

# FASCICULE DE GÉOGRAPHIE

## SECONDE - L & S

SECONDE L & S

F  
A  
S  
C  
I  
C  
U  
L  
E



G  
É  
O  
G  
R  
A  
P  
H  
I  
E

**RÉALISATION :**

**ASSANE GUÈYÉ**

**PROFESSEUR D'HISTOIRE ET DE GÉOGRAPHIE**

**LYCÉE AHMADOU NDAÏCK SECK DE THIÈS**

**ÉDITION 2016**

**NOTE DE PRÉSENTATION**

*La seconde est une classe de consolidation et d'approfondissement des acquis présumés de formation dans le premier cycle en géographie physique générale, aussi bien au niveau des processus que des produits. C'est aussi une classe d'initiation à l'élargissement de ces acquis dans des contextes géographiques étendus et à l'application différenciée des notions, des concepts, des méthodes et des procédés géographiques en fonction des échelles spatiales (zonale, régionale et locale) ...*

**OBJECTIFS GÉNÉRAUX****1- Objectifs de savoir :**

- connaître les principaux concepts et notions de géographie physique générale ;
- connaître les méthodes générales et particulières de production des savoirs et savoir-faire en géographie physique générale ;
- analyser les mécanismes des phénomènes naturels ;
- connaître les potentialités des diverses régions naturelles du globe ;
- connaître les codes et conventions en matière de protection de la nature ;
- connaître les causes naturelles de la dégradation des milieux ;
- connaître les principales zones de réserve et de production des ressources naturelles.

**2- Objectifs de savoir-faire :**

- savoir lire un espace géographique à travers des paramètres naturels ;
- appréhender l'évolution d'un espace géographique à travers des paramètres naturels ;
- savoir mettre en relation des facteurs physiques avec les autres déterminants des phénomènes spatiaux ;
- savoir discriminer des espaces en fonction de variables naturelles ;
- savoir identifier les révélateurs physiques de dégradation d'un espace géographique ;
- savoir décrire les révélateurs physiques de dégradation d'un espace géographique ;
- savoir analyser les ressources en fonction de leurs origines et de leurs destinations ;
- savoir relativiser le rôle des facteurs physiques dans l'appréhension des phénomènes géographiques ;
- savoir évaluer les potentialités et les limites d'un milieu.

**3- Objectifs de savoir-être et de savoir-devenir :**

- savoir valoriser les potentialités d'un espace géographique ;
- prendre conscience de la nécessité de protéger son milieu ;
- savoir répondre à un besoin de protection et d'harmonie d'un espace géographique.

*Extrait du programme de Géographie seconde*

**Contacts :**

77 523 97 52 / 70 910 05 11

[assanequeye34@yahoo.fr](mailto:assanequeye34@yahoo.fr)

## PROGRAMME

### **1<sup>ère</sup> partie : LA TERRE DANS LE SYSTÈME SOLAIRE**

L1 : Les moyens de connaissance de l'Univers

L2 : Les mouvements de la terre

L3 : TP : a) Les planètes du système solaire

b) Les formes de représentation de la terre

### **2<sup>e</sup> partie : LA PLANÈTE TERRE**

#### **Chapitre I : CONTINENTS, OCÉANS ET MERS**

L4 : La répartition des continents et des océans

L5 : Les eaux marines

L6 : TP : Planisphère schématique de la répartition des océans, des mers et des courants marins

#### **Chapitre II : LES CLIMATS DE LA TERRE**

L7 : L'atmosphère : structure et composition

L8 : Les facteurs du climat

L9 : Les éléments du climat

L10 : TP : Carte de la répartition des climats de la terre et construction de diagrammes

#### **Chapitre III : LES RELIEFS DE LA TERRE**

L11 : La tectonique des plaques et l'isostasie

L12 : Les roches

L13 : Les grands types de structures et leur répartition

L14 : L'érosion

L15 : Les formes de relief terrestre et leur répartition

L16 : TP :

1°) Carte de localisation des formes de relief

2°) Initiation à la coupe topographique

### **3<sup>e</sup> partie : LES "RÉGIONS NATURELLES" DU GLOBE**

L17 : Les régions intertropicales

L18 : Les régions tempérées

L19 : Les régions polaires

L20 : L'originalité des montagnes et des littoraux

# PREMIÈRE PARTIE : LA TERRE DANS LE SYSTÈME SOLAIRE

## COMPÉTENCES EXIGIBLES

- *Connaître les différents moyens de connaissance de l'Univers.*
- *Comprendre les mouvements de la terre.*
- *Connaître les planètes du système solaire.*
- *Appliquer les différents types de projections pour représenter la terre.*

**Leçon 1 : LES MOYENS DE CONNAISSANCE DE L'UNIVERS**

Doc 1 : L'Univers en image : la galaxie d'Andromède.



Depuis l'antiquité, l'homme s'est toujours préoccupé à connaître l'Univers. Il commence d'abord à s'intéresser à la forme et aux dimensions de la terre qui n'est qu'un petit élément d'un système dont le soleil est le centre : c'est le système solaire. Le perfectionnement des moyens de connaissance a permis de connaître certains mystères de l'Univers.

### **I/ QU'EST-CE-QUE L'UNIVERS ?**

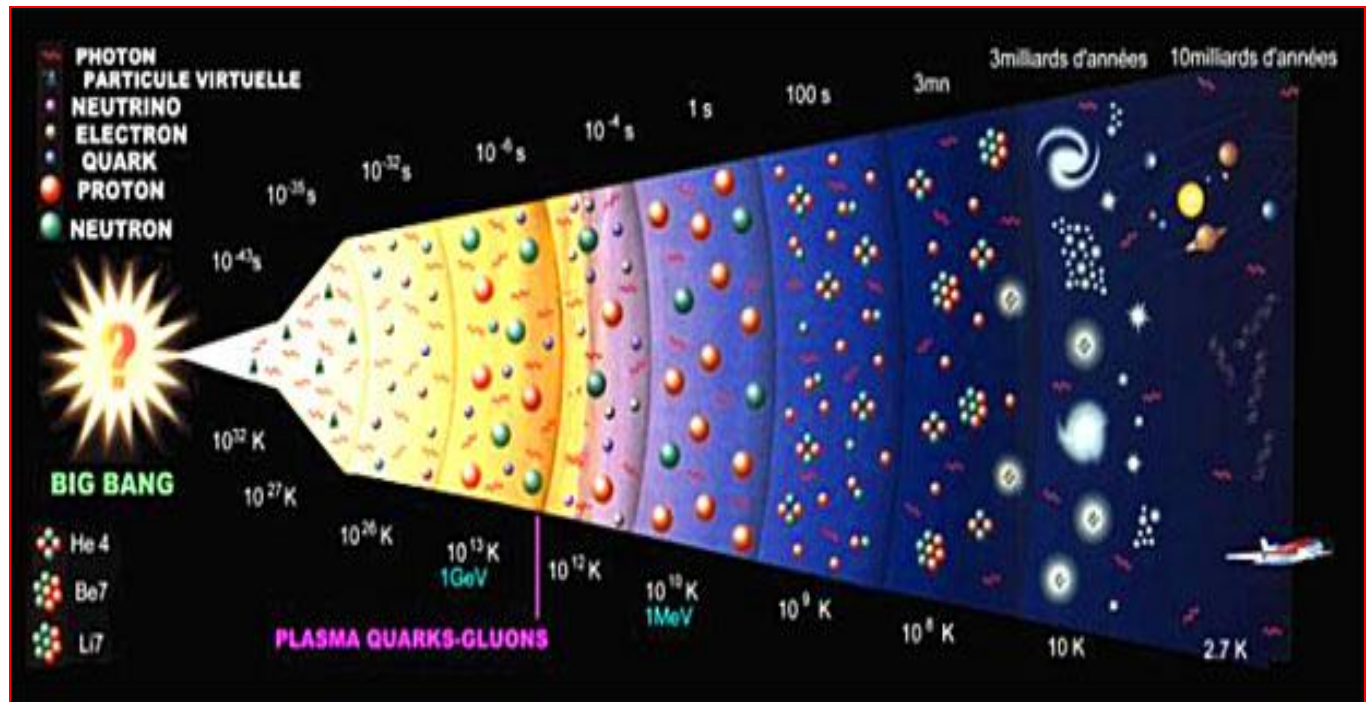
Pendant des millions d'années, l'espace est resté hors de portée des hommes, cloués au sol sur leur planète. Comme tout objet inaccessible, il fait rêver et donne lieu à de nombreuses interprétations. Des millénaires durant, on a d'ailleurs cru que le ciel était la résidence des dieux, reposant dans la béatitude éternelle. Les hommes ont voulu en avoir le cœur net et sont allés sur place. Ils n'y ont pas trouvé de présence divine, mais plutôt un endroit étrange, sans air, ni bruit, ni odeur. Un paradoxe de la nature, caractérisé par l'absence et pourtant si hostile, car il est tantôt le monde du silence, tantôt le théâtre de gigantesques déluges énergétiques. L'énergie du vide, que les scientifiques ont bien du mal à cerner, bouscule notre perception usuelle du monde actuel.

L'Univers est, par définition, le contenant de tout ce qui existe, tout ce que l'intelligence humaine peut percevoir par ses sens et sa technologie, à son échelle. L'espace extra-atmosphérique commence à environ 100 km au-dessus de la terre, à la limite où l'enveloppe d'air qui entoure notre planète, l'atmosphère, disparaît.

## II/ COMMENT S'EST FORMÉ L'UNIVERS ?

Les scientifiques estiment que l'Univers a commencé il y a 13,7 milliards d'années-lumière ou années de lumière<sup>1</sup> d'années par le « Big-bang<sup>2</sup> » :

### Doc 2 : La théorie du Big-bang



- en premier, l'univers entier était une boule plus petite qu'un atome et plus chaude que n'importe quelle étoile. Cette boule s'est dilatée bien plus rapidement que la vitesse de la lumière pour atteindre la dimension d'une galaxie en une fraction de seconde.
- l'univers étant en expansion, il a commencé à se refroidir et de minuscules particules d'énergie et de matière (chacune étant plus petite qu'un atome) ont commencé à former une matière épaisse comme une sorte de soupe.
- après trois minutes environ, la gravité a commencé à regrouper les particules. Les atomes se sont unis pour former des gaz comme l'hydrogène et l'hélium et la « soupe épaisse » s'est diluée. À la fin de ces trois minutes, la matière qui nous entoure aujourd'hui avait été créée.

Ceci n'est pas des inventions sorties d'un rêveur. En fait, les astronomes ont étudié le Big-bang et calculé le moment où il s'est produit en observant comment les galaxies se déplacent dans l'espace. Ils ont aussi découvert que toutes les galaxies de l'Univers s'éloignent de la

<sup>1</sup> **Année-lumière ou année de lumière** : unité de longueur égale à la distance parcourue par la lumière en un an, soit 9461 milliards de km.

<sup>2</sup> **Big-bang (Grand Boum)** : modèle cosmologique utilisé par les scientifiques pour décrire l'origine et l'évolution de l'Univers. Il a été initialement proposé en 1927 par le belge Georges Lemaître qui décrivait dans les grandes lignes l'expansion de l'Univers, avant que celle-ci soit mise en évidence par l'astronome américain Edwin Hubble en 1929. Ce modèle a été désigné pour la première fois sous le terme ironique de « Big-bang » lors d'une émission de la BBC, *The Nature of Things*, par le physicien britannique Fred Hoyle en 1950.

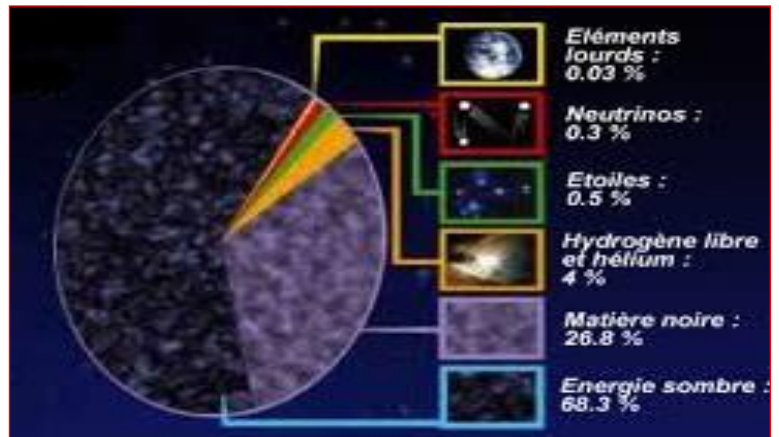
terre. Si tel est le cas, l'Univers s'agrandit. Si l'univers est en expansion, il a été jadis plus petit. C'est la théorie dite de l'expansion de l'univers.

L'Univers est constitué de galaxies<sup>3</sup>. Les astronomes estiment qu'il y a entre 100 milliards et 200 milliards de galaxies connues dans l'Univers. La Voie lactée est la galaxie dans laquelle se situe le système solaire. On le désigne couramment comme la Galaxie G. Notre position en son sein nous la fait voir par la tranche sous forme d'une large bande laiteuse, aux contours irréguliers et aux bords légèrement fendus, qu'on aperçoit dans le ciel lorsque la nuit est sereine. La Voie lactée compte près de 234 milliards d'étoiles.

**Doc 3 : La voie lactée observée depuis le désert du Nevada (États-Unis)**



**Doc 4 : Composition de l'Univers**



### III/ LES ÉTAPES DE LA CONNAISSANCE DE L'UNIVERS

#### 1°) La période ancienne

Les recherches pour une meilleure connaissance de l'Univers remontent depuis l'antiquité :

- **L'astronome et géographe grec Claude Ptolémée<sup>4</sup>** fait ses premières observations à Alexandrie. Ses recherches l'amènent à exposer, en s'appuyant sur les mathématiques, un système géocentrique du monde. Selon lui, la terre est fixe et au centre de l'univers. Il tente donc d'expliquer mathématiquement les mouvements des planètes, de la lune et du soleil. Ainsi, il établit que les planètes du système tournent en formant un petit cercle qu'il appelle « épicycle » et dont les centres suivent également un mouvement rotatif autour de la terre. Bien que fausse, le système mis au point par Ptolémée restera en vigueur jusqu'au XVI<sup>e</sup> siècle.

<sup>3</sup> **Galaxie** : assemblage d'étoiles, de gaz, de poussières et de matière noire, contenant parfois un trou noir massif en son centre.

<sup>4</sup> **Claude Ptolémée (90-168)** : astronome et astrologue grec qui vécut à Alexandrie (Égypte), il est l'un des précurseurs de la géographie.

- **L'astronome polonais Nicolas Copernic<sup>5</sup>** affirme que la terre n'est pas immobile au centre de l'Univers. Dans son système héliocentrique connu sous le nom de système de Copernic, toutes les planètes tournent autour du soleil et que la terre n'est plus qu'une planète comme les autres, dont la rotation sur elle-même donne l'alternance du jour et de la nuit.
- **Tycho Brahe<sup>6</sup>** fit les premières observations de positions suffisamment précises pour permettre à Kepler d'énoncer ses lois. Pour lui, les observations devaient permettre d'approcher la réalité des choses plus facilement que les considérations philosophiques.
- **L'Italien Galilée<sup>7</sup>** posa les fondements de la mécanique et montra la réalité du postulat de Copernic grâce à ses observations utilisant pour la première fois une lunette astronomique. Il découvrit une multitude de choses jusqu'alors insoupçonnées : les taches du soleil, les cratères de la lune, les satellites de Jupiter, le croissant de Vénus, l'anneau de Saturne qu'il prit pour deux énormes satellites de part et d'autre de la planète, et une multitude d'étoiles invisibles à l'œil nu dans la Voie lactée. Il conteste donc le géocentrisme et fut poursuivi par l'Église. Il dut se rétracter devant l'inquisition en 1633. Cela est suivie par sa célèbre affirmation : « et pourtant elle tourne ».
- **Le navigateur portugais Fernand de Magellan<sup>8</sup>**, lors de son voyage de tour du monde (1521-1522), confirme que la terre est plus ou moins sphérique.
- **L'Allemand Johannes Kepler<sup>9</sup>** utilisa les observations de Tycho Brahe pour montrer que la planète Mars parcourait une orbite elliptique. Il énoncera alors les lois qui portent son nom : chaque planète décrit une ellipse dont le soleil occupe un des foyers.
- **Sir Isaac Newton<sup>10</sup>** énonce la théorie de la gravitation universelle et définit clairement les notions de masse et de force. Son principe de l'attraction des corps selon l'inverse du carré des distances va expliquer le mouvement des planètes observé par Kepler, les marées

---

<sup>5</sup> **Nicolas Copernic (1473-1543)** : astronome polonais, il est célèbre pour avoir développé et défendu la théorie de l'héliocentrisme selon laquelle le soleil se trouve au centre de l'Univers et la terre tourne autour de lui contre la croyance répandue que cette dernière était centrale et immobile.

<sup>6</sup> **Tycho Brahe (1546-1601)** : astronome danois et un des premiers grands observateurs des temps modernes.

<sup>7</sup> **Galilée (1564-1642)** : mathématicien, géomètre, physicien et astronome italien du XVII<sup>e</sup> siècle.

<sup>8</sup> **Fernand de Magellan (1480-1521)** : explorateur portugais, premier navigateur à traverser l'océan Pacifique et à réaliser une circumnavigation.

<sup>9</sup> **Johannes Kepler (1571-1630)** : astronome allemand célèbre pour avoir étudié l'hypothèse héliocentrique de Copernic et surtout, pour avoir découvert que les planètes ne tournent pas autour du soleil en suivant des trajectoires circulaires parfaites, mais des trajectoires elliptiques.

<sup>10</sup> **Sir Isaac Newton (1642-1727)** : philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste, astronome et théologien anglais, il est surtout reconnu pour avoir fondé la mécanique classique pour sa théorie de la gravitation universelle

et l'aplatissement de la terre. Newton a compris le premier que la pomme qui tombe d'un arbre et la lune sur son orbite sont les conséquences d'une même force.

- **L'astronome français Laplace<sup>11</sup>** réunit tous les travaux sur les conséquences de la gravitation universelle de Newton dans une théorie homogène : la mécanique céleste qui va décrire parfaitement le mouvement des corps du système solaire.

- **Le Verrier<sup>12</sup>** étudie les perturbations inexplicables du mouvement de la planète Uranus. Il envisage alors l'existence d'une planète inconnue dont il détermine l'orbite par le calcul et qui expliquerait les perturbations subies par Uranus. Le 23 septembre 1846, la planète à l'observatoire de Berlin.

- **Albert Einstein<sup>13</sup>** révolutionna la mécanique newtonienne en introduisant sa théorie de la relativité générale en 1916. Cette théorie remet en cause les notions d'espace et de temps, et conteste ainsi les principes de la mécanique classique en postulant que : il n'y a pas de temps absolu ; il n'y a pas de repère galiléen (repères immobiles ou en mouvement de translation rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres dans lesquels les lois fondamentales de la mécanique s'appliquent de la même façon) ; la gravitation se transmet à la vitesse de la lumière et non pas avec des forces instantanées :  $E = mc^2$  ( $E$  = énergie de la masse,  $mc^2$  = énergie d'un corps,  $c$  = vitesse de la lumière).

## 2°) La période moderne

Pour comprendre notre Univers et son évolution, il est indispensable de construire des moyens d'observation toujours plus performants. Le système solaire est exploré par les sondes spatiales. Ces dernières ont visités toutes les planètes du système solaire. Certaines d'entre elles se sont posées sur leur surface pour mener des études locales précises. D'autres sont restées en orbite.

À partir des années 60, les véhicules spatiaux ont en effet permis d'explorer le milieu spatial lui-même (haute atmosphère, magnétosphère, milieu interplanétaire), d'aller étudier sur place les objets du système solaire. D'importantes avancées sont notées dans le domaine des véhicules et de l'instrumentation.

<sup>11</sup> **Pierre Simon, marquis de Laplace<sup>11</sup> (1749-1827)** : astronome, mathématicien et physicien français qui émit l'hypothèse de la « nébuleuse primitive » sur l'origine du système solaire.

<sup>12</sup> **Urbain Le Verrier (1811-1877)** : astronome français, à l'origine de la découverte de la planète Neptune.

<sup>13</sup> **Albert Einstein (1879-1955)** : physicien américain d'origine allemande, surtout connu comme le créateur des théories de la relativité restreinte et générale.

## A/ Les télescopes

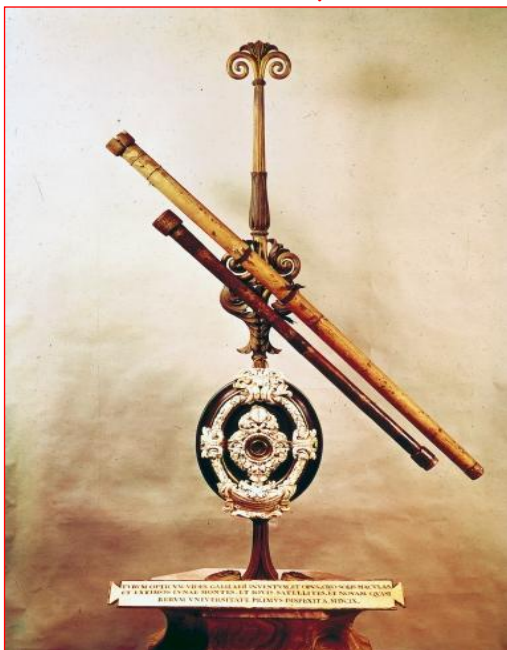
Un télescope est un instrument d'optique permettant d'augmenter la luminosité ainsi que la taille apparente des objets à observer. Son rôle de récepteur de lumière est souvent plus important que son grossissement optique, il permet d'apercevoir des objets célestes ponctuels difficilement perceptibles ou invisibles à l'œil nu.

En 1609, l'astronome italien Galilée mit au point la première lunette astronomique ayant une capacité d'agrandissement de 30 fois.

Aujourd'hui l'Observatoire Keck est l'un des plus grands télescopes mondiaux. Il est équipé de deux télescopes situés à 4145 m d'altitude près du sommet du volcan Mauna Kea à Hawaï aux États-Unis.

Keck I et Keck II sont tous deux constitués d'un miroir de 10 mètres de diamètre segmenté en une mosaïque de 36 plus petits miroirs hexagonaux, orientables individuellement, qui travaillent ensemble et adaptent leur position les uns par rapport aux autres grâce au système informatique qui les gère. Ainsi, ses 36 petits miroirs sont utilisables comme un seul miroir large de 10 m grâce au système d'optique active. Ils sont équipés de caméras et spectromètres permettant une observation dans le spectre visible et dans le spectre infrarouge. Ce système permet des observations très lointaines et précises.

Doc 5 : Lunette astronomique de Galilée



Doc 6 : L'Observatoire W. M. Keck à Hawaï (Keck I et Keck II)



Les télescopes Keck I et Keck II sont à l'origine de plusieurs découvertes astronomiques majeures de ces dernières années. En 2005, Keck II observe un objet transneptunien, peut-être une nouvelle planète du système solaire. Cet objet plus gros que Pluton (2700 km de diamètre) est provisoirement baptisée Xena et sa lune Gabrielle.

En 2010, une quatrième planète géante, HR 8799, est découverte hors du système solaire. Elle se situe à 129 années-lumière de la terre et son système ressemble beaucoup à notre système solaire, en plus grand.

### B/ Les radiotélescopes

Depuis 1936, l'astronomie a considérablement élargi son champ d'études grâce aux radiotélescopes qui captent les ondes radio en provenance de l'Univers.

Le principe du radiotélescope est sensiblement le même que celui du télescope : il s'agit de recueillir un maximum d'ondes. Alors que les télescopes sont des entonnoirs à photons, les radiotélescopes sont eux de gigantesques oreilles à ondes dites « radio ». Pour améliorer le pouvoir de résolution des radiotélescopes, on va utiliser la plus grande parabole possible. Ainsi, les rayons sont concentrés en un point : le foyer où l'on place le détecteur.

Le radiotélescope est praticable de jour comme de nuit et par tous les temps, les ondes radio voyageant continuellement. Sur une source circumpolaire, il est donc possible d'observer 24 heures sur 24, ce qui représente un intérêt non négligeable pour les phénomènes d'évolution rapide.

Doc 7 : Le radiotélescope d'Arecibo à Porto Rico



Doc 8 : Le centre du VLA au Nouveau Mexique



On a construit en 1963 le radiotélescope d'Arecibo à Porto Rico. Il mesure 305 m de diamètre et se trouve dans une cuvette naturelle en forme de parabole. La parabole elle-même ne peut pas se déplacer pour observer un objet précis. Il est en revanche possible d'orienter le détecteur, ce qui permet une observation de 20° de part et d'autre du point zénithal. Un tel système améliore légèrement la résolution mais pas de manière significative. C'est en fait dans l'interférométrie<sup>14</sup> que réside la solution. Cette technique fait appel à l'utilisation de deux ou plusieurs radiotélescopes, relativement éloignés les uns des autres. En pointant une certaine source, l'onde radio doit parcourir une plus grande distance pour arriver à l'un des instruments par rapport à l'autre. En mesurant ces distances, on peut

<sup>14</sup>**Interférométrie** : méthode de mesure qui exploite les interférences intervenant entre plusieurs ondes cohérentes entre elles. L'interférométrie est utilisée en astronomie aussi bien avec des télescopes optiques qu'avec des radiotélescopes.

connaître précisément la position de la source. Une grande expérience d'interférométrie a été réalisée au Nouveau-Mexique avec le VLA (Very Large Array) où, en 1980 ont été installées 27 antennes de 25 m de diamètre chacune.

### C/ Les sondes spatiales

La sonde spatiale est un vaisseau non habité, construit et envoyé par l'homme et dont l'objectif est l'exploration de l'espace, en particulier du système solaire.

On entend par exploration, aussi bien les observations (photographie et imagerie de tout type : rayons infrarouges, rayons X, températures, analyses spectrographiques, ...) que les mesures et analyses, dites *in situ* (prélèvement d'échantillons, particules du vent solaire et des magnétosphères, champs magnétiques et électriques, ...).

Les sondes peuvent parfois être mises en orbite autour de planètes ou des corps célestes (astéroïdes, comètes, lune, ...) devenant ainsi des satellites planétaires. Mais dès qu'un vaisseau a pour objectif la mise en orbite autour de la terre (en mouvement ou en position fixe dite géostationnaire), on parle alors non pas de sonde spatiale, mais de satellite artificiel.

L'intérêt de la sonde spatiale, outre d'accéder à de grandes distances et de permettre des angles d'observations inaccessibles depuis notre planète, est également de réaliser des observations et analyses tout simplement impossibles depuis le sol terrestre du fait de son atmosphère, sa pollution et de ses propres caractéristiques physico-chimiques, électriques ou encore magnétiques, ...

Les premières sondes ont été envoyées il y a maintenant 50 ans et malgré un nombre élevé d'échecs, les résultats obtenus durant cette période sont énormes. À ce jour, il est quasi impossible de définir avec précision le nombre total de sondes envoyées (en particulier du fait du niveau de secret mis en place par certaines nations, tout particulièrement l'URSS durant la guerre froide ou certains pays asiatiques).

Parmi les sondes spatiales, on peut citer :

- **Pioneer** : première sonde spatiale américaine conçue pour voyager au-delà de l'orbite terrestre (1958) ;
- **Ranger** : série de 9 sondes spatiales américaines non habitées, conçues pour l'exploration de la lune et lancées entre 1961 et 1965 ;
- **Surveyor** : série de 7 sondes inhabitées qui sont les premiers vaisseaux spatiaux américains à se poser sur la lune sans s'y écraser (de 1966 à 1968) ;
- **Mariner** : nom donné à une série de 10 sondes spatiales américaines, lancées entre 1962 et 1973 et conçues pour explorer Mercure, Vénus et Mars ;
- **Voyager** : nom de 2 sondes spatiales américaines, lancées en 1977, conçues pour explorer les quatre planètes géantes du système solaire (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) ;

- **Viking** : première sonde spatiale américaine à survivre à l'atterrissage sur la planète Mars (Viking 1 et Viking 2 mises au point par la NASA<sup>15</sup> en 1975) ;
- **Mars Global Surveyor 96** : sonde spatiale américaine lancée vers la planète Mars en 1996. Première d'une série que la NASA envisage de lancer sur Mars tous les 26 mois jusqu'en 2005 ;
- **Magellan** : sonde spatiale américaine lancée en 1989 qui a dressé la carte de presque toute la surface de la planète Vénus ;
- **Galileo** : engin spatial américain lancé le 18 octobre 1989 depuis la navette spatiale Atlantis qui a permis de mieux connaître la planète Jupiter ;
- **Ulysses** : sonde interplanétaire dont le but est de mesurer le vent solaire et le champ magnétique au-dessus des pôles du soleil. Lancée le 06 octobre 1990 depuis la navette spatiale Discovery, la mission Ulysses est un projet commun de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de la NASA.

