



FRANÇOIS MICHEL

# LE TOUR DE FRANCE DU LITTORAL

Regard d'un géologue

DELACHAUX  
ET NIESTLÉ



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



FRANÇOIS MICHEL

**LE TOUR DE FRANCE**  
**DU LITTORAL**  
Regard d'un géologue

© Delachaux et Niestlé SA, Paris, 2020  
Dépôt légal : mai 2020  
ISBN : 978-2-603-02687-8

Préparation et relecture :  
Claire Lemoine

Conception graphique et mise en page :  
Justeciel et Justine Gagnaire

Responsable éditorial :  
Stéphanie Zweifel

Assistante d'édition :  
Mathilde Blanchard

Fabrication : Nathalie Voyer

Photogravure : Chromostyle

Cet ouvrage ne peut être reproduit, même partiellement et sous quelque forme que ce soit (photocopie, décalque, microfilm, duplicateur ou tout autre procédé analogique ou numérique), sans une autorisation écrite de l'éditeur.

Tous droits d'adaptation, de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

Achévé d'imprimer en mars 2020  
par DZS Grafik, d.o.o. (Slovénie).

# LE TOUR DE FRANCE DU LITTORAL

## Regard d'un géologue

### CHARTRE DELACHAUX ET NIESTLÉ

- 1 L'éditeur nature de référence depuis 1882.
- 2 Le fonds éditorial le plus complet en langue française avec plus de 450 ouvrages consacrés à la nature et à l'environnement.
- 3 Des auteurs scientifiques et naturalistes reconnus.
- 4 Les meilleurs illustrateurs naturalistes, pour la précision et le réalisme.
- 5 Des ouvrages spécifiquement adaptés à l'utilisation sur le terrain.
- 6 Des contenus actualisés régulièrement pour relayer les avancées scientifiques les plus récentes.
- 7 Une démarche éco-responsable pour la conception et la fabrication de nos ouvrages.
- 8 Une approche pédagogique qui sensibilise les plus jeunes à l'écologie.
- 9 Une réflexion qui éclaire les grands débats sur l'environnement (biodiversité, changement climatique, écosystèmes).
- 10 Une implication aux côtés de tous ceux qui œuvrent en faveur de la protection de l'environnement et de la conservation de la biodiversité.

RETROUVEZ-NOUS SUR [WWW.DELACHAUXETNIESTLE.COM](http://WWW.DELACHAUXETNIESTLE.COM) ET SUR FACEBOOK

DELACHAUX  
ET NIESTLÉ

Géosciences pour une Terre durable  
brgm

# SOMMAIRE

## L'ESPACE LITTORAL

Introduction	p. 8
Le littoral: reflet de la géologie	p. 10
Mer ou océan ?	p. 12
Des eaux fraîches et salées	p. 16
Elle monte, elle descend la marée	p. 18
Transgression, régression	p. 22
Vagues, tempêtes et courants	p. 25
Diversité des côtes	p. 28
Les roches: une grande diversité	p. 33
Petite histoire d'un grain de sable	p. 38
Anatomie des plages	p. 42
Les dunes naissent et se déplacent	p. 44

## LE LITTORAL DU BASSIN PARISIEN

Introduction	p. 50
La plaine maritime de Flandre	p. 52
Blanc-Nez, Gris-Nez: la côte d'Opale	p. 57
La plaine maritime picarde	p. 61
Le pays de Caux	p. 64
L'estuaire de la Seine	p. 70
Le littoral du Calvados	p. 73
Les falaises des Vaches noires	p. 74
La falaise des confessionnaires	p. 76
Les éponges du cap Romain	p. 77
La côte du Bessin: 6 juin 1944	p. 78
Le Chaos de Longues-sur-Mer	p. 80
Le stratotype du Bajocien	p. 82
La faille des Hachettes	p. 85
Le littoral de Port-en-Bessin	p. 86

## LE LITTORAL DU MASSIF ARMORICAIN

Introduction	p. 90
Rivages du Cotentin	p. 94
La pointe de Barfleur et le cap Lévi	p. 96
Le granite de Flamanville	p. 99
Havres, plages et dunes du Cotentin	p. 101
Le Mont Saint-Michel et sa baie	p. 103
De Fréhel à Erquy: la côte de Penthièvre	p. 106
Granite rose en Côte-d'Armor	p. 111
Au pays des abers	p. 115
La presqu'île de Crozon	p. 117
Morbihan, Mor braz: petite et grande mers	p. 119
Schistes de Groix	p. 122
Quiberon: côte sauvage et tombolo	p. 124
Le sel de Guérande	p. 126
Le marais breton-vendéen	p. 128
Falaises de schistes en Vendée	p. 130

## LE LITTORAL DU BASSIN AQUITAIN

Introduction	p. 134
La pointe du Payré: discordance	p. 136
Terres de marais	p. 138
Rivages d'Aunis et de Saintonge	p. 142
Récif coralien en Charente-Maritime	p. 143
Les îles de Saintonge	p. 144
Estuaire de la Gironde	p. 146
Le littoral des Landes	p. 150
Le bassin d'Arcachon	p. 154
La dune du Pilat	p. 156
La Côte basque	p. 158

## LE LITTORAL DU BASSIN MÉDITERRANÉEN

Introduction	p. 166
Rivages languedociens	p. 169
La Clape et son Œil doux	p. 172
Le cap d'Agde et son volcan	p. 174
La Camargue: delta du Rhône	p. 176
Provence Côte d'Azur	p. 182
De calanque en calanque	p. 184
La cap Canaille	p. 188
Le double Tombolo de la presqu'île de Giens	p. 190
L'Estérel et son volcan	p. 192
La Corse: esquisse géologique	p. 194
Scandola et son volcan	p. 197
Bonifacio et son grain de sable	p. 199
Chaos granitiques	p. 201
Le cap Corse, province alpine	p. 204

## LES LITTORAUX D'OUTRE-MER

Introduction	p. 208
La volcanisme Outre-Mer: subduction et points chauds	p. 210
Un animal nommé corail	p. 214
Mangrove: les pieds dans l'eau	p. 218
La Réunion: au vent ou sous le vent	p. 220
Les Antilles: séduction et subduction	p. 223
La Martinique: sous l'œil de la Pelée	p. 224
La Guadeloupe: île papillon	p. 226
La Désirade: naissance des caraïbes	p. 229
Îles et atolls de Polynésie	p. 233

## IMPACTS DU CLIMAT SUR LE LITTORAL

Introduction	p. 238
Climat et océan	p. 242
Impacts du changement climatique	p. 244
La tempête <i>Xynthia</i>	p. 248
Analyser et prévoir	p. 250
Recul des falaises dans le pays de Caux	p. 253
Protéger les littoraux	p. 256
Le risque tsunami	p. 259

## ESPACE ET TEMPS EN GÉOLOGIE

p. 262

## QUELQUES MOTS DE GÉOLOGIE

p. 280

## BIBLIOGRAPHIE

p. 287

Remerciements	p. 287
Crédits photographiques	p. 288



## L'ESPACE LITTORAL

*Plages, dunes, falaises, chaos de rochers, lagunes, deltas ou estuaires : tel se présente le littoral, ce trait de côte qui découpe la France à l'emporte-pièce dans une extraordinaire diversité de roches et de paysages ! Mers et océans lui font face, plus ou moins agités par les marées, les vagues et les courants. La remontée des eaux depuis la dernière glaciation lui a conféré sa silhouette actuelle.*





## Un pied dans l'eau, un pied sur terre

Environ 5850 kilomètres de côtes jalonnent la France métropolitaine sur plus de la moitié de son pourtour et plusieurs milliers de kilomètres pour l'ensemble des départements, régions et collectivités d'outre-mer (DROM-COM). Suivre le sentier des douaniers, quitter la falaise pour rejoindre la plage puis les dunes, traverser l'estuaire, observer les oiseaux de la baie, arpenter le marais, « dorer » sur le sable à la lumière de l'été, construire un château éphémère que la marée détruira, admirer un coucher de soleil...

