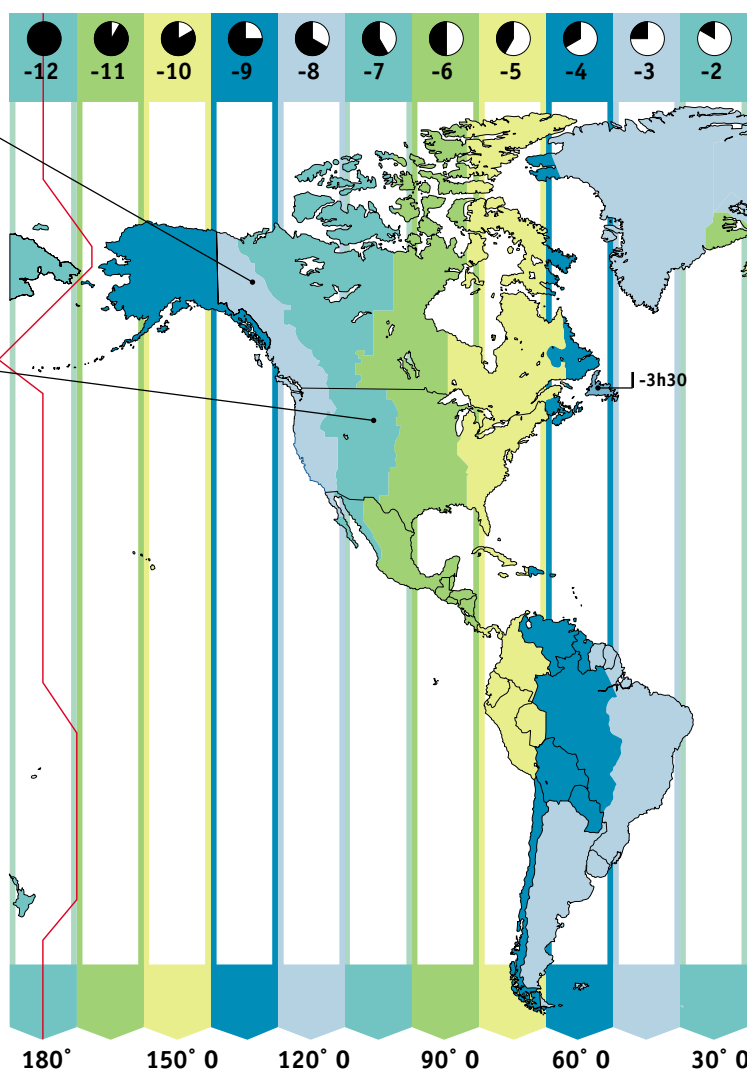
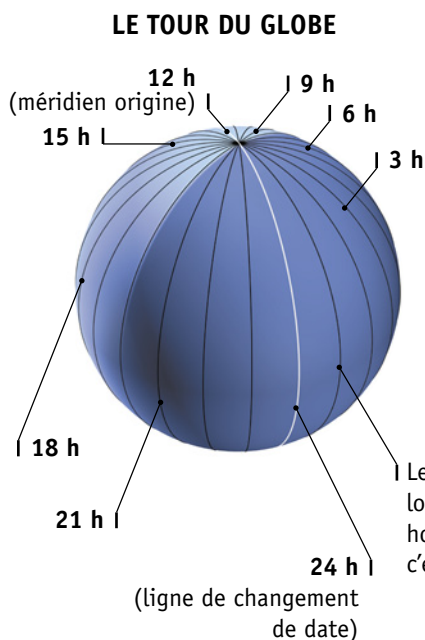
Les fuseaux horaires

Le monde en 24 heures

L'heure solaire, qui dépend de la position du Soleil dans le ciel, est différente sous chaque méridien terrestre; elle ne peut donc pas servir de référence commune. Le développement des transports et des communications au XIX^e siècle a amené les différents pays à instaurer un système international de mesure du temps qui permet d'établir facilement l'heure de n'importe quel point de la planète. Depuis 1883, la surface terrestre est ainsi divisée en 24 fuseaux horaires, des zones imaginaires réparties uniformément autour du globe. Chacune de ces zones possède une heure légale unique, déterminée en fonction de celle du fuseau horaire de Greenwich, en Angleterre.

Pour des raisons pratiques, les fuseaux horaires respectent souvent le découpage politique des États. Au **Canada**, ils suivent généralement la division des provinces.

Le territoire continental des **États-Unis**, qui s'étend sur 60°, occupe quatre fuseaux horaires : ceux de l'Est, du Centre, des Rocheuses et du Pacifique.



Les **méridiens** sont des lignes imaginaires reliant les deux pôles, le long desquelles l'heure solaire est la même. Chacun des 24 fuseaux horaires est délimité par deux méridiens espacés de 15° de longitude, c'est-à-dire un angle équivalent à 1/24 du tour de la Terre.

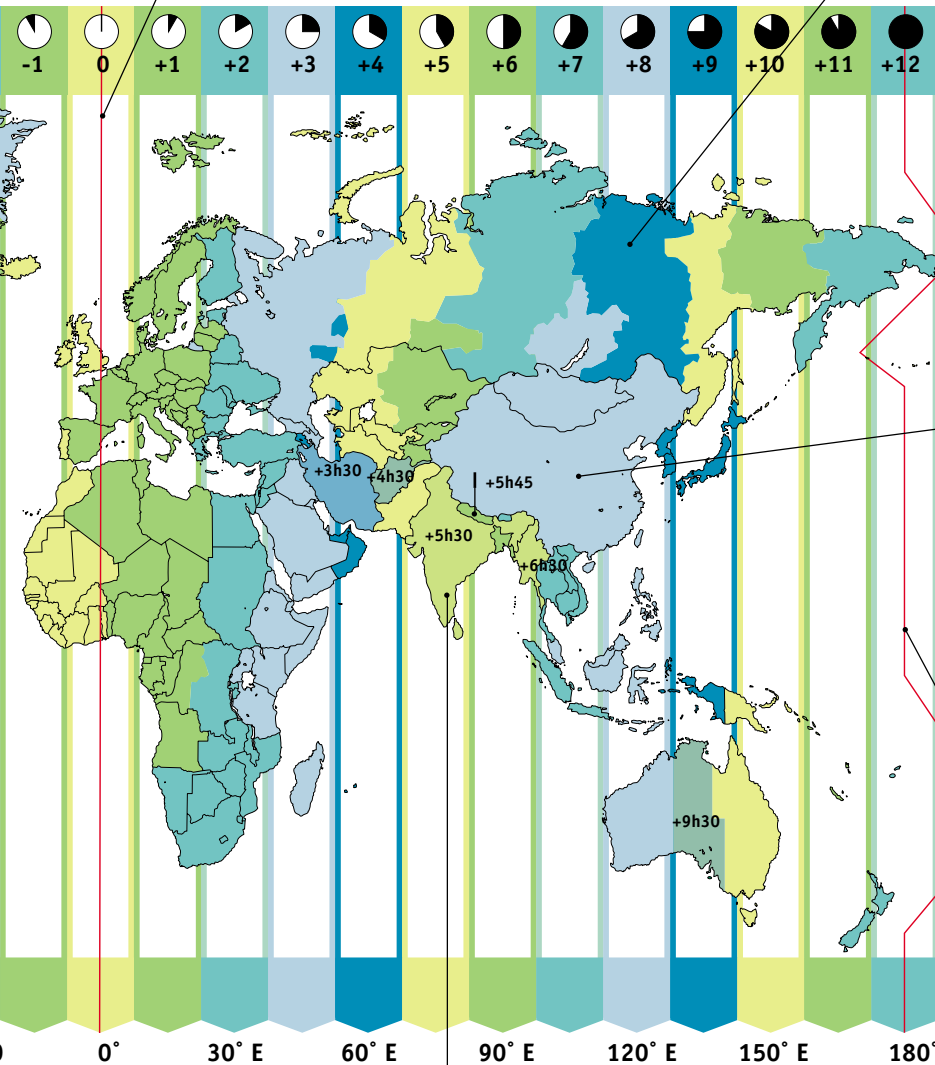
L'HEURE DE GREENWICH

La suprématie de la Grande-Bretagne au ^{xix}^e siècle a déterminé le choix du méridien de Greenwich, lieu d'un ancien observatoire (photo ci-contre) comme référence horaire universelle. L'heure civile de Greenwich, nommée Temps universel (TU), sert de repère à l'ensemble de la planète. Pour obtenir l'heure légale d'un lieu, on ajoute ou on retranche au TU un nombre d'heures équivalant au nombre de fuseaux qui le séparent de Greenwich.



Le méridien de Greenwich est appelé **méridien origine** car il sert conventionnellement de référence au découpage longitudinal de la planète.

Le territoire de la **fédération de Russie** est divisé en dix fuseaux horaires.