Doc 9 : La sonde Voyager 1



Doc 10 : La sonde Galileo



## D/ Les satellites artificiels

Apparus pour des motifs politiques, les satellites artificiels sont devenus des outils indispensables pour la science, la défense, les télécommunications et pour des applications aussi variées que la prévision du temps, la lutte contre la pollution ou le sauvetage de navigateurs en détresse.

Le premier satellite, Spoutnik 1, lancé par l'URSS le 4 octobre 1957, n'était qu'une petite boule métallique de 58 cm de diamètre, pesant 84 kg, munie d'un émetteur et équipée de quatre antennes pour qu'on puisse repérer sa position dans l'espace. Dépourvu d'appareillage scientifique, il avait pour principal objet de tester sa fusée porteuse et de démontrer la capacité des Soviétiques à placer des charges utiles en orbite autour de la Terre.

<sup>15</sup> **NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) : organisme américain de l'espace et de l'aéronautique chargé de la recherche et de l'exploration spatiale, ainsi que du développement de techniques spatiales de pointe. La NASA fut créée en 1958.

Un mois plus tard, le 3 novembre 1957, l'URSS récidivait avec Spoutnik 2, à la mission beaucoup plus ambitieuse : l'engin, dont la masse atteignait cette fois 508 kg, emportait à son bord une petite chienne, *Laiika*, et constituait ainsi le premier satellite habité.

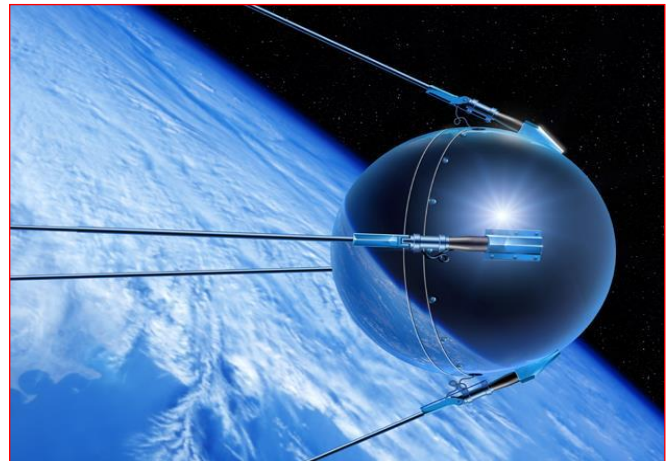
Diminués par ces premiers succès spatiaux soviétiques, les Américains réagirent rapidement : le 31 janvier 1958, les États-Unis plaçaient à leur tour sur orbite leur premier satellite, Explorer 1.

La compétition entre les deux grandes puissances était désormais engagée et le rythme des lancements allait vite s'accélérer : 8 satellites lancés en 1958, 14 l'année suivante, plus d'une centaine par an à partir de 1962. Depuis, le club des puissances spatiales s'est élargi : successivement, la France (1965), le Japon et la Chine (1970), la Grande-Bretagne (1971), l'Inde (1980), Israël (1988) et l'Iran (2009) ont réussi à mettre des satellites en orbite autour de la terre au moyen de leurs propres lanceurs. L'Europe elle-même, avec ses fusées Ariane, lance, depuis 1979, ses propres satellites.

**Doc 11 : Le satellite Hubble**



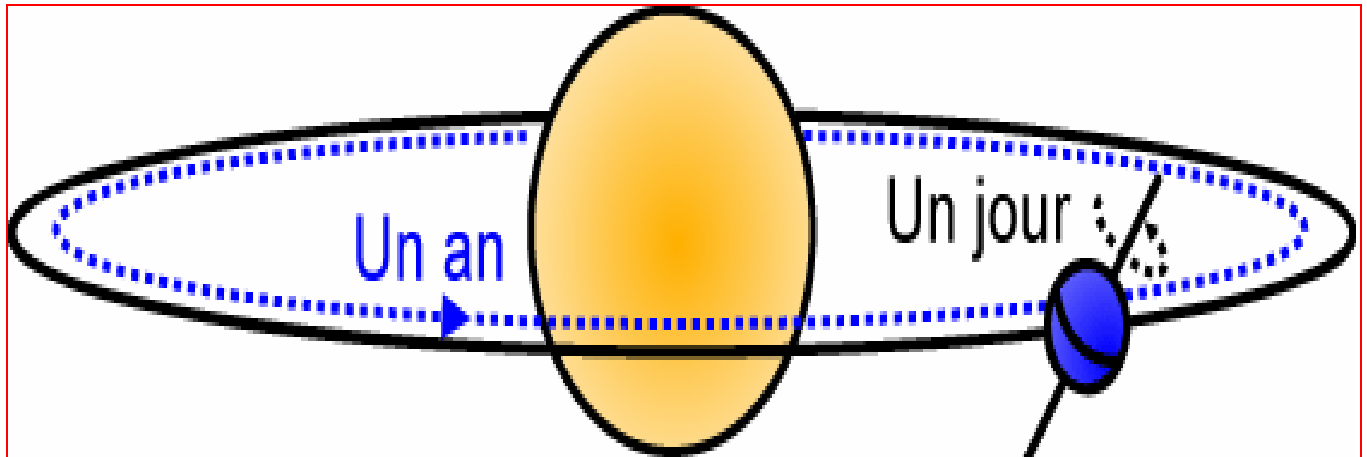
**Doc 12 : Spoutnik 1**



## Leçon 2 : LES MOUVEMENTS DE LA TERRE

La terre n'est pas immobile. Elle est animée par un double mouvement : un mouvement de rotation sur elle-même en un jour et un mouvement de révolution autour du soleil en un an. Ces mouvements ont des conséquences multiples.

### Doc 1 : Rotation et Révolution



### I/ PRÉSENTATION DE LA TERRE

La terre est la troisième planète du système solaire en partant du soleil. Elle est une sphère de forme ellipsoïdale<sup>16</sup>, avec un léger aplatissement aux pôles. Elle tourne autour du soleil avec sept autres planètes (Mercure, Venus, Mars, Jupiter, Uranus, Saturne, Neptune), entraînant avec elle en satellite naturel : la lune<sup>17</sup>.

- distance moyenne terre-soleil : 150 millions de km ;
- distance maximale : 153 millions de km au solstice d'hiver ;
- distance minimale : 147 millions de km au solstice d'été ;
- diamètre aux pôles : 12 713 km, soit un rayon de 6356 km ;
- diamètre à l'équateur : 12 756 km, soit un rayon de 6378 km ;
- superficie totale : 511,8 millions de km<sup>2</sup> ;
- volume : 1083.10<sup>9</sup> km<sup>3</sup> ;
- densité : 5,51 ;
- circonférence : 40 000 km.

<sup>16</sup> **Ellipse** : conique ayant la forme d'une courbe fermée obtenue comme intersection d'un cône par un plan coupant une seule nappe de ce cône. Le cercle est une forme particulière d'ellipse.

<sup>17</sup> **Lune** : satellite naturel de la terre, elle tourne autour d'elle sur une orbite elliptique à une distance moyenne de 384 402 km et à une vitesse moyenne de 3700 km/h. Elle parcourt cette orbite en près de 27 j 7 h 43 mn : c'est la période de révolution sidérale, c'est-à-dire le temps mis par la lune pour se retrouver dans une position identique par rapport aux étoiles. On appelle mois lunaire ou lunaison, le temps que met la lune pour se retrouver dans la même position par rapport au soleil (premier quartier, pleine lune).

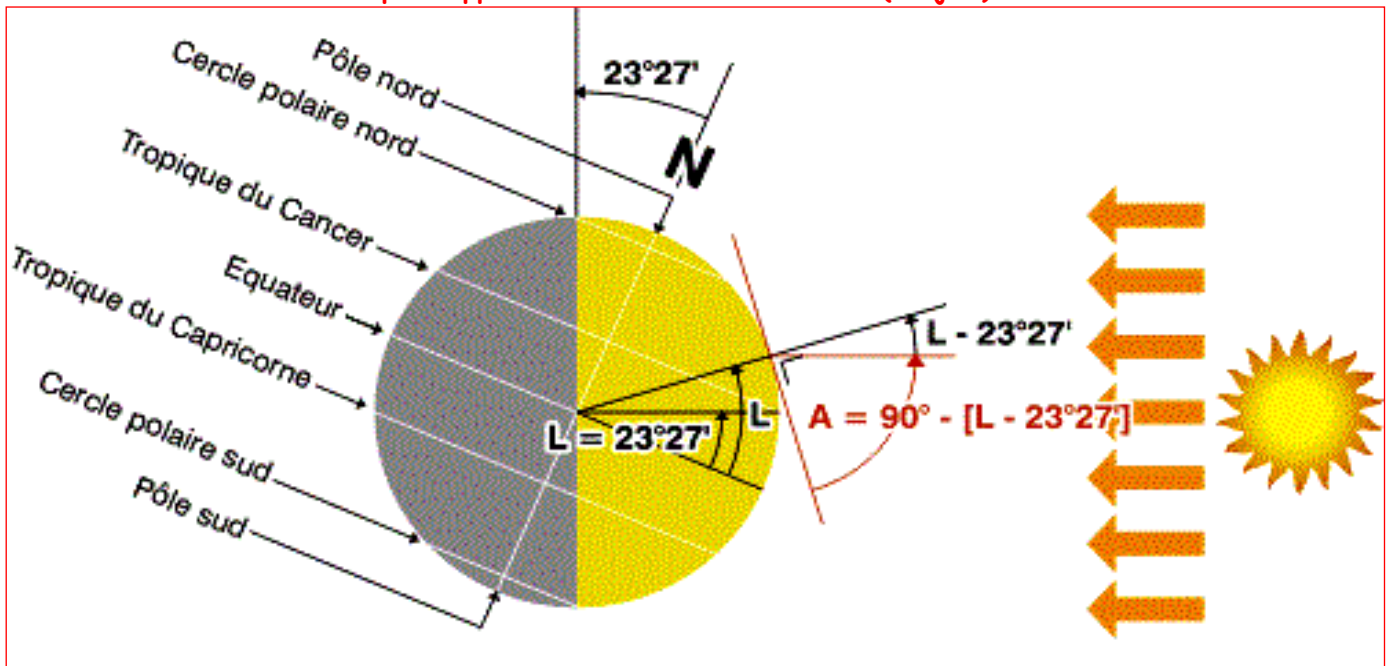
## II/ LA ROTATION ET SES CONSÉQUENCES

La rotation désigne le mouvement diurne (quotidien) que la terre effectue sur elle-même et d'Ouest vers l'Est (sens contraire des aiguilles d'une montre) sur l'axe imaginaire des pôles en 23h 56 mn 4 s. la vitesse de rotation est de 1676 km/h à l'équateur, 1000 km/h dans les latitudes moyennes (zones tempérées) et nulle aux pôles.

La rotation a des conséquences importantes sur la vie des hommes :

- **L'alternance du jour et de la nuit** : Tous les points situés à la surface de la terre se trouvent successivement exposer et cacher aux rayons solaires, d'où l'existence du jour de réchauffement et de la nuit de refroidissement.

### Doc 2 : Position de la terre par rapport au soleil au solstice d'été (21 juin)



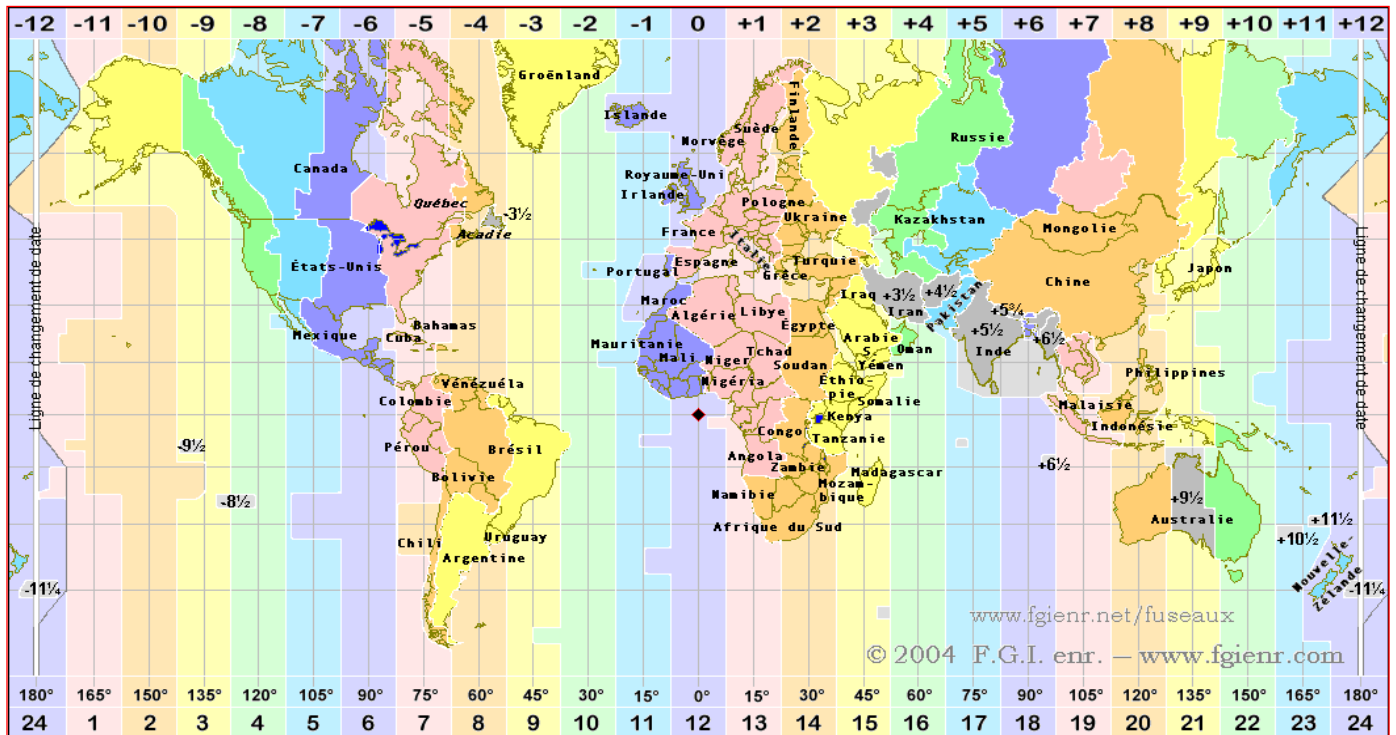
Le soleil est au zénith au tropique Nord, toute la zone polaire Nord est éclairée 24 h/jour alors que la zone polaire Sud est dans l'obscurité pendant 24 h.

- **Le décalage horaire** : Chaque point du globe parcourt  $360^\circ$  en 24 heures, soit  $15^\circ$  par heure. Dès lors, seuls les points situés sur un même méridien voient le soleil au même moment : ils ont la même heure vraie ou heure solaire. L'heure légale est par convention définie à l'intérieur d'un fuseau horaire. Chacun des 24 fuseaux horaires est compris entre deux méridiens distants de  $15^\circ$  ( $1^\circ = 111 \text{ km}$ ). L'heure de référence internationale est l'heure de Greenwich<sup>18</sup> qu'on désigne depuis 1914 par GMT (Greenwich Mean Time) ou TU (Temps Universel).

<sup>18</sup> **Greenwich** : faubourg du sud-est de Londres en Angleterre sur les bords de la Tamise.

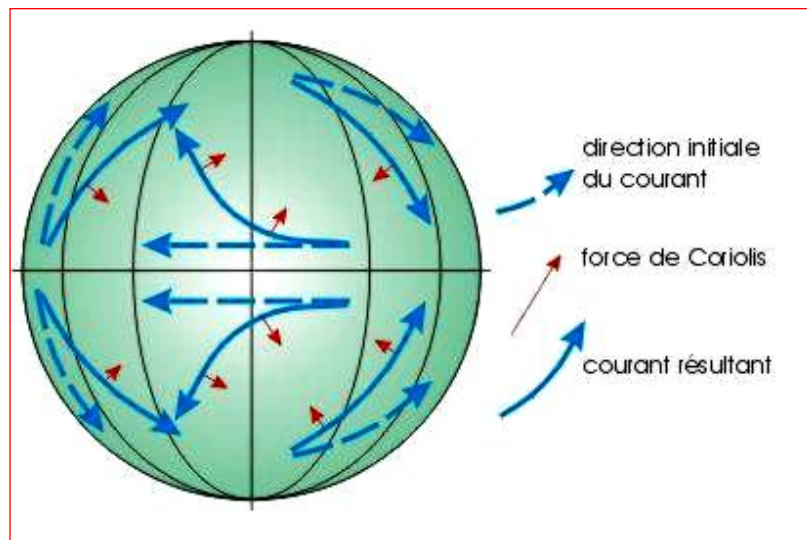
- **Méridien de Greenwich** : ligne imaginaire formant la moitié d'un grand cercle et reliant les pôles Nord et Sud. Le méridien de Greenwich passe par le centre du cercle méridien de l'ancien observatoire royal de Greenwich à l'Est de Londres.

**Doc 3 : Les fuseaux horaires**



- **La force de Coriolis<sup>19</sup>** : La rotation explique la déviation, pour des raisons mécaniques, les courants marins et les vents grâce à la force de Coriolis. Ce phénomène a été mis en évidence au XIX<sup>e</sup> siècle par le mathématicien et ingénieur français Gaspard Coriolis. Dans l'hémisphère<sup>20</sup> Nord, les mouvements sont déviés vers la droite tandis que dans l'hémisphère Sud, ils sont déviés vers la gauche. La force de Coriolis est nulle à l'équateur et maximale aux pôles : c'est une force centrifuge.

**Doc 4 : La force de Coriolis**



<sup>19</sup> **Gaspard Coriolis (1792-1843)** : ingénieur et mathématicien français qui a mis en évidence les forces centrifuges dues à la rotation terrestre dites forces de Coriolis.

<sup>20</sup> **Hémisphère** : la moitié du globe terrestre de part et d'autre de l'équateur. L'hémisphère Nord est également appelé hémisphère boréal et l'hémisphère Sud porte parfois le nom d'hémisphère austral. Dans chacun des hémisphères, la latitude varie de 0° à 90° (de l'équateur vers les pôles).

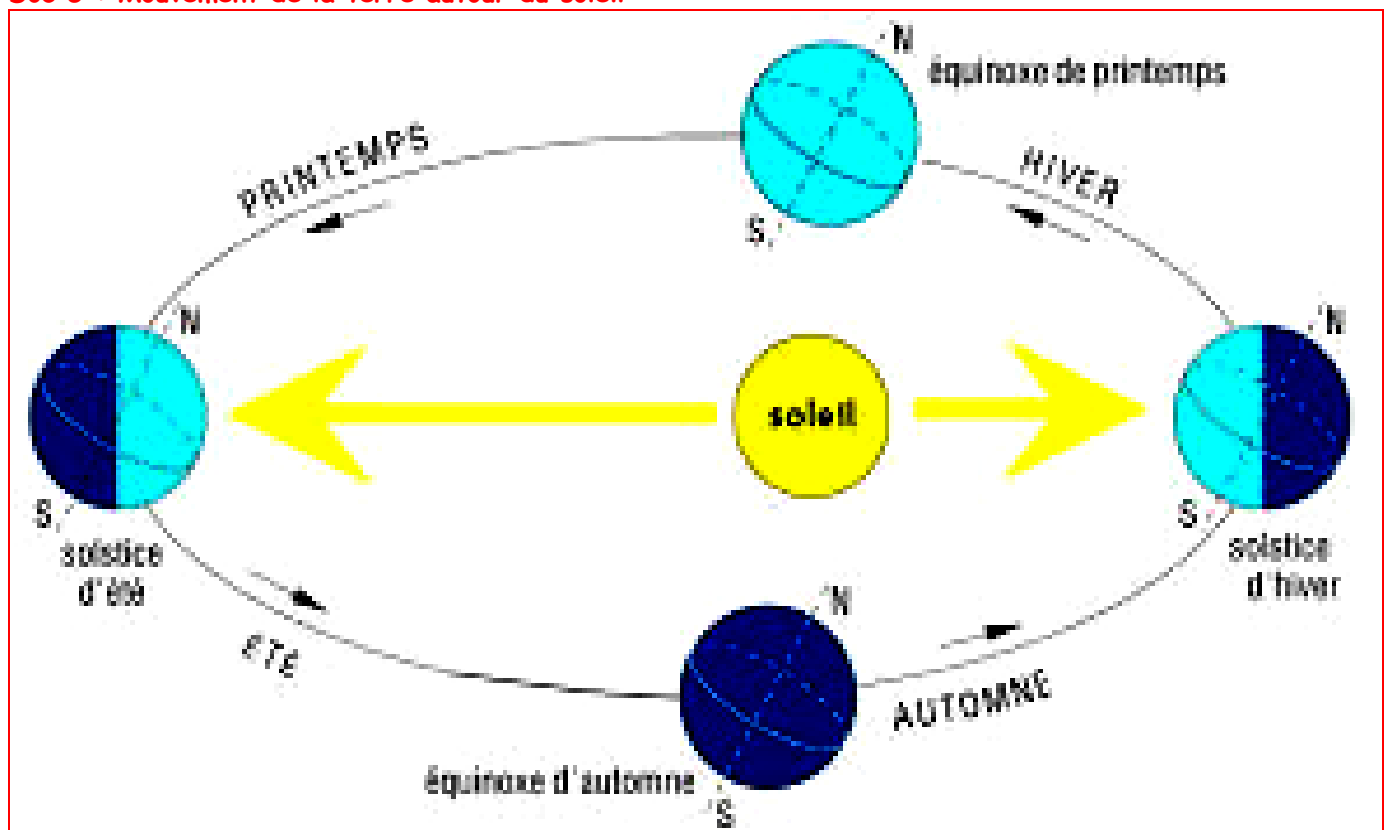
- La rotation explique aussi **l'aplanissement des pôles** sous l'action des forces centrifuges<sup>21</sup>. Les régions équatoriales sont bombées de sorte que la terre n'est pas une sphère parfaite.

## II/ LE MOUVEMENT DE RÉVOLUTION ET SES CONSÉQUENCES

Tout en tournant sur elle-même, la terre tourne autour du soleil suivant une trajectoire en forme d'ellipse (ovale) appelé orbite terrestre dont la longueur est d'environ 940 millions de km, soit une vitesse de 30 km/s. Le trajet dure  $365 \frac{1}{4}$  : c'est l'année civile. Mais tous les quatre ans, l'année est de 366 jours : c'est l'année bissextile. Comme l'axe des pôles est incliné à  $66^{\circ}33'$  sur le plan de l'écliptique<sup>22</sup>, l'ensoleillement de la surface de la terre varie en durée et en intensité selon la latitude et la position de la terre par rapport au soleil : c'est l'origine des saisons et des zones climatiques.

### 1°) La succession des saisons

Doc 5 : Mouvement de la terre autour du soleil



Dans son mouvement, la terre occupe quatre positions : deux solstices et deux équinoxes.

<sup>21</sup> **Force centrifuge** : force tendant à éloigner un objet du centre de sa trajectoire circulaire.

<sup>22</sup> **Plan de l'écliptique** : en astronomie, trajet apparent du soleil sur la sphère céleste au cours de l'année vu depuis la terre. Ce grand cercle est en fait le changement de perspective que l'on a du soleil le long de l'orbite terrestre. L'écliptique doit son nom au fait que les éclipses surviennent uniquement lorsque la lune, dans son mouvement autour de la terre, traverse le plan de l'écliptique où elle peut alors masquer le soleil.

- **Éclipse** : disparition d'un astre lorsqu'un autre s'interpose.

- **Aux solstices**, le soleil est au zénith sur un tropique :

Le 21 juin (solstice d'été), le soleil est au zénith sur le tropique du Cancer (tropique Nord). La durée du jour est maximale dans l'hémisphère Nord et minimale dans l'hémisphère Sud. Au niveau du cercle polaire Arctique, on a un jour de 24 heures (soleil de minuit).

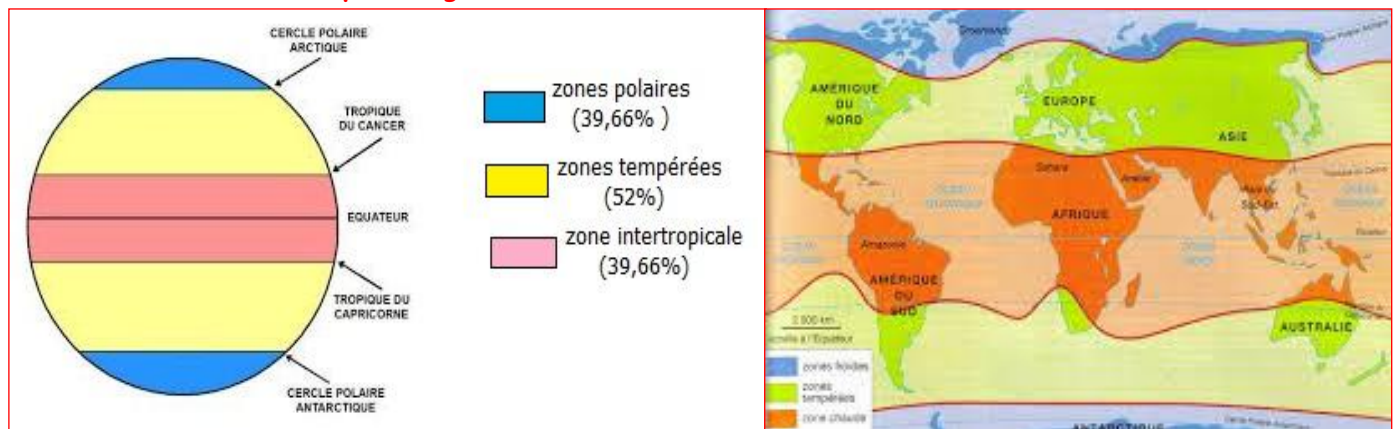
Par exemple sur le littoral norvégien, au nord du cercle polaire arctique, le soleil ne disparaît jamais totalement de la ligne d'horizon pendant presque un mois durant l'été.

C'est l'inverse au solstice du 21 décembre (solstice d'hiver) lorsque le soleil est au zénith sur le tropique du capricorne. Au solstice d'hiver, le pôle nord est entièrement dans l'ombre.

- **Aux équinoxes** du 23 septembre (équinoxe d'Automne) et du 21 mars (équinoxe de Printemps), le soleil est au zénith à l'équateur et la durée du jour est égale à celle de la nuit.

## 2°) L'inégale répartition de la chaleur

### Doc 6 : Les zones thermiques du globe



La lumière et la chaleur sont inégalement distribuées à la surface de la terre. On distingue trois zones climatiques qui sont délimitées par des tropiques et des cercles polaires :

- Dans la zone intertropicale (basses latitudes), la durée du jour est différente de celle de la nuit. Les températures sont élevées, on a le maximum de concentration de chaleur.
- Entre le cercle polaire ( $66^{\circ}33'$ ) et le pôle ( $90^{\circ}$ ), se trouvent les régions polaires (hautes latitudes). Le froid y règne en raison de l'obliquité des rayons solaires par rapport au sol, mais également l'albédo<sup>23</sup> élevé dans les surfaces couvertes de neige et de glace qui réfléchissent une partie de l'énergie reçue.
- Entre les tropiques ( $23^{\circ}27'$ ) et les cercles polaires, se trouvent les régions tempérées (latitudes moyennes). On y remarque les saisons aux forts contrastes thermiques : hiver, printemps, été, automne.

<sup>23</sup> **Albédo** : quantité de chaleur réfléchi ou diffusé par un corps éclairé à partir du sol.

**EXERCICES SUR LES CALCULS HORAIRES**

**NB :** Les pays du monde ne vivent pas tous à la même heure. En allant vers l'Est, le soleil va se lever plus tôt et donc on va ajouter des heures. En allant vers l'Ouest, ce sera le contraire : on retirera des heures. On arrive à la ligne de changement de date quand on a ajouté douze heures. Le passage de la ligne de changement de date fait passer d'un jour à l'autre.