Petits ports de pêche blottis au fond d'une crique, métropoles urbaines et portuaires tournées vers le large, villes historiques d'où partaient marins et capitaines, villas résidentielles ou campings des flots bleus, digues et polders...

Plus de 7 millions de personnes résident dans les communes du littoral, territoire de plus en plus urbanisé. Espace emblématique et ludique aux multiples attraits, le littoral attire chaque année environ 35 millions d'estivants. Domaine dynamique et convoité, mais fragile et soumis à diverses agressions, les unes naturelles, les autres anthropiques : richesse géologique et patrimoniale à découvrir et à protéger !

## Une grande diversité de paysages

Interfaces mobiles entre la terre et l'eau, les rivages vivent et se métamorphosent en fonction d'une multitude de contextes et de paramètres, les uns liés à la nature géologique et rocheuse des sous-sols, les autres dépendant principalement des dynamiques océaniques et climatologiques. Ils dessinent alors quelques grandes familles de morphologies et de paysages que sont les plages et les dunes qui les dominent, les côtes rocheuses à falaises, les chaos, les marais et les lagunes, ainsi que les embouchures des fleuves, estuaires et deltas, sans oublier, sous des cieux d'outre-mer : barrières de corail, mangroves, coulées volcaniques ou rivages englacés.

## Le trait de côte : une ligne qui bouge

Le littoral est cette ligne mouvante, trait d'union qui marque la triple frontière entre la terre, la mer et l'air. Ces trois composantes modulent son aspect et façonnent les paysages sous contrôle des changements climatiques qui, depuis toujours, animent et dessinent la géographie de la planète. Un atlas n'est-il pas en premier lieu celui des traits de côte ? N'était-ce pas d'ailleurs le travail des premiers géographes embarqués à bord des navires, que de dessiner les contours des terres inconnues ? Avec le temps, les rivages évoluent au fil des années ou de périodes beaucoup plus longues, mais aussi parfois lors d'une seule tempête. Question changement, sans remonter très loin dans le temps, il y a seulement 18 000 ans, le niveau des mers et des océans se situait environ 120 mètres plus bas qu'aujourd'hui. La Manche était alors un domaine continental, couvert de steppes drainées par la Seine et ses affluents. Cette remontée très rapide du niveau marin depuis la fin de la dernière glaciation conditionne aujourd'hui l'aspect du littoral, et l'histoire continue...

1. Plage et lagune de la pointe des Châteaux (Guadeloupe).
2. La falaise de flysch de la corniche des Basques (Pyrénées-Atlantiques).
3. Le chaos granitique de Brignogan (Finistère).
4. Le port du Bec, dans la baie de Bourgneuf (Vendée).
5. La plage de Biscarrosse (Landes).
6. Plage de sable corallien et lagon sur l'atoll de Rangiroa (Polynésie française).
7. Le littoral très urbanisé du Grau-du-Roi (Gard).
8. Calotte glaciaire en bord de mer : le littoral de la terre Adélie (Terres australes et antarctiques françaises [TAAF]).



# LE LITTORAL

## reflet de la géologie

La France présente une extraordinaire diversité de morphologies littorales recoupant ses grands domaines géologiques. À chaque secteur côtier s'accroche un paysage sous-tendu par un substrat rocheux qui lui confère son cachet pittoresque. Suivre les rivages depuis Bray-Dunes jusqu'à Bonifacio, ainsi que ceux des régions d'outre-mer, procure un dépaysement permanent parsemé de transitions étonnantes.

À chacun de ces territoires correspond une nature géologique complexe plus ou moins ancienne ou récente, que la côte souligne de façon explicite. Un rivage se construit par addition ou par soustraction : dépôts et plages qui colmatent, d'une part, érosion qui décape, d'autre part, et permet d'identifier la nature du sous-sol ! Pour le géologue, le littoral constitue un observatoire privilégié pour décoder quelques grands chapitres de l'histoire géologique de la France, en particulier quand il recoupe et incise les structures rocheuses en place, provoquant leur affleurement et une lisibilité sans cesse renouvelée.



Les falaises crayeuses d'Étretat (Seine-Maritime).



Les roches volcaniques anciennes de la presqu'île de Scandola (Corse).

### Une grande diversité d'entités géologiques

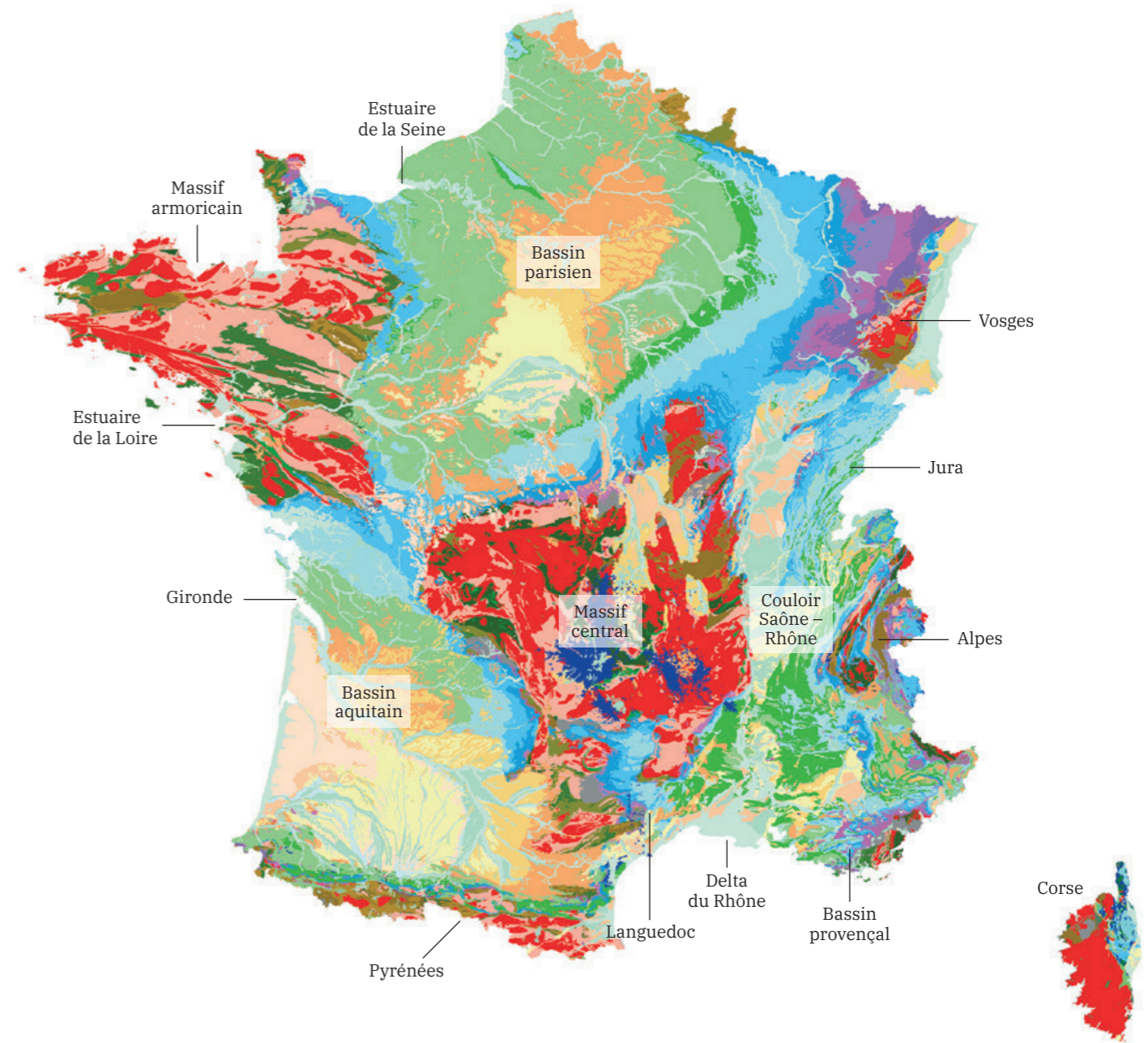
Un simple coup d'œil sur la carte géologique de la France permet d'en distinguer les grandes unités et de constater que bon nombre d'entre elles débouchent sur les côtes, dont elles constituent le fil directeur. Lire la géologie du littoral ne peut pas s'envisager sans connaître son contexte régional et local, et, par là même, le domaine géologique auquel il appartient. C'est dans ce but que la partie « découvertes géologiques » de ce guide s'organise en fonction des principales régions qui structurent la France et propose pour chacune une introduction générale : Bassin parisien et Flandre, Massif armoricain, Bassin aquitain, Bassin méditerranéen, et outre-mer.