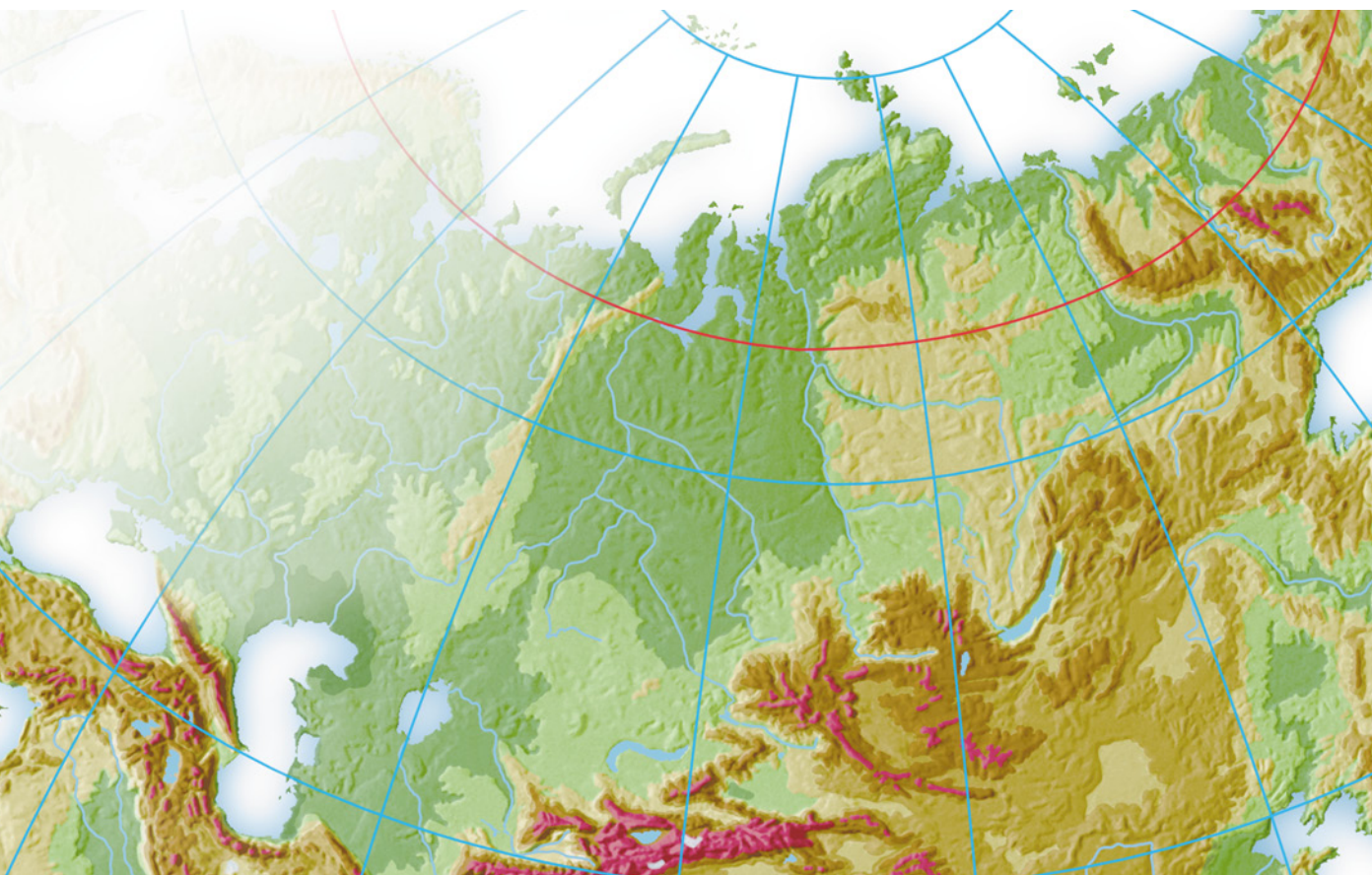
Certains pays, comme l'**Inde**, ont choisi une heure légale décalée d'une demi-heure par rapport aux fuseaux horaires voisins.

La **ligne de changement de date** est située dans l'océan Pacifique, à la longitude 180°, c'est-à-dire aux antipodes du méridien de Greenwich. En traversant cette limite, on avance ou on recule la date d'un jour selon que l'on se dirige vers l'est ou vers l'ouest. La ligne dévie parfois pour éviter que des pays ou des groupes d'îles ne soient partagés entre deux dates différentes.

La **Chine** ne comprend qu'un seul fuseau horaire, même si son territoire s'étend sur quelque 60° de longitude.



Contrairement aux innombrables îles de taille inférieure, qui doivent souvent leur existence à des phénomènes volcaniques locaux, les sept continents sont liés à de vastes ensembles tectoniques, les plaques continentales. De la cordillère des Andes au désert du Sahara, de la Grande Barrière de corail au fleuve Jaune, d'une banquise antarctique au cratère du Vésuve, **toute la diversité du globe** et de ses reliefs nous est donnée à voir dans cette section...





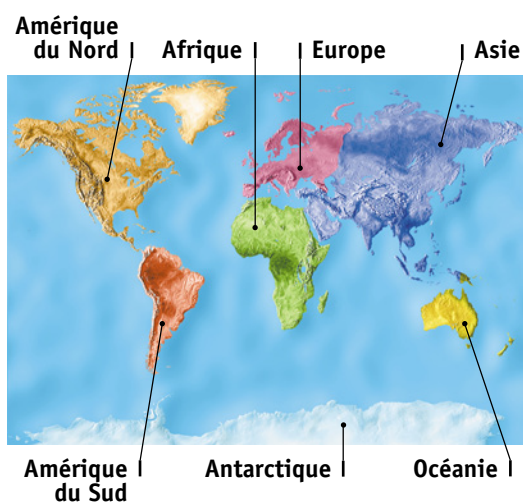
Les continents

- 110 **La configuration des continents**
Les terres émergées de la planète
- 111 **L'Antarctique**
Aux confins de la Terre
- 112 **L'Amérique du Nord**
Le continent des grands espaces
- 114 **L'Amérique du Sud**
Une terre de contrastes
- 116 **L'Europe**
Une péninsule au littoral découpé
- 118 **L'Asie**
Le plus vaste continent du globe
- 120 **L'Océanie**
Une multitude d'îles au cœur du Pacifique
- 122 **L'Afrique**
Un continent plat bordé de reliefs escarpés

La configuration des continents

Les terres émergées de la planète

Les continents sont de vastes étendues de terre entourées d'eau représentant environ le tiers de la surface du globe. Les principales caractéristiques de chacun (superficie, relief, mers intérieures, etc.) varient grandement. Leurs frontières exactes diffèrent aussi. Généralement, les géographes considèrent seulement la portion émergée des terres alors que les géologues prennent en considération les rebords des plateaux continentaux situés sous l'eau et se terminant par une pente escarpée au-delà de laquelle commence le bassin océanique.



LES SEPT CONTINENTS

On divise aujourd'hui le monde en sept continents : l'Europe, l'Asie, l'Afrique, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Océanie et l'Antarctique. Des raisons historiques et ethnologiques ont amené les géographes à séparer l'Europe et l'Asie, qui forment en réalité un seul et même continent (l'Eurasie). De même, on a parfois adjoint de façon arbitraire des îles avoisinantes à certains continents.

STRUCTURE GÉOLOGIQUE DES CONTINENTS

Au fil du temps, de nombreux éléments (tectonique des plaques, volcanisme, érosion, sédimentation, etc.) ont transformé le relief de la Terre et des continents. Malgré leurs différences, les continents possèdent tous une structure semblable avec des parties anciennes (plus stables) et des parties jeunes (plus actives). Leur assise consiste en un bouclier formé de roches datant de l'époque précambrienne autour duquel se trouvent des bassins sédimentaires et des chaînes de montagnes anciennes (aux formes arrondies, situées près du bouclier) ou récentes (aux formes abruptes, près des côtes). Une couverture volcanique s'y superpose par endroits.

Le **bouclier** (ou socle) comporte les structures géologiques les plus anciennes et se situe généralement à l'intérieur des continents.

Les **bassins sédimentaires** se situent dans des zones limitrophes qui accusent une dépression où se sont accumulés des sédiments.

Des **chaînes de montagnes** entourent le système continental et se trouvent à proximité du bouclier ou en bordure des côtes.

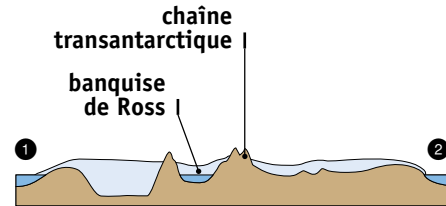


L'Antarctique

Aux confins de la Terre

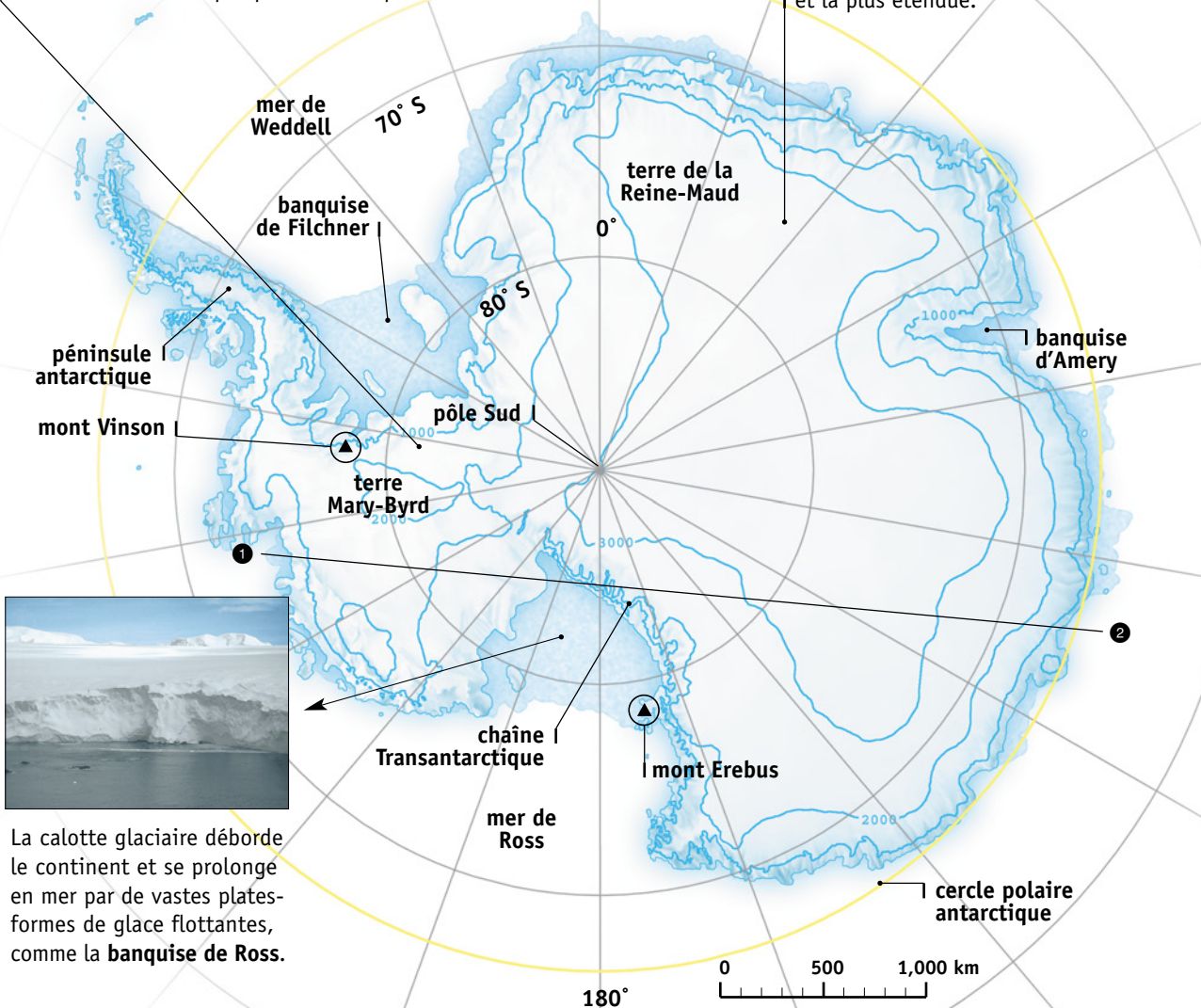
Seul continent inhabité, l'Antarctique est pourtant plus vaste que l'Europe ou l'Australie. D'une superficie totale de 14 200 000 km², il est recouvert à 98 % d'une calotte glaciaire qui atteint plus de 4 000 mètres d'épaisseur par endroits. Cette couche de glace, qu'on appelle un inlandsis, renferme 90 % des réserves d'eau douce du globe (30 millions de km³). Les quelques affleurements rocheux qui en émergent constituent les seuls espaces libres de glace.