**Exercice 1 :** Il est 16 h à Greenwich quand il fait 23 h à Pékin.

1°) Calculer la longitude de Pékin.

2°) Calculer la distance approximative entre les deux points.

$$1°) 23 \text{ h} - 16 \text{ h} = 7 \text{ h}$$

$$1 \text{ h} = 15° \text{ (} 15 \times 7 = 105° \text{ Est)}$$

$$2°) 1° = 111 \text{ km}$$

$$111 \text{ km} \times 105 = 11\,655 \text{ km}$$

**Exercice 2 :** S'il fait 12 h à Greenwich, quelle heure fera t-il aux localités suivantes :

- Tokyo : 135° Est

- Dakar : 15° Ouest

- Tokyo : 75° Ouest

- Tokyo :  $1 \text{ h} \times 135 : 15 = 9 \text{ h}$  ( $9 \text{ h} + 12 \text{ h} = 21 \text{ h}$ )

- Dakar :  $1 \text{ h} \times 15 : 15 = 1 \text{ h}$  ( $12 \text{ h} - 1 \text{ h} = 11 \text{ h}$ )

- New York:  $1 \text{ h} \times 75 : 15 = 5 \text{ h}$  ( $12 \text{ h} - 5 \text{ h} = 7 \text{ h}$ )

**Exercice 3 :** Un avion décolle du Cap (18° longitude Est) le 10 décembre à 12 h 20 mn locale. Il vole pendant 10 h 45 mn vers Rio (44° longitude Ouest). Quand arrive-t-il sur place, heure de Rio ?

Décalage horaire entre le Cap et Rio :

$$18° + 44° = 62°$$

$$1 \text{ h} = 15° \text{ (} 62 : 15 = 4,13 \text{ h)}$$

Rio se situant à l'Ouest, heure d'arrivée :

$$12 \text{ h } 20 \text{ mn} + 10 \text{ h } 45 \text{ mn} = 23 \text{ h } 05 \text{ mn} - 4 \text{ h} = \underline{19 \text{ h } 05 \text{ mn le 10 décembre}}$$

**Exercice 4 :** Un navire quitte Sydney (Australie, 151° longitude Est) le 10 septembre à 17 h. Il navigue durant 6 jours 20 h vers Singapour (104° longitude Est) où il fait une escale de 2 jours 8 h. Ensuite, il reprend la mer vers Stockholm (Suède, 18° longitude Est) qu'il atteint après 10 jours 3 h de navigation. Quel jour et à quelle heure sur place arrive-t-il à Stockholm ?

Décalage horaire entre Sydney et Singapour :  $151^\circ - 104^\circ = 47^\circ$  (1 h x 47 : 15 = 3,13 h  $\approx$  3 h)

Décalage horaire entre Singapour et Stockholm :  $104^\circ - 18^\circ = 86^\circ$

(1 h x 86 : 15 = 5,73 h  $\approx$  5 h)

Décalage horaire entre Sydney et Stockholm : 3 h + 5 h = 8 h

Jour et heure d'arrivée à Singapour : 10 septembre à 17 h + 6 jours 20 h =

17 septembre à 13 h

Jour et heure de départ de Singapour : 17 septembre à 13 h + 2 jours 8 h =

19 septembre à 21 h

Jour et heure d'arrivée à Stockholm : 19 septembre à 21 h + 10 jours 3 h =

29 septembre à 24 h

Vu le décalage horaire qui est d'environ 8 h, le navire arrive à Stockholm le 29 septembre à 16 h (29 septembre à 24 h - 8 h)

**Leçon 3 : TRAVAUX PRATIQUES****A/ LES PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE**

Le système solaire est l'ensemble formé par le soleil et les satellites qui gravitent autour de lui. Selon la nouvelle définition de l'appellation d'une planète voulue par l'exécutif de l'Union Astronomique Internationale (UAI), notre système solaire compte officiellement huit planètes, déclarant Pluton au rang de planète naine<sup>24</sup> : Mercure, Venus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune.

Pour l'UAI, ces huit planètes répondent aux conditions suivantes :

- elles orbitent autour du soleil ;
- elles ont une forme à peu près sphérique ;
- elles ont éliminé tout corps susceptibles de se déplacer sur une orbite proche.

**a) Identité du soleil**

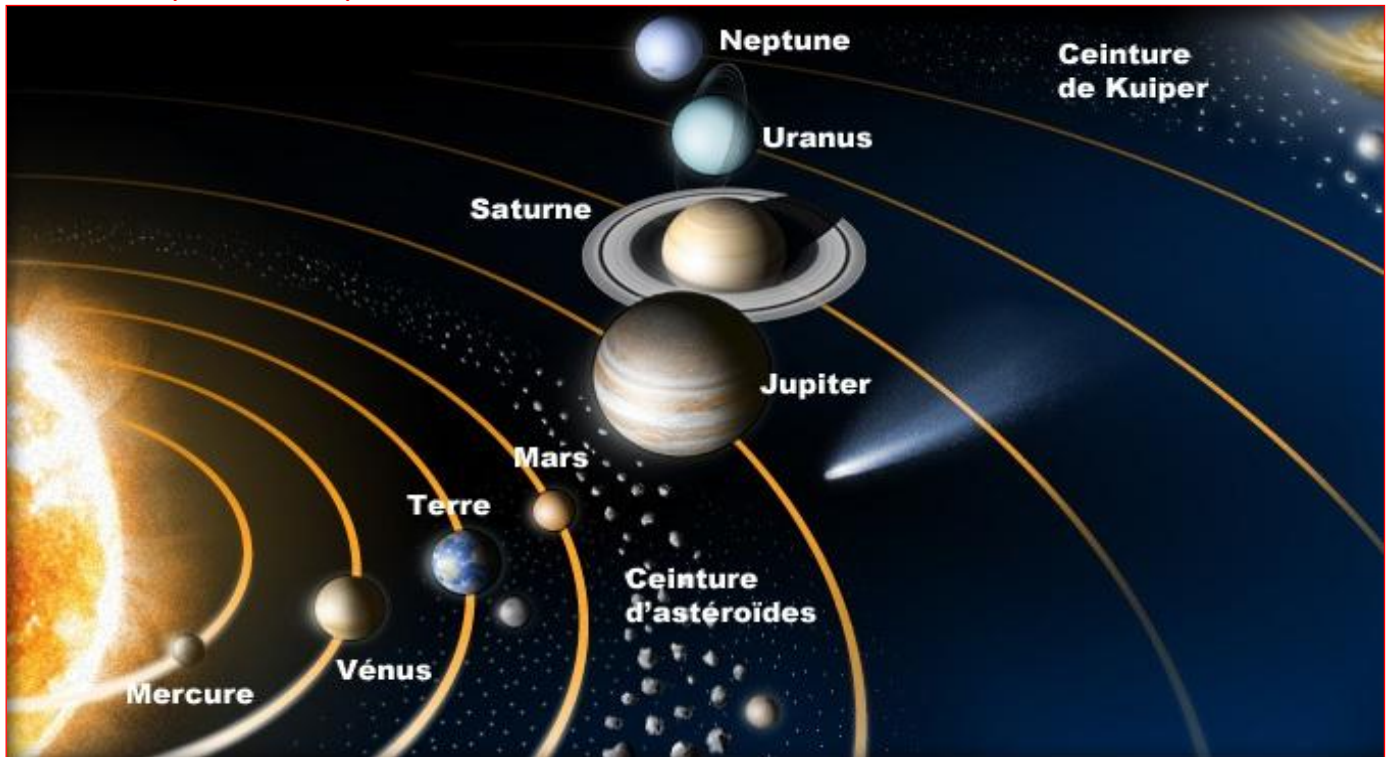
- mouvement : le soleil tourne sur lui-même en 27 jours ;
- distance par rapport à la terre : 150 millions de km
- âge : 4,6 milliards d'années (109 fois celui de la terre) ;
- masse :  $2.10^{30}$  kg (333 000 fois le poids de la terre) ;
- température moyenne : 15 milliards de degrés
- atmosphère : trois couches : photosphère (300 km d'épaisseur), chromosphère (3000 km) et la couronne épaisse (plusieurs centaines de milliers de km) ;
- composition : hydrogène, hélium plus 70 autres éléments lourds.

Le soleil joue un rôle important dans la vie des êtres vivants. C'est la principale source d'énergie et de lumière. Il réchauffe l'atmosphère et les eaux terrestres, anime les vents et les courants marins, et permet la photosynthèse. Sa lumière met 8 mn 18 s pour parvenir jusqu'au sol.

---

<sup>24</sup> **Planète naine** : selon la définition de l'UAI, « corps céleste en orbite autour du soleil qui a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique sous une forme presque sphérique, qui n'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche et qui n'est pas un satellite naturel ».

## Doc 1 : Les planètes du système solaire



## b) Classification des planètes du système solaire

Une planète est un astre non lumineux par lui-même, en orbite autour d'une étoile telle que le soleil. L'étude planètes, de leur formation, leur structure, leurs propriétés physico-chimiques et leur évolution, est l'objet de la planétologie.

Physiquement, les planètes se divisent en deux groupes : les planètes telluriques et les planètes joviennes.

- **Les planètes telluriques (du latin *tellus*, « la terre »)** : en opposition aux planètes gazeuses, une planète tellurique est une planète composée de roches et de métaux qui possède en général trois enveloppes concentriques (noyau, manteau et croûte). Sa surface est solide et elle est composée principalement d'éléments non volatils, généralement des roches silicatées, du métal et du fer. Sa densité est donc relativement importante et comprise entre 3,9 et 5,5.

Les planètes telluriques sont les plus proches du soleil (Mercure, Venus, Terre, Mars) et ont des dimensions modestes. Elles tournent lentement sur elles-mêmes.

- **Les planètes joviennes** : on les appelle également planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune). Toutes les planètes joviennes sont en réalité d'immenses boules de gaz entourées d'anneaux plus ou moins épais. Elles sont composées d'hydrogène et d'hélium. Elles ont généralement ont une faible densité (de 0,7 à 1,7), des atmosphères épaisses et elles tournent rapidement sur elles-mêmes.

Ces deux groupes sont séparés par la ceinture d'astroïdes : petites planètes invisibles à l'œil nu d'un nombre d'environ 30 000 (cf. doc 1).

**Doc 2 : Caractéristiques des planètes du système-solaire**

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Composition chimique	Fe, Ni, silicates	Fe, Ni, silicates	Fe, Ni, silicates	Fe, S, silicates	hydrogène hélium	hydrogène hélium	glaces d'eau, silicates	glaces d'eau, silicates
Diamètre équatorial (km)	4 878	12 104	12 756	6 794	142 800	120 000	51 120	49 528
Masse (Terre = 1)	0,06	0,82	1	0,11	317,87	95,14	14,56	17,21
Masse volumique réelle (g/cm <sup>3</sup> )	5,44	5,24	5,5	3,94	1,31	0,7	1,3	1,66
Gravité (N/kg):	3,72	8,85	9,81	3,72	24,8	10,5	9	11
Atmosphère (composition)	-	96 % CO <sub>2</sub> 3,5 % N <sub>2</sub>	78 % N <sub>2</sub> 21 % O <sub>2</sub>	95% CO <sub>2</sub> 3% N <sub>2</sub> 2% Ar	78 % H <sub>2</sub> 20 % He 2 % CH <sub>4</sub>	88 % H <sub>2</sub> 10 % He 2 % CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> He CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> He CH <sub>4</sub>
Pression atmosphérique (bars)	0	90	1	0,008	200 à 2 000	1 400	1 200	6 10 <sup>5</sup>
Distance moyenne au Soleil (10 <sup>6</sup> km)	58	108	150	228	778	1 427	2 870	4 497
Distance moyenne au Soleil (UA)	0,39	0,72	1	1,52	5,20	9,54	19,18	30,06
Température moyenne (°C)	167	477	15	-40	-110 *	-180*	-221*	-230*
Présence d'eau liquide	non	non	oui	non	non	non	non	non

**c) Spécificité de la terre par rapport aux autres planètes du système solaire**

La terre, notre planète, est la seule du système solaire à posséder de l'eau liquide en abondance, ainsi qu'une atmosphère riche en oxygène. La conjonction de ces deux éléments y a permis l'apparition et l'évolution de la vie.

**B/ LES FORMES DE REPRÉSENTATION DE LA TERRE**

La projection cartographique est un ensemble de techniques géodésiques<sup>25</sup> permettant de représenter la surface de la terre dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte.

Le choix d'une projection et le passage d'une projection à une autre comptent parmi les difficultés mathématiques que les cartographes ont dû affronter. L'informatique a apporté des outils de calcul puissants pour traiter ces problèmes.

Une fois un ellipsoïde fixé, on peut choisir le type projection à appliquer pour obtenir une carte. Cette fois encore, ce choix est conduit par l'usage qui sera fait de la carte mais aussi de la position de la région à cartographier sur le globe.

Toute représentation cartographique de la surface terrestre entraîne une déformation. On distingue trois grandes familles de projection, chacune représentant des avantages et des inconvénients.

**a) La projection cylindrique (Mercator)**

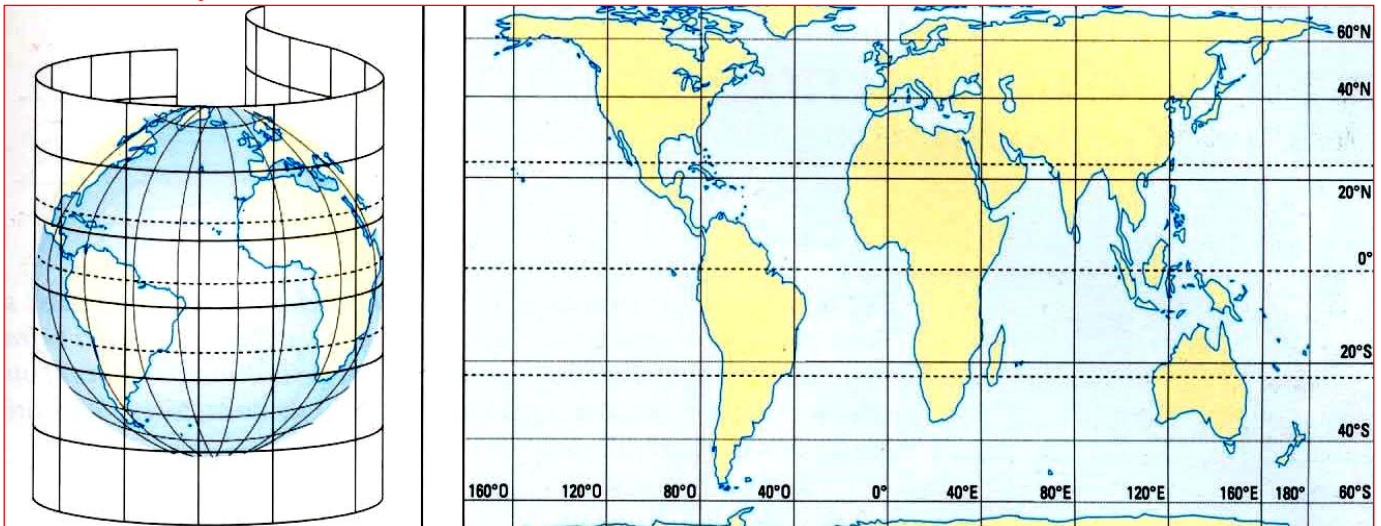
La surface de projection est un cylindre enveloppant la sphère verticalement ou horizontalement, dont les bords sont tangents à l'équateur. On l'appelle aussi projection de

<sup>25</sup> **Géodésie** : étude de la forme de la terre, de ses dimensions et de son champ de gravitation.

Mercator, du nom du géographe flamand Gerardus Kremer Mercator<sup>26</sup> qui l'a inventé en 1568. Elle respecte les angles et non les surfaces. La plupart des cartes marines utilisent ce type de projection.

Les régions intertropicales sont bien représentées, mais les méridiens sont espacés régulièrement tandis que la distance entre les parallèles augmente avec la latitude. Ce qui exagère beaucoup les surfaces au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur.

### Doc 3 : La projection cylindrique



**Exemples :** l'Amérique du Sud semble plus petite que le Groenland ; en réalité, elle est huit fois plus grande : 17,84 millions de km<sup>2</sup> contre 2,16 millions.

L'Alaska apparaît aussi grand que le Brésil qui est pourtant 5 fois plus étendu.

### b) La projection conique (Lambert)

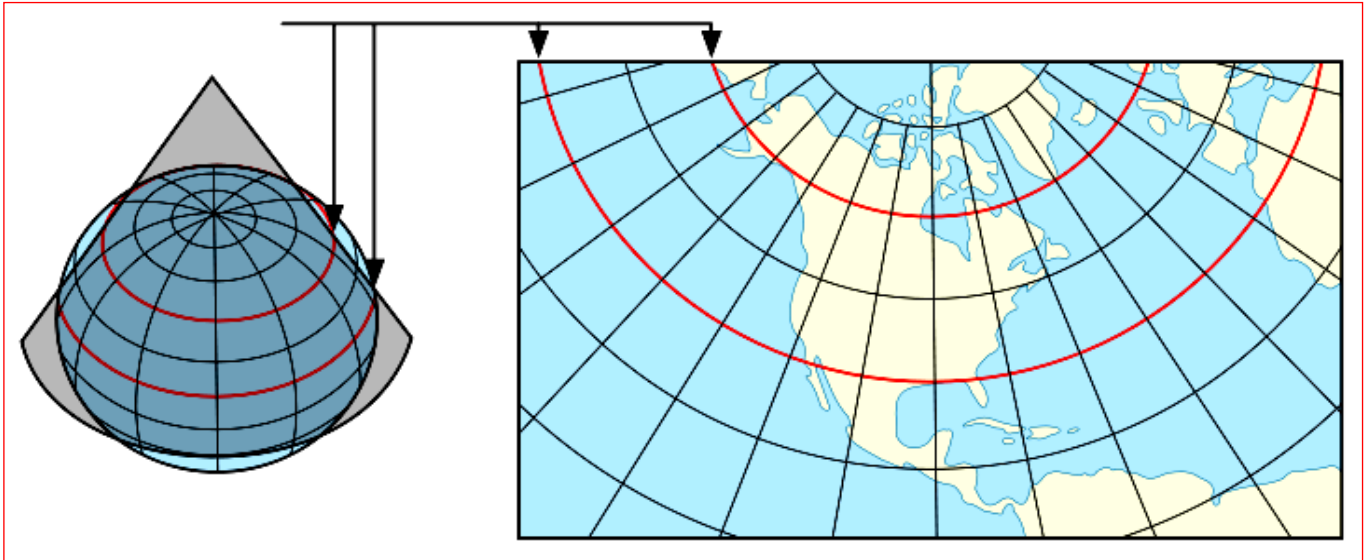
La surface de projection ou projection de Lambert<sup>27</sup> est un cône qui coiffe le globe terrestre et qui est tangente aux latitudes moyennes. La projection conique est efficace pour conserver les rapports de surface. Le système a été adopté par l'artillerie française au cours de la Première guerre mondiale pour les cartes à grande échelle (1/20 000 et plus). Elle est depuis cette époque la projection officielle utilisée pour représenter la France métropolitaine.

La projection conique donne une nette représentation des régions tempérées, mais les régions intertropicales sont exagérées et celles polaires réduites.

<sup>26</sup> **Gerardus Mercator (1512-1594)** : géographe, cartographe et mathématicien flamand. De son vrai nom Gerhard Kremer, Mercator fit ses études à l'université de Louvain. En 1537, il établit sa première carte. En 1568, il conçut et réalisa un système de projection de cartes qui porte maintenant son nom.

<sup>27</sup> **Jean-Henri Lambert (1728-1777)** : mathématicien, géographe et philosophe français du XVIII<sup>e</sup> siècle, il inventa ce type de projection cartographique en 1772.

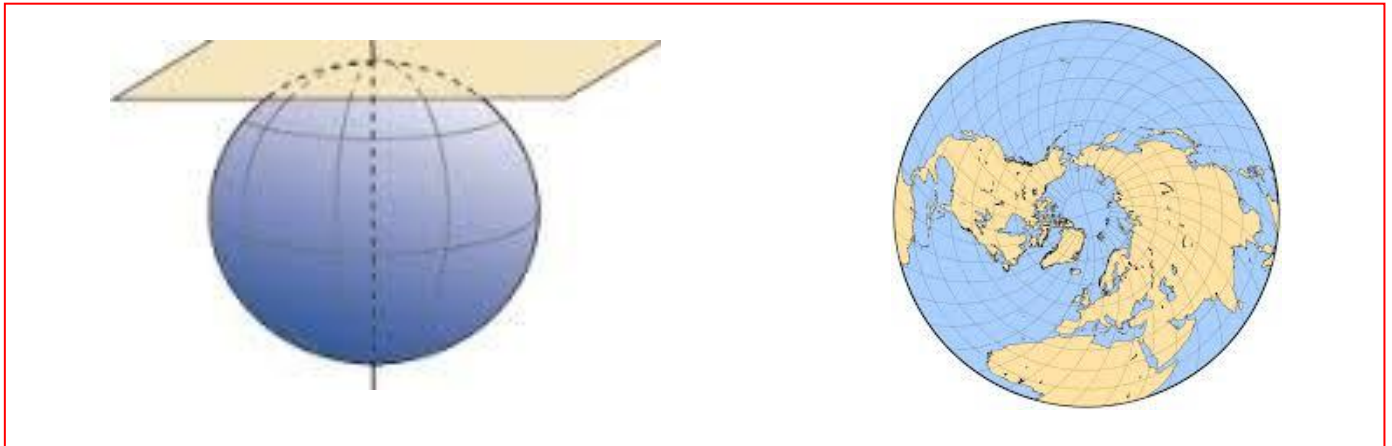
**Doc 4 : La projection conique**



**c) La projection polaire ou azimutale**

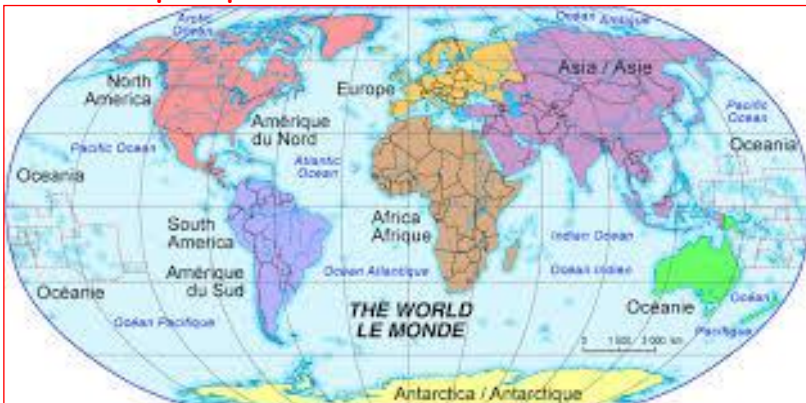
Elle est utilisée pour représenter des zones polaires. La surface de projection est un plan tangent aux pôles. Elle donne une nette représentation des hautes latitudes, mais les régions éloignées des pôles sont exagérées.

**Doc 5 : La projection polaire**



Au total, la combinaison de ces trois projections permet d'établir un planisphère avec le maximum de précision.

**Doc 6 : Un planisphère**



### d) L'échelle

L'échelle est le rapport de réduction qui permet de représenter un territoire sur une carte, chaque élément ayant des dimensions proportionnelles à celle qu'il occupe dans la réalité. Elle est représentée soit sous forme graphique, soit sous forme numérique.

- **L'échelle numérique** se présente sous forme de fraction.

**Exemple** : 1/50 000 : le numérateur est toujours constant (= 1) et s'exprime en cm. Il représente la distance sur la carte. Le dénominateur représente la distance réelle sur le terrain.

**NB** : On parle de grande échelle quand le dénominateur est petit et de petite échelle quand le dénominateur est grand.

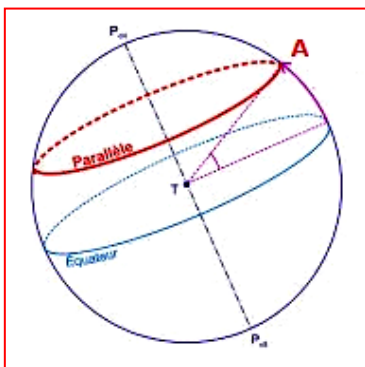
- **L'échelle graphique (linéaire)** est une ligne graduée en sections d'égale longueur sur laquelle sont précisées les distances (souvent en km).

**Exemple** : 0 ————— 100 km

## C/ LES COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Elles permettent de se repérer sur le globe. Méridiens et parallèles permettent de calculer les coordonnées astronomiques de tout point à la surface terrestre : la latitude et la longitude.

### a) La latitude

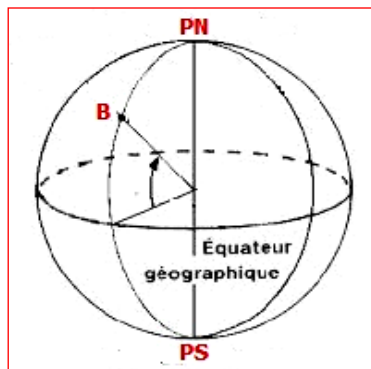


#### Doc 7 : La latitude

C'est la distance angulaire exprimée en degrés, minutes et secondes qui sépare un point quelconque du globe à l'équateur. Elle s'exprime de 0 à 90° vers chaque pôle. On parle de latitude Nord (hémisphère Nord) et de latitude Sud (hémisphère Sud).

A est l'angle que fait la verticale de ce point avec le plan de l'équateur

### b) La longitude



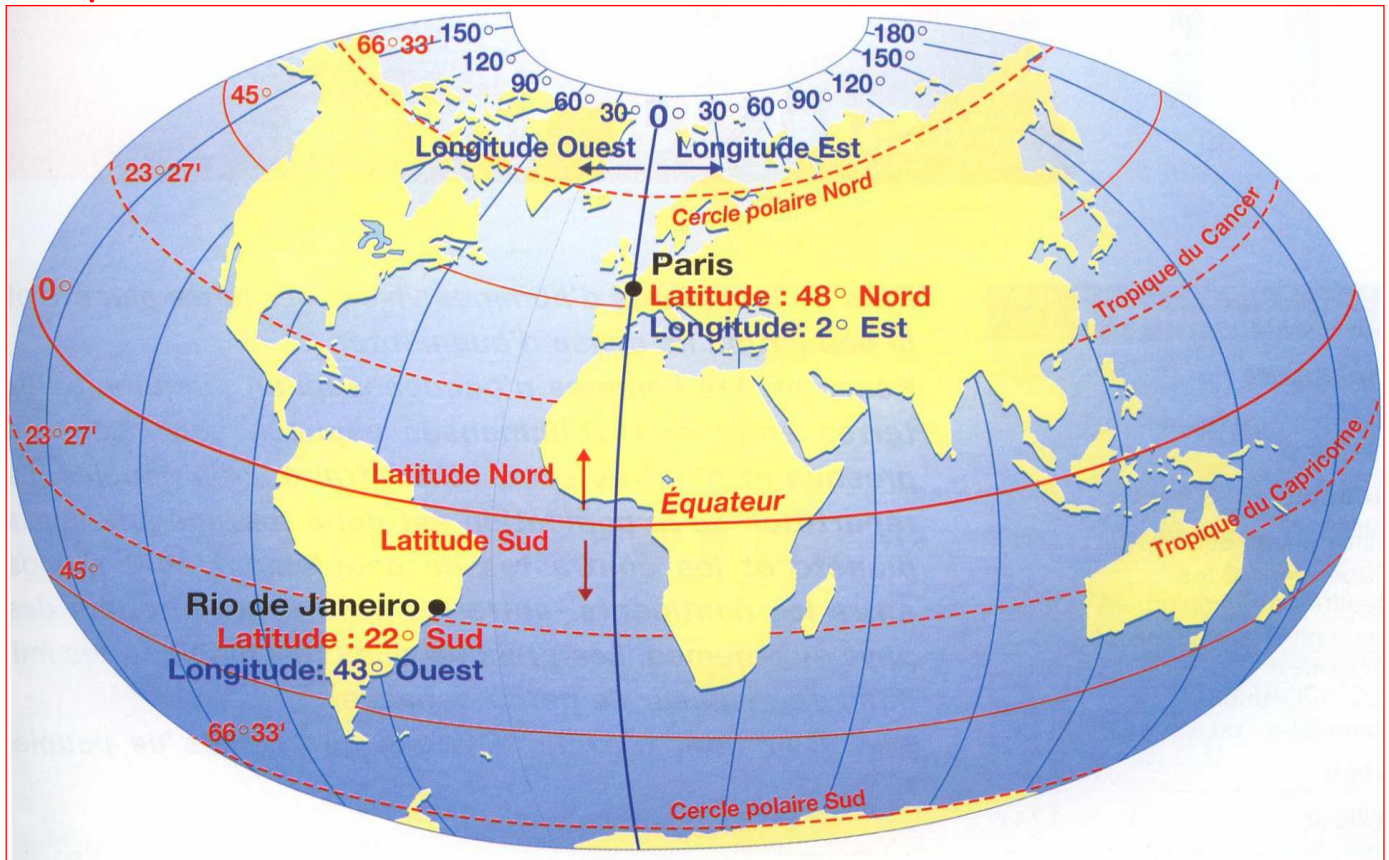
#### Doc 8 : La longitude

C'est la distance angulaire exprimée en degrés, minutes et secondes que forme le plan du méridien d'un lieu et le méridien 0. Elle s'exprime de 0 à 180° d'Est en Ouest.