Le Massif armoricain ainsi qu'une grande partie de la Côte d'Azur et de la Corse héritent principalement de l'histoire hercynienne au Paléozoïque, période qui a vu se préparer et se soulever une immense chaîne de montagnes avec son cortège de roches magmatiques et métamorphiques. À la fin du Paléozoïque, toutes les terres, ou presque, étaient rassemblées en un continent unique : la Pangée.

Les autres grands domaines littoraux correspondent à des bassins sédimentaires – parisien, aquitain et provençal – qui se sont développés au Mésozoïque et au Cénozoïque, périodes pendant lesquelles leurs territoires étaient le plus souvent immergés, dans des mers plus ou moins profondes, sièges de dépôts sédimentaires.

Quant aux montagnes et reliefs d'origine plus récente – chaîne pyrénéo-provençale et Alpes –, ils affleurent sur des portions plus délimitées des littoraux : Pays basque, Albères, Languedoc, Provence, région niçoise et cap Corse.

Les régions ultramarines sont, pour la plupart d'entre elles, de nature volcanique et situées en eaux chaudes, localement frangées de récifs coralliens ou de mangroves, ce qui, en de nombreux secteurs, conditionne la nature et l'aspect de leurs rivages. D'autres subissent un climat très froid, voire polaire, comme les Kerguelen ou la terre Adélie : autres latitudes, autres rivages...



Carte géologique de la France à 1/1 000 000.

Document de synthèse de la nature des sous-sols, la carte géologique permet d'identifier les grands domaines qui structurent la France et dont bon nombre sous-tendent un secteur du littoral :

- massifs anciens : Massif central, Massif armoricain, Vosges et Corse, sans compter quelques entités plus délimitées au sein des Alpes et des Pyrénées ;
- grands bassins sédimentaires : Bassin parisien, Bassin aquitain et Bassin provençal soulevé et plissé ;
- montagnes récentes : Pyrénées, Jura, Alpes et nord-est de la Corse ;
- couloir Saône-Rhône débouchant sur la Camargue ;
- grandes embouchures : estuaires de la Seine, de la Loire, Gironde, et delta du Rhône.



La plage des Sables-Vignier, à Oléron (Charente-Maritime), repose sur un socle crétacé, visible sur l'estran à marée basse.



# MER OU OCÉAN ?



*Peuple de la mer, les Grecs de l'Antiquité imaginaient que, chaque soir, le Soleil se couchait derrière l'horizon pour féconder la Terre et faire naître un jour nouveau!*

Nous l'appelons Terre, mais elle aurait pu se nommer planète Mer avec 71 % de sa surface couverte d'eau, dont le volume est évalué à 1,4 milliard de kilomètres cubes – 97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce aujourd'hui principalement sous forme de glace.

La quantité de glace stockée dans les inlandsis change tout quant au visage de la Terre à une période donnée de son histoire! Si toutes les glaces venaient à fondre, le niveau moyen des mers et des océans pourrait monter d'environ 60 à 70 mètres. Une très grande partie de l'Europe et des autres continents serait alors sous l'eau! Si une glaciation analogue à la dernière venait à nouveau s'installer sur la planète, le niveau des mers et des océans baisserait de plus de 100 mètres, ce qui provoquerait l'émergence de grandes surfaces continentales aujourd'hui immergées.

## La mer s'en vient, la mer s'en va!

La presque totalité de l'eau de la Terre est répartie dans les océans, dont la profondeur moyenne voisine 3 800 mètres, avec un record à – 11 000 mètres dans la fosse des Mariannes, au large des Philippines, dans le Pacifique. Il n'en va pas de même pour la Manche ou

la mer du Nord, dont les profondeurs sont presque partout inférieures à 200 mètres : ce ne sont que de simples « flaques d'eau » à la surface du continent européen! On les qualifie de « mers épicontinentales ». Par contre, la Méditerranée – étymologiquement « la mer au milieu des terres » – est un véritable océan, avec un fond constitué de croûte océanique.

Alors que les mers épicontinentales recouvrent des espaces continentaux principalement composés de granites et autres roches associées, les océans



*La Manche, mer épicontinentale: une simple « flaque d'eau » à la surface du continent. Le phare de Saint-Valéry-en-Caux (Seine-Maritime).*