L'ANTARCTIQUE EN CHIFFRES	
superficie totale	14 200 000 km ²
point le plus élevé	mont Vinson 5 140 m



L'Antarctique **occidental**, constitué surtout de bassins sédimentaires, est en majeure partie situé sous le niveau de la mer, formant de nombreuses îles bordières que la glace soude les unes aux autres. Dominé par quelques chaînes de montagnes, il est beaucoup moins étendu que l'Antarctique oriental et forme en quelque sorte une péninsule.

L'Antarctique **oriental**, qui forme le socle du continent, est la partie la plus ancienne et la plus étendue.



La calotte glaciaire déborde le continent et se prolonge en mer par de vastes plates-formes de glace flottantes, comme la **banquise de Ross**.

L'Amérique du Nord

Le continent des grands espaces

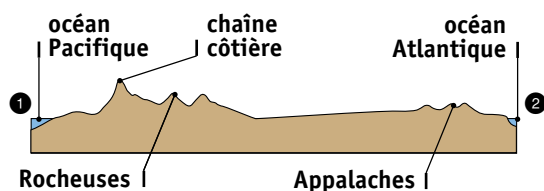
L'Amérique du Nord, qui représente environ 16 % des terres émergées de la planète, est délimitée par les océans Pacifique, Atlantique et Arctique. La partie la plus ancienne du continent, le bouclier canadien, borde la baie d'Hudson. Tout autour, les grands bassins hydrographiques (le Saint-Laurent et les Grands Lacs, le Mississippi et le Mackenzie) occupent la plate-forme nord-américaine.

Alors que les vieilles montagnes érodées des Appalaches constituent le principal relief de l'est du continent, l'ouest est marqué par une haute chaîne de montagnes (Rocheuses, Sierra Madre) qui longe toute la côte du Pacifique, de l'Alaska jusqu'au Mexique. Ce massif se prolonge par l'isthme de l'Amérique centrale qui, avec le chapelet d'îles formant les Petites et les Grandes Antilles, délimite la mer des Caraïbes.

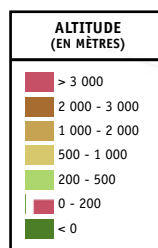
La cordillère occidentale comprend les montagnes Rocheuses, au nord, et la Sierra Madre, au sud. Le **mont McKinley**, situé en Alaska, est le plus haut sommet d'Amérique du Nord.



Profond fossé d'effondrement situé 86 m sous le niveau de la mer, la **Vallée de la Mort** (Death Valley), en Californie, est une zone exceptionnellement aride.



L'AMÉRIQUE DU NORD EN CHIFFRES	
superficie totale	24 235 583 km ²
point le plus élevé	mont McKinley 6 194 m
point le moins élevé	Vallée de la Mort -86 m
fleuve le plus long	Mississippi-Missouri 5 970 km
lac le plus grand	lac Supérieur 82 100 km ²
île la plus grande	Groenland 2 175 000 km ²



0 500 1,000 km

80° N
160° O

détroit de Bering

60° N
golfe d'Alaska

île de Vancouver

40° N

océan Pacifique

tropique du Cancer

20° N



océan Arctique

140° 0

120° 0

100° 0

80° 0

60° 0

40° 0

1000

2000

3000

terre de Baffin

cercle polaire arctique

Étendu sur plus de 2 millions de kilomètres carrés, le **Groenland** est la plus grande île du monde, exception faite de l'Australie, qui est souvent considérée comme un continent.

Mackenzie

baie d'Hudson

montagnes Rocheuses

bouclier canadien

Le **lac Supérieur** est le plus vaste des Grands Lacs. Cette véritable mer intérieure constitue la plus grande surface d'eau douce de la planète.

Saint-Laurent

île de Terre-Neuve

océan Atlantique

Grand Canyon

L'isthme de Panamá est une étroite bande de terre de 50 km de large. Le **canal de Panamá**, qui fait communiquer la mer des Caraïbes avec l'océan Pacifique, constitue la limite méridionale de l'Amérique centrale.

Missouri

Appalaches

Sierra Madre

Rio Grande

Mississippi

golfe du Mexique



golfe de Californie

Amérique centrale

Grandes Antilles

mer des Caraïbes

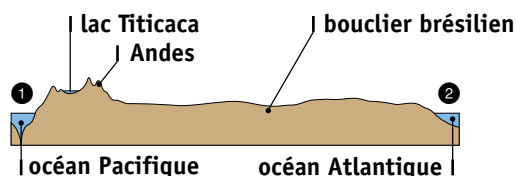
Petites Antilles

L'Amérique du Sud

Une terre de contrastes

L'Amérique du Sud regroupe 12 % des terres du globe. Délimitée par l'océan Pacifique et l'océan Atlantique, elle présente un relief similaire à celui de l'Amérique du Nord. On retrouve à l'est du continent un socle ancien, représenté au nord par le bouclier des Guyanes, au centre par le bouclier brésilien et au sud par le plateau patagonien. Ces plateaux sont séparés par des dépressions que baignent de grands fleuves : l'Orénoque, l'Amazone et le Paraná. Les grands massifs montagneux se retrouvent sur la côte ouest : la cordillère des Andes longe le continent du nord au sud, depuis le Venezuela jusqu'au sud du Chili, où la côte extrêmement découpée témoigne du passage des glaciers. Des hauts sommets des Andes jusqu'aux terres froides de la Patagonie, en passant par les plaines équatoriales de l'Amazonie, l'Amérique du Sud est bel et bien une terre de contrastes.

La **cordillère des Andes** représente le massif montagneux le plus élevé du globe après l'Himalaya. S'étendant sur près de 8 000 km, cette chaîne est la plus longue du monde. On y trouve près d'une cinquantaine de sommets dépassant 6 000 m d'altitude.



L'AMÉRIQUE DU SUD EN CHIFFRES	
superficie totale	17 814 000 km ²
point le plus élevé	Aconcagua 6 960 m
point le moins élevé	péninsule Valdés -40 m
fleuve le plus long	Amazone 6 570 km
lac le plus grand	Maracaibo 13 000 km ²
chutes les plus hautes	chutes Angel 979 m

ALTITUDE (EN MÈTRES)
> 3 000
2 000 - 3 000
1 000 - 2 000
500 - 1 000
200 - 500
0 - 200
< 0

0 500 1,000 km

équateur

10° S

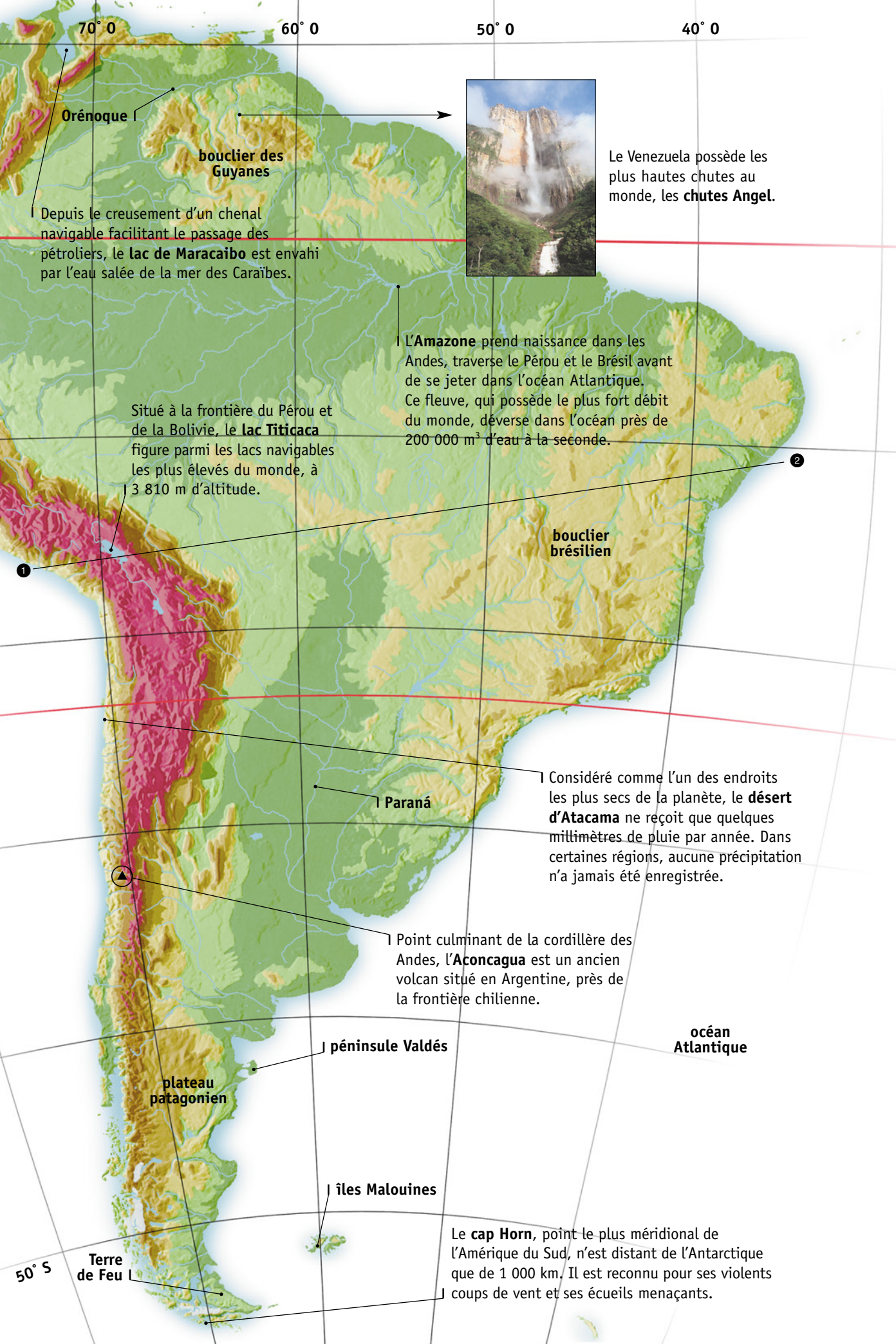
20° S

tropique du
Capricorne

30° S

océan
Pacifique

40° S



70° 0

60° 0

50° 0

40° 0

Orénoque

bouclier des
Guyanes

Depuis le creusement d'un chenal navigable facilitant le passage des pétroliers, le **lac de Maracaibo** est envahi par l'eau salée de la mer des Caraïbes.