B est l'angle que fait le méridien sur lequel il se situe avec le méridien 0

Pour situer un lieu, on indique sa latitude et sa longitude précisées par les directions fondamentales :

### Exemples :



- Paris se situe entre  $48^{\circ}$  de latitude Nord et à  $2^{\circ}$  de longitude Est ;
- Rio de Janeiro : entre  $22^{\circ}$  de latitude Sud et  $43^{\circ}$  de longitude Ouest.
- Sénégal : entre  $12^{\circ}30'$  et  $16^{\circ}30'$  de latitude Nord et  $11^{\circ}30'$  et  $17^{\circ}30'$  de longitude Est ;
- Afrique : entre  $35^{\circ}$  et  $37^{\circ}$  de latitude Nord et  $17^{\circ}$  et  $51^{\circ}$  de longitude Est.

# DEUXIÈME PARTIE : LA PLANÈTE TERRE

## Chapitre I : CONTINENTS, OCÉANS ET MERS

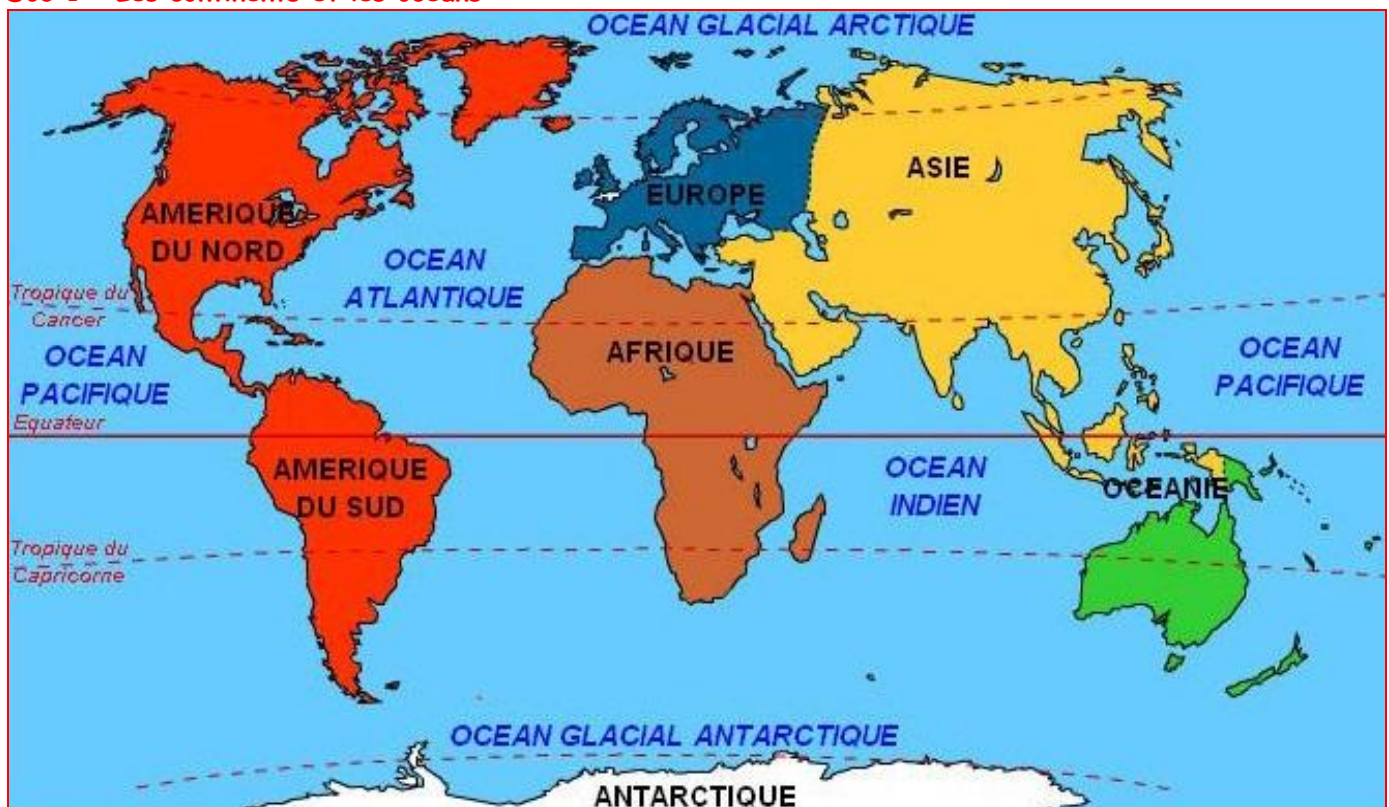
### COMPÉTENCES EXIGIBLES

- Connaître la répartition et la localisation des continents et des océans, ainsi que la composition des eaux marines.
- Comprendre les mouvements de la mer et leurs conséquences.

### Leçon 4 : LA RÉPARTITION DES CONTINENTS ET DES OCÉANS

Les continents et les océans sont inégalement répartis à la surface de la terre. Les étendues océaniques couvrent une superficie de 361 millions de km<sup>2</sup>, soit 71 % de la surface du globe. La planète est donc surtout océanique et les continents ne sont, en somme, que des îles plus ou moins grandes. L'hémisphère Nord est marqué par la continentalité, tandis que dans l'hémisphère Sud, ce sont les océans qui prédominent. On distingue six continents et cinq océans.

#### Doc 1 : Les continents et les océans



## I/ LA RÉPARTITION DES CONTINENTS

### 1°) L'Asie

Le continent asiatique couvre une superficie d'environ 44 millions de km<sup>2</sup> (c'est le plus grand continent du monde), soit le tiers des terres émergées. Situé en grande partie dans l'hémisphère Nord, il est séparé de l'Amérique du Nord par le détroit de Béring, de l'Afrique par la mer rouge et de l'Europe qui le prolonge (Eurasie) par les monts Oural.

## 2°) L'Amérique

Constitué par l'Amérique du Nord, l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud, le continent américain s'étend sur plus de 16 000 km du Nord au Sud : du Groenland (cercle polaire Arctique) au Cap Horn (cercle polaire antarctique). Il est délimité à l'Est par l'océan Atlantique, à l'Ouest par l'océan Pacifique, au Nord par l'océan Arctique et au Sud par l'océan Antarctique. Le continent américain couvre une superficie d'environ 42 millions de km<sup>2</sup>.

## 3°) L'Afrique

Avec une superficie de 30 millions de km<sup>2</sup>, le continent africain est situé de part et d'autre de l'équateur. Il est relié à l'Asie par l'isthme de Suez et séparée de l'Europe par le détroit de Gibraltar. L'Afrique compte de nombreuses îles dont les plus grandes sont : Madagascar, Maurice, La Réunion, les Seychelles et les Comores.

## 4°) L'Europe<sup>28</sup>

Le continent européen couvre une superficie d'environ 10 millions de km<sup>2</sup>. Il est séparé de l'Afrique par le détroit de Gibraltar et réuni à l'Asie par les plaines russes (monts Oural). La forte présence de la mer fait que l'Europe est marquée par des côtes découpées.

## 5°) L'Océanie

C'est le plus petit des continents de par sa dimension (9 millions de km<sup>2</sup>). Il se compose d'une multitude d'îles dispersées dans le pacifique. L'Australie à elle seule rassemble 85 % des terres.

## 6°) L'Antarctique

Environ 14 millions de km<sup>2</sup>, le continent Antarctique est localisé dans le cercle polaire Austral. Entouré par l'océan glacial Antarctique, il est formé de montagnes recouvertes d'une calotte de glace pouvant atteindre 2000 m d'épaisseur. Des vents violents accentuent la rigueur du climat (moyenne annuelle de -50 °C). Faune et flore y sont rares. Plusieurs pays développés y ont installé des stations scientifiques : Australie, France, Grande Bretagne, États-Unis, Afrique du Sud, ...

---

<sup>28</sup> **Europe** : la mythologie grecque nous dit qu'Europe est l'une des océanides ou la fille d'un roi légendaire de Phénicie, aimée de Zeus qui l'a enlevée. La légende veut que ses frères soient partis à sa recherche et ont fondé plusieurs villes. Hérodote, dans ses *Histoires*, écrit à ce propos qu'Europe, née en Asie, ne s'est probablement jamais rendue sur le continent, que les Grecs du v<sup>e</sup> s avant JC appellent déjà Europe.

## II/ LA RÉPARTITION DES OCÉANS

### 1°) L'océan Pacifique

C'est le plus grand (170 millions de km<sup>2</sup>) et le plus profond (4300 m) des océans de la planète. Son nom, qui signifie « paisible », lui a été donné par le navigateur portugais Fernand de Magellan en 1520. Il est délimité à l'Est par l'Amérique, au Nord par le détroit de Béring, à l'Ouest par l'Asie et l'Australie et au Sud par l'océan Antarctique.

### 2°) L'océan Atlantique

Deuxième plus grand océan de la planète (104 millions de km<sup>2</sup>), il a la forme d'un vaste « S », s'étendant de l'Arctique au Nord à l'Antarctique au Sud, et situé entre la côte orientale de l'Amérique et les côtes occidentales de l'Europe et de l'Afrique. L'existence de courants marins froids (Groenland, Canaries) et de courants marins chauds (Brésil, Guinée) influe largement sur les climats côtiers.

### 3°) L'océan Indien

Bordé à l'Ouest par l'Afrique, au Nord par l'Asie, à l'est par l'Australie et l'Indonésie et au Sud par le continent Antarctique, il est le troisième océan du monde par sa superficie (74 millions de km<sup>2</sup>). Des ouragans se déchaînent parfois, en particulier à proximité de l'île Maurice, et l'océan est célèbre pour ses vents saisonniers appelés les moussons qui déterminent l'essentiel de la pluviométrie de l'Asie du Sud et du Sud-est. Il compte de nombreuses îles, surtout dans sa partie sud : Madagascar, Maurice, Comores, ...

### 4°) L'océan glacial Arctique

Il est limité par les côtes septentrionales de l'Asie, de l'Europe, de l'Amérique et par le cercle polaire Arctique. Avec une superficie moyenne de 12 millions de km<sup>2</sup>, l'océan glacial Arctique est recouvert en grande partie par la banquise<sup>29</sup>).

### 5°) L'océan glacial Antarctique

Il couvre une superficie d'environ 1 000 000 km<sup>2</sup> et entoure le continent Antarctique au sud des océans Atlantique, Indien et Pacifique.

## III/ LES AIRES GÉOGRAPHIQUES NÉES DE L'INTERACTION CONTINENTS-OCÉANS

- **Les mers** : ce sont de vastes étendues d'eau salée qui pénètrent à l'intérieur des continents. Les mers sont moins étendues et moins profondes que les océans. On distingue trois types de mers :

<sup>29</sup> **Banquise** : couche de glace qui se forme par congélation lorsque la température superficielle de l'eau des mers et des océans s'abaisse à -2 °C.

- Les mers bordières ou épicontinentales qui prolongent un océan en bordure d'un continent (mer du Nord, mer de Chine, ...)
- Les méditerranées profondément engagées dans le continent et qui communiquent avec les océans par des détroits peu profonds (mer méditerranée, mer du Japon, ...)
- Les mers intérieures comme la mer Caspienne qui n'ont aucune communication avec les autres espaces marins.
- **Le détroit** : c'est un passage maritime resserré entre deux terres (détroit de Gibraltar).
- **La presqu'île** : c'est une partie de terre avancée sur l'océan et reliée au continent par une bande de terre (presqu'île du Cap-Vert).
- **La péninsule** : c'est une grande presqu'île (péninsule Ibérique).
- **L'isthme** : étroite bande de terre entre deux mers (isthme de Suez).
- **Le golfe** : partie de la mer avancée dans le continent (golfe de Guinée).
- **La baie** : partie rentrante d'une côte occupée par la mer (baie de Soumbédioune).
- **Le cap** : partie d'une côte, souvent élevée, qui s'avance sur la mer (Cap de Bonne Espérance).
- **Le bras de mer** : étendue de mer entre deux terres rapprochées.
- **L'île** : portion de terre entourée d'eau de tous les côtés (île de Gorée).

**AC : CONSTRUCTION DE DIAGRAMMES :**  
**(circulaire, semi-circulaire, à barres, à bâtons)**

Répartition des continents

Continents	Superficie en km <sup>2</sup>
Asie	44 000 000
Amérique	42 000 000
Afrique	30 000 000
Europe	10 000 000
Océanie	9 000 000
Antarctique	14 000 000
<b>TOTAL</b>	<b>149 000 000</b>

Répartition des océans

Océans	Superficie en km <sup>2</sup>
Pacifique	170 000 000
Atlantique	104 000 000
Indien	74 000 000
Arctique	12 000 000
Antarctique	1 000 000
<b>TOTAL</b>	<b>361 000 000</b>

**Consignes** : Construire les diagrammes circulaires, semi-circulaires, à barres (verticales et horizontales) et à bâtons de la répartition des continents et des océans.

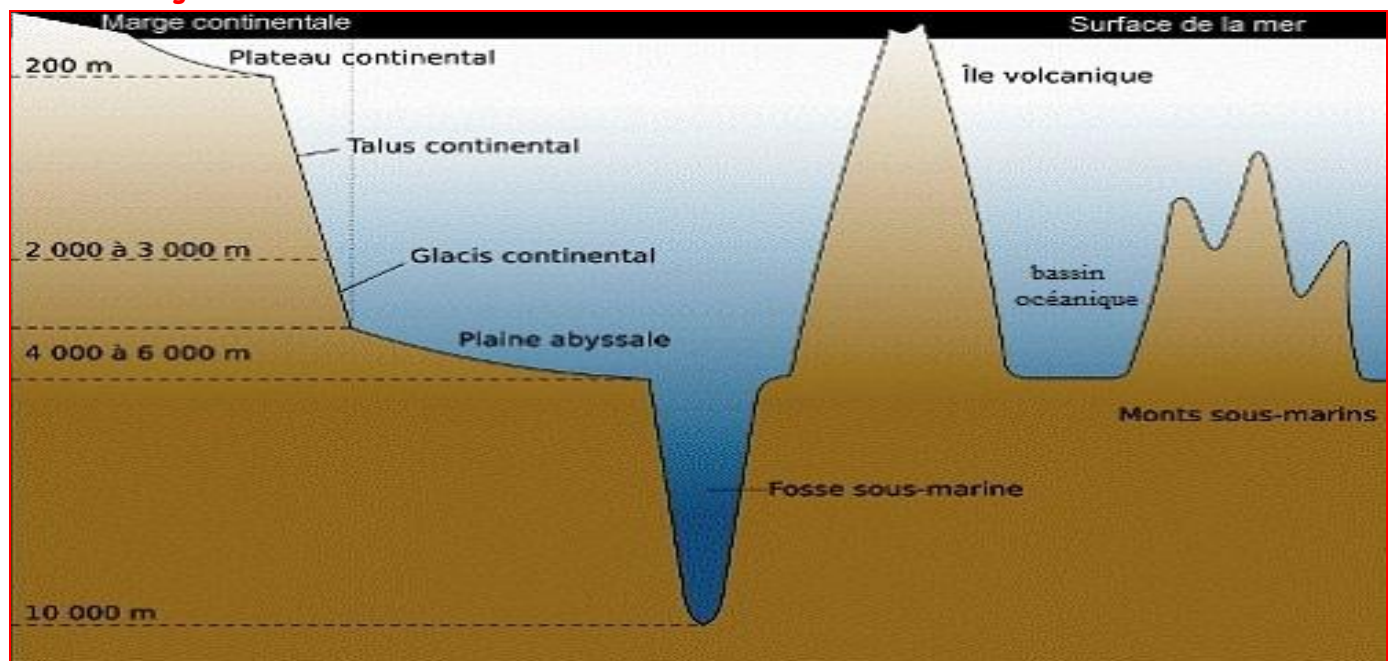
## Leçon 5 : LES EAUX MARINES

Les eaux marines couvrent 71 % de la surface du globe. Elles se caractérisent par un relief sous marin contrasté, une composition variable, des températures inégales et des mouvements complexes.

### I/ UN RELIEF CONTRASTÉ

Le relief océanique est formé de vastes unités dont les dénivellations sont supérieures à celles des continents (-10 000 m de profondeur). Les formes de relief les plus importantes sont :

#### Doc 1 : Les grandes unités du relief sous-marin



- **plateau continental (plate-forme continental)** : c'est un vaste plateau, situé à une profondeur moyenne de 200 m, qui s'étend en bordure des continents. Il est délimité par un talus continental.
- **talus continental** : brusque rupture de pente.
- **plaine abyssale** : plaine sous-marine profonde (4000 à 6000 m), à pente faible.
- **fosse sous-marine** : c'est une dépression du fond de l'océan, étroite, allongée et de grande profondeur.
- **bassin océanique** : c'est un territoire marin dont la profondeur varie entre 3000 et 6000 m. C'est un lieu de concentration des eaux de ruissellement.
- **monts sous-marins (dorsales)** : ce sont des chaînes de montagne au niveau desquelles règne une intense activité volcanique.

## II/ COMPOSITION ET DENSITÉ DES EAUX MARINES

### 1°) La salinité

La salinité, c'est le degré de concentration de sels dissous. L'eau de mer est fortement salée. L'eau représente 97 % de la masse océanique mondiale. Les 3 % qui restent sont constitués par 73 corps dissous. Le chlorure de sodium domine avec une moyenne de 35 g/l, soit un taux de salinité de 35 ‰.

La salinité varie en fonction de la température et de l'apport en eau douce (pluviale et fluviale). Ainsi elle peut s'élever à 43 ‰ dans les mers à forte évaporation (mer Rouge) et descendre à 4 ‰ dans les secteurs recevant de forts apports en eau douce (mer Baltique ou mer Noire).

Dans les 1300 millions de km<sup>3</sup> d'eau contenus dans les océans, les corps dissous représentent des masses métalliques considérables : magnésium, soufre, calcium, potassium, fer, ... L'or dissous dans l'océan est évalué à 10 millions de tonnes, à raison de 0,6 millionième de g/l.

#### Doc 2 : Composition moyenne de l'eau de mer pour une salinité de 35 g/l

<b>substances primaires (conservatifs) en g/l :</b> constituants dont les proportions par rapport à l'ensemble sont constantes, quelle que soit la valeur absolue de cette teneur.	chlorure de sodium	27,2
	chlorure de magnésium	3,8
	sulfate de magnésium	1,65
	sulfate de calcium	1,26
	sulfate de potassium	0,86
	carbonate de calcium	0,12
	bromure de magnésium	0,076
<b>substances secondaires (non conservatrices) en mg/l :</b> constituants dont la teneur varie dans le temps et dans l'espace.	fluor	1,40
	silice	1,0
	azote	1,0
	phosphore	0,060
	baryum	0,055
	fer	0,050
	iode	0,050

### 2°) La densité

La densité, c'est le rapport de la masse volumique d'un autre corps sur la masse volumique d'un corps pris comme référence. Ce dernier est l'eau pour les liquides et les solides, l'air pour les gaz.

La densité de l'eau de mer qui est d'environ 1,026 dépend de la salinité et de la pression, mais surtout de la température.

L'eau de mer est d'autant plus dense qu'elle est froide. Deux masses d'eau de densités différentes ne se mélangent pas, mais ont tendance à se superposer. Les eaux marines sont donc stratifiées. Les eaux froides issues des régions polaires occupent le fond des océans alors que les eaux de surface sont plus tièdes et moins denses.

### III/ LES TEMPÉRATURES DES EAUX MARINES

La surface des océans est chauffée par le soleil. Par suite des brassages, cette chaleur est sensible jusqu'à une centaine de mètres de profondeur. Les océans s'échauffent et se refroidissent plus lentement que les continents. Leurs températures de surface ne varient que de quelques degrés dans l'année. La température moyenne des eaux varie de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour les océans polaires à  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour les mers plus chaudes. En profondeur, elle est partout stabilisée vers  $1$  ou  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

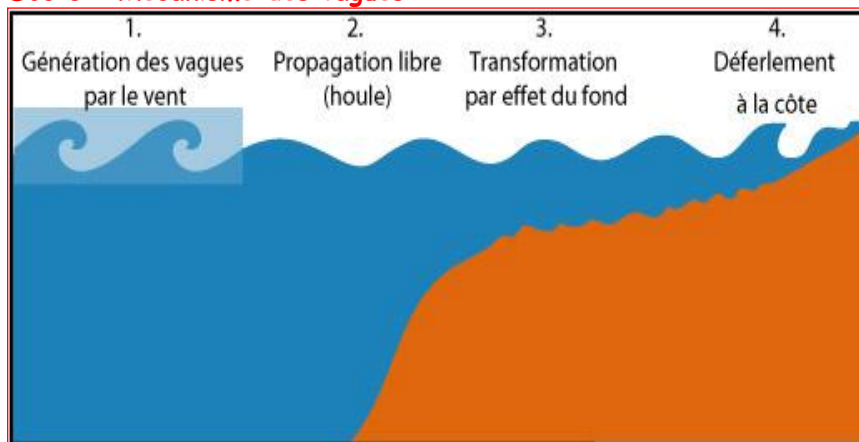
Les variations de température entre la surface et le fond ne sont pas régulières. On passe souvent rapidement d'une couche chaude à une couche plus froide. La zone de transition s'appelle thermocline<sup>30</sup>. Pour une salinité de  $35\text{ ‰}$ , l'eau de mer gèle à  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### IV/ LES MOUVEMENTS OCÉANIQUES

L'attraction exercée par la lune et le soleil, la rotation, les vents et la pesanteur mettent les corps à la surface de la terre en mouvements.

#### 1°) Les vagues

##### Doc 3 : Mécanisme des vagues



Les vagues sont générées par le vent sur l'ensemble des mers du globe (1). Quand le vent faiblit ou si les vagues se propagent vers l'extérieur de la zone ventée, les vagues continuent à se propager librement, c'est ce qu'on appelle la houle (2). Aux abords des côtes, ces vagues sont modifiées par la présence du fond (3). Enfin les vagues déferlent (4) sur la plage.

Les vagues sont des déplacements à la surface des océans d'ondes périodiques (oscillations) générées par le vent. Les vagues marines ont une grande variété de formes, de dimensions et de vitesses de propagation. Il existe trois types de vagues : les vagues à la côte, la houle et les tsunamis.

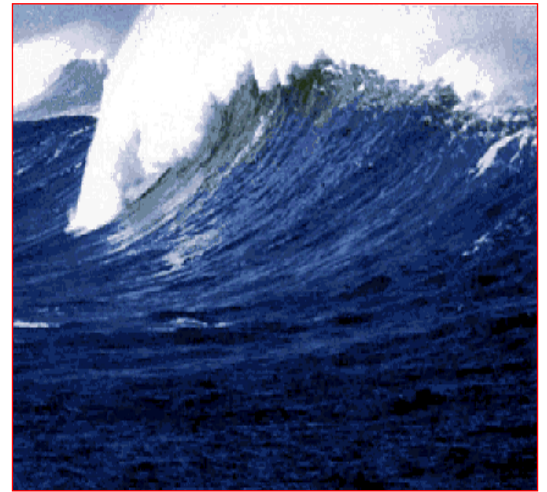
<sup>30</sup> **Thermocline** : couche d'eau de mer dont la température baisse rapidement avec la profondeur.

- **Les vagues à la côte** : elles sont le produit du vent et du relief sous-marin. En effet, à l'approche de la côte, les ondulations provoquées par le vent changent radicalement de nature en fonction de la profondeur. Si la profondeur est inférieure à une demi-longueur d'onde (distance entre deux crêtes), la vague se brise, roule sur elle-même et vient s'écraser sur le rivage : c'est le déferlement (la vague arrive sur le rivage sous la forme d'un rouleau). Il est suivi d'un violent mouvement de retour vers la mer : c'est le ressac (retour impétueux des vagues vers le large après qu'elles ont frappé une côte ou un rocher).



- **La houle** : il s'agit d'ondulations régulières déformant la surface de la mer. Elles se propagent sur de longues distances bien loin de leur aire de génération. Généralement la houle qui arrive sur une côte provient d'une tempête lointaine et s'est propagée sur plusieurs centaines de kilomètres.

Cette ondulation puissante renferme de l'énergie. Dans le cadre du développement des énergies marines renouvelables, des dispositifs sont à l'étude pour essayer de la capter et la transformer en électricité. Ce sont les centrales houlomotrices. La houle est une vague propice pour la pratique du surf (de *swell* qui est le mot anglais signifiant houle).



- **Les tsunamis** : le mot tsunami est un terme japonais qui signifie littéralement « vague de port ». Il s'agit d'une succession de vagues de grande amplitude créées par l'onde de choc d'un séisme ou d'une éruption volcanique sous-marin. Au moment où les vagues atteignent le littoral, c'est un mur d'eau pouvant mesurer plusieurs dizaines de mètres de hauteur qui déferle et dévaste tout sur son passage. En l'absence d'obstacles, le tsunami peut s'enfoncer à l'intérieur des terres sur plusieurs kilomètres.



**Exemple** : le tsunami de Fukushima au Japon le 11 mars 2011 a causé la mort de 20 000 personnes et des dégâts matériels et environnementaux impressionnants.

## 2°) Les courants marins

Les courants marins sont des mouvements d'eau de mer réguliers, continus et cycliques. Ils sont dus à l'action des vents responsables des courants de surface et aux différences de densité des eaux marines qui sont à l'origine des mouvements de profondeur.

Les courants marins sont donc des déplacements d'eau en surface et en profondeur. Les deux mécanismes sont liés de manière complexe, mais pour la plupart du temps, c'est le vent qui rythme leur déplacement. On parle de courant quand la vitesse de déplacement est supérieure ou égale à 20 km/h et de dérive quand la vitesse est inférieure à 20 km/h.

On distingue les courants marins chauds (Guinée, Gulf Stream, Brésil, Kuro-Shivo) et les courants marins froids (Benguela, Labrador, Oya-Shivo).

Les courants marins jouent un grand rôle dans les cycles biogéochimiques océaniques et dans le transport des calories et des nutriments. Au niveau des zones de convergence ou de divergence de courants marins, c'est-à-dire les zones de remontée d'eau froide profonde (zone d'*up-welling*<sup>31</sup>), les richesses halieutiques sont abondantes à cause de la richesse en plancton (les zones d'*up-welling* couvrent 1 % des surfaces océaniques, mais assurent 50 % des captures de pêche mondiale).

Ils jouent également un grand rôle dans le climat mondial, notamment en régulant et dispersant la chaleur des continents qu'ils bordent et en entretenant l'humidité de l'air (cycle de l'eau). En effet, les courants chauds originaires des basses latitudes transportent de la chaleur vers les latitudes plus élevées alors que les courants marins froids réalisent le phénomène inverse. Ils assurent 10 % des échanges d'énergie entre zones chaudes et zones froides.

## 3°) Les marées océaniques

La marée est le processus de variation des hauteurs d'eau des mers et des océans, accompagnée d'un mouvement montant (flux ou flot) puis descendant (reflux ou jusant). Elle est causée par l'effet conjugué des forces de gravitation dues à la lune, au soleil et à la rotation de la terre. Par suite des variations de la position de la lune et du soleil par rapport aux masses océaniques, les marées varient constamment. Considérant la rotation lunaire qui est de 24 h 50 mn, les marées interviennent deux fois par jour avec un intervalle de 12 h 25 mn : deux périodes de pleine mer (marée haute) et deux périodes de basse mer (marée basse).