*La Corse, un petit continent – corso-sarde – isolé dans l'océan Méditerranée.*

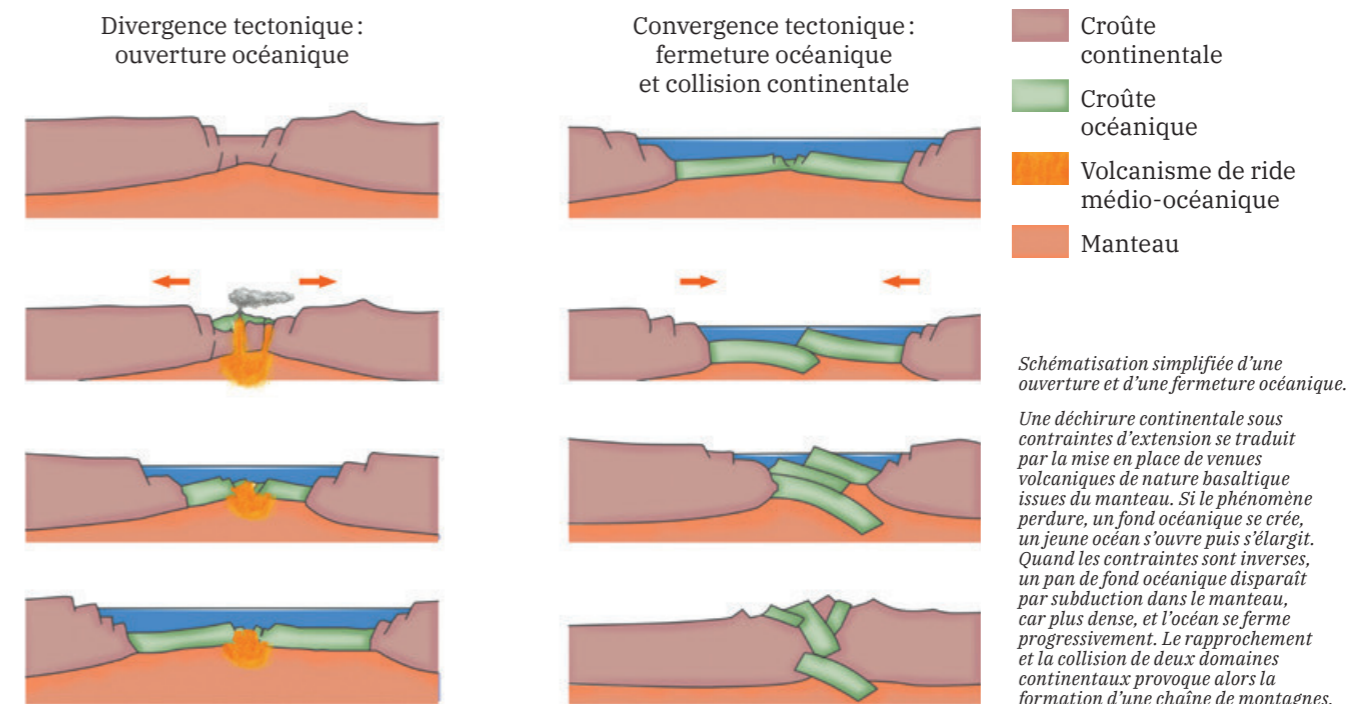
reposent sur un plancher océanique de nature basaltique : ce sont deux domaines foncièrement différents de la croûte terrestre par leur nature et par leur densité. Les océans s'ouvrent et se ferment au gré de la tectonique des plaques, alors que les mers épicontinentales vont et viennent, avancent et reculent à la surface des continents – transgressions/régressions – principalement au rythme des évolutions climatiques et des glaciations. Ces dernières monopolisent plus ou moins d'eau sous forme de glace et jouent ainsi de façon très importante sur les niveaux d'eau et, par voie de conséquence, sur le dessin de la carte géographique du monde et de ses rivages.

## Les océans s'ouvrent et se ferment!

Entraînés par les mouvements de convection qui animent le manteau terrestre, les fonds océaniques s'ouvrent par accréation de roches

volcaniques – basalte – le long des lignes médio-océaniques qui les parcourent en profondeur sur 60 000 kilomètres de longueur. C'est ce qu'il se passe au milieu de l'Atlantique entre la France et l'Amérique du Nord : le domaine océanique s'y élargit à une vitesse moyenne d'environ 2 cm/an. New York s'éloigne de Brest! Les limites continentales liées à des ouvertures océaniques sont qualifiées de marges passives car, dans leur ensemble, peu sensibles aux séismes, ce qui est le cas de la France métropolitaine.

En compensation des ouvertures, d'autres secteurs des fonds océaniques du monde disparaissent au niveau des zones de subduction – fosses profondes –, où ils plongent dans les profondeurs du manteau, engendrant séismes et volcanisme violent. C'est ce qu'il se passe en Indonésie, dans les Caraïbes ou le long de la « ceinture de feu » du pourtour du Pacifique : on parle alors de marges actives ; tel est le cas des Antilles, par exemple.







Séparée du continent par l'ancienne vallée terrestre du pertuis d'Antioche, aujourd'hui vallée sous-marine, Oléron (Charente-Maritime) appartient au domaine du plateau continental et n'est une île que depuis quelques milliers d'années.

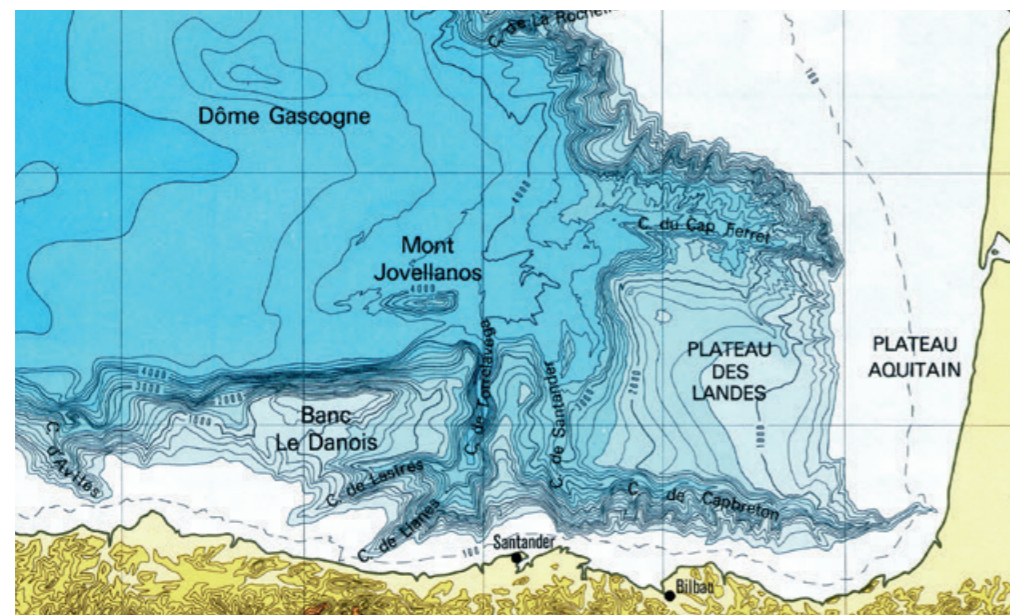
## Mers et océans autour de la France

Pour trouver la véritable limite géologique du continent européen, il faut tourner notre regard vers l'ouest, vers l'Atlantique. Au large du Finistère, une zone moyennement pentue prolonge la Bretagne sur plus de 100 kilomètres jusqu'à la courbe de niveau - 200 mètres. C'est le plateau continental, qui était en grande partie émergé lors de dernière glaciation. Cette profondeur de - 200 mètres correspond à une zone de rupture du relief sous-marin où le talus continental, en quelques kilomètres, fait passer les fonds de - 200 à - 4 000 mètres, véritable limite du domaine continental. Ce talus correspond à un système de failles et amorce un changement radical dans la nature des roches de la croûte terrestre sous-jacente. Granites, gneiss