Le Venezuela possède les plus hautes chutes au monde, les **chutes Angel**.

Situé à la frontière du Pérou et de la Bolivie, le **lac Titicaca** figure parmi les lacs navigables les plus élevés du monde, à 3 810 m d'altitude.

L'**Amazone** prend naissance dans les Andes, traverse le Pérou et le Brésil avant de se jeter dans l'océan Atlantique. Ce fleuve, qui possède le plus fort débit du monde, déverse dans l'océan près de 200 000 m³ d'eau à la seconde.

bouclier
brésilien

Paraná

Considéré comme l'un des endroits les plus secs de la planète, le **désert d'Atacama** ne reçoit que quelques millimètres de pluie par année. Dans certaines régions, aucune précipitation n'a jamais été enregistrée.

Point culminant de la cordillère des Andes, l'**Aconcagua** est un ancien volcan situé en Argentine, près de la frontière chilienne.

péninsule Valdés

plateau
patagonien

océan
Atlantique

îles Malouines

Terre de Feu

Le **cap Horn**, point le plus méridional de l'Amérique du Sud, n'est distant de l'Antarctique que de 1 000 km. Il est reconnu pour ses violents coups de vent et ses écueils menaçants.

50° S

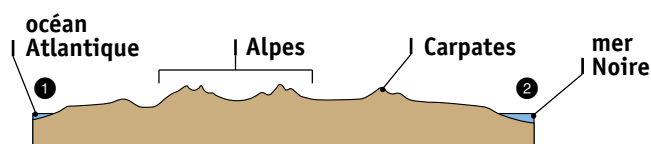
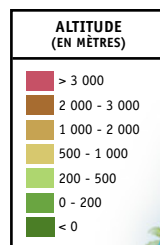
L'Europe

Une péninsule au littoral découpé

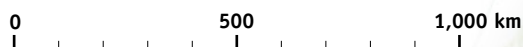
Extrémité occidentale du vaste ensemble continental eurasiatique, l'Europe est faiblement étendue (7 % des terres émergées de la planète). Son territoire très découpé est étroitement imbriqué dans les mers environnantes (Méditerranée, mer Noire, mer Baltique, mer du Nord), où se trouvent de nombreuses îles (îles Britanniques, Sicile, etc.).

L'Europe se divise en quatre grands systèmes : les montagnes assez peu élevées du nord-ouest, constituées de plissements géologiques anciens et marquées par l'empreinte glaciaire ; les grandes plaines septentrionales ; les vieilles montagnes centrales érodées (Massif central, Oural) ; enfin, l'Europe alpino-méditerranéenne, au sud, formée de hautes chaînes de montagnes (Pyrénées, Alpes et Carpates).

L'EUROPE EN CHIFFRES	
superficie totale	10 400 000 km ²
point le plus élevé	Elbrous 5 642 m
point le moins élevé	delta de la Volga -28 m
fleuve le plus long	Volga 3 690 km
lac le plus grand	Ladoga 17 600 km ²



Carrefour entre l'Europe méridionale, l'Afrique du Nord et le Proche-Orient, la **Méditerranée** communique avec l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar. C'est une mer dont les marées sont faibles et la salinité élevée.



10° 0

0°

détroit de Gibraltar



De profondes vallées, nommées fjords, pénètrent les côtes de Norvège. La plus longue d'entre elles, le **Sognefjord**, s'étend sur plus de 200 km.

presqu'île de Kola

Les **montagnes de l'Oural**, en Russie, marquent la frontière entre l'Europe et l'Asie.

golfe de Botnie

lac Ladoga

Les eaux de la **Volga**, le plus long fleuve d'Europe, traversent les vastes plaines de Russie avant de se jeter dans la mer Caspienne.

mer Baltique

lac Vänern

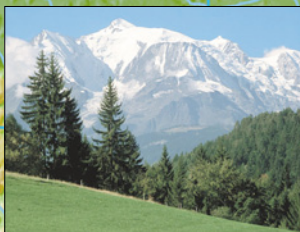
mer du Nord

péninsule du Jylland

Vistule

Rhin

Elbe



Étendues sur 1 200 km de longueur, les Alpes forment le plus important système montagneux d'Europe de l'Ouest. Elles culminent au **mont Blanc** (4 808 m), à la frontière de la France et de l'Italie.

Dniepr

Aux confins de l'Europe, le **mont Elbrous** s'élève à 5 642 m d'altitude, ce qui en fait le point culminant du continent.

Don

Alpes

Danube

Carpates

mer Noire

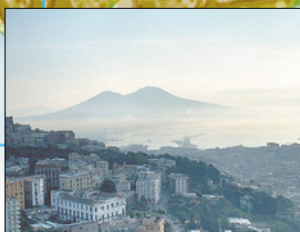
Corse

Sardaigne

Sicile

Etna

Située près du point de rencontre des plaques eurasiatique et africaine, l'Italie connaît une activité volcanique importante avec l'Etna, le Stromboli et le **Vésuve**.



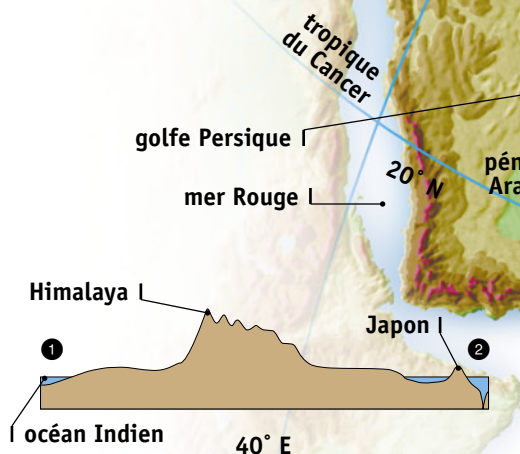
L'Asie

Le plus vaste continent du globe

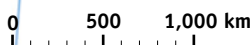
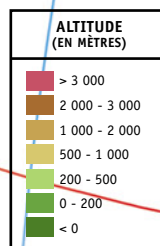
Formant les quatre cinquièmes de l'Eurasie, l'Asie est la plus vaste région du monde (32 % des terres émergées de la planète). Le relief est constitué en partie de boucliers très anciens : la péninsule arabique et la péninsule indienne, situées en bordure de l'océan Indien, et le plateau de Sibérie centrale. Les steppes du Turkestan et la plaine de Sibérie occidentale sont des régions basses formées de couches sédimentaires. L'élément dominant demeure cependant les imposantes chaînes de montagnes qui traversent le continent d'ouest en est (Hindu Kuch, Himalaya) et qui se prolongent dans l'océan Pacifique pour former l'Indonésie et les Philippines au sud, le Japon et le Kamtchatka au nord.

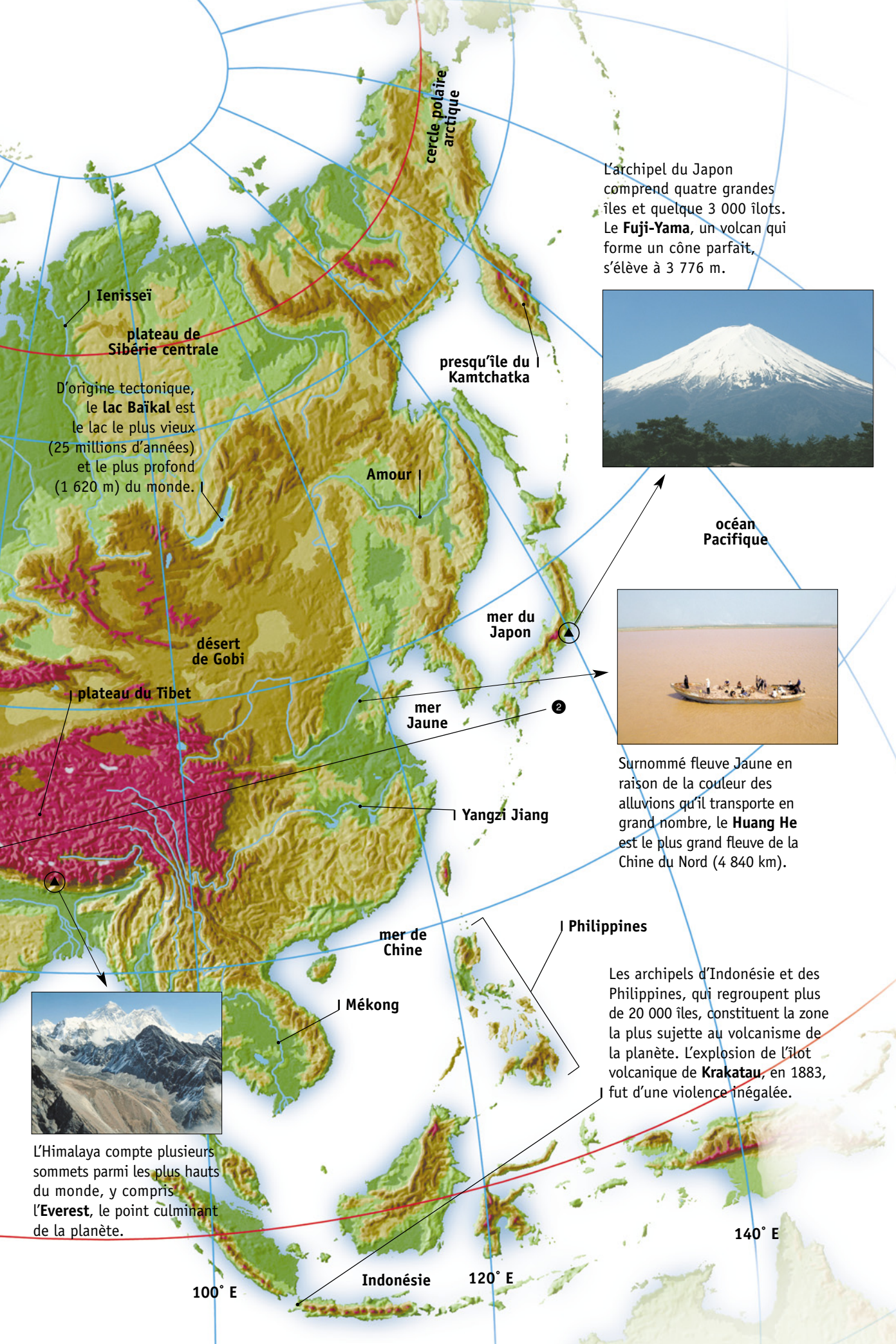
Sans accès à l'océan, la **mer Caspienne** constitue le plus vaste lac du monde. Elle est située à 28 m sous le niveau de la mer.