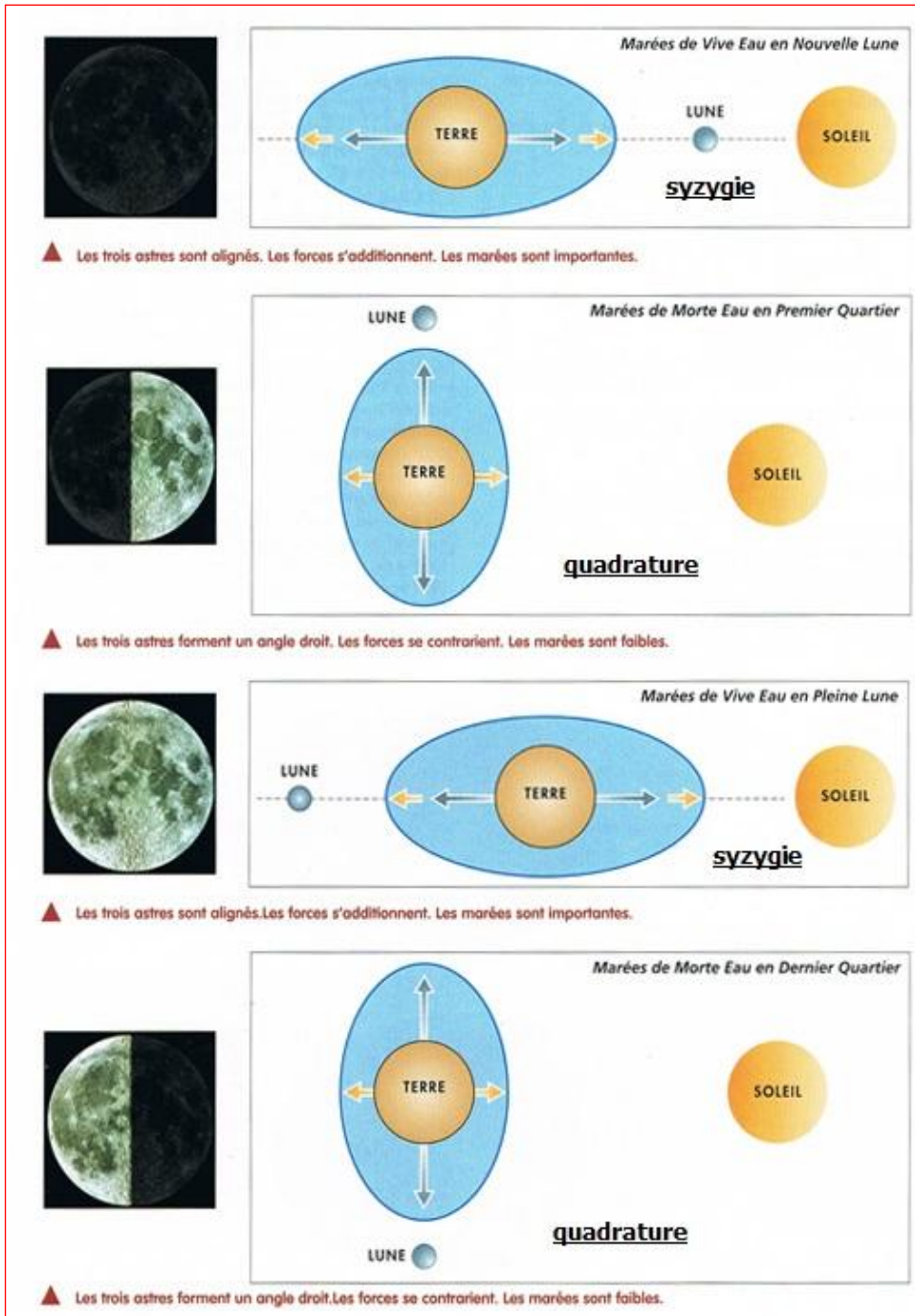
La différence de niveau (hauteur) entre le flux et le reflux est appelée marnage (différence verticale de niveau). L'estran est la surface couverte et découverte entre le flot et le jusant (différence horizontale du niveau).

<sup>31</sup> Pillig-up : propagation des eaux tropicales chaudes le long des côtes (mois août-septembre au Sénégal).

Il existe plusieurs types de marées suivant les bassins océaniques :

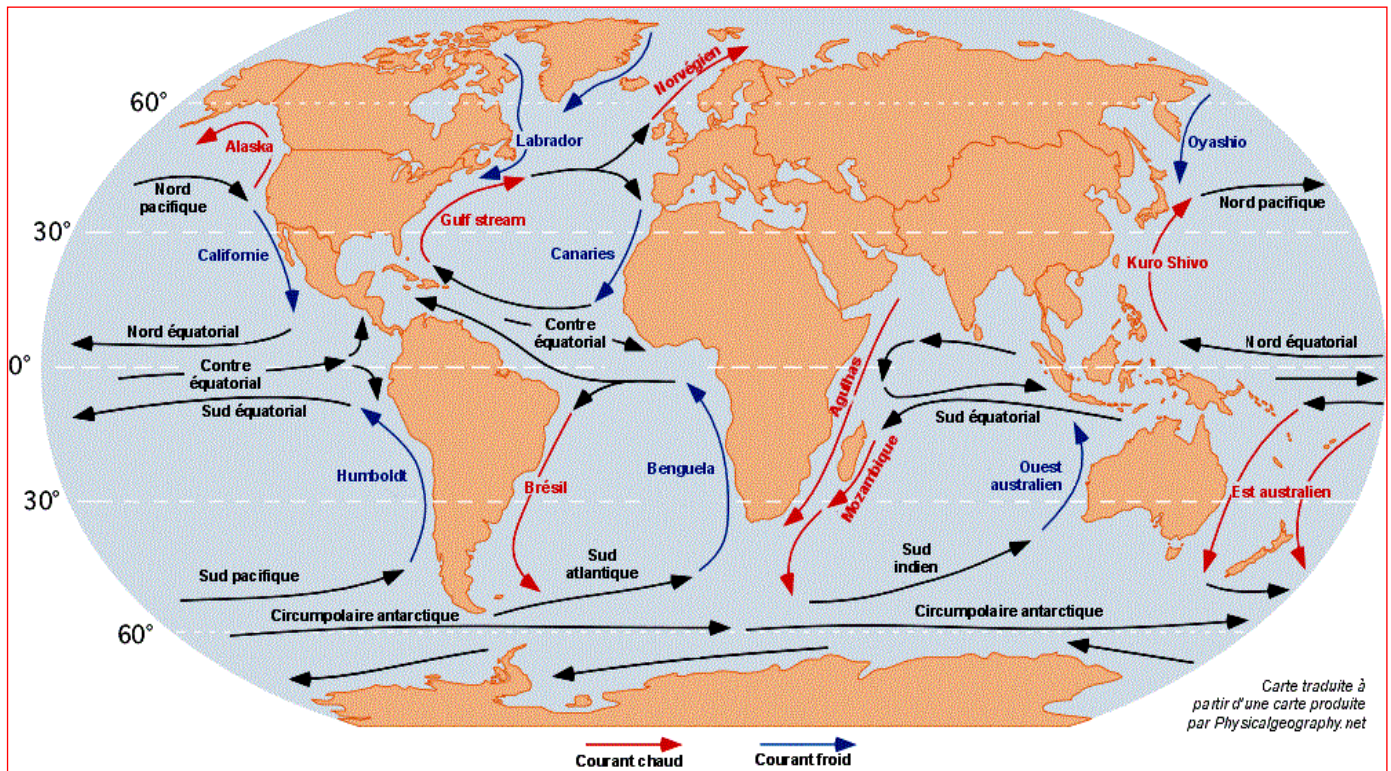
- les marées diurnes avec deux marées hautes et deux marées basses par jour. C'est le type le plus répandu (océan Atlantique, océan Indien) ;
- les marées semi-diurnes avec une marée haute et une marée basse par jour. Ce rythme plus rare est sensible dans les mers indochinoises, en Océanie et dans le golfe du Mexique ;
- les marées mixtes sur les côtes pacifiques où alternent marées diurnes et marées semi-diurnes.

**Doc 4 : Mécanisme des marées**



- au moment des syzygies (nouvelle lune et pleine lune), les marées solaires et lunaires s'additionnent et l'amplitude est maximale : on a des marées de vive eau (marées hautes). La lune, la terre et le soleil sont alignés.
- au moment des quadratures (premier quartier et dernier quartier), les marées solaires et lunaires se contrarient et l'amplitude résultante est minimale : on a des marées de morte eau (marées basses). Le soleil, la terre et la lune forme un angle droit.

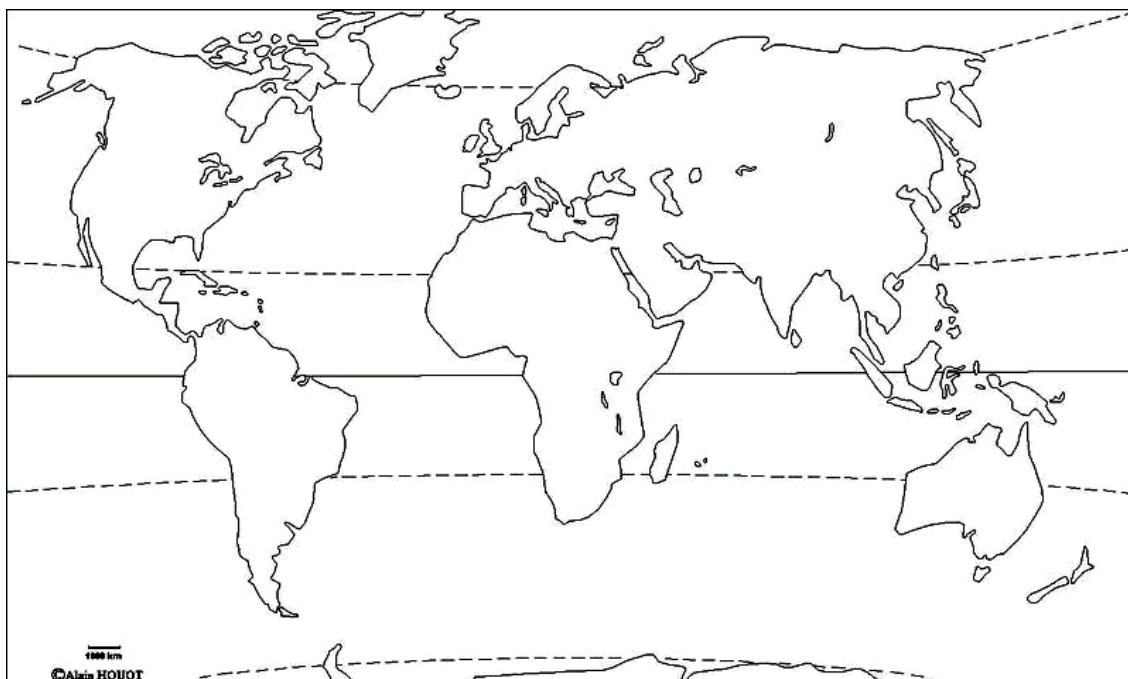
**Leçon 6 : TRAVAUX PRATIQUES :**  
**PLANISPHÈRE SCHEMATIQUE DE LA RÉPARTITION DES CONTINENTS, DES OcéANS, DES MERS ET DES COURANTS MARINS**



**EXERCICE D'APPLICATION**

**Consignes :** Localiser sur le fond de carte (par des couleurs ou des figurés) les continents, les océans, les mers, les courants marins et les zones d'up-welling.

**Titre :** Planisphère .....



- Légende :**
- Continents
  - Océans
  - Courants marins Chauds
  - Courants marins froids
  - Zones d'upwelling

## Chapitre II : LES CLIMATS DE LA TERRE

### COMPÉTENCES EXIGIBLES

- Comprendre les climats de la terre.

- Appliquer les méthodes de représentation cartographique et de construction graphique à l'étude des climats de la terre.

### Leçon 7 : L'ATMOSPHÈRE : STRUCTURE ET COMPOSITION

Par définition, l'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure la terre. Sa masse est de 5 millions de milliards de tonnes et son épaisseur moyenne de 800 km. Elle est constituée par un mélange de gaz et de particules solides et liquides. Les 30 premiers km concentrent les 9/10 de l'air. L'atmosphère est caractérisée par sa composition et sa structure.

#### **I/ COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE**

Les principaux constituants de l'atmosphère sont l'azote (78 %) et l'oxygène (21 %). Les gaz contenu dans le 1 % restant sont l'argon, le gaz carbonique, le néon, l'hélium, le krypton, l'hydrogène, l'ozone, la vapeur d'eau, le radon, ...

#### **Doc 1 : Gaz constituants de l'atmosphère en %**

Gaz	Volume en %
azote (N <sub>2</sub> )	78
oxygène (O <sub>2</sub> )	21
argon (Ar)	0,93
Gaz carbonique (CO <sub>2</sub> )	0,03
néon (Ne)	$1,8 \cdot 10^{-3}$
hélium (He)	$5,24 \cdot 10^{-4}$
krypton (Kr)	$1 \cdot 10^{-4}$
hydrogène (H <sub>2</sub> )	$5 \cdot 10^{-5}$
ozone (O <sub>3</sub> )	$8 \cdot 10^{-6}$
radon (Rn)	$1 \cdot 10^{-6}$

L'azote est l'un des éléments essentiels des plantes et, partant, indirectement des animaux et des hommes. L'oxygène moléculaire entretient la respiration. L'ozone joue un rôle particulièrement important en nous protégeant contre les rayons ultraviolets du soleil. La vapeur qui résulte de l'évaporation et de l'évapotranspiration est à l'origine des précipitations. Le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau arrêtent le rayonnement infrarouge émis par la terre. Ainsi, ils freinent le refroidissement de la terre.

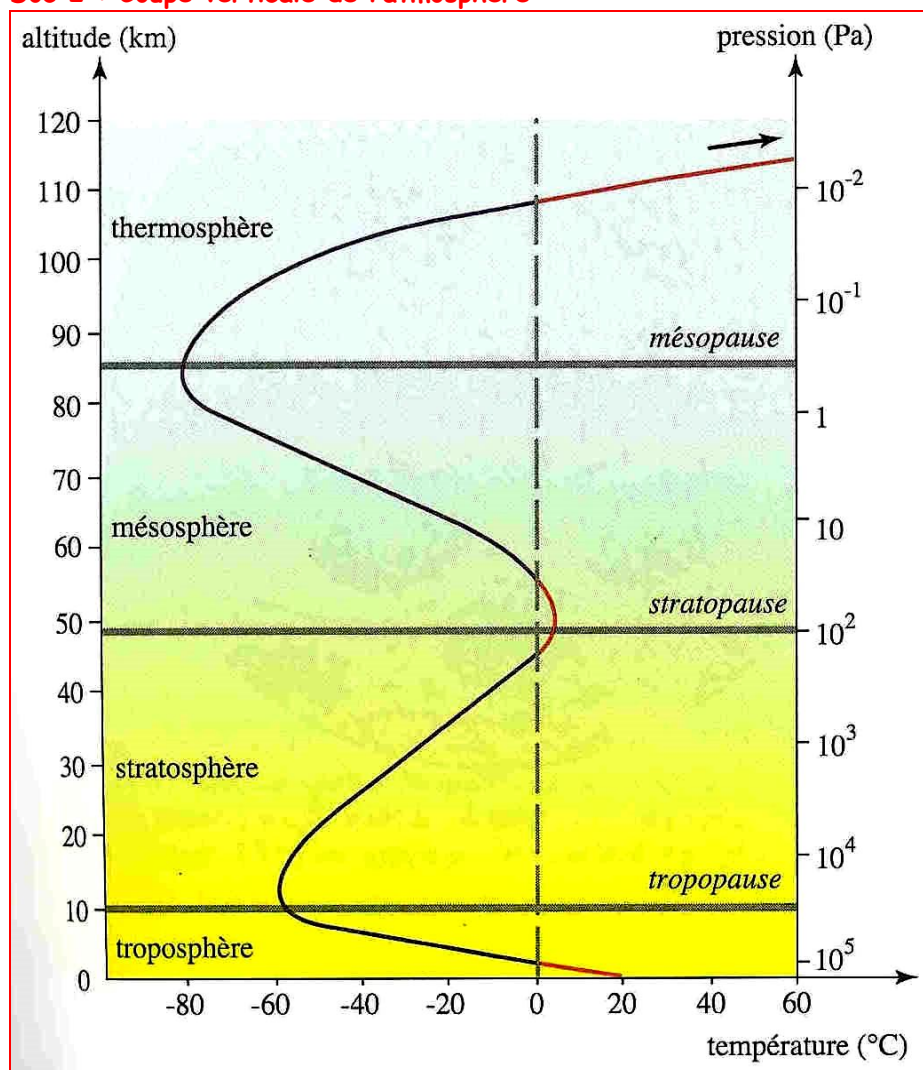
## II/ STRUCTURE DE L'ATMOSPHÈRE

L'atmosphère est loin d'être homogène. Elle est composée de quatre couches distinctes séparées par trois discontinuités.

- **La troposphère** : c'est la partie la plus basse de l'atmosphère en contact avec le sol. L'épaisseur est variable : 18 km à l'équateur, 12 km aux latitudes moyennes et 6 km aux pôles. À l'équateur, la température décroît de 6 °C/km de dénivellation. La troposphère est le niveau de concentration de la vapeur d'eau, de l'essentiel des éléments minéraux et organiques, de même que tout le gaz carbonique. Elle est donc le siège des phénomènes météorologiques intéressant la vie sur terre. Elle est limitée par la tropopause.

- **La stratosphère** : elle s'étend de la tropopause jusqu'à 50 km d'altitude. C'est une couche assez calme dont les phénomènes météorologiques sont rares. L'ozone connaît son maximum de concentration dans cette couche, notamment entre 20 et 30 km. La température moyenne de la stratosphère est de 0 °C. On y rencontre des vents violents pouvant atteindre 350 km/h. La stratosphère est limitée par la stratopause.

### Doc 2 : Coupe verticale de l'atmosphère



- **La mésosphère** : elle se situe dans la haute atmosphère et s'étend jusqu'à 80 km d'altitude. La température décroît jusqu'à atteindre  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$  du fait de la raréfaction de l'air. On note une absence de gaz qui absorbent la chaleur. La mésosphère est limitée par la mésopause.

- **La thermosphère** : elle se situe entre la mésopause et 700 km d'altitude. La température croît à mesure qu'on s'élève, atteignant plusieurs centaines de degrés au-dessus de 200 km. C'est à ce niveau que se produit la désintégration des météorites (roches détachées des autres planètes appelées étoiles filantes).

- **L'exosphère** : elle se trouve entre 700 et 3000 km. Les particules gazeuses y sont rares et forment des corps indépendants soumis à leur propre gravité. Au-delà de 1000 km d'altitude, du fait de la raréfaction de l'air, l'atmosphère ne donne plus lieu à des phénomènes observables.

## Leçon 8 : LES FACTEURS DU CLIMAT

Si le temps caractérise l'état moyen de l'atmosphère en un lieu pendant une période brève, le climat est considéré comme la succession des types de temps qui dominent en un lieu. Par sa durée, sa stabilité, le climat englobe le temps et se définit comme l'ensemble des phénomènes météorologiques qui sont habituels à une région. Le climat de la terre est régi par des facteurs zonaux et des facteurs azonaux.

### I/ LES FACTEURS ZONAUX

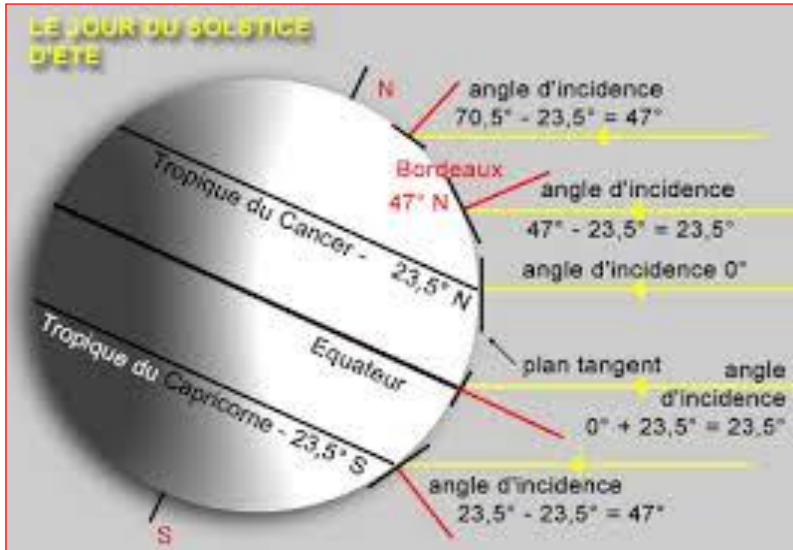
La répartition des facteurs zonaux à la surface du globe obéit à des critères climatiques. Il s'agit du rayonnement solaire et de la circulation générale de l'atmosphère.

#### 1°) Le rayonnement solaire

Si le bilan radiatif moyen de la planète est équilibré, il ne l'est pas pour les différentes régions de la terre en raison de trois phénomènes : l'angle d'incidence, le rôle de l'atmosphère et l'albédo. Ainsi, la chaleur reçue décroît de plus en plus régulièrement de l'équateur aux pôles.

#### A/ L'angle d'incidence

##### Doc 1 : L'angle d'incidence



La terre étant une sphère, toutes les latitudes ne reçoivent pas la même quantité de chaleur. L'énergie reçue est maximale entre les tropiques, mais décroît aux latitudes supérieures. Dans les régions polaires, le soleil est bas sur l'horizon : le rayonnement rasant n'apporte que peu d'énergie.

#### B/ Le rôle de l'atmosphère

Le rôle de l'atmosphère est complexe. Un ciel limpide laisse passer l'essentiel du rayonnement solaire, mais retient peu la chaleur perdue par le sol. D'abondants nuages gênent la radiation, mais exerce un effet de serre<sup>32</sup> important.

<sup>32</sup> **Effet de serre** : effet naturel de la basse atmosphère (troposphère) qui contribue à retenir une partie de la chaleur solaire à la surface de la terre par le biais du pouvoir absorbant de certains gaz. Les gaz à effet de serre qui existent naturellement dans l'atmosphère isolent la terre des pertes de chaleur.

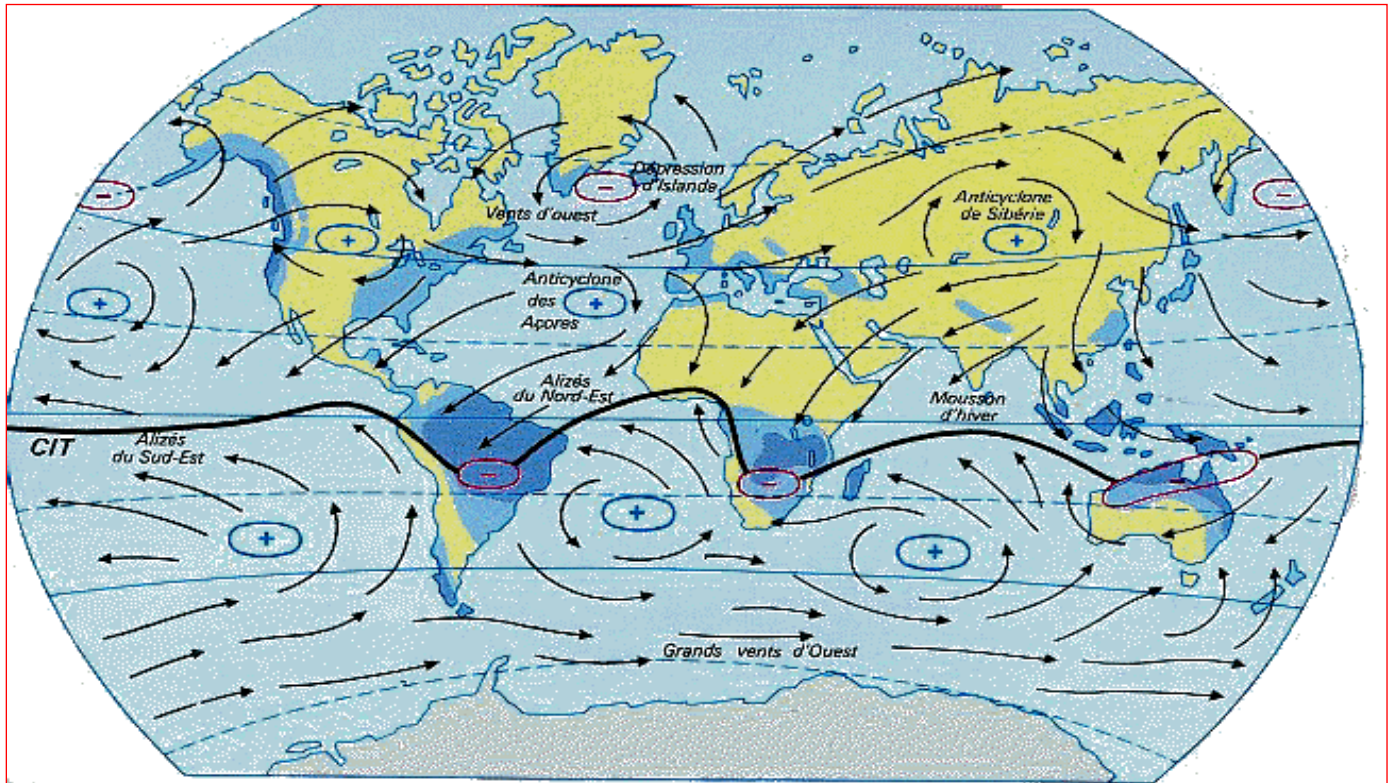
## C/ L'albédo

L'albédo (la proportion d'énergie lumineuse renvoyée par un corps éclairé) est très inégal. L'océan ou les forêts réfléchissent peu d'énergie reçue, alors que les sols nus et clairs (déserts sableux, zones enneigées ou englacées) en renvoient une partie importante.

Ces trois phénomènes majeurs déterminent la zonation thermique du globe.

## 2°) La circulation générale de l'atmosphère

### Doc 2 : Circulation générale de l'atmosphère



À chaque zone climatique son organisation :

-  **dans la zone tropicale**, circulent des vents d'Est, les alizés qui convergent vers l'équateur. Ce qui produit de puissantes ascendances et des pluies abondantes.

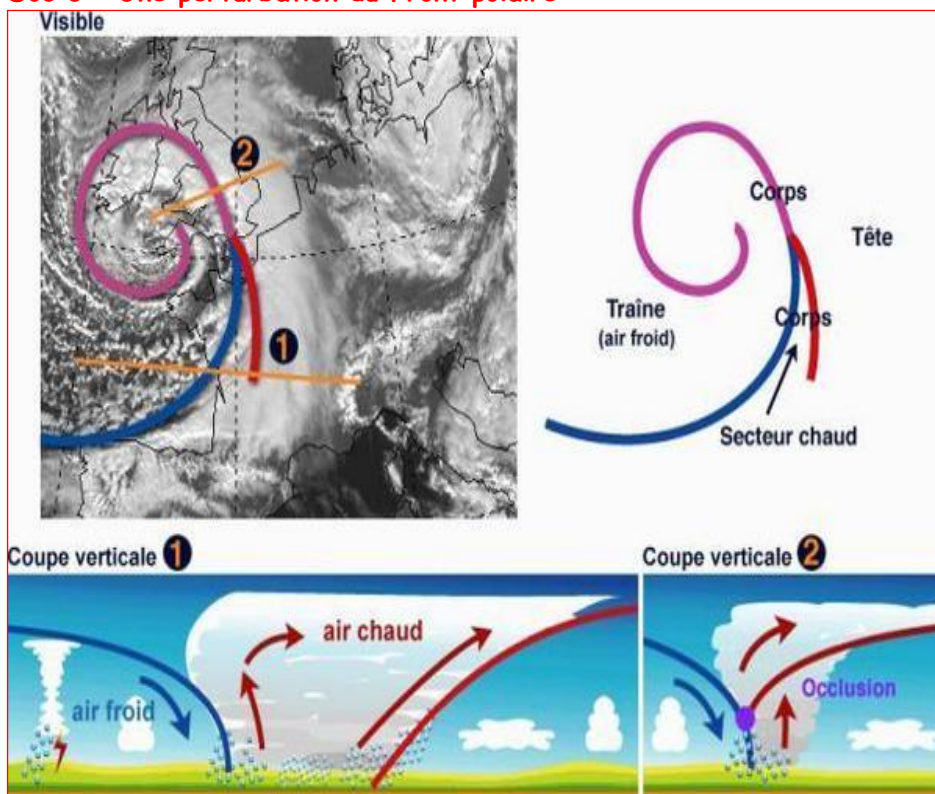
Au solstice de juin, les zones tropicales de l'hémisphère Nord reçoivent les pluies. En Asie du Sud et du Sud-est, les abondantes pluies de mousson<sup>33</sup> sont dues aux alizés maritimes de l'hémisphère Sud, alors que la saison sèche règne dans celle du Nord.