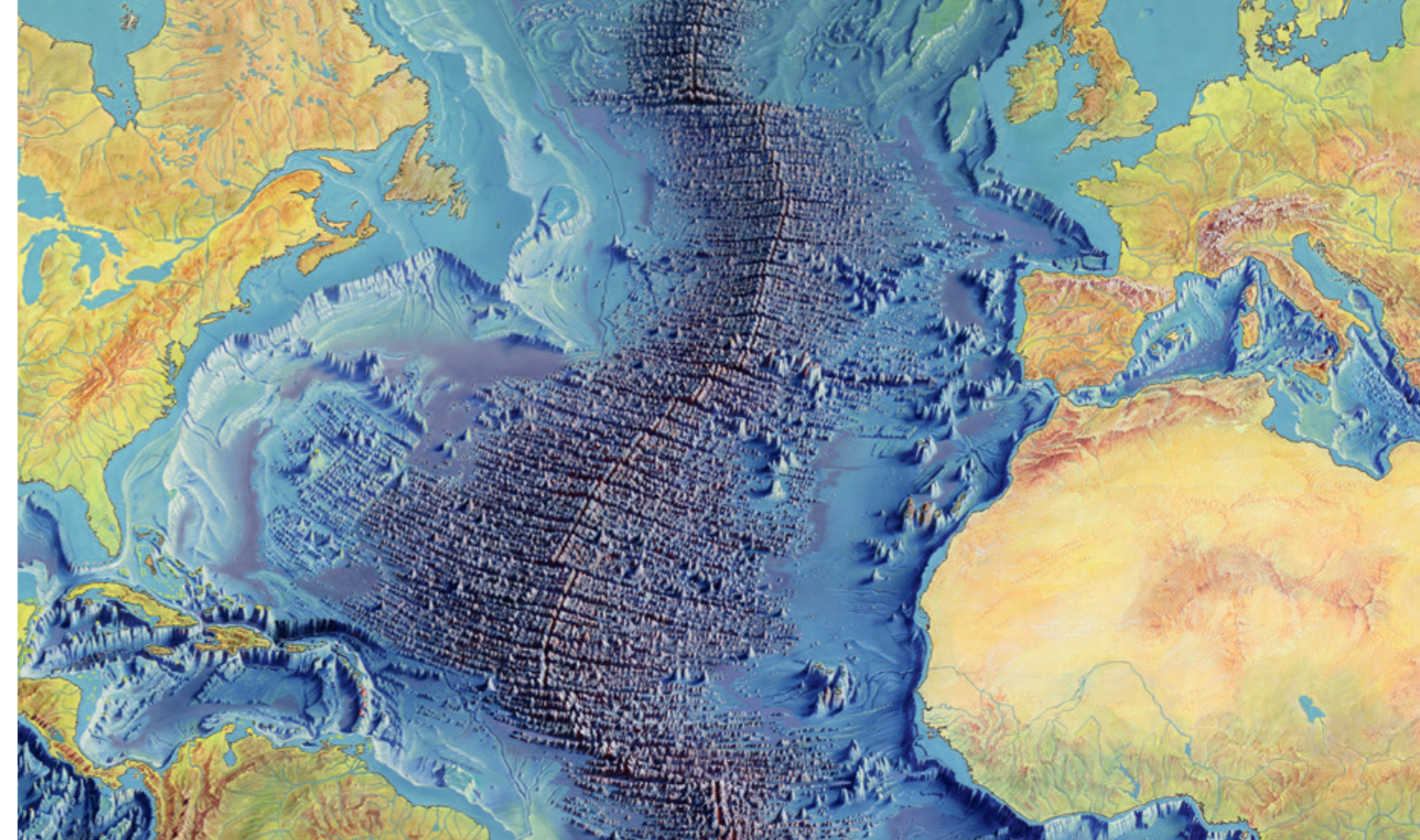
et roches sédimentaires du continent cèdent la place aux basaltes des fonds océaniques, le tout généralement recouvert de dépôts sédimentaires plus ou moins récents.

Ouessant, Groix, Belle-Île, Yeu, Ré ou Oléron ne sont des îles que depuis très peu de temps, tout au plus quelques milliers d'années! Cela ne procède que d'un hasard de hauteur d'eau. Elles appartiennent au domaine continental. Quant à Noirmoutier, peut-on vraiment parler d'île? Le passage du Gois la rattache deux fois par jour à son arrière-pays.

Alors que le plateau continental s'étend sur une grande largeur à l'ouest de la Manche, en mer d'Iroise, son extension se réduit progressivement face aux Landes pour quasiment disparaître au fond du golfe de Gascogne - Pays basque -, en particulier au niveau du gouf de Capbreton, gorge sous-marine en accès direct sur les abîmes océaniques.



Répartition du plateau continental et des fonds océaniques profonds au niveau du golfe de Gascogne: une morphologie sous-marine héritée de la rotation du bloc ibérique lors de l'ouverture de l'Atlantique et préalablement à la surrection des Pyrénées. Extrait de la carte bathymétrique de la marge continentale de l'ouest de la France.



Cette carte des fonds marins du domaine nord-atlantique permet d'identifier:

- le domaine océanique profond de l'Atlantique, parcouru par la ligne médio-océanique qui s'ouvre à une vitesse moyenne d'environ 2 cm/an, et où se forment et divergent des fonds océaniques de nature basaltique;
- les marges passives qui le bordent;
- l'océan Caraïbe, l'arc des Antilles et la marge active qui le délimite;
- l'échancrure du golfe de Gascogne à - 5 000 mètres;

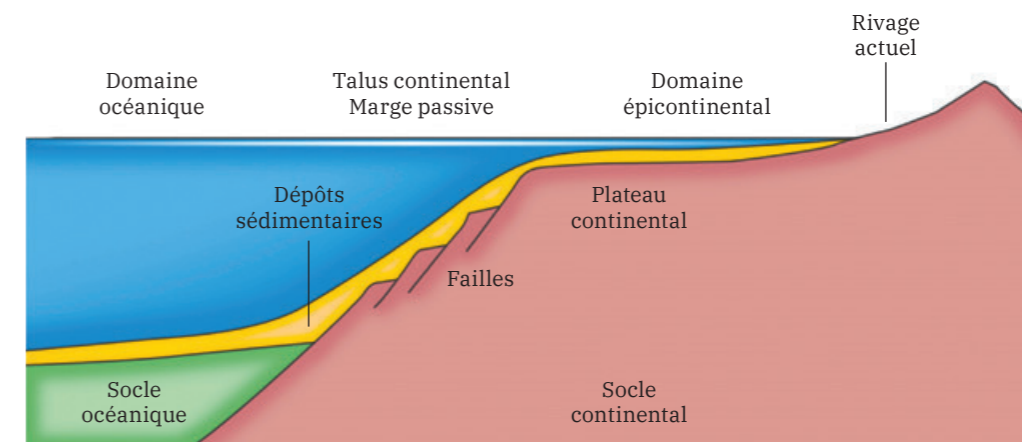
- le domaine continental, dont les limites s'étendent plus ou moins sous la mer - plateau continental - jusqu'au talus continental;
- les mers épicontinentales de la Manche et de la mer du Nord, simples plans d'eau sur le continent européen;
- le domaine océanique profond de la Méditerranée.

Pur produit de la tectonique des plaques, le golfe de Gascogne s'est formé il y a une centaine de millions d'années par dérive - rotation antihoraire - de la péninsule Ibérique, en relation avec l'ouverture de l'océan Atlantique. Cette migration tectonique de l'Espagne-Portugal est par ailleurs à l'origine de la formation des Pyrénées.

Dans le golfe du Lion, en Méditerranée, le plateau continental s'étend au sud du Languedoc sur une surface délimitée par une ligne qui va des Pyrénées orientales aux calanques de Marseille. Beaucoup plus chaotique que celui de la façade atlantique, il est haché par un important système de failles, structure résultant de l'ouverture de la

Méditerranée occidentale. Plus à l'est, sur la Côte d'Azur, le plateau continental disparaît et les reliefs tombent très rapidement sous la mer face au Bassin liguro-provençal.