L'endroit le moins élevé de toutes les terres émergées du monde se trouve à près de 400 m en dessous du niveau de la mer : il s'agit de la **mer Morte**, au Proche-Orient.



L'ASIE EN CHIFFRES	
superficie totale	44 614 000 km ²
point le plus élevé	Everest 8 848 m
point le moins élevé	mer Morte -396 m
fleuve le plus long	Yangzi Jiang 6 300 km
lac le plus grand	mer Caspienne 386 400 km ²





cercle polaire arctique

L'archipel du Japon comprend quatre grandes îles et quelque 3 000 îlots. Le **Fuji-Yama**, un volcan qui forme un cône parfait, s'élève à 3 776 m.



Ienisseï

plateau de Sibérie centrale

D'origine tectonique, le **lac Baïkal** est le lac le plus vieux (25 millions d'années) et le plus profond (1 620 m) du monde.

presqu'île du Kamtchatka

Amour

désert de Gobi

plateau du Tibet

océan Pacifique

mer du Japon



mer Jaune

Yangzi Jiang

Surnommé fleuve Jaune en raison de la couleur des alluvions qu'il transporte en grand nombre, le **Huang He** est le plus grand fleuve de la Chine du Nord (4 840 km).

mer de Chine

Philippines



L'Himalaya compte plusieurs sommets parmi les plus hauts du monde, y compris l'**Everest**, le point culminant de la planète.

Mékong

Les archipels d'Indonésie et des Philippines, qui regroupent plus de 20 000 îles, constituent la zone la plus sujette au volcanisme de la planète. L'explosion de l'îlot volcanique de **Krakatau**, en 1883, fut d'une violence inégalée.

100° E

Indonésie

120° E

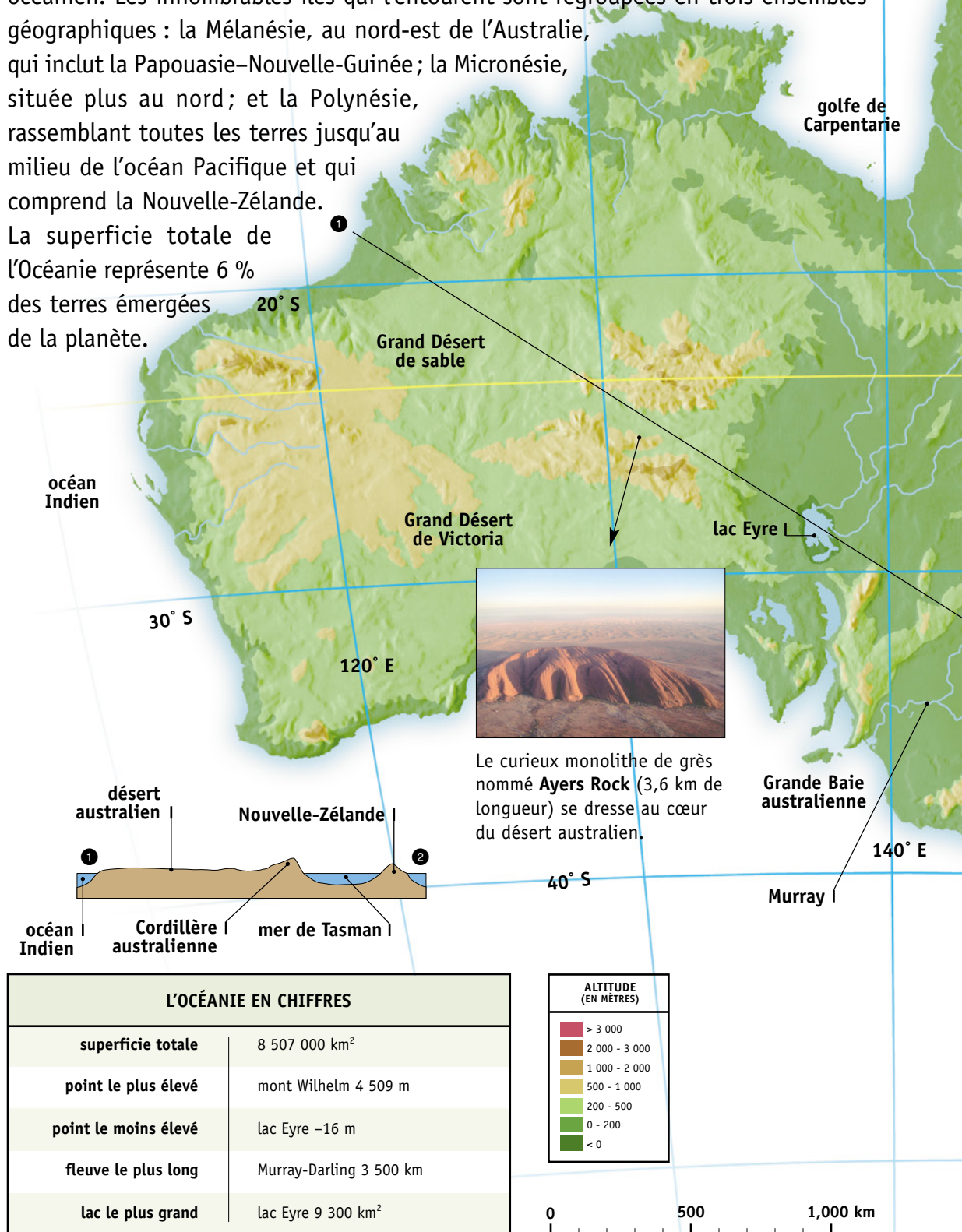
140° E

L'Océanie

Une multitude d'îles au cœur du Pacifique

À l'inverse des autres continents, l'Océanie ne désigne pas un territoire entouré de mers, mais plutôt une profusion d'îles éparpillées entre l'océan Pacifique et l'océan Indien. Avec ses 7 682 000 km², l'Australie constitue le véritable continent océanien. Les innombrables îles qui l'entourent sont regroupées en trois ensembles géographiques : la Mélanésie, au nord-est de l'Australie, qui inclut la Papouasie-Nouvelle-Guinée ; la Micronésie, située plus au nord ; et la Polynésie, rassemblant toutes les terres jusqu'au milieu de l'océan Pacifique et qui comprend la Nouvelle-Zélande.

La superficie totale de l'Océanie représente 6 % des terres émergées de la planète.



Seule la portion orientale de l'île de **Nouvelle-Guinée** (Papouasie-Nouvelle-Guinée) fait partie de l'Océanie.

mont
Wilhelm

îles Salomon



La **Grande Barrière de corail** longe la côte nord-est de l'Australie sur plus de 2 000 km. Unique au monde, cette chaîne de récifs coralliens est désormais une zone protégée.

Comme de nombreuses îles d'origine volcanique du Pacifique, l'archipel de **Vanuatu** a été formé par accumulation de lave.

Fidji

Nouvelle-Calédonie

océan
Pacifique

tropique du Capricorne

Darling

Cordillère
australienne

La Nouvelle-Zélande est composée de deux îles montagneuses séparées par le **détroit de Cook**. Dominée par le cratère du mont Ruapehu (2 796 m), l'île du Nord est marquée par l'activité volcanique, tandis que de profondes vallées glaciaires entaillent la longue chaîne des Alpes néo-zélandaises qui traverse l'île du Sud.

mont
Ruapehu

Alpes
néo-zélandaises

160° E

180° E

détroit
de Bass

mer de
Tasman

Tasmanie

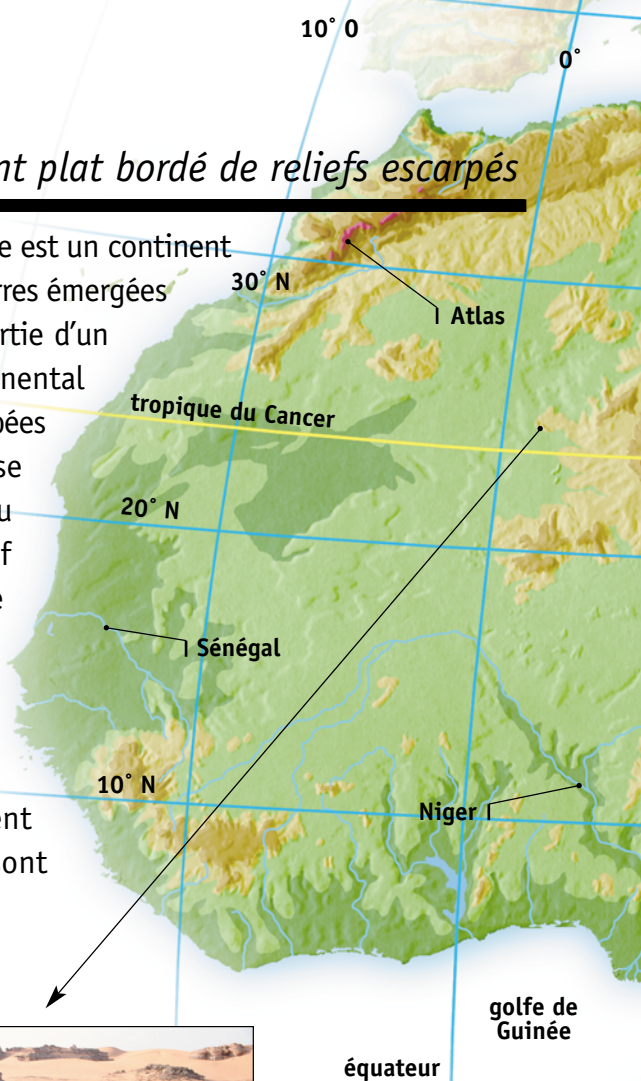
La Cordillère australienne est une longue chaîne de montagnes s'étirant sur plus de 3 500 km et qui forme le rebord oriental de l'Australie. Le **mont Kosciuszko**, qui culmine à 2 228 m, constitue le sommet de l'île.