<sup>33</sup> **Mousson** : système de vents qui changent de direction selon les saisons et qui soufflent à des latitudes tropicales, essentiellement en Asie du Sud-est. La mousson fait ressentir ses effets principalement dans l'océan Indien. Elle souffle de la mer vers le continent (mousson d'été du Sud-ouest en Inde), généralement d'avril à octobre, et du continent vers la mer (mousson d'hiver du Nord-est en Inde), d'octobre à avril. La mousson d'été est habituellement accompagnée de pluies très importantes en Inde et en Asie du Sud-est. Le régime des vents de mousson conditionne les variations climatiques dans ces régions.

- **dans les latitudes moyennes**, les vents dominants et les perturbations du Front polaire viennent de l'Ouest. En hiver, cette circulation se rapproche des marges de la zone tropicale, mais elle est bloquée ou déviée dans les intérieurs continentaux où règnent des anticyclones froids.

- **dans les zones polaires**, l'air froid entretient des anticyclones (air de haute pression) qui émettent un vent glacial. Des arrivées d'air humide provoquent parfois des chutes de neige. Les vents qui divergent de ces anticyclones soufflent de l'Est au sol et sont parmi les plus violents du monde (plus de 300 km/h). En altitude, existe une circulation d'Ouest avec des passages de perturbation.

### Doc 3 : Une perturbation du Front polaire



Une perturbation du Front polaire naît de l'affrontement de l'air polaire et de l'air tropical le long du Front polaire. Un tourbillon se forme à partir d'une ondulation légère, puis se creuse rapidement, déterminant une pression autour de laquelle les vents circulent.

La perturbation se déplace d'ouest en Est. Elle comporte trois secteurs et deux fronts.

Le passage du front s'accompagne de nuages caractéristiques et de pluies. La perturbation provoque de rapides changements de temps sur les régions traversées. En général, le froid rejoint le front chaud : il y a occlusion et la perturbation cesse de fonctionner.

## II/ LES FACTEURS AZONAUX

Ce sont des facteurs dont la répartition à la surface de la terre n'obéit à aucun critère climatique.

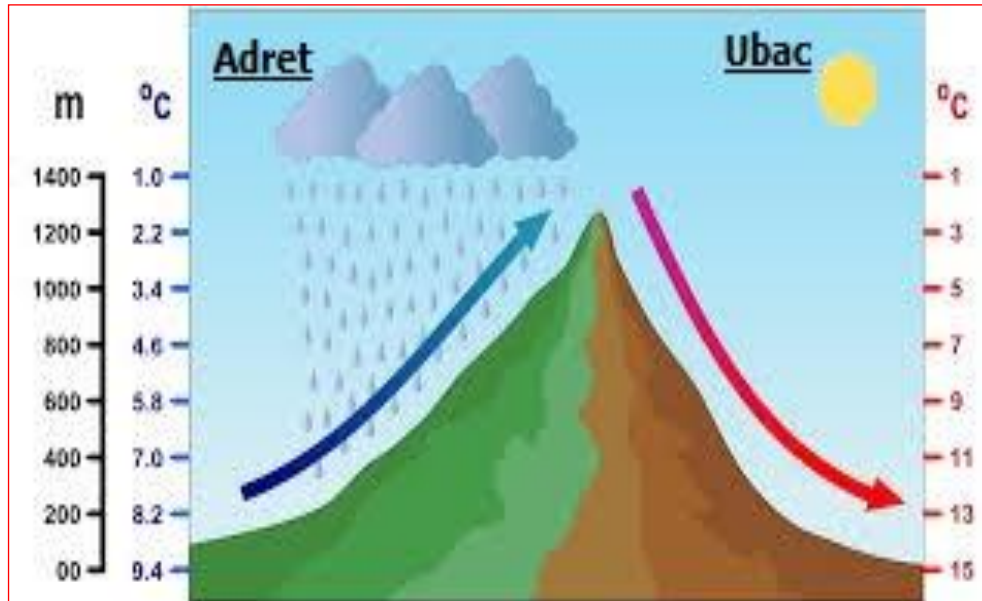
### 1°) La disposition des reliefs

Les reliefs expliquent aussi le dispositif climatique.

Les hauts massifs peuvent constituer des obstacles à la circulation atmosphérique. Avec l'altitude, la température et la pression diminuent, alors que les précipitations augmentent. Les montagnes élevées sont donc des régions plus fraîches et plus humides que la zone climatique dans laquelle elles se situent. Les hauts sommets des chaînes tropicales portent même des neiges persistantes.

Le relief multiplie aussi les oppositions de versants : *Adrets* exposés aux flux humides très arrosés et *Ubacs* abrités, parfois très secs en raison du *Foehn*<sup>34</sup>.

#### Doc 4 : L'effet de Foehn



L'air humide d'origine océanique subit une ascendance forcée sur le versant montagneux. Il se décharge de son humidité et se refroidit de  $0,6\text{ °C}/100\text{ m}$ . Quand il descend sur le versant abrité, il est sec et se réchauffe par compression de  $1\text{ °C}/100\text{ m}$ . À l'arrivée, c'est donc un air très chaud et sec avec des températures supérieures de  $10\text{ à }15\text{ °C}$  à celles qu'il avait au départ.

## 2°) Le contraste océans-continent

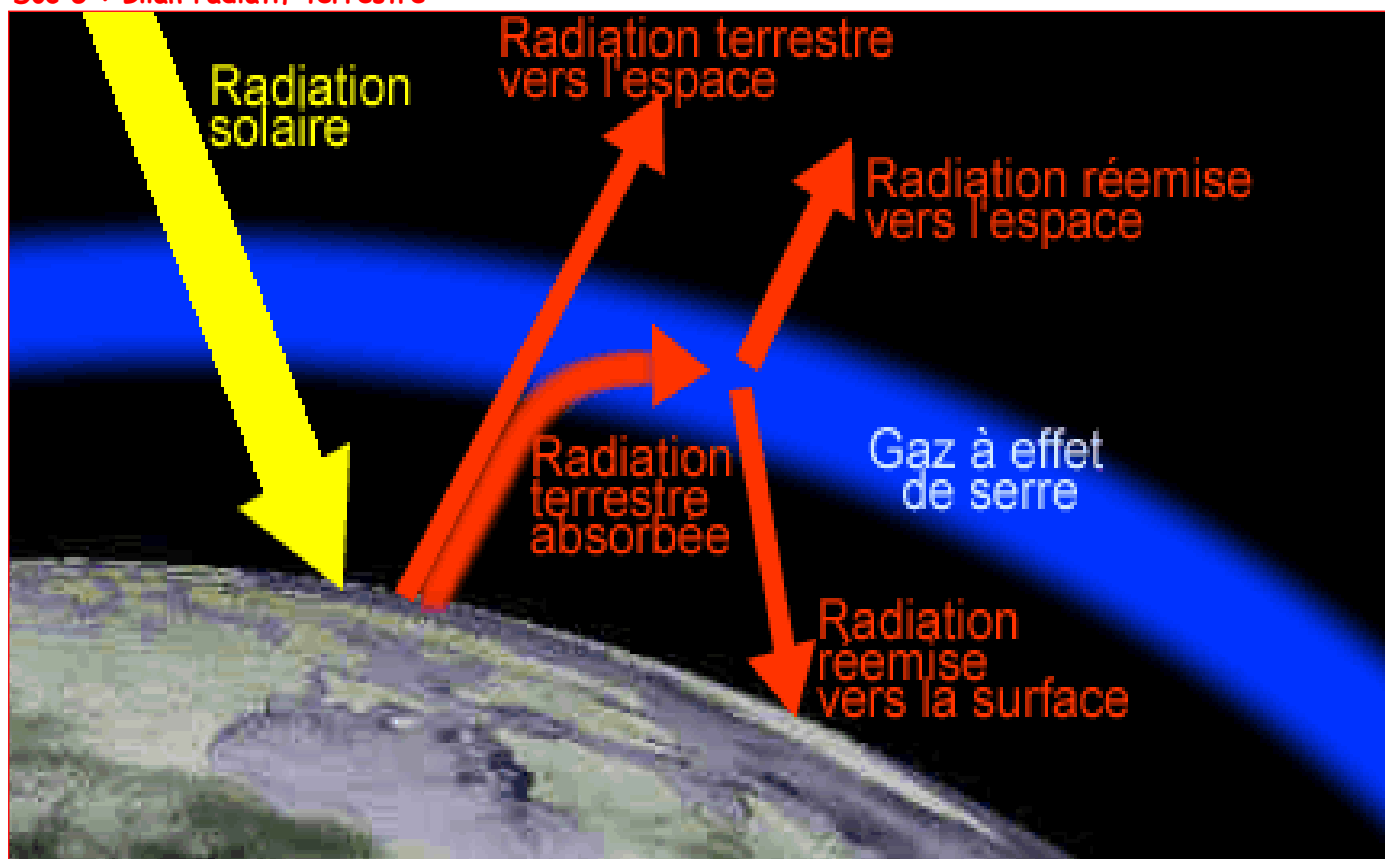
La disposition des continents et des océans modifie profondément la distribution des températures et des précipitations. Du fait de la proximité de la mer, les températures sur les côtes sont très agréables tandis que les régions les plus éloignées sont caractérisées par la chaleur.

De même, grâce aux courants marins chauds, l'océan favorise des précipitations sur les régions côtières.

À ces facteurs du climat, on peut ajouter la nature du sol qui détermine l'albédo, l'importance de la végétation, le rôle des pollutions industrielles et urbaines qui influent largement sur les climats régionaux ou micro-climats.

<sup>34</sup> *Foehn* ou *Föhn* : c'est un phénomène météorologique qui a lieu principalement dans les hautes montagnes (à partir de 600 m d'altitude). Il se caractérise par de fortes précipitations sur le versant de la montagne situé au vent et d'un vent chaud et sec (le *foehn* en espagnole sur l'autre versant de la montagne).

L'*effet de Foehn* a souvent de lourdes conséquences sur la montagne parce qu'ils sont à l'origine de nombreuses avalanches notamment dans les Alpes suisses et autrichienne. Le vent chaud et sec est nommé différemment dans d'autres pays du monde : au Canada, il prend le nom de *Chinook* et dans le Sud des États-Unis, le *Santa Ana*.

DOCUMENTS ANNEXES**Doc 5 : Bilan radiatif terrestre****Doc 6 : L'albédo**

L'albédo est une valeur physique qui permet de connaître la quantité de lumière solaire incidente réfléchie par une surface. Concernant le climat, cette variable est importante car elle exprime la part de rayonnement solaire qui va être renvoyée par l'atmosphère et la surface terrestre vers l'espace et qui donc, ne servira pas à chauffer la planète.

L'albédo est une grandeur sans dimension. Sa valeur s'exprime soit par un pourcentage entre 0 % et 100 % qui est donc le pourcentage de lumière réfléchie par rapport à la quantité reçue, soit par un chiffre entre 0 et 1 qui est la fraction de la lumière réfléchie.

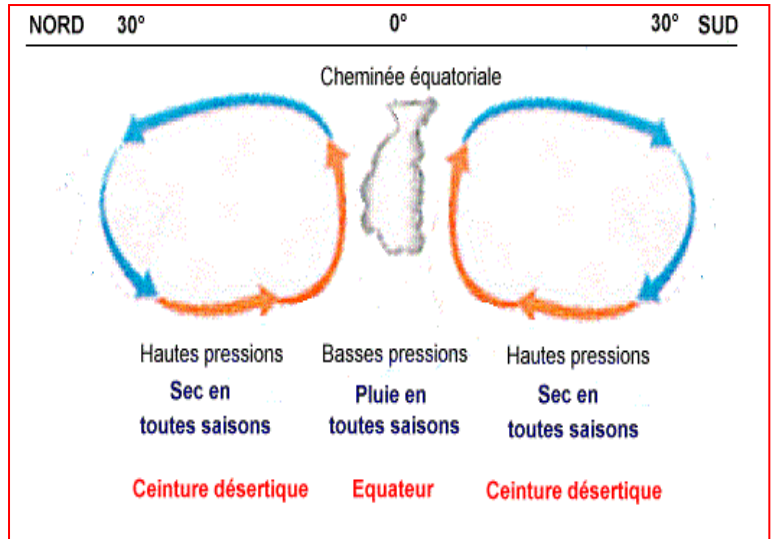
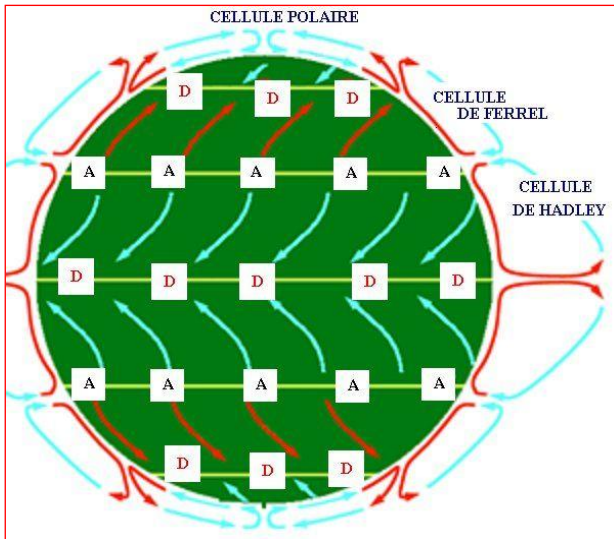
Ainsi une surface parfaitement blanche réfléchit toute la lumière et son albédo est de 100 %.

À l'inverse, une surface parfaitement noire ne réfléchit aucune lumière, donc absorbe l'intégralité du rayonnement solaire qu'elle reçoit. Son albédo est de 0 %.

Par exemple, les océans ont un albédo compris entre 5 et 10 % ; le sable entre 25 et 40 % ; la glace environ 60 % ; la neige épaisse et fraîche jusqu'à 90 %. Les continents qui ont un albédo plus élevé que celui des océans apparaissent plus clairs sur les photos satellite que les océans qui eux, apparaissent noirs. Toutes surfaces confondues, l'albédo moyen terrestre est de 30 %.

La fonte de la banquise ou les variations d'occupation des sols, comme dans les cas de déforestation massive, entraînent une modification de l'albédo, ce qui contribue à modifier les échanges d'énergie sur la planète, et donc influe sur le climat. Des changements dans la couverture nuageuse entraînent des modifications de l'albédo de la planète et de la transmission du rayonnement infrarouge, donc de l'effet de serre, ce qui contribue aussi à modifier les échanges de chaleur et d'eau sur la planète.

## Doc 7 : Cellule de Hadley



La cellule de Hadley est une circulation atmosphérique fermée. Elle redistribue l'énergie accumulée à l'équateur vers les plus hautes latitudes dans les deux hémisphères.

**- L'ascension des masses d'air apportées par les alizés :**

La circulation de Hadley intervient sur plusieurs kilomètres d'altitude. Dans les basses couches, proches de la surface, les alizés (des vents d'est) convergent vers l'équateur depuis les deux hémisphères. Ces vents, chargés d'humidité, apportent de la chaleur à l'air équatorial. Par leurs mouvements, ils procurent suffisamment d'énergie pour soulever l'air par convection. Autour de 5° de latitude, les masses d'air s'élèvent et atteignent la tropopause (elles peuvent dépasser les 16 km de haut).

**- Subsidence de l'air aux latitudes moyennes :**

En altitude, l'air tend à se diriger vers le nord dans l'hémisphère nord et vers le sud dans l'hémisphère sud. Les masses d'air s'assèchent en altitude et sont prises dans les courants descendants, générés par des centres d'action anticyclonique subtropicaux. En redescendant (subsidence), l'air se réchauffe, s'humidifie, puis prend une direction Sud-est dans l'hémisphère Nord, et Nord-est dans l'hémisphère Sud. Ce sont ces flux d'air qui vont donner naissance aux alizés.

La cellule de Hadley est donc une circulation atmosphérique qui génère deux cellules autour de l'équateur, s'étendant verticalement (en altitude) et horizontalement (vers les pôles). Ces cellules subissent toutefois des variations saisonnières et ne sont pas toujours localisées exactement à l'équateur géographique.

**Doc 8 : Pollution de l'air et réchauffement climatique**

La température moyenne de la planète s'est élevée de 0,6°C au XX<sup>e</sup> siècle, de 0,9°C pour la France. Au cours du siècle à venir, elle devrait s'accroître d'au moins de 1,4 °C, et jusqu'à 5,8 °C si nous ne faisons rien. Cette évolution considérable est d'une ampleur sans précédent depuis des dizaines de milliers d'années. Il est établi aujourd'hui avec certitude que ce phénomène tient à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines, à commencer par le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

**Qu'est ce que l'effet de serre ?**

L'effet de serre est un phénomène naturel. L'énergie solaire qui parvient au sol réchauffe la terre et se transforme en rayons infrarouges. Comme les vitres d'une serre - d'où le nom donné à ce mécanisme - des gaz présents dans l'atmosphère piègent une partie de ces rayons qui tendent à la réchauffer. Ainsi, sans effet de serre, la température moyenne sur la terre serait de -18 °C et peu d'eau serait sous forme liquide. Cet effet a donc une influence bénéfique puisqu'il permet à notre planète d'avoir une température moyenne de 15° C, et donc la vie sur terre.

**Rapport entre l'effet de serre et le réchauffement climatique :**

Depuis le début de l'ère industrielle, l'homme a rejeté dans l'atmosphère des gaz (gaz carbonique, méthane, oxydes d'azote, ...) qui augmentent artificiellement l'effet de serre. Si cet ajout à l'effet de serre naturel est faible (environ +1 %), il est amplifié par la vapeur d'eau et a ainsi contribué à l'augmentation de la température moyenne de notre planète d'environ 0,5 °C observée dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

**Gaz à effet de serre et industrie :**

Les activités industrielles conduites par l'homme génèrent des quantités croissantes de gaz à effet de serre. Des gaz qui, certes, permettent de produire l'effet de serre mais qui, en trop grandes quantités poussent la température globale à des niveaux artificiellement élevés qui altèrent le climat. Ainsi, le protocole de Kyoto, signé le 11 décembre 1997, fixe des objectifs chiffrés de réduction des émissions de gaz à effet de serre afin de lutter contre le réchauffement climatique. Il impose depuis le 16 février 2005, date de sa mise en œuvre, à une trentaine de pays industrialisés d'atteindre les objectifs quantitatifs de réduction ou de limitation de leurs émissions de gaz à effet de serre.

Au titre de ce protocole, les pays industrialisés auront à ramener en deçà des niveaux de 1990 leurs émissions combinées des six principaux gaz à effet de serre, exprimées en équivalent CO<sub>2</sub> d'après leur Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) durant la période 2008-2012. L'Union européenne, par exemple, aura à baisser ses émissions combinées de 8 % tandis que la France doit stabiliser ses émissions ...

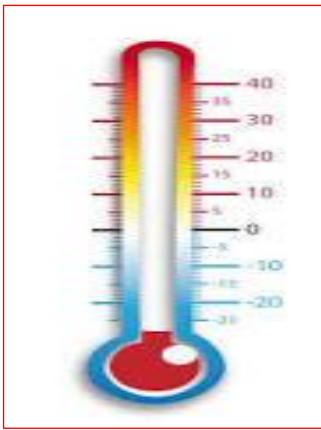
Source : Ministère français de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

## Leçon 9 : LES ÉLÉMENTS DU CLIMAT

Les éléments du climat sont des grandeurs physiques mesurables ou des phénomènes repérables qui caractérisent la basse atmosphère. Chaque zone climatique présente des spécificités qui découlent de la combinaison de plusieurs éléments. Il s'agit de la température et de l'humidité de l'air dans les couches voisines de la lithosphère, de la pression atmosphérique, du vent, des précipitations, ...

### I/ LA TEMPÉRATURE

La température est la qualité de l'air que l'on mesure avec un thermomètre sous abri (appareil qui sert à mesurer et à afficher la valeur de la température). L'unité de mesure est le degré centigrade Celsius. Les prélèvements se font toutes les trois heures au niveau de la station météorologique.



**Doc 1 : Thermomètre**

On distingue la température de la chaleur sensible et la température du thermomètre mouillé.

- **la température de la chaleur sensible** est le degré thermique exprimé en Celsius<sup>35</sup>. Le jour, la température maximale est enregistrée à 15 h et celle minimale à 6 h. La différence entre le maxima et le minima permet de connaître l'écart de température ou amplitude thermique ( $\Delta$  °C).

**Exemples :** soient Tx (température maximale) et Tn (température minimale),

$$\Delta \text{ °C journalière} = Tx - Tn$$

$$\Delta \text{ °C mensuelle} = Tx \text{ moyenne mensuelle} - Tn \text{ moyenne mensuelle}$$

$$\Delta \text{ °C annuelle} = Tx \text{ moyenne juin} - Tn \text{ moyenne décembre}$$

$$T^\circ \text{ moyenne journalière} = Tx + Tn / 2$$

$$T^\circ \text{ moyenne mensuelle} = Tx \text{ moyenne mensuelle} + Tn \text{ moyenne mensuelle} / 2$$

$$T^\circ \text{ moyenne annuelle} = Tx \text{ moyenne juin} + Tn \text{ moyenne décembre} / 2$$

<sup>35</sup> **Le degré Celsius (°C)** : unité de l'échelle de température Celsius, qui est une unité dérivée du système international d'unités introduite en 1948. Son nom est une référence à l'astronome et physicien suédois Anders Celsius, inventeur en 1742 d'une des premières échelles centigrades de température. Cette unité de mesure est d'usage courant à travers le monde, à l'exception des États-Unis, de Belize et des Îles Caïman qui utilisent toujours l'échelle Fahrenheit.

- **Le degré Fahrenheit (°F)** est une unité de mesure de la température proposée par le physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724. Aujourd'hui, l'échelle Fahrenheit est calée sur l'échelle Celsius par la relation : 1 °F = 1,8 °C.

- la température du thermomètre mouillé<sup>36</sup> : on met un chiffon à la base du thermomètre. La température ainsi obtenue est la température du point de rosée<sup>37</sup>, c'est-à-dire la température à laquelle une vapeur se condense.

## II/ L'HUMIDITÉ ATMOSPHÉRIQUE

### Doc 2 : Hygromètre



C'est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un certain volume d'air. On distingue l'humidité absolue et l'humidité relative.

- l'**humidité absolue** est la masse d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur d'eau, exprimée en  $\text{g/m}^3$ .
- l'**humidité relative** ou degré hygrométrique (humidité de l'air) est le rapport exprimé en % entre la masse d'eau contenue dans l'air et celle que contiendrait le même volume s'il était saturé (degré de concentration maximale).

L'humidité atmosphérique est mesurée à l'aide d'un hygromètre.

## III/ LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

C'est la force exercée au sol par le poids de l'atmosphère mesurée en hectopascals (hPa) ou en millibars (mbar), en moyenne 1013 mbar au niveau de la mer (0 m).

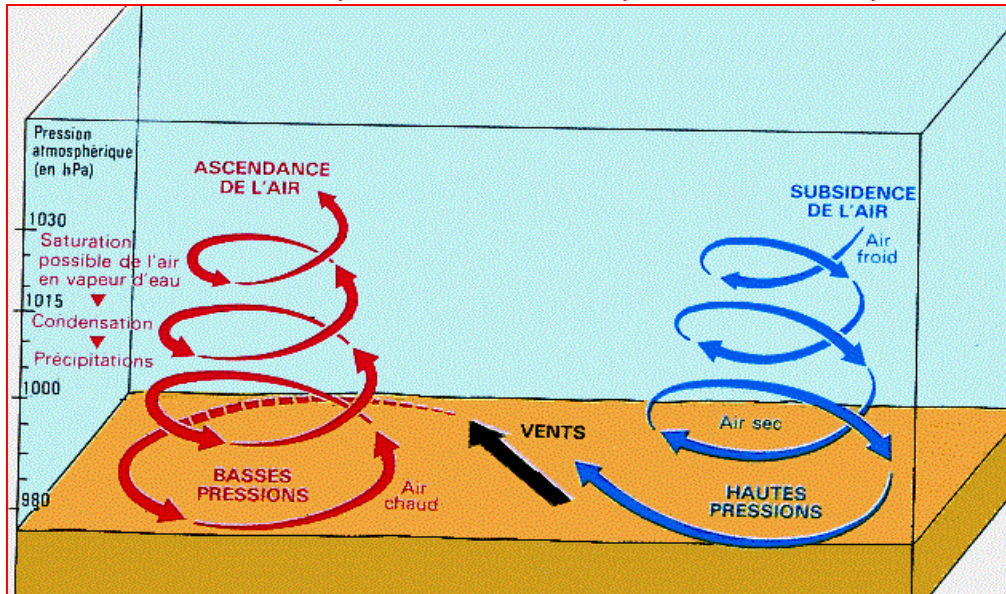
La pression atmosphérique diminue avec l'altitude. Cette diminution n'est pas linéaire puisque la concentration gazeuse est plus importante dans les basses couches de l'atmosphère. À 3000 m d'altitude, la pression moyenne est d'environ 700 hPa, tandis qu'à une quinzaine de km d'altitude, elle n'atteint qu'environ 100 hPa. Autrement dit, 90 % de la pression atmosphérique se concentre approximativement dans les 15 premiers km de l'atmosphère terrestre.

Les régions où la pression est supérieure ou égale à la normale s'appelle des régions de hautes pressions ou anticyclones. Celles où elle est inférieure s'appellent des basses pressions ou dépressions. Ces différences sont dues au caractère de l'air et à ses mouvements.

<sup>36</sup> **Thermomètre mouillé** : dont le réservoir est recouvert d'une mèche de mousseline humide ou d'une pellicule de glace pure, le tout étant ventilé, pour mesurer la température du point de rosée (température du thermomètre mouillé).

<sup>37</sup> **Température du point de rosée** : c'est la température la plus basse à laquelle une masse d'air peut être soumise, à pression et humidité données, sans qu'il se produise une formation d'eau liquide par saturation.

## Doc 3 : Schéma d'une dépression et d'un anticyclone dans l'hémisphère Nord



Quand l'air s'élève (mouvement d'ascendance), il se détend, devient moins dense et la pression diminue. Quand il descend (mouvement de subsidence), il se comprime, devient plus dense et la pression s'élève.

Ces mouvements verticaux sont pour la plupart liés aux différences de température.

## Doc 4 : Baromètre



L'ensemble de ces mécanismes détermine le champ de pression et donc, la circulation horizontale de l'air. Les vents se dirigent des anticyclones vers les dépressions, mais sont déviés par la rotation terrestre : force de Coriolis.

La pression atmosphérique est mesurée par un baromètre, les prélèvements se font toutes les heures.

**Exemple :** Pression moyenne journalière = somme des pressions de la journée / 24.

## IV/ LE VENT

## Doc 5 : Anémomètre



Le vent est un mouvement naturel d'une masse d'air qui se déplace suivant une direction déterminée. Il est constitué par de l'air en mouvement. Le vent est apprécié selon sa vitesse et sa direction.

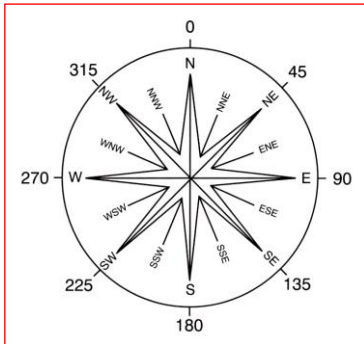
La vitesse est mesurée à l'aide d'un anémomètre. Elle est exprimée en m/s, en km/h ou en nœuds :

1 nœud = 1 mile marin/h, soit 0,5144 m/s

1 mile marin = 1609 m

La direction du vent est donnée à partir d'un point d'observation. Elle est exprimée en degré. Toutes les directions du vent se retrouvent dans la rose des vents.