La Corse et la Sardaigne, à la différence des îles de la façade atlantique, forment un petit continent - le continent corso-sarde - détaché et isolé du sud de la France par l'ouverture océanique du Bassin ligure, il y a entre - 25 et - 15 millions d'années. Il en va de même pour les Baléares face à la Catalogne.



Structure géologique simplifiée montrant la transition entre le domaine océanique et le domaine continental au niveau d'un talus continental.



# DES EAUX

## — fraîches et salées



*Au début de son histoire, la Terre ne portait pas d'eau libre.*

L'origine de l'eau de mer, libre à la surface de la Terre, nous fait remonter aux débuts de l'histoire de la planète. Née d'une masse rocheuse en fusion, la Terre d'origine ne portait pas d'eau libre. Pendant des millions d'années, des événements volcaniques sans rapport avec ceux que nous connaissons aujourd'hui, beaucoup plus importants et omniprésents, ont dégagé d'immenses quantités de gaz dont la vapeur d'eau, créant ainsi une atmosphère très épaisse et très humide autour de la planète. L'eau pourrait aussi être, tout du moins en partie, d'origine extra-terrestre et avoir été apportée au cours du bombardement de la Terre par des comètes de glace. Aujourd'hui encore, la communauté scientifique n'est pas unanime sur ces hypothèses.

Au fil des millions d'années, la planète allait en se refroidissant progressivement, et la vapeur commença de se condenser : premières pluies, premières flaques d'eau ! Le phénomène s'intensifia sous forme d'un déluge incessant qui dura plusieurs centaines de millions d'années. Au début, les eaux marines n'étaient pratiquement pas salées.

### L'addition est salée !

Ce n'est pas un scoop, l'eau de mer est salée, en particulier par le chlorure de sodium, de formule NaCl, à raison de 35 grammes de sel en moyenne par litre, ce qui la rend impropre à notre consommation. Sa composition chimique est relativement constante, avec 55 % de sodium, 31 % de chlorures, 8 % de sulfates, 4 % de magnésium, 1 % de calcium et 1 % de potassium. Ce cocktail salé s'est peu à peu concocté par dissolution et ruissellement – lessivage – de certains éléments chimiques des fonds océaniques et d'autres, contenus dans les roches à la surface des reliefs puis apportés en mer par les rivières et les fleuves, ou encore éventuellement d'origine extra-terrestre. Cette salinité est stable depuis très longtemps, les nouveaux apports étant compensés par des pertes équivalentes : précipitations, dépôts après évaporation, réactions chimiques...



*Coulée de lave à la Réunion, qui évoque le contexte d'origine de la Terre.*



*Dépôts de sel laissés par l'évaporation de l'eau de mer en bordure d'une lagune en Camargue (Bouches-du-Rhône).*

### Atlantique ou Méditerranée ?

On évalue à 3,5 °C la température moyenne des eaux océaniques de la planète sur l'ensemble de la tranche d'eau (3 800 mètres), valeur moyenne froide qui peut étonner mais qui tient compte des eaux polaires et des eaux des grandes profondeurs. En surface, la température de l'eau peut varier de -1,8 °C en Arctique à +35 °C dans le golfe Persique.

Sur la façade atlantique du littoral français, les eaux bénéficient du courant tiède de la dérive nord-atlantique qui prolonge le Gulf Stream et se divise en deux bras en face de la Bretagne. L'un se dirige vers la Manche et l'autre descend vers le golfe de Gascogne, ce qui explique la relative douceur des eaux en comparaison de celles de l'embouchure du Saint-Laurent, au Canada, à la même latitude.

Sur la côte atlantique, la température de l'eau oscille entre 7 et 8 °C en hiver et de 16 à 17 °C en été avec quelques pointes à 18 °C, voire 20 °C pour les plus belles journées. Sur la côte méditerranéenne, les eaux sont plus chaudes, avec des variations de moyennes entre 12 °C en hiver et 22 à 23 °C en été. Sauf très rares exceptions – et hormis dans les Terres australes et antarctique (TAAF) – la mer ne gèle pas sur le littoral de France. Ce fut cependant le cas en Manche lors de l'hiver 1962 – 1963.



*Immensité océanique sur la façade atlantique.*



*La plage de Wimereux (Pas-de-Calais) en 1905. La mode des bains de mer débuta au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, en particulier grâce aux progrès du chemin de fer.*



# ELLE MONTE, ELLE DESCEND

## la marée



Le port de Barfleur à marée basse et à marée haute (Manche).

Depuis toujours, la marée conditionne la vie des marins qui attendent la pleine mer pour entrer ou sortir du port. Deux fois par jour, la mer monte pour redescendre un peu plus de six heures après. Flux, ou flot, et reflux, ou jusant, rythment ainsi les rivages de l'Atlantique alors qu'ils ne se perçoivent pratiquement pas sur les côtes françaises de Méditerranée – mais peuvent cependant atteindre plus de 2 mètres dans le golfe de Gabès en Tunisie.

### Pourquoi les marées ?

La marée, variation de hauteur du niveau d'eau des océans et des mers, sous forme d'une onde périodique qui se propage, résulte de l'attraction universelle causée conjointement par la Lune et le Soleil et impactée par la rotation de la Terre, les courants et les contextes littoraux locaux.

Découverte par Isaac Newton à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, la loi de la gravitation universelle – la pomme qui tombe sur le sol – peut s'énoncer ainsi: deux corps en présence s'attirent mutuellement en fonction de leur masse et inversement au carré de la distance qui les sépare. Quand un astre passe en face d'un point, il en attire la matière, et ceci d'autant plus facilement qu'elle est déformable, gazeuse ou liquide.

Ainsi donc, les actions conjuguées de la Lune, dont le rôle est prépondérant car proche de la Terre, et du Soleil, de très forte masse, déforment régulièrement, lors de leur passage, les enveloppes terrestres gazeuses, liquides mais aussi solides. Les marées atmosphériques déforment l'atmosphère et jouent sur la pression de l'air. Les marées terrestres soulèvent le sol de quelques centimètres.

La mer est haute quand la Lune passe à l'aplomb d'un point considéré. Au même moment, elle est également haute aux antipodes, alors qu'elle est basse dans les deux directions perpendiculaires. Quand la Lune et le Soleil sont alignés avec la Terre, les deux forces d'attraction s'additionnent et la mer monte plus haut que d'habitude, donnant une marée de vive-eau. Deux cas peuvent alors se présenter. Soit les deux astres sont du même côté de la Terre: on a alors une conjonction de nouvelle lune. Soit les deux astres sont de part et d'autre de la Terre: on a alors une opposition de pleine lune. À l'inverse, quand la Lune, le Soleil et la Terre dessinent un triangle, les attractions se contrarient pour donner une marée de morte-eau, de faible coefficient. La Lune s'éloignant de la Terre de 3,8 cm par an, les marées étaient plus importantes dans des temps reculés, quand l'astre de la nuit était plus proche de nous!

### À propos des marées

Douze heures et vingt-cinq minutes séparent deux marées hautes, ce qui provoque un décalage horaire quotidien d'une petite heure correspondant au rapport entre la durée du jour – vingt-quatre heures – et le cycle de rotation de la Lune – vingt-huit jours – autour de la Terre.