2

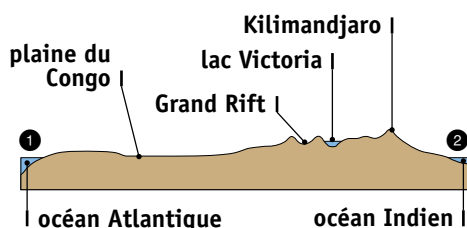
L'Afrique

Un continent plat bordé de reliefs escarpés

Traversée en son centre par l'équateur, l'Afrique est un continent massif couvrant 30 365 000 km² (20 % des terres émergées du globe). Elle est constituée en majeure partie d'un socle très ancien, formant un plateau continental qui s'achève par des côtes rectilignes et escarpées comptant très peu d'îles. Les montagnes se concentrent au nord du continent (Atlas), au sud (Drakensberg) et surtout à l'est (Massif éthiopien), où elles sont entaillées par une suite de fossés d'effondrement, le Grand Rift. La zone intertropicale, couverte de forêts et de savanes, est drainée par de puissants fleuves (Congo, Niger), alors que les régions situées sous les tropiques, où se retrouvent les déserts (Sahara, Namib, Kalahari), en sont pratiquement privées.



Avec une superficie de plus de huit millions de kilomètres carrés, le **Sahara** est le plus grand désert du monde. Il s'étend de l'océan Atlantique à la mer Rouge et couvre la plus grande partie du Nord de l'Afrique.



L'AFRIQUE EN CHIFFRES	
superficie totale	30 365 000 km ²
point le plus élevé	Kilimandjaro 5 895 m
point le moins élevé	lac Assal -156 m
fleuve le plus long	Nil 6 670 km
lac le plus grand	Victoria 69 500 km ²

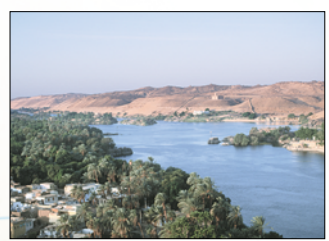
ALTITUDE (EN MÈTRES)
> 3 000
2 000 - 3 000
1 000 - 2 000
500 - 1 000
200 - 500
0 - 200
< 0

0 500 1,000 km



10° E 20° E 30° E 40° E

mer Méditerranée



Plus long fleuve du monde, le **Nil** prend sa source aux abords du lac Victoria et se jette dans la Méditerranée. Seul fleuve à traverser le désert du Sahara, il irrigue le Soudan et l'Égypte par d'importantes crues annuelles.

La faille tectonique du **Grand Rift** traverse l'Afrique orientale, de la mer Rouge à l'embouchure du Zambèze. Les plus hauts sommets (Kilimandjaro) et les plus grands lacs (Victoria, Tanganyika, Malawi) de l'Afrique s'y trouvent.



Hoggar

Tibesti

lac Tchad

mer Rouge

lac Assal

50° E

Massif éthiopien

lac Victoria

Le sommet enneigé du **Kilimandjaro**, point culminant de l'Afrique, cache un cratère toujours actif.



lac Tanganyika

lac Malawi

canal du Mozambique

Zambèze

désert du Namib

désert du Kalahari

30° S

Drakensberg

L'île de **Madagascar** s'étend sur 1 600 km du nord au sud et sur 500 km de l'ouest à l'est. Son isolement au large de la côte mozambicaine lui vaut de posséder une faune et une flore uniques.

océan Indien

Glossaire

abrasion

Usure mécanique d'une roche par frottement avec un solide.

agrégat

Ensemble d'éléments distincts unis solidement.

alizé

Vent régulier soufflant d'est en ouest dans la zone intertropicale, et notamment au-dessus des océans Pacifique et Atlantique.

alluvions

Matériaux solides (sable, gravier, limon, galets) transportés et déposés par un cours d'eau.

altitude

Distance verticale d'un point par rapport à un niveau de référence, en général le niveau moyen de la mer.

amplitude

Différence entre les valeurs extrêmes d'un phénomène variable : température, marées, vagues, etc.

archipel

Groupe d'îles.

arc insulaire

Groupe d'îles volcaniques alignées parallèlement à une fosse sous-marine.

arête

Crête effilée d'une montagne, séparant deux vallées glaciaires.

atmosphère

Couche gazeuse qui entoure la Terre.

baie

Partie plus ou moins ouverte d'une étendue ou d'un cours d'eau qui pénètre à l'intérieur des terres. Une baie est en général plus petite qu'un golfe.

banquise

Vaste couche de glace flottant sur les mers des régions polaires.

bassin hydrographique

Territoire drainé par un fleuve et par ses affluents.

bathymétrie

Mesure de la profondeur des mers.

canyon

Vallée étroite et profonde aux parois abruptes, généralement creusée dans un plateau calcaire.

canyon sous-marin

Gorge sous-marine creusée dans le plateau continental par le courant des grands fleuves ou par des glissements de terrain.

cercle polaire

Ligne imaginaire située sur le parallèle 66° 34' de latitude nord (cercle polaire arctique) ou sud (cercle polaire antarctique). Il constitue la limite de la zone polaire dans laquelle le jour dure vingt-quatre heures au solstice d'été et où le Soleil n'apparaît pas au solstice d'hiver.

chaîne de montagnes

Ensemble allongé de montagnes reliées entre elles et dirigées dans la même direction.

champ magnétique

Région à l'intérieur de laquelle une force magnétique existe.

colline

Relief de faible altitude (100 à 300 m), au sommet arrondi.

convection

Circulation d'un fluide (gazeux ou visqueux).

corail

Animal primitif vivant le plus souvent en colonie arborescente constituant des récifs.

cordillère

Chaîne de montagnes longue et étroite, en Amérique et en Australie.

côte

Bande de terrain où la terre entre en contact avec la mer. La largeur de la côte, variable, dépend du relief : elle est limitée par le premier changement majeur dans la morphologie du terrain.

crue

Élévation soudaine du niveau d'un cours d'eau, due à de fortes précipitations ou à la fonte des neiges.

débit d'un cours d'eau

Volume d'eau s'écoulant en un endroit donné par unité de temps. Le débit d'un fleuve, mesuré à son embouchure, est exprimé en m³/s.

dépression

Partie creuse du relief, cuvette.

détroit

Passage maritime naturel entre deux côtes, relativement étroit.

dune

Colline de sable formée par l'action du vent sur les littoraux et dans les déserts.

eau douce

Eau très peu chargée en sels minéraux.

écume

Mousse blanchâtre qui se forme à la surface des eaux agitées.

élément chimique

Corps qui ne comprend qu'un seul type d'atomes, de même nombre atomique (le même nombre de protons).

embouchure

Lieu où un cours d'eau se jette dans la mer ou dans un lac.

éon

La plus longue unité de temps géologique, formée de plusieurs ères.

époque

Unité de temps géologique, subdivision de la période.

ère

Unité de temps géologique, immédiatement inférieure à l'éon, et qui se compose de plusieurs périodes.

faille

Fracture de l'écorce terrestre qui provoque le déplacement horizontal ou vertical d'un bloc par rapport à l'autre.

faisceau

Ensemble de rayonnements électromagnétiques issus d'une même source.

fossé d'effondrement

Dépression allongée de grande dimension, aux versants raides, formée par l'affaissement d'un bloc de terrain entre deux failles.

fosse océanique

Dépression océanique étroite, longue de plusieurs milliers de kilomètres et profonde de 5 000 à 11 000 m.

fossile

Reste ou empreinte d'un animal ou d'une plante ayant vécu en des temps préhistoriques, qui ont été conservés dans les roches sédimentaires de la croûte terrestre.

géographie

Science qui décrit et explique l'aspect actuel, physique et humain, de la surface de la Terre.

géologie

Science qui a pour objet l'étude de la Terre, des matériaux qui la composent, des forces et des processus qui l'ont façonnée et qui la transforment.

glaciation

Période géologique pendant laquelle les glaciers ont recouvert une grande partie de la surface terrestre.

golfe

Partie de la mer qui s'avance profondément à l'intérieur des terres, plus ou moins ouverte sur le large. Un golfe est plus vaste et généralement plus fermé qu'une baie.

imagerie

Technique de production d'images, virtuelles ou réelles, à l'aide de différents types de rayonnements.

isthme

Étroite bande de terre, située entre deux étendues d'eau, et qui fait communiquer deux terres plus vastes.

magnitude

Mesure de la quantité d'énergie dégagée par un séisme et sa représentation sur une échelle numérique.

marge continentale

Région sous-marine située en bordure d'un continent et qui fait le lien entre la terre ferme et les fonds océaniques.

massif

Ensemble montagneux, souvent constitué de roches anciennes, qui peut prendre des formes variées (plateaux, formations volcaniques, éléments fortement érodés).

méandre

Sinuosité que décrit un cours d'eau coulant sur un terrain à faible pente. Il se caractérise par l'opposition entre sa rive convexe, où se déposent des alluvions, et sa rive concave, creusée par l'érosion fluviale.

monolithe

Bloc rocheux formé d'une seule masse.

niveau de base

Niveau au-dessous duquel un cours d'eau ne peut plus éroder son lit. Il s'agit souvent du niveau de la mer.

organique

Relatif aux êtres vivants et aux matières qui en dérivent.

péninsule

Portion de terre entourée par la mer de tous les côtés sauf un, où un isthme plus ou moins large la relie au continent.

période

Unité de temps géologique, subdivision de l'ère, et qui comprend plusieurs époques.

pic

Sommet rocheux d'une montagne, en forme de pointe aiguë.

plaine

Vaste étendue de terre relativement plate, moins élevée que les reliefs environnants, et dont les vallées sont faiblement creusées.

plateau

Étendue de terre relativement plate, qui se distingue de la plaine par les vallées profondes et encaissées qui la délimitent et par son altitude plus élevée que les régions environnantes.

pôle géographique

Chacun des deux points (pôle Nord et pôle Sud) de la surface terrestre par lesquels passe l'axe de rotation de la Terre.

précipitations

Ensemble des formes liquides et solides sous lesquelles l'eau contenue dans l'atmosphère parvient à la surface de la Terre (pluie, neige, grêle, brouillard, rosée, etc.).

prisme d'accrétion

Masse de sédiments arrachés à la plaque océanique en subduction, qui s'accumule dans une zone de convergence.

pyroclaste

Débris provenant d'une éruption volcanique.

radioactivité

Transformation naturelle de certains éléments chimiques en d'autres éléments, s'accompagnant de l'émission de particules ou de rayonnements électromagnétiques.

récif corallien

Récif des mers chaudes et peu profondes, constitué par l'accumulation de millions de squelettes de coraux, combinés avec du sable, des fragments de coquillages et les sécrétions calcaires de certaines algues.