**Doc 6 : La rose des vents**



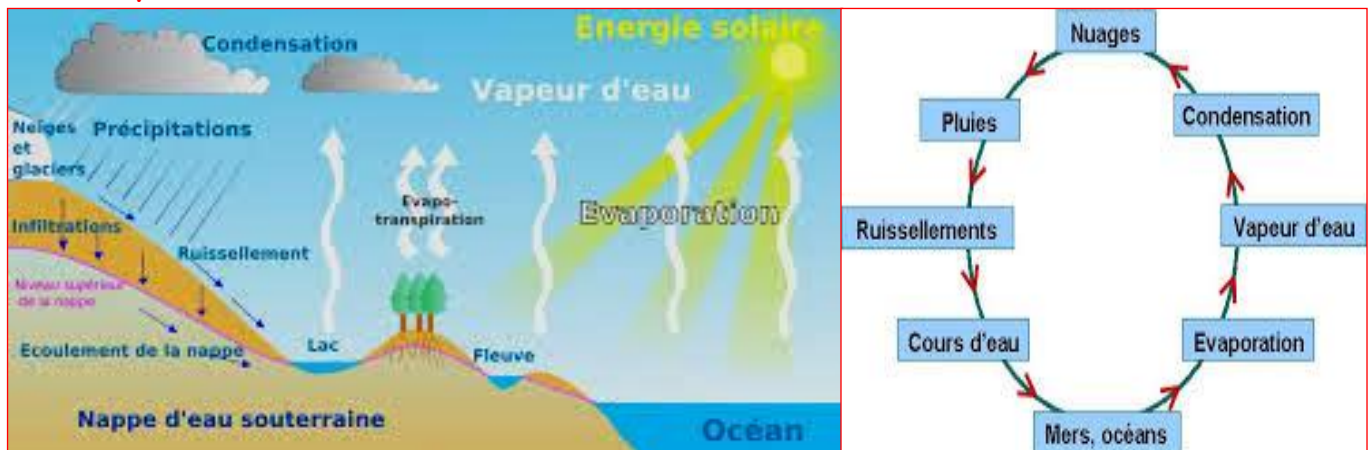
Les principaux types de vents en surface correspondent aux grandes tendances planétaires. Leur direction est très différente suivant la latitude où l'on se trouve sur le globe :

- près de l'équateur, l'air chaud monte et génère des vents verticaux. Il y a très peu de vent horizontal ;
- dans les régions tropicales, les vents dominants viennent de l'Est : ce sont les alizés ;
- aux moyennes latitudes, les vents dominants viennent de l'Ouest. Ils entraînent avec eux les perturbations atmosphériques cycloniques (ou dépressions) qui apportent de la pluie ;
- dans les régions polaires, les vents viennent de l'Est et ont tendance à instaurer une circulation anticyclonique.

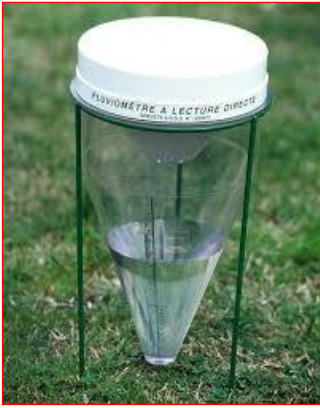
**V/ LES PRÉCIPITATIONS**

Elles constituent une étape du cycle de l'eau : stockage, évaporation, précipitation et ruissellement. Des précipitations se produisent lorsque la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère se condense en nuages et retombe sur terre sous diverses formes de pluie, de neige ou de grêle.

**Doc 7 : Cycle de l'eau**



En moyenne, les précipitations quotidiennes représentent environ 300 km<sup>3</sup>. Approximativement deux tiers s'évaporent à nouveau dans l'atmosphère, le reste alimentant le débit des rivières avant de retourner à l'océan.

**Doc 8 : Pluviomètre**

Les précipitations sont mesurées toutes les 24 heures ou toutes les 12 heures à l'aide d'un pluviomètre. Mais on enregistre pour un mois des quantités globales, et ce n'est qu'au niveau des études sur plusieurs années que les moyennes interviennent. Les mesures sont données en hauteurs d'eau, évaluées en millimètres quelle que soit la forme des précipitations. On complète en général l'information en indiquant le nombre de jours de pluie, de neige ou de grêle considérés globalement ou classés selon les quantités reçues.

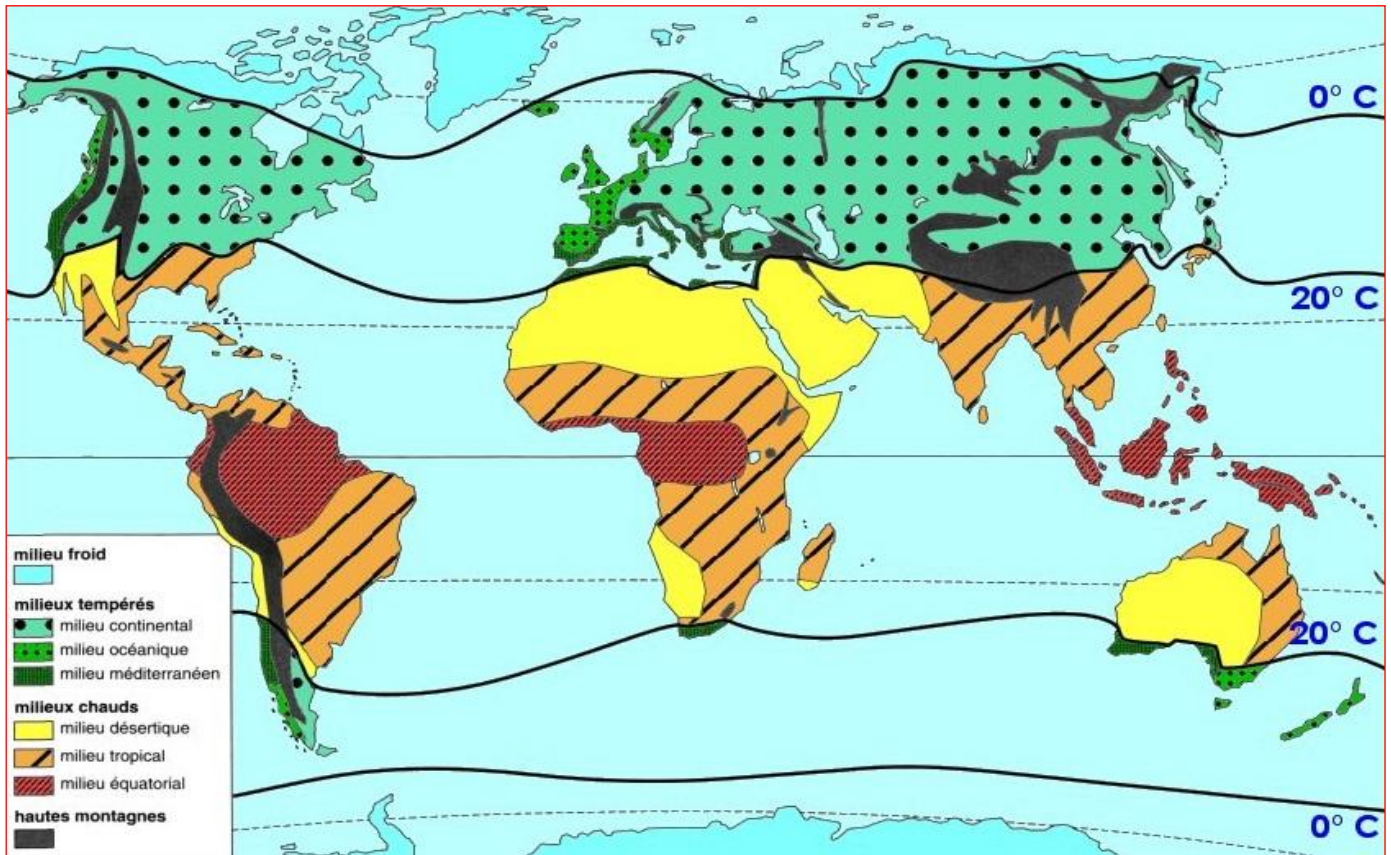
On peut ajouter aux éléments du climat la durée d'insolation, la nébulosité<sup>38</sup>, l'évaporation, l'ionisation de l'air, la composition chimique, le champ électrique de l'atmosphère, ...

---

<sup>38</sup> **Nébulosité** : proportion du ciel couverte par des nuages à un moment donné.

**Leçon 10 : TRAVAUX PRATIQUES :**  
**CARTE DE LA RÉPARTITION DES CLIMATS DE LA TERRE ET**  
**CONSTRUCTION DE DIAGRAMMES**

**I/ CARTE DE LA RÉPARTITION DES CLIMATS DE LA TERRE**



**CARACTÈRES DES GRANDS DOMAINES CLIMATIQUES**

Climats		Saisons	Précipitations	Températures
équatorial		pas de saisons bien marquées	abondantes toute l'année	chaleur constante, écarts annuels de 4 à 5 °C
tropical		2 saisons : une sèche, une humide	seulement pendant la saison humide	chaleur constante, écarts annuels de moins de 10 °C
désertique		saisons plus ou moins marquées	rares et violentes	Grandes variations quotidiennes et saisonnières
tempéré	méditerranéen	4 saisons	en hiver surtout	hivers tièdes, étés chauds
	océanique	4 saisons	toute l'année	hivers doux
	continental	4 saisons	de plus en plus rares en s'éloignant de la mer	hivers froids, étés chauds
polaire		2 saisons	très faible toute l'année	hiver très froids, étés frais (< 10 °C) et très courts, écarts annuels de 30 à 60 °C

## II/ CONSTRUCTION DE DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE

Un diagramme ombrothermique (ombros = pluie, thermon = chaleur) est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures ( $P = 2T$ ).

Il a été développé par Henri Gaussen<sup>39</sup> pour mettre en évidence les périodes de sécheresse définies par une courbe des précipitations (sous forme d'histogramme) se situant en-dessous de la courbe des températures.

Selon Gaussen, un mois est dit aride, quand :  $P < 2 \times T$

(P = précipitations totales en millimètres sur 1 mois, T = température moyenne en °C sur le même mois).

Le diagramme ombrothermique permet de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité. Les températures sont indiquées à gauche et les précipitations sont indiquées à droite.

**NB :** La norme de 2 pour 1 utilisée dans ce diagramme tient au fait qu'il a été développé en milieu méditerranéen et que la sécheresse pour les plantes de ce milieu correspond à un rapport entre le nombre de mois secs et humides de plus de 1 sur le diagramme. Il compare donc bien des climats des latitudes moyennes. Il est moins utile dans les régions équatoriales où la pluviosité est assez constante et toujours au-dessus de celle de la température, ainsi que dans les climats polaires où la pluviosité est toujours au-dessus de la courbe de température et sous forme solide la plupart du temps.

Nous avons aussi l'indice d'aridité de Martonne<sup>40</sup> noté I. il permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

(P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle).

si  $I = 0$ , régions hyperarides, déserts absolus ;

si  $I = 5$ , régions arides et désertiques ;

si  $I = 10$ , régions semi-arides ;

si  $I = 20$ , régions semi-humides ;

si  $I = 30$ , régions humides ;

si  $I > 50$ , régions très humides.

<sup>39</sup> Marcel-Henri Gaussen (1891-1981) : botaniste et biogéographe français.

<sup>40</sup> Emmanuel de Martonne (1873-1955) : géographe français.

**- Construction :**

Pour construire un diagramme ombrothermique, il faut déterminer 3 axes : l'axe horizontal représente les 12 mois de l'année, l'axe vertical à gauche celui des températures en °C, l'axe vertical à droite celui des précipitations en mm.

- axe horizontal : 1 mois = 1 cm, inscrire l'initiale du mois au milieu de la case ;  
 - axe des températures : 1 cm = 5 °C par exemple, inscrire 0 °C à l'intersection des axes horizontal et vertical, graduer tous les 10 mm (1 cm), inscrire en haut de l'axe le nom et l'unité (t °C) ;

- axe des précipitations : 1 cm = le double de la température (5 °C = 10 mm).

- pour la représentation des données :

\* les températures : au milieu de chaque mois, placer un point représentant la valeur de t °C, relier les points par une ligne tracée en rouge à la main.

\* les précipitations : pour chaque mois, proportionnellement à la valeur en mm, tracer un diagramme à barres juxtaposées (histogramme) colorées en bleu.

**- Interprétation :**

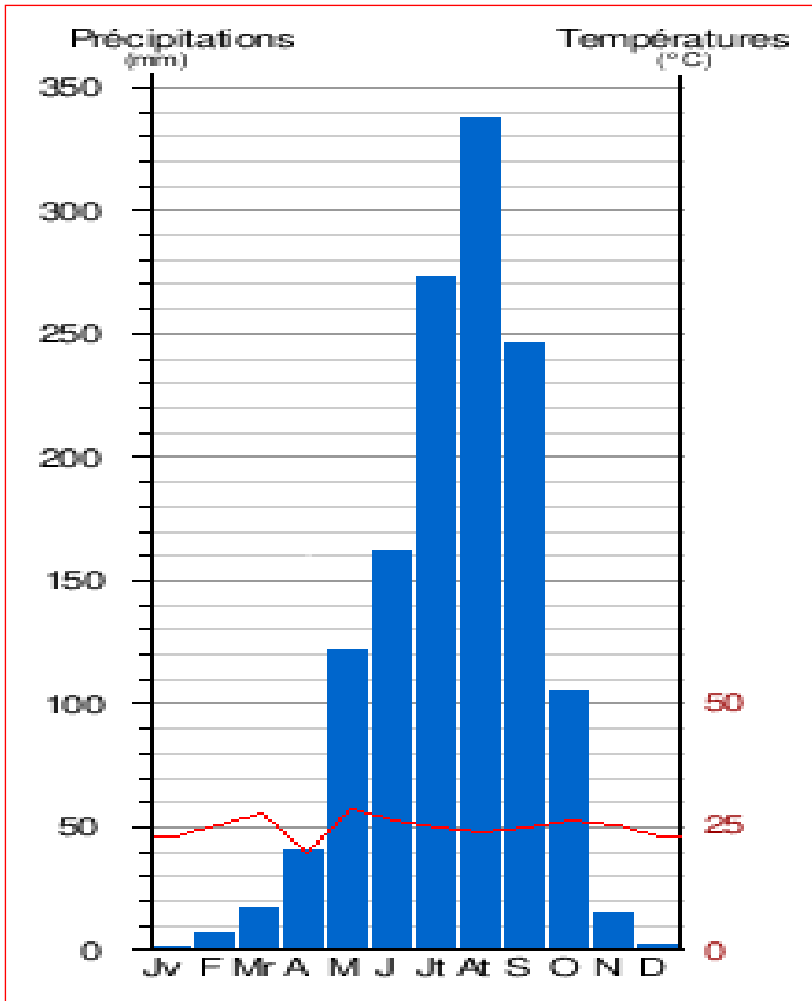
- là où l'histogramme reste sous la courbe des températures, on a un mois sec.
- là où l'histogramme dépasse la courbe des températures, on a un mois humide.
- un mois froid est un mois dont la température moyenne reste en-dessous de 0° C.
- calculer l'amplitude thermique annuelle qui est la différence entre la température maximale et la température minimale.
- calculer le total des précipitations.
- calculer l'indice de Gaussen et l'indice de Martonne.
- l'exploitation de toutes ces données va permettre de déterminer le climat de la station.
- pour ce faire, on peut se référer du tableau ci-dessous :

Température moyenne annuelle	Amplitude thermique	Précipitations totales	Nombre de mois secs	CLIMAT
> 20 °C	< 5 °C	> 1500 mm	...	équatorial
> 20 °C	> 5 °C	...	> 3	tropical
> 20 °C	> 5 °C	...	> 10	désertique chaud
15 à 20 °C	...	...	3 à 5 mois en été	méditerranéen
0 à 15 °C	< 20 °C	> 500 mm	...	tempéré
0 à 15 °C	> 20 °C	200 à 500 mm	...	continental
0 à 15 °C	> 20 °C	< 250 mm	...	désertique froid
< 0 °C	...	...	...	polaire

**Exemple :**

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Sikasso (Mali)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	1	8	19	40	120	161	270	339	249	102	18	2
T °C	24	25	27	20	28	25	24	23	24	26	25	23



**Interprétation**

- P mm totales = 1329 mm
- T °C moyenne annuelle = 24,5 °C
- Δ °C annuelle = 28 - 23 = 5 °C
- Indice de Gaussen = P > 2T
- I (Martonne) =  $1329 / 24,5 + 10 = 38,52$  (région humide)

La moyenne annuelle des températures à Sikasso est assez modérée (24 °C). Les températures les plus basses sont notées entre juin et septembre, contre un maximum de 28 °C au mois de mai. Toutefois l'amplitude thermique reste faible (5 °C). Les pluies sont assez abondantes (1329 mm), mais inégalement réparties. La période de mai à octobre est très arrosée avec un maximum de 339 mm en août (c'est la région la plus arrosée du Mali).

La station de Sikasso est donc marquée par l'existence de deux saisons : une saison des pluies qui s'étale d'avril à octobre et une saison sèche qui va de novembre à mars. C'est un climat tropical à saison sèche et humide alternées.

**EXERCICES D'APPLICATION**

**Consignes :** Construire puis interpréter les diagrammes ombrothermiques des stations suivantes :

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Le Cap (Afrique du Sud)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	14	16	21	41	68	93	83	77	41	3	1	17
T °C	20	20	19	17	14	12	12	12	14	16	18	19

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Ostrov Kotelnyj (Russie)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	Juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	7	7	8	9	13	17	32	27	28	26	9	9
T °C	-30	-31	-28	-21	-10	-0,5	-2,5	-1,8	-2	-13	-23	-28

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Verdun (France)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	Juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	62	58	63	53	69	71	61	62	60	62	68	72
T °C	2	3	6	8	13	16	18	17	15	10	5	3

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Dublin (Irlande)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	66	51	52	50	58	57	66	77	62	72	68	68
T °C	5	5	6	7	10	12	14	13	12	10	6	5

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Dubaï**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	25	29	32	5	0	0	4	0	0	4	3	19
T °C	20	21	22	24	25	27	30	32	33	25	22	20

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Bogota (Colombie)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	58	61	104	145	114	61	51	56	61	163	117	86
T °C	14	14	15	15	15	14	14	14	14	14	15	14

**Précipitations et températures moyennes mensuelles à Minnesota (États-Unis)**

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
P mm	29	24	41	60	84	108	90	97	73	55	45	29
T °C	-13	-11	-6	3	10	15	19	18	13	7	-3	-10

## Chapitre III : LES RELIEFS DE LA TERRE

### COMPÉTENCES EXIGENCES

- Comprendre le relief terrestre.
- Appliquer les méthodes de représentation cartographique et topographique à l'étude du relief.

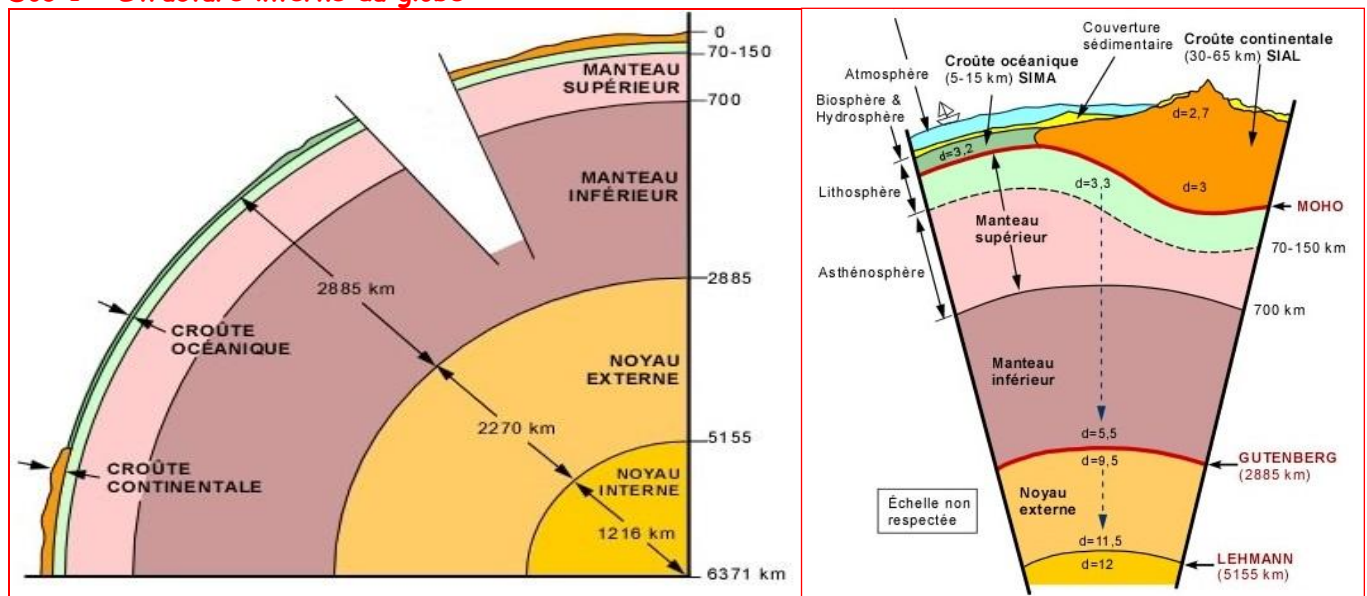
### Leçon 11 : LA TECTONIQUE DES PLAQUES ET L'ISOSTASIE

Le séisme et le volcanisme témoignent de la mobilité de la terre. La formation des océans et des grands ensembles de reliefs continentaux trouve son origine dans les mouvements internes de la terre. C'est ce qui explique la tectonique des plaques et les phénomènes d'isostasie.

#### I LA STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE

L'intérieur de la Terre est constitué d'une succession de couches de propriétés physiques différentes : au centre le noyau qui forme 17 % du volume terrestre, puis le manteau qui constitue 80 % terrestre et qui se divise en manteau inférieur solide et manteau supérieur principalement plastique, et enfin la croûte (ou écorce) qui compte pour moins de 2 % en volume et qui est solide.

#### Doc 1 : Structure interne du globe



#### 1°) L'écorce terrestre

C'est la partie superficielle de la terre appelée lithosphère. Celle-ci est rigide et épaisse de 100 km environ. Elle comprend à la fois la croûte terrestre, la croûte océanique et la partie supérieure du manteau plastique. Elle est constituée pour l'essentiel de basaltes sous les océans (SIAL : silicium + aluminium) et de matériaux granitiques ou métamorphiques sous les

continents (SIMA : silicium + magnésium). L'épaisseur de l'écorce varie entre 5 et 15 km sur les océans et entre 30 et 70 km sur les continents. Ces deux croûtes reposent sur le manteau supérieur (asthénosphère) sur lequel elles flottent et se fragmentent en morceaux (plaques). L'écorce terrestre est limitée en profondeur par la discontinuité de Mohorovicic.

## 2°) Le manteau

Le manteau terrestre est l'enveloppe qui se trouve entre l'écorce terrestre et le noyau. Sa limite supérieure, située entre 10 et 70 kilomètres de profondeur, correspond à la discontinuité de Mohorovicic. Sa limite inférieure, située vers 2885 km de profondeur, correspond à la discontinuité de Gutenberg. Le manteau, de densité comprise entre 3,3 et 4,0, représente environ 80 % du volume de la terre et environ 65 % de sa masse.

Le manteau est composé de SIAL (mésosphère) et de SIMA (asthénosphère). Il est divisé entre manteau supérieur et manteau inférieur. La limite entre les deux se situe à 670 kilomètres de profondeur. Le manteau supérieur est moins visqueux que le manteau inférieur : les contraintes physiques qui y règnent le rendent en partie plastique.

Le manteau terrestre, inférieur comme supérieur, n'est pas liquide comme on pourrait le croire en regardant les coulées de lave de certaines éruptions volcaniques, mais il est moins rigide que les autres couches. Néanmoins, très grossièrement, la viscosité du manteau est, pour la roche qui le compose, comparable à la viscosité de la glace. C'est ce qui fait que le manteau est animé de courants de convection qui évacuent la chaleur et qui sont responsables des déplacements des plaques tectoniques.

## 3°) Le noyau

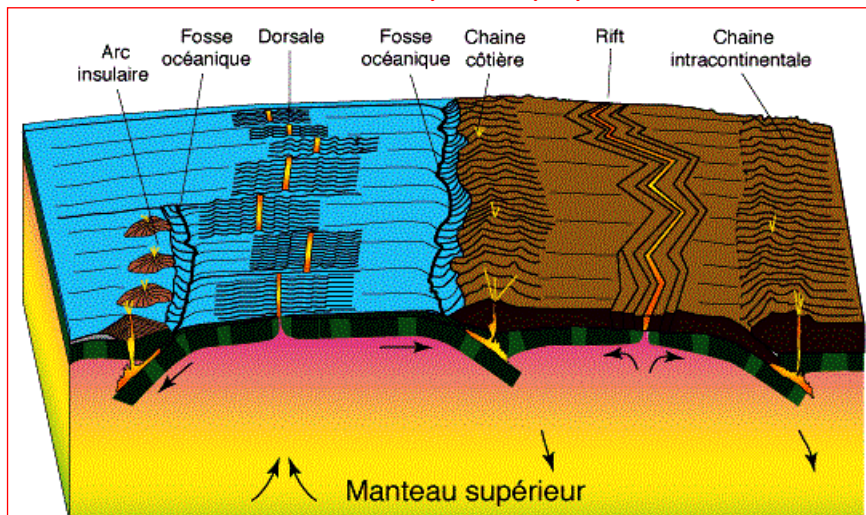
Le noyau terrestre constitue le cœur de la terre puisqu'il se situe en son centre. Elle a une épaisseur d'environ 3500 km et se divise en deux parties : le noyau externe et le noyau interne.

De nature liquide, le noyau externe (densité de 10) se compose de 80 à 85 % de fer, le reste étant constitué d'éléments plus légers qui restent à déterminer en détail. On estime cependant qu'il devrait au moins y avoir du soufre et du silicium, en plus de 5 % de nickel (plus dense que le fer). La matière en fusion y est en mouvement (il fait plus de 4000 °C à cette profondeur). Elle génère ainsi, par effet dynamo, le champ magnétique terrestre.

Pour sa part, le noyau interne (densité de 13) est solide. Il se compose à 80 % de fer et à 20 % de nickel (NIFE). En 2013, sa température a une nouvelle fois été estimée par des méthodes expérimentales. Elle devrait se situer entre 3800 °C et 5500 °C. La graine, l'autre nom du noyau interne, serait-elle aussi en mouvement. Elle tournerait même, sous l'action du champ magnétique terrestre, plus vite que le reste de la planète. On parle de rotation différentielle. La discontinuité de Lehmann marque la transition entre le noyau externe et le noyau interne.

## II/ LA TECTONIQUE DES PLAQUES

### Doc 2 : Le modèle de la tectonique des plaques



La tectonique des plaques caractérise l'ensemble des mouvements des plaques plus ou moins rigides constituant la lithosphère terrestre (elles sont dites tectoniques ou lithosphériques). Elle trahit en surface les mouvements de convection ayant cours dans le manteau terrestre.

### Doc 3 : La Pangée de Wegener



Les premières idées sur la dérive des continents remontent au XVI<sup>e</sup> siècle. Le concept de tectonique des plaques (ou initialement de dérive des continents) a pour la première fois été défini en 1912 par Alfred Wegener<sup>41</sup> à partir de considérations d'ordre cartographique, structural, paléontologique et paléoclimatique. Cependant, il n'a été accepté de tous que plusieurs décennies plus tard, après sa vérification

par diverses observations dans les années 1960.

Remarquant la complémentarité des contours littoraux et des plateformes continentales, surtout de part et d'autre de l'atlantique, Wegener essaie d'expliquer la répartition actuelle des continents qui n'est qu'une étape de leur dérive. Selon lui, il existait un supercontinent : la Pangée. Ce supercontinent devrait couvrir 40 % de la surface du globe et comportait une partie Nord, la Laurasia (actuellement Amérique du Nord, Groenland, Eurasie) et une partie Sud, le Gondwana (Amérique du Sud, Afrique, Madagascar, Inde, Australie et Antarctique) : il y a 300 millions d'années. Ce supercontinent était entouré d'un seul océan, la Panthasa.