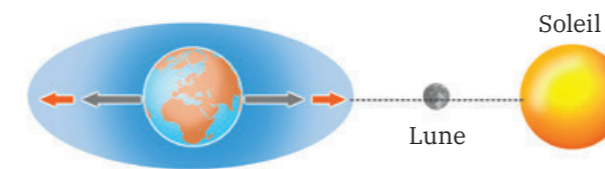
Le marnage – amplitude altimétrique de la marée – est la hauteur de la dénivellation entre la basse mer et la haute mer pour une marée donnée. Il varie en fonction des jours et des lieux. Ces variations dépendent de nombreux facteurs qui viennent s'ajouter ou contrecarrer les effets de la Lune et du Soleil: courants marins locaux, fond de baie, présence ou non d'un plateau continental, pression atmosphérique, force du vent, etc., ce qui explique qu'avec une force d'attraction quasiment identique, la marée peut être différente pour deux points relativement rapprochés. À une marée de 12 mètres à Saint-Malo, il peut correspondre un marnage de 9 mètres dans le nord du Finistère et de 6 mètres à Cherbourg. Le plus fort marnage de France se situe dans la baie du mont Saint-Michel avec un dénivelé maximal de 14 mètres, contre 16 mètres maximum dans la baie de Fundy au Canada, le record du monde. Chaque marnage est notifié par un indice:

le coefficient de marée, qui varie de 20 pour la marée la plus faible possible à 120 pour les très grandes marées dites « du siècle ». Les marées d'équinoxe, grandes marées, ont lieu tous les six mois, aux alentours du 21 septembre et du 21 mars – dates des deux équinoxes – car le Soleil est alors situé dans le plan de l'équateur terrestre.

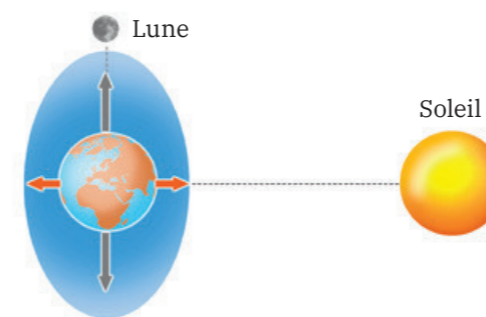
On appelle « estran » ou « zone de balancement des marées » la surface alternativement couverte et découverte par la marée. Cette surface dépend à la fois de la pente du rivage et du marnage. Dans un fond de baie très peu pentu, la mer peut se retirer sur plusieurs kilomètres.

### LA MARÉE DU SIÈCLE

La dernière grande marée du siècle a eu lieu le 21 mars 2015 dans la baie du mont Saint-Michel, avec un marnage de 14,15 m, soit l'équivalent d'un immeuble de 5 étages! Par comparaison, une semaine plus tard, le 28 mars, le marnage de la marée de morte-eau montrait dans le même secteur un marnage de 4,25 m. Les prochaines marées du siècle – car en réalité, elles ont lieu plusieurs fois par siècle – auront lieu le 3 mars 2033 et le 14 mars 2051.



Marée de vive-eau.



Marée de morte-eau.

Schéma simplifié du phénomène de marées.



Du fait de la faible pente, la mer se retire sur une dizaine de kilomètres lors des grandes marées basses dans la baie de Saint-Brieuc (Côtes-d'Armor).



## Des marées très particulières

L'influence des astres est diminuée ou amplifiée par de nombreux facteurs locaux, à tel point que certains lieux de pleine mer sont soumis à des contraintes qui s'annulent entre elles: la marée y est nulle.

Ce sont des points amphidromiques, comme celui situé au milieu de la mer du Nord à mi-chemin entre la Hollande et l'Angleterre.

Autre marée singulière, celle de Tahiti a longtemps posé question aux marins, car la mer y est haute de façon très régulière deux fois par jour à midi et à minuit, en phase avec le Soleil, indépendamment de toute logique lunaire. Tahiti se trouve à un point central de bascule de l'attraction lunaire. L'eau s'y balance d'un côté puis de l'autre, mais reste fixe par rapport à ce point, comme lorsqu'on imprime un mouvement de bascule à l'eau d'une cuvette. En un tel point, seul le Soleil exerce son attraction, provoquant une montée des eaux au zénith à midi, et aux antipodes du zénith à minuit. La marée y dure exactement six heures avec des basses eaux au lever et au coucher du Soleil.

Alors que les marées sont relativement faibles en Méditerranée, elles peuvent cependant parfois prendre une amplitude particulière en hiver, notamment au fond du golfe de l'Adriatique, et provoquer l'*acqua alta* à Venise.

## Les moulins de marée

Un moulin de marée est un moulin à eau qui utilise le dénivelé du marnage pour entraîner sa roue. Le moulin est installé sur une digue qui délimite un bassin fermé muni de vannes. Quand la mer monte, les vannes sont ouvertes et l'eau pénètre dans le bassin. À marée haute, on ferme les vannes d'entrée d'eau de façon à conserver l'eau dans le bassin. Puis la mer descend. Quand la mer est suffisamment basse, on ouvre la vanne de la roue du moulin. Le bassin se vide et son eau, par différence de hauteur, se déverse dans la mer en actionnant la roue. De nombreux moulins de marée jalonnent les côtes bretonnes, dont ils constituent une richesse patrimoniale. C'est sur ce même principe que fonctionne l'usine marémotrice de la Rance entre Dinard et Saint-Malo.

## Altitude zéro! Le marégraphe De marseille

Posséder un niveau de référence « zéro » pour connaître l'altitude des reliefs terrestres est depuis toujours une nécessité géographique et technique. Pour la France, ce niveau est déterminé par le marégraphe installé depuis 1884 à Marseille, sur la corniche. Il est constitué d'un flotteur au fond d'un puits de tranquillisation, où l'eau de mer pénètre mais totalement atténuée des mouvements de la houle et des vagues. Le flotteur monte et descend en fonction de la marée, qui est très faible à Marseille: environ 30 centimètres en moyenne. Il est relié par un câble à un appareil, le marégraphe, qui enregistre les variations de la hauteur – marégramme – et permet d'en calculer le niveau médian, lequel sert de point zéro de référence d'altitude pour l'ensemble de la France. Ce marégraphe historique est aujourd'hui secondé par un marégraphe numérique équipé d'un télémètre mesurant en permanence la hauteur d'eau.



Le flotteur dans le puits du marégraphe de Marseille (Bouches-du-Rhône).



Place Saint-Marc. Lors de l'acqua alta, la ville est en grande partie inondée (Venise, Italie).



Le moulin de marée de l'île d'Arz dans le golfe du Morbihan.

## LES ÉCLUSES À POISSONS

Construite pour piéger les poissons à la marée descendante, une écluse à poissons est constituée d'un muret en pierres sèches dressé sur un estran rocheux et disposé en forme de fer à cheval ouvert vers le haut. Lorsque la mer monte, elle submerge la structure et remplit le bassin d'eau, poissons compris. À marée descendante, ceux-ci se font piéger par l'enceinte du mur. Il suffit alors, pour récupérer la pêche, de vidanger l'écluse au moyen d'une ou plusieurs vannes, petites passes prévues à cet effet car munies de grilles de façon à évacuer l'eau sans laisser s'échapper les poissons.



Écluse à poissons sur l'estran en contrebas du phare de Chassiron, île d'Oléron (Charente-Maritime).