réfraction

Phénomène par lequel un rayonnement est dévié en changeant de milieu.

relief

Ensemble des dénivellations (dépressions et élévations) de la surface topographique d'une région.

résolution

Nombre de points par unité de mesure détectables par le balayage d'un instrument de mesure. Une haute résolution indique une grande sensibilité optique de l'instrument.

salinité

Proportion de sels dissous dans un milieu. Les sels contenus dans l'eau de mer proviennent des minéraux transportés par les rivières.

sédiments

Matériaux minéraux solides (roches, sables, boues) ayant été arrachés à leur milieu d'origine par un agent d'érosion, transportés par l'eau, la glace ou le vent, et déposés en un autre endroit. Des matières organiques peuvent également former des sédiments.

sol

Couche superficielle de la croûte terrestre, résultant de l'altération des roches au contact de l'atmosphère et des êtres vivants.

solstice

Chacune des deux époques de l'année où le Soleil atteint son plus important éloignement du plan de l'équateur et qui correspondent au jour le plus court (solstice d'hiver) et au jour le plus long (solstice d'été).

steppe

Vaste plaine des régions à climat sec, caractérisée par sa végétation herbacée.

temps géologique

Période écoulée depuis la formation de la Terre jusqu'à l'apparition de l'écriture, qui marque le début du temps historique.

toponymie

Étude linguistique des noms de lieux (les toponymes).

ultrason

Vibration sonore de fréquence trop élevée pour être perceptible par l'oreille humaine (plus de 20 000 hertz).

zénith

Point de la sphère céleste situé au-dessus d'un observateur.

Index

A

Aconcagua 115
affluent 52
AFRIQUE 34, 36, 110, **122**
alizés 62 [g]
Alpes 15, 81, 117
altitude 94, 98 [g]
Amazone 54, 115
Amérique centrale 112
AMÉRIQUE DU NORD 32, 34, 36, 110, **112**
AMÉRIQUE DU SUD 34, 36, 110, **114**
Andes 32, 41, 80, 114
ANTARCTIQUE 36, 87, 110, **111**
Antilles 112
Appalaches 15, 35, 80, 112
Aral, mer d' 54, 118
Arctique, océan 57
arête 86 [g]
argent 22, 25
ASIE 32, 36, 110, **118**
asthénosphère 19, 32, 36
Atacama, désert d' 115
Atlantique, océan 35, 36, 41, 57, 60
atmosphère 9 [g]
atoll 43, 82
attraction gravitationnelle 68
Australie 36, 120
aven 76
Ayers Rock 120

B

baie 82 [g]
Baïkal, lac 54, 119
banquise 111 [g]
basalte 29
bloc erratique 86
bombe volcanique 39
bouclier 110

C

calcaire 28, 73, 76
caldeira 42
calotte glaciaire 35, 111
cambrien 10, 15
cap 82
cap Horn 115
carbone 14 14
carbonifère 11, 15
carte de base 95
carte géographique 94, 96, 98, 100
carte météorologique 101
CARTE PHYSIQUE **98**
CARTE THÉMATIQUE **100**

CARTE TOPOGRAPHIQUE **98**, 105
CARTOGRAPHIE 92, **94**, 102, 104
CARTOGRAPHIQUE, PROJECTION **92**
CARTOGRAPHIQUES, CONVENTIONS **96**
Caspienne, mer 54, 56, 118
ceinture de feu 40, 67
cendres volcaniques 39
chaîne de montagnes 78, 80, 110 [g]
chambre magmatique 38, 42 [g]
charbon 28
cheminée volcanique 38
chute d'eau 53
chutes Angel 115
cirque glaciaire 85, 86
colonne éruptive 38
Congo 54, 123
CONTINENTS 9, 12, 15, 34, 36, **110**, 112, 114, 116, 118, 120, 122
CONTINENTS, DÉRIVE DES **35**, **36**
CONVENTIONS CARTOGRAPHIQUES **96**
COORDONNÉES TERRESTRES **90**
Cordillère australienne 81, 121
côte 82 [g]
coulée de boue 75
coulée de terre 75
courant de retour 65
courants de convection 18, 20, 33, 36
COURANTS MARINS **62**
courbe de niveau 98
COURS D'EAU **52**, 54, 72, 74
craie 28
cratère 38, 42
crétacé 13, 15
crevasse 85
cristaux 22, 24
croûte terrestre 9, 18

D

déferlante 65
delta 52, 83
déserts africains 122
dévonien 11, 15
diagenèse 26
diamant 22
doline 77
dôme 79
dorsale médio-atlantique 32, 60

DORSALES OCÉANIQUES 21, 33, 41, 58, **60**
drumlin 86
dune 73, 83 [g]
dyke 38

E

eau 9, 38, 44, 52, 54, 56, 76
eau de mer 56
eau douce 54, 111 [g]
éboulement 75
échelle d'une carte 96
échelle de Mohs 23
échelle de Richter 47
ÉCHELLE DU TEMPS GÉOLOGIQUE **10**
El Niño 62
Elbrous, mont 117
élément natif 22
embouchure 52 [g]
épicycle 47, 49
équateur 90
ÉROSION 26, **72**, **74**, 80
ÉROSION GLACIAIRE **86**
ÉRUPTIONS VOLCANIQUES 38, 40, **42**
estuaire 52, 83
Etna 40, 117
EUROPE 32, 34, 36, 110, **116**
Everest 118

F

faciès 24
faille 55, 79 [g]
faille de San Andreas 32, 46
falaise 82
fjord 82, 117
FLEUVES 52, **54**, 72
FOND DE L'Océan **58**, 102
force de Coriolis 63
FORMATION DES MONTAGNES **78**
fossé d'effondrement 33
fosse des Mariannes 57, 61
FOSSES OCÉANIQUES 59, **60**
fossile 14, 28 [g]
Fuji-Yama 41, 119
fumerolle 38, 45
fumeur noir 60
Fundy, baie de 68
FUSEAUX HORAIRES **106**

G

gel 73, 75
géodésique, point 94
GÉOMAGNÉTISME **20**
GEYSERS 38, **44**
Gibraltar, détroit de 116
glace 84, 87

glaciaire, calotte 111
GLACIAIRE, ÉROSION **86**
glaciaire, période 13, 86
GLACIERS 53, 55, 73, **84**, 86
glissement de terrain 75
gorge 52, 77
gour 76
Grand Canyon 74, 113
Grand Rift africain 33, 60, 123
Grande Barrière de corail 121
Grands Lacs 54, 113
granite 22, 29
graphite 22, 25
Greenwich 90, 107
grès 28
Groenland 34, 87, 113
GROTTES **76**
Gulf Stream 62
guyot 43, 58

H

Hawaï 29, 39, 41, 65, 67, 104
hémisphères 90
heure 106
Himalaya 15, 33, 37, 79, 81, 119
Hokkaido 105
homo sapiens 13
horst 79
houle 64
Huang He 54, 119
hypocentre 47

I

iceberg 87
Ienisseï 54, 119
île 59, 116, 119, 120
Inde 32, 37, 107, 118
Indien, océan 36, 57
inlandsis 87, 111
intrusion 27
Islande 41, 44, 60
isostasie 81

J

Japon 41, 67, 105, 119
jurassique 12, 15

K

kettle 86
Kilimandjaro 40, 81, 123
Krakatoa 40, 119

L

LACS 42, **54**, 85, 86

laccolite 39
lagon 43, 82
lagune 83
lapiaz 76
lapilli 39
latitude 90
lave 9, 21, 38, 42
légende d'une carte 97
ligne de changement de date 107
ligne de partage des eaux 53
lithosphère 19, 32
LITTORAL 64, 66, **82**
longitude 90
longueur d'onde 65, 66
Lune 68

M

Madagascar 123
magma 21, 27, 33, 38, 40, 42, 44, 79
magmatique, roche 29
magnitude 47
Mammoth Cave 77
manteau 18, 27, 38, 49
marbre 29
mare de boue 45
MARÉE **68**, 82
McKinley, mont 112
méandre 53, 55 [g]
Méditerranée, mer 37, 57, 116
Mélanésie 120
Mercator, Gerard 92
méridien 90, 92, 106
mers 10, 53, 56
mésosaure 12, 34
mésosphère 19
métamorphique, roche 27, 29
métamorphose 26
Micronésie 120
MINÉRAUX **22**, 24, 28
MINÉRAUX, FORME DES, **24**
Mississippi 54, 113
monolithe 73, 120
mont Blanc 117
MONTAGNES **78**, **80**, 84, 86, 110
montagne côtière 78
moraine 55, 84
Morte, mer 56, 118
MOUVEMENTS DE TERRAIN **75**

N

nappe phréatique 76
NAVETTES **104**
neige 84
Nil 54, 123
nivellement 94

Nouvelle-Zélande 45, 121
noyau terrestre 18, 20, 49

O

oasis 55
Ob 54, 118
Océan 9, **56**, 58, 60, 62, 64, 66, 68
Océan, fond de l' **58**, 102
Océanie 110, **120**
ONDES SISMIQUES 47, **48**
or 22, 25
ordovicien 10, 15
orogénèse 78
Oural 81, 117
oxygène 15, 18

P

Pacifique, océan 40, 57, 64, 67, 120
Panamá, canal de 113
PANGÉE 12, 15, **34**, 36
parallèle 90, 92
Paraná 54, 115
pénéplaine 74
permien 12, 15
Philippines 33, 39, 41, 119
photographie aérienne 95, 102
pic 86 [g]
pierre précieuse 22, 25
Pinatubo 39, 41
plage 83
plaine 53
plaine abyssale 59
plaques continentales 40, 59, 78
plaques convergentes 32
plaques divergentes 32
plaques lithosphériques 46
plaques océaniques 40, 58, 78
plaques transformantes 32
plateau continental 58
pluie 73, 75, 76
plutonique, roche 27
point géodésique 94
POINTS CHAUDS 40, **43**
pôle Nord 90
pôle Nord magnétique 20
pôle Sud 90, 111
Polynésie 120
précambrien 10, 15, 110
prisme d'accrétion 78 [g]
PROJECTION CARTOGRAPHIQUE **92**

Q

quartz 22, 29
quaternaire 13, 15

R

radar 102, 104
Radarsat 104
rayonnement 103
raz-de-marée 66
réflectance 103
relief 60, 72, 74, 78, 80, 98 [g]
reptation 75
réseau hydrographique 53
résolution 105 [g]
ressac 67
résurgence 77
ria 83
rift 59, 60
rimaye 84
rivage 64, 83
rivière 52
ROCHES **22**, **26**, **28**, 78
Rocheuses, montagnes 15, 80, 112
rose des vents 97
rotation de la Terre 63, 69

S

sable 28, 58, 83
Sahara 122
Saint Helens, mont 41
salinité 56 [g]
SATELLITES 103, **104**
sédimentaire, bassin 110
sédimentaire, roche 26, 28
sédimentation 26
sédiments 53, 58, 72, 82 [g]
SÉISMES **46**, 48, 67
sel 28, 56
sérac 85
Sibérie 118
Sierra Nevada 80
signature spectrale 103
sill 38
silurien 11, 15
sismogramme 49
sismographe 48
sol 72, 75, 76 [g]
Soleil 8, 68, 91, 106
solstice 91 [g]
sonar 102
source 53
source chaude 45
sous-marine, exploration 61
sous-sol 22
SRTM 105
stalactite 77
stalagmite 77
stratigraphie 14
subduction 32, 54, 78
surrection 78
Supérieur, lac 54, 113

symbole cartographique 96, 100
système solaire 8

T

talus continental 58
Tanganyika, lac 54, 123
Tasman, mer de 57, 121
TECTONIQUE DES PLAQUES **32**, 36
TÉLÉDETECTION **102**
température de l'océan 56
TEMPS GÉOLOGIQUE **10**, **12**, **14** [g]
Temps universel 107
TERRE, NAISSANCE DE LA **8**
TERRE, COMPOSITION DE LA **18**
Terre, dimensions de la 90
Terre, rotation de la 63, 69
tertiaire 13, 15
théodolite 94
thermocline 56
till 84
Titicaca, lac 115
tombolo 83
tremblement de terre 46
triangulation 94
trias 12, 15
tropique du Cancer 91
tropique du Capricorne 91
TSUNAMIS **66**

UVW

ultrason 102 [g]
VAGUES **64**, 66, 72, 83
vallée 52, 74, 84, 86
Vallée de la Mort 112
vallée suspendue 86
vapeur 44
vent 62, 64, 73
verrou glaciaire 84
Vésuve 24, 40, 117
Victoria, lac 54, 122
VIE 9, 10, **12**
Vinson, mont 111
Voie lactée 8
volcanique, roche 27, 58
VOLCANISME **40**
VOLCANS 27, **38**, 40, 42, 55, 59, 78, 116, 119, 123
Volga 117
Wegener, Alfred 34

XYZ

Yangzi Jiang 54, 119
Yellowstone 44
zone d'ombre 49

Crédits photographiques

La tectonique et le volcanisme

page 39

Pinatubo : Ed Wolfe, United States Department of the Interior, USGS, David A. Johnston Cascades Volcano Observatory, Vancouver, Washington.

Kilauea : Douglas Peebles/CORBIS/Magma

page 44

Old Faithful : William A. Bake/CORBIS/Magma

page 46

Faïlle San Andreas : Kevin Schafer/CORBIS/Magma

Los Angeles : EQE International, Inc.

L'eau et les océans

page 62

Gulf Stream : Ocean Remote Sensing Group, Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory

page 65

Plage Ohahu : Rick Doyle/CORBIS/Magma

page 68

Baie de Fundy : Scott Walking Adventure

L'évolution des paysages

page 73

Monolithe : Joel W. Rogers/CORBIS/Magma

page 74

Grand Canyon : David Muench/CORBIS/Magma

page 77

Mammoth Cave : David Muench/CORBIS/Magma

page 80

Appalaches : William A. Bake/CORBIS/Magma

page 81

Alpes : Nathan Benn/CORBIS/Magma

La représentation de la Terre

page 95

Photos aériennes : © 1984 Sa Majesté la Reine du chef du Canada sont tirées de la collection de la Photothèque nationale de l'air. Elles sont reproduites avec l'autorisation du ministère des Ressources Naturelles du Canada.

page 102

Nadar : Hulton-Deutsch Collection/CORBIS/Magma

Radar : CCRS/
www.ccrs.nrcan.gc.ca
Sonar : USGS

page 103

Végétation saine et malade : Felix Kogan/NOAA/NESDIS

page 104

Hawaïi : Images Radarsat 1996/ Gracieuseté de l'agence spatiale canadienne. Acquisées par l'ASC. Reçues par le CCT. Traitées par RSI.

page 105

Hokkaido : Courtoisie de la NASA/JPL/Caltech

page 107

Greenwich : National Maritime Museum, London

Les continents

page 111

Banquise de Ross : Dr. John Anderson, Rice University, Dept. of Geology & Geophysics

page 112

McKinley : Richard Hamilton Smith/CORBIS/Magma

Vallée de la Mort : Liz Hymans/CORBIS/Magma

page 113

Canal de Panamá : Danny Lehman/CORBIS/Magma

page 114

Andes : Wolfgang Kaehler/CORBIS/Magma

page 115

Chutes Angel : James Marshall/CORBIS/Magma

page 117

Mont Blanc : Michael Busselle/CORBIS/Magma
Vésuve : Tiziana and Gianni Baldizzone/CORBIS/Magma

page 119

Everest : WildCountry/CORBIS/Magma

Fuji : Earl & Nazima Kowall/CORBIS/Magma

Huang He : Julia Waterlow; Eye Ubiquitous/CORBIS/Magma

page 120

Ayers Rock : Yann Arthus-Bertrand/CORBIS/Magma

page 121

Grande Barrière de corail : Yann Arthus-Bertrand/CORBIS/Magma

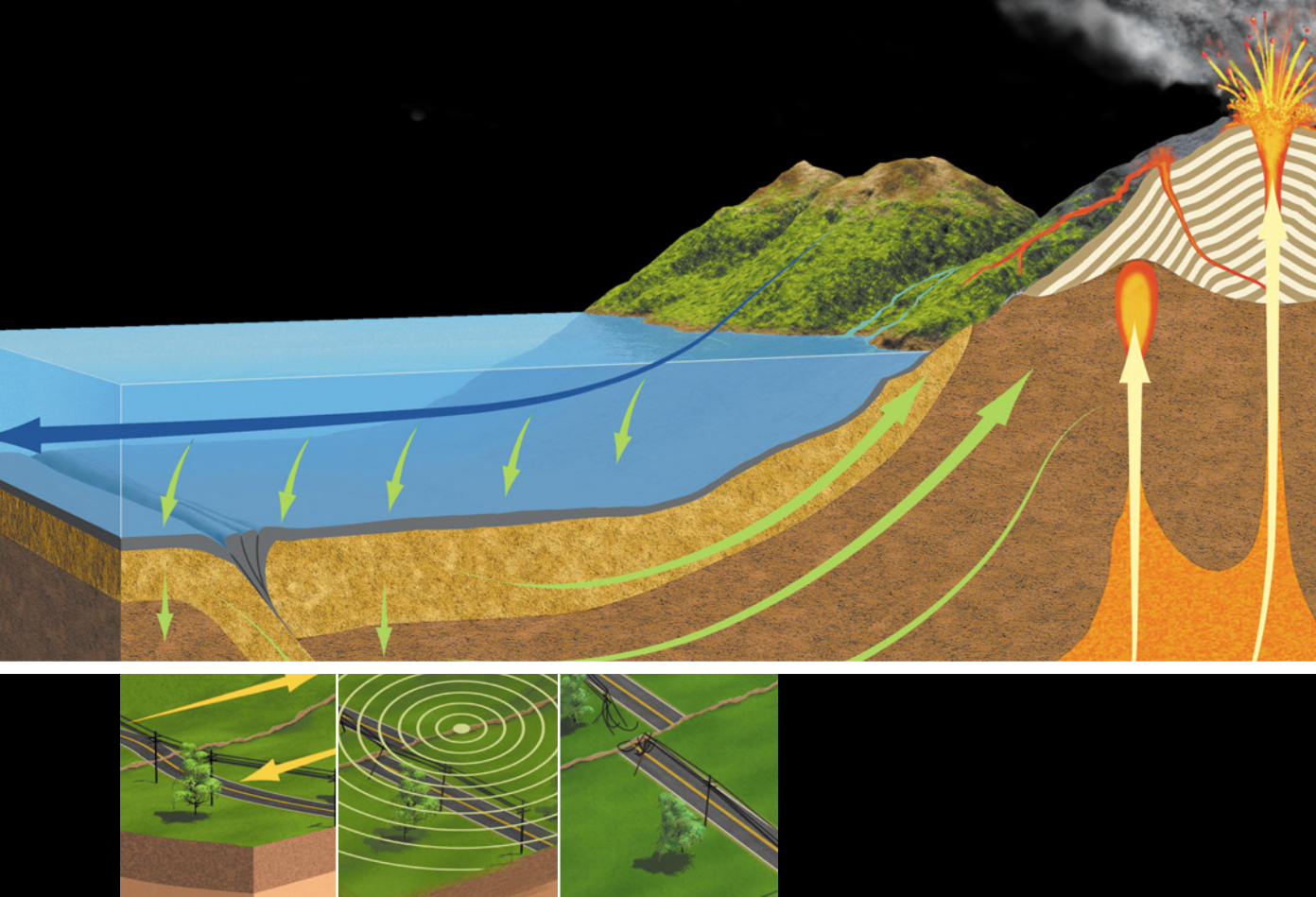
page 122

Sahara : Tiziana and Gianni Baldizzone/CORBIS/Magma

page 123

Rift Valley : Wolfgang Kaehler/CORBIS/Magma
Nil : Nik Wheeler/CORBIS/Magma

Kilimandjaro : Sharna Balfour; Gallo Images/CORBIS/Magma



Née d'un nuage de poussière spatiale il y a 4,6 milliards d'années, la Terre s'est constamment transformée tout au long de son histoire, devenant de plus en plus organisée, de plus en plus complexe.

À l'aide d'un contenu visuel saisissant (images réalisées à l'ordinateur, photographies, cartes géographiques, images satellites, dessins en coupe), *La Terre* vous invite à un fascinant voyage autour de notre planète. Cet ouvrage répond à d'innombrables questions, depuis la formation des fossiles, témoins des premiers temps, jusqu'aux techniques ultramodernes de cartographie.

Qu'y a-t-il au centre de la Terre ?

Comment se sont formés les continents ?

Peut-on prévoir les tremblements de terre ?

Comment les glaciers transforment-ils les paysages ?

Comment réalise-t-on une carte géographique ?

Qu'est-ce qu'un tsunami ?

Destinés à tous les lecteurs curieux, les *Guides de la connaissance* permettent de jeter un regard éclairé sur des phénomènes complexes et passionnants.