# TRANSGRESSION

## régression



Si toutes les glaces des inlandsis des domaines polaires venaient à fondre, le niveau des mers et des océans monterait d'environ 60 à 70 mètres (ci-dessus, le littoral antarctique).



Le dépôt des sables de Fontainebleau, au sud de l'Île-de-France, date de la dernière avancée marine sur le cœur du Bassin parisien, il a 30 millions d'années.

Intersection entre le relief continental et la surface de la mer, le trait de côte évolue au fil des années, des siècles, des milliers et des millions d'années. Quand le niveau des mers s'élève, ou parfois que le continent s'affaisse, l'eau envahit un domaine qui était précédemment exondé : on parle de transgression. À l'inverse, quand la mer se retire d'un territoire, on parle de régression. On qualifie d'eustatisme les variations du niveau marin, sur lesquelles impactent différents facteurs à plus ou moins court ou moyen terme – glaciations, température des masses d'eau –, et à beaucoup plus long terme – tectonique des plaques, avec les changements de dimensions et de volume des bassins océaniques.

### Climat et hauteur d'eau !

Lors d'une période générale glaciaire, une partie de l'eau de la planète est mobilisée sous forme de glace à la surface des continents des régions polaires, comme sur l'Antarctique ou le Groenland aujourd'hui. Attention ! Le pôle Nord, quant à lui, est un domaine marin où la banquise ne fait que de l'ordre de 2 mètres d'épaisseur, alors qu'on

mesure une calotte de glace – inlandsis – d'environ 2 kilomètres d'épaisseur moyenne sur l'Antarctique.

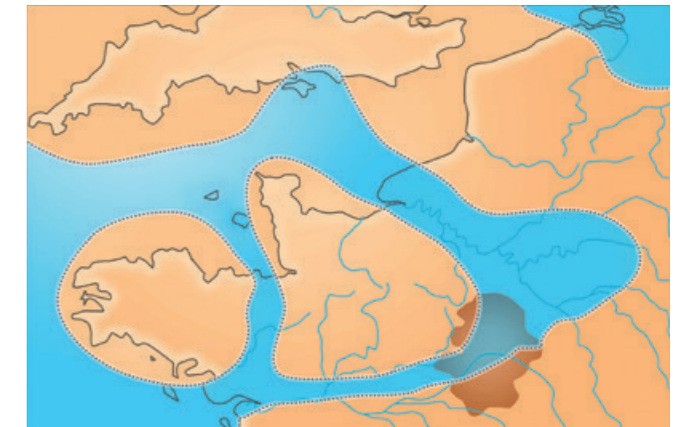
Lors du dernier maximum glaciaire, le niveau des mers et des océans était environ 120 mètres plus bas qu'aujourd'hui. Les mers épicontinentales comme la Manche ou la mer du Nord n'existaient pas. À l'inverse, si toutes les glaces des inlandsis actuels venaient à fondre, le niveau moyen des mers monterait d'environ 60 à 70 mètres, phénomène alliant alors le volume d'eau libre libéré et sa dilatation par réchauffement généralisé. Ce type de variation eustatique liée à une alternance glaciation/déglaciation peut aller très vite, en simplement quelques milliers d'années, comme en témoigne l'histoire de la planète depuis seulement 18 000 ans.

À titre de réflexion géologique, il faut noter qu'au Jurassique, par exemple, il n'y avait pas de glaciation à la surface de la Terre. Une grande partie des continents était alors inondée, ce qui explique que l'on observe autant de roches sédimentaires d'origine marine – calcaires, craies, marnes, argiles – constituant les sous-sols de France et datant de cette époque. Il y a 30 millions d'années, la mer

occupait encore le Bassin parisien ! Cependant, il ne faut pas négliger non plus que la hauteur des continents peut aussi varier en fonction d'autres phénomènes. Tout est toujours plus ou moins relatif ! Rechercher et dessiner les contours des mers et des continents aux différentes périodes de l'histoire de la Terre est l'objet de la paléogéographie.

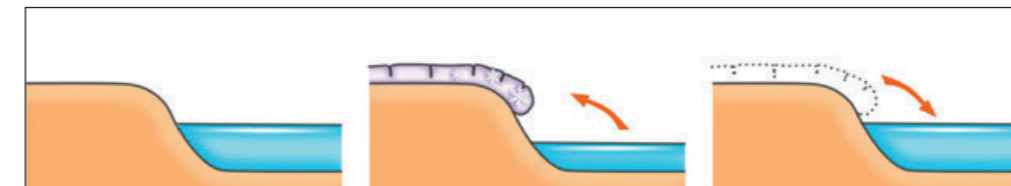
### Tectonique et hauteur d'eau

La tectonique des plaques, qui provoque les ouvertures et les fermetures océaniques, joue aussi, de façon non négligeable mais beaucoup plus lente, sur les dimensions des espaces océaniques et, de ce fait, sur leur hauteur d'eau. Une accélération de l'ouverture océanique au niveau des rides médio-océaniques provoque une augmentation de l'espace océan et, de ce fait, un abaissement du niveau marin. Inversement, une fermeture océanique peut provoquer une diminution de l'espace océan et, de ce fait, une montée du niveau marin, à condition, comme pour le cas précédent, que les deux phénomènes soient décalés et ne se compensent pas.

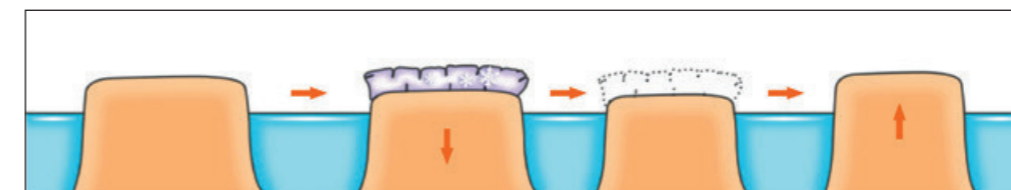


- Extension du dernier épisode marin sur le Bassin parisien, à l'Oligocène, il y a 30 millions d'années.
- Domaines continentaux émergés à l'Oligocène.
- Extension du lac de Beauce à l'Aquitainien, il y a 20 millions d'années.

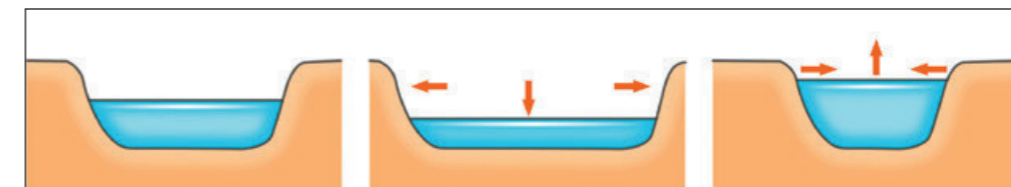
Exemple de reconstitution paléogéographique à partir des données géologiques de terrain.



Les glaciations monopolisent une partie de l'eau sous forme de glaciers et de calottes glaciaires, que la fonte restitue à l'océan, faisant varier le niveau général des mers.



Les surcharges des calottes glaciaires enfoncent les continents, qui se relèvent lentement après la déglaciation.



Les mouvements des plaques tectoniques changent très lentement les volumes des bassins océaniques et, de ce fait, les hauteurs d'eau.

Plusieurs phénomènes provoquent des variations des niveaux d'eau entre terres et mers.