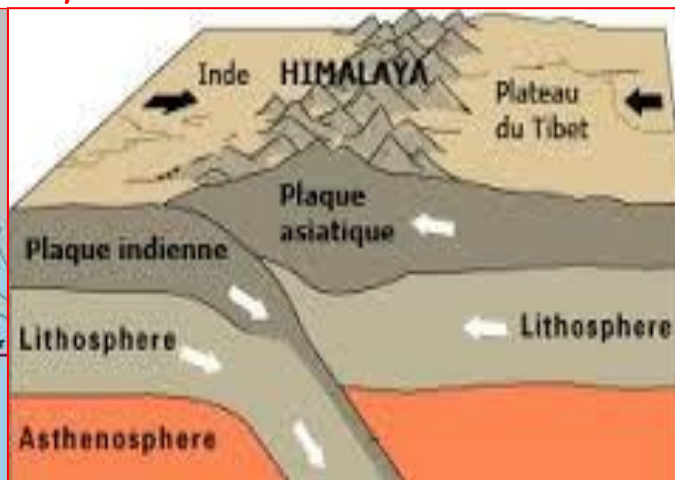
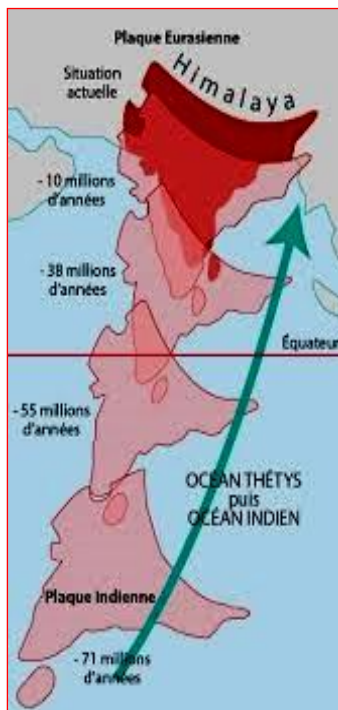
<sup>41</sup> **Alfred Wegener (1880-1930)** : géophysicien allemand, il élaborait la théorie de la dérive des continents supposant que les continents sont mobiles et proviennent de la division d'un supercontinent primordial appelé Pangée (qui se serait dissocié il y a environ 250 millions d'années).

Mais sous l'effet des mouvements de l'écorce terrestre, la Pangée a été disloquée à l'ère secondaire (environ 180 millions d'années), donnant naissance à l'Amérique du Nord, l'Europe, une grande partie de l'Asie et de l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Australie, l'Inde et l'Antarctique.

Puis la partie Sud se serait cassée, donnant l'Amérique du Sud qui va s'accoler à l'Amérique du Nord, l'Afrique et l'Inde qui dérivent vers le Nord-est, l'Australie vers l'Est et l'Antarctique vers le Sud.

À la fin du tertiaire (environ 60 millions d'années), l'Inde se serait entrée en collision avec l'Eurasie, donnant naissance à l'Himalaya.

#### Doc 4 : Formation de l'Himalaya



La chaîne montagneuse de l'Himalaya est un exemple de collision continentale. Il y a 40 millions d'années, la plaque indienne rentre en collision avec la plaque Eurasienne. Les énormes forces de pression qui résultent de ce choc provoquent un gigantesque soulèvement montagneux. Il s'agit des 3000 km de la chaîne de l'Himalaya avec

le mont Everest pour point culminant (8848 m). Plus au Nord, en arrière de cette ligne de front, la plaque Eurasienne est soulevée sur plus de 2,5 millions de km<sup>2</sup> (4 fois la superficie de la France). C'est le plateau tibétain avec une altitude moyenne supérieure à 4000 m.

Ce phénomène est un des nombreux témoignages de la théorie de la dérive des continents et du modèle de tectonique des plaques.

Le relief et l'activité de la terre sont des manifestations de la tectonique des plaques.

Les plaques sont des morceaux rigides de lithosphère en mouvement à la surface de la terre. Leurs limites sont marquées à la fois par des phénomènes géographiques (dorsales océaniques, montagnes, fosse, ...), mais aussi géologiques (séismes et volcanisme). On remarque que la limite des plaques n'est pas celle des continents. Il existe des plaques presque entièrement océaniques (plaque pacifique), mais le plus souvent, une plaque est constituée d'une partie continentale et d'une partie océanique.

## Doc 5 : Les plaques de l'écorce terrestre



## II/ L'ISOSTASIE

En géologie, l'isostasie est un phénomène par lequel les éléments de la croûte terrestre qui se trouvent enfouis à de faibles profondeurs (de l'ordre de 100 km) sont soumis à la même pression indépendamment des irrégularités topographiques en surface. En effet, ce modèle postule qu'un excès de masse en surface (les montagnes ou les glaciers) est compensé par un déficit de masse en profondeur. Il explique l'équilibre de la lithosphère rigide sur l'asthénosphère élastique. La compensation isostatique contrecarre l'érosion.

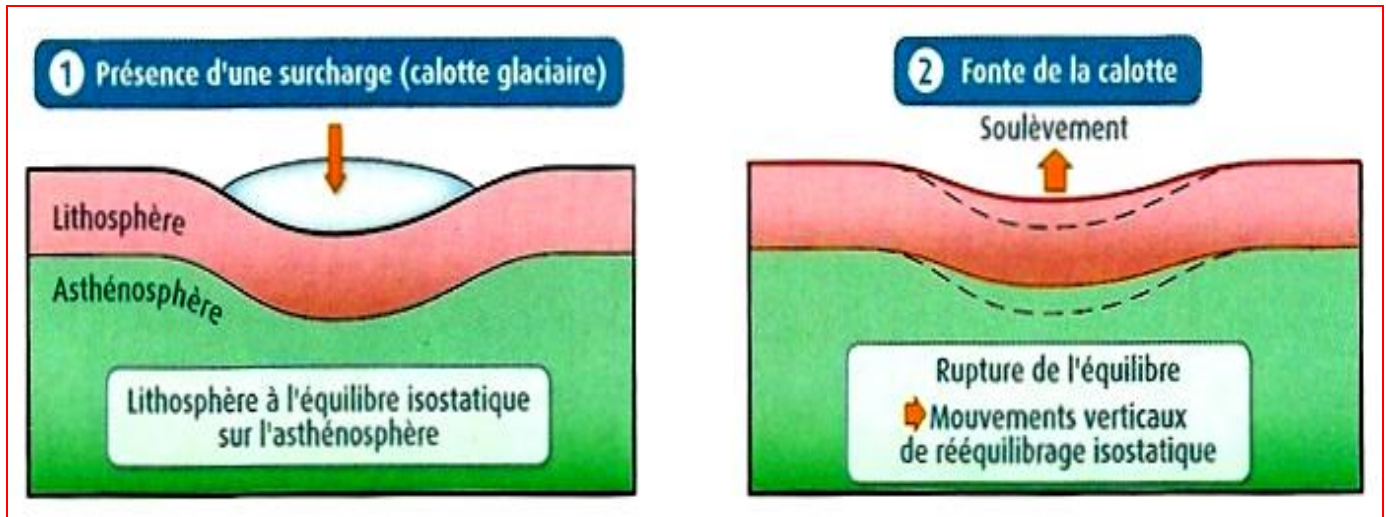
Le concept fut proposé en 1889 par le géologue américain Clarence Edward Dutton (1841-1912). Il est dérivé du grec « isostasios » (de iso : égal et statikos : stable). Il signifie en gros « même équilibre stable partout ».

L'équilibre isostatique peut-être rompu par l'érosion (le bloc de SIAL allégé, remonte) ou par la déglaciation (un bloc de SIAL recouvert d'une épaisse calotte glaciaire s'enfonce, lors de la déglaciation, il remonte).

### Exemples :

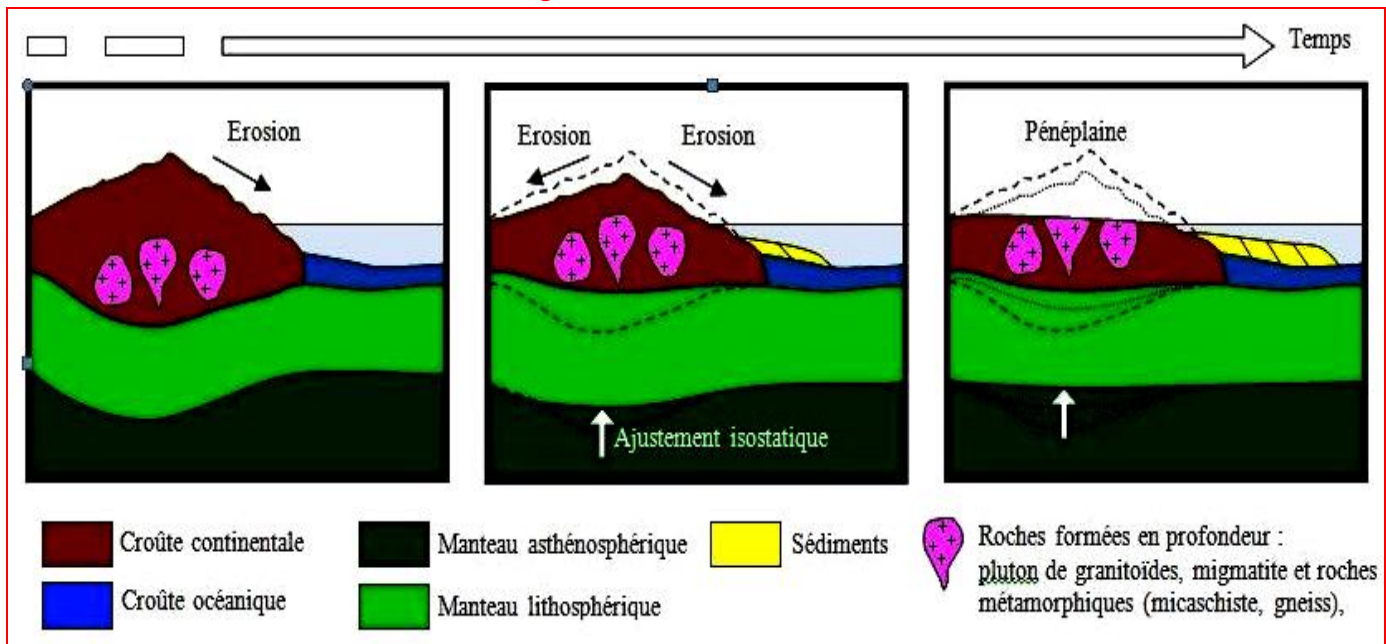
- Au quaternaire, la hauteur de la Scandinavie au-dessus de la mer était inférieure de 250 m à sa hauteur actuelle. Ce phénomène s'explique du fait que ce continent était alors recouvert par une calotte de glace épaisse de plusieurs milliers de mètres et supportait une charge de plusieurs milliers de tonnes par m<sup>2</sup>. Il s'était donc enfoncé dans le SIMA visqueux. Depuis la disparition des glaciers, la Scandinavie reprend lentement sa position première et remonte de 1 m par siècle.

Doc 6 : Formation d'un glacier



- De même, la formation d'une chaîne de montagne qui accumule des matériaux pesants sur un continent provoque un affaissement et permet à la mer d'envahir de grandes étendues de terres. En revanche, à mesure que des agents d'érosion détruisent les montagnes et dispersent leurs matériaux dans les mers, le continent se soulève pendant que le fond de la mer, alourdi, s'affaisse.

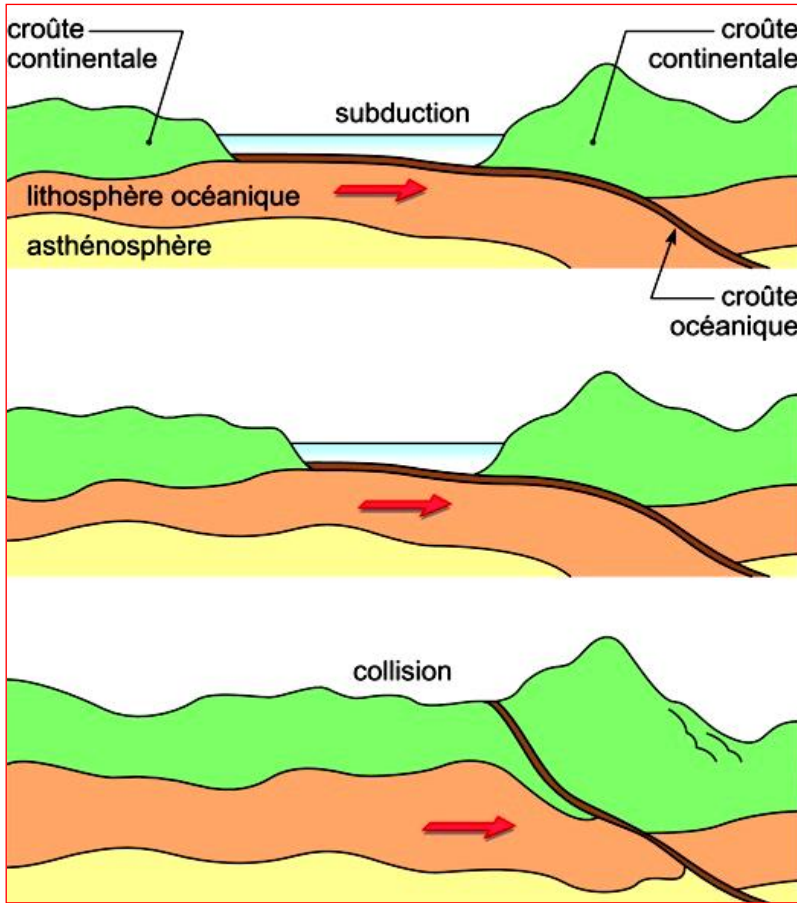
Doc 7 : Formation d'une chaîne de montagne



Ces phénomènes d'oscillations verticales portent le nom d'isostasie et se produisent très lentement.

**DOCUMENTS ANNEXES**

**Doc 8 : Subduction-Collision**

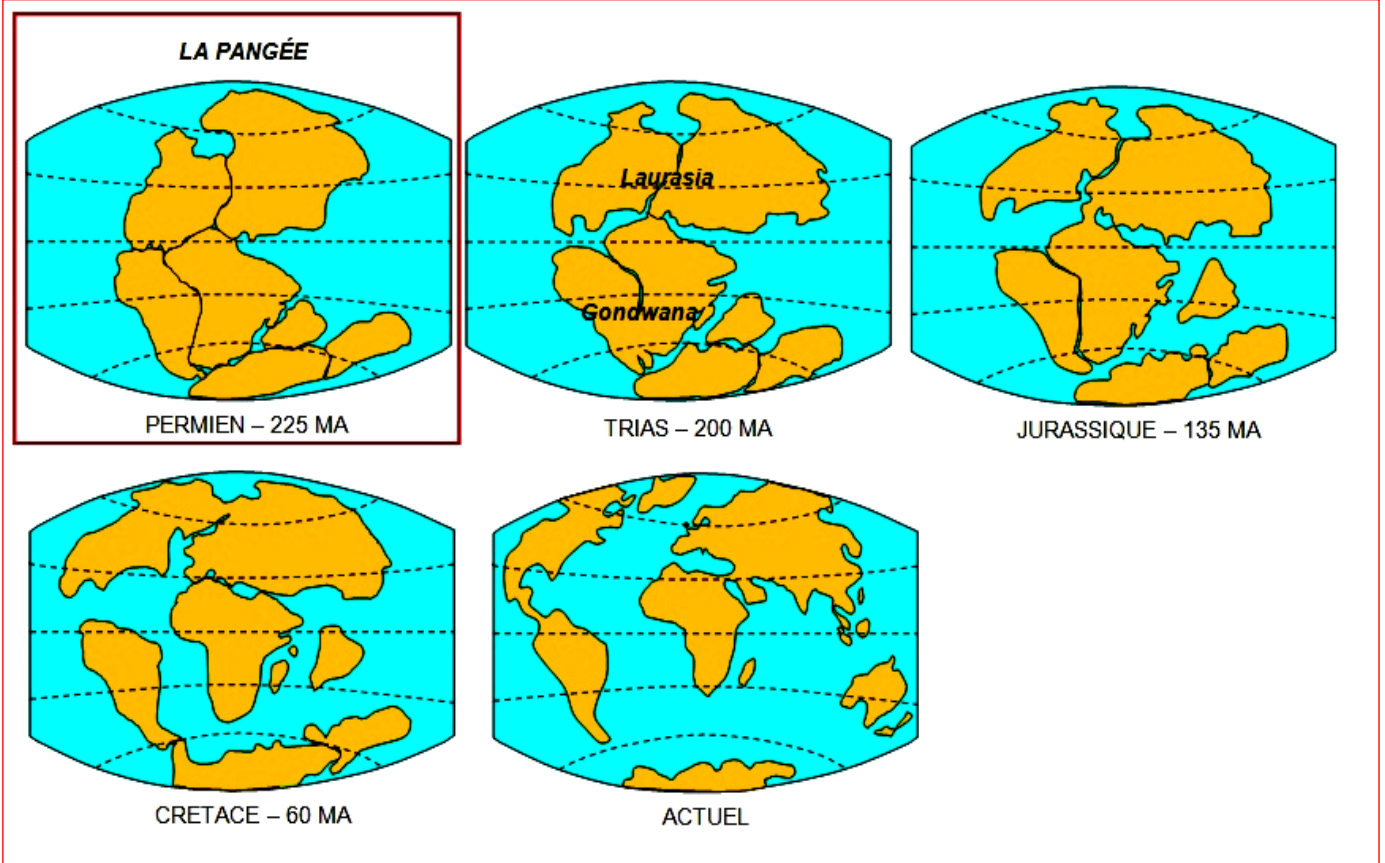


- **La subduction** est le processus par lequel une plaque tectonique océanique s'incurve et plonge sous une autre plaque avant de s'enfoncer dans le manteau. La subduction d'une plaque sous une autre entraîne de nombreuses conséquences comme un volcanisme andésitique (ou explosif ou volcan gris), de nombreux tremblements de terre et surtout la formation des plis et des failles.

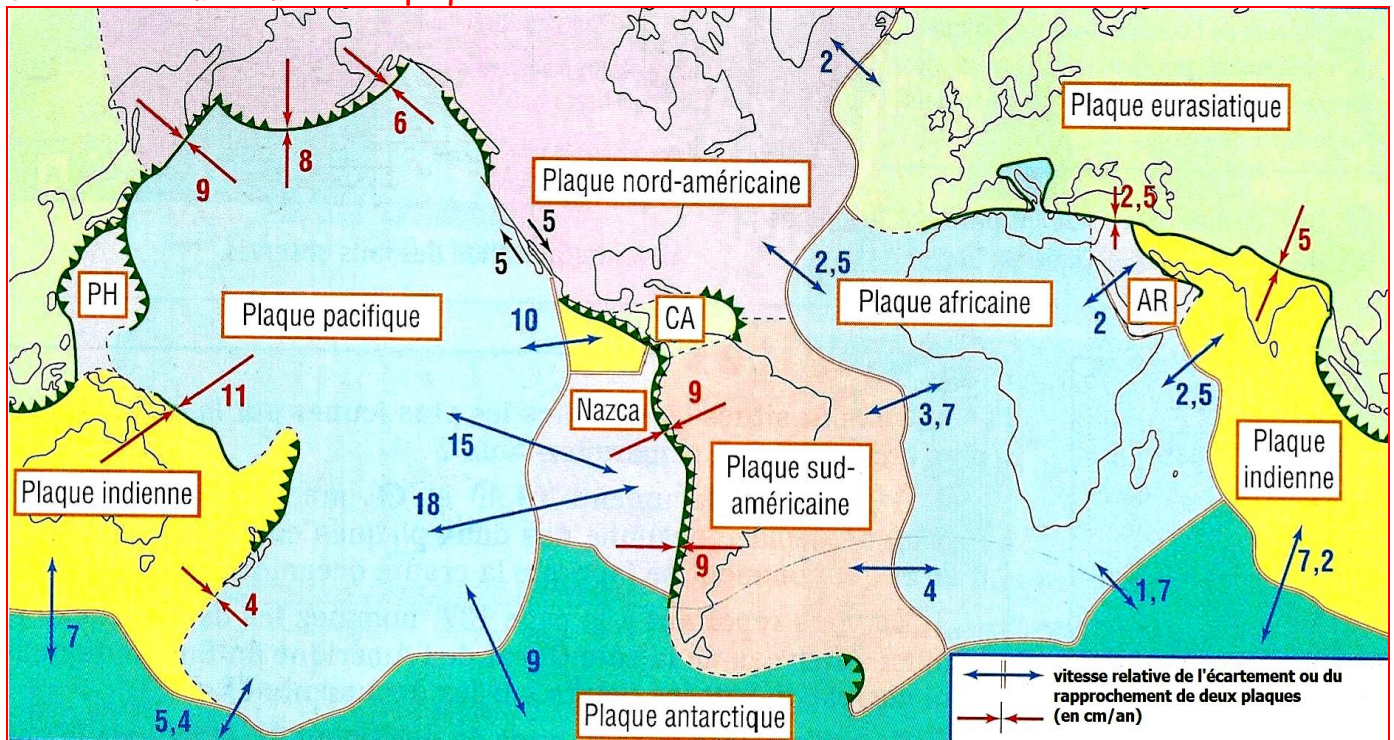
Lorsqu'une plaque océanique rencontre une plaque continentale, la plaque océanique (plus dense) passe sous la plaque continentale et plonge dans le manteau terrestre.

- **La collision** est la confrontation de deux plaques continentales dont les différences de densité sont trop faibles pour que l'une ou l'autre plonge dans l'asthénosphère. La collision entraîne malgré tout un chevauchement, augmentant l'épaisseur des roches crustales (granite) à l'origine de la formation d'une chaîne de montagnes, c'est ce que l'on appelle une orogénèse.

**Doc 9 : Pangée et évolution de la dérive des continents**



Doc 10 : Les mouvements des plaques



Doc 11 : Vitesse de déplacement des plaques

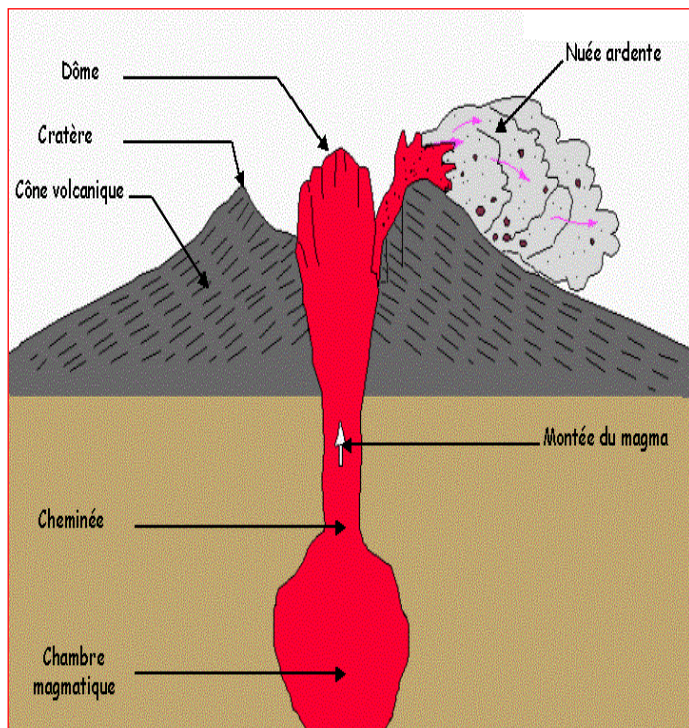
1	<b>PACIFIQUE</b>	<b>10 cm/an vers le Nord-Ouest</b>
2	<b>EURASIE</b>	1 cm/an vers l'Est
3	<b>AFRIQUE</b>	Tourne sur elle-meme
4	<b>ANTARCTIQUE</b>	Tourne sur elle-meme
5	<b>INDE-AUSTRALIE</b>	<b>7 cm/an vers le Nord</b>
6	<b>AMERIQUE DU NORD</b>	1 cm/an vers l'Ouest
7	<b>AMERIQUE DU SUD</b>	1 cm/an vers le Nord
8	<b>NAZCA</b>	<b>7 cm/an vers l'Est</b>
9	<b>PHILIPPINE</b>	<b>8 cm/an vers l'Ouest</b>
10	<b>ARABIE</b>	3 cm/an vers le Nord-Est
11	<b>COCO</b>	<b>5 cm/an vers le Nord-Est</b>
12	<b>CARAIBE</b>	1 cm/an vers le Nord-Est

## Doc 12 : Le volcanisme

**Définition :** Un volcan est un ensemble géologique terrestre, sous-marin ou extra-terrestre qui résulte de la montée d'un magma puis de l'éruption d'une partie de ce magma. Le magma provient de la fusion partielle du manteau et exceptionnellement de la croûte terrestre. L'éruption peut se manifester, de manière plus ou moins combinée, par des émissions de lave, par des émanations ou des explosions de gaz.

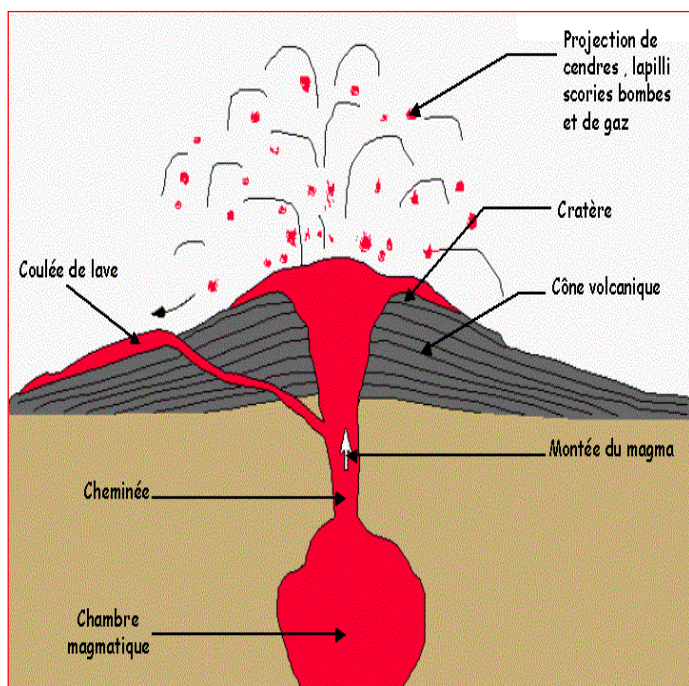
**Notion de volcanisme :** Quand une plaque océanique rencontre une plaque continentale, elle s'enfonce dans le manteau de la terre, c'est le volcanisme de subduction, occasionnant une surpression et des frottements, donc un réchauffement à cet endroit. Le réchauffement peut provoquer la fusion du manteau, transformant sa matière en magma qui vient s'accumuler dans des réservoirs et provoque des éruptions explosives.

Les volcans sont le résultat de l'accumulation de couches de magma refroidi. Une grande partie des zones de subduction actuelles sont réparties autour de l'océan Pacifique appelé la « ceinture du feu ». Elle implique les plaques Pacifique, Nazca, Coco et Juan de Fuca. Ce type de volcanisme se trouve principalement au niveau des points de contact entre les différentes plaques lithosphériques.

**Le volcan explosif**

Lors d'une éruption volcanique, le magma, qui était contenu jusqu'alors dans la chambre magmatique située dans l'asthénosphère, perce un chemin pour se retrouver au niveau du cratère. Ce chemin est appelé « cheminée ». Plus précisément, les volcans explosifs rejettent des gaz. En effet, à l'intérieur de la chambre magmatique, les éléments qui composent le magma se séparent. Le gaz qui était jusque là dissout forme des bulles et va remonter vers le cratère. Or, si le magma est assez visqueux, les bulles de gaz ont beaucoup de mal à se libérer et la pression à l'intérieur des bulles monte, et lorsque les bulles arrivent à l'air libre elles explosent littéralement d'où des projections très lointaines. Cette lave pulvérisée apparaît plus comme une explosion de gaz.

Donc ce dynamisme de volcan peut s'avérer être le plus dangereux car la nuée ardente guidée par la force du vent relâche une pluie de cendre très dangereuse pour la santé et peut atteindre des dizaines de kilomètres autour du cratère.

**Le volcan effusif**

Un volcan effusif a des éruptions calmes c'est à dire que la lave est fluide et produit de longues coulées (Exemple : Le Piton de la Fournaise).

Le Piton de la Fournaise est un volcan de point chaud, les volcans de points chauds souvent des volcans effusifs. Ces volcans prennent naissance au milieu des plaques lithosphériques et non au bord de celles-ci (comme les stratovolcans). On parle alors de volcans intra-plaque.

Les points chauds correspondent à une remontée fixe de magma qui perce la croûte océanique ou continentale et créé un volcan. Au-dessus des points chauds, les plaques se déplacent lentement alors que le point chaud reste fixe.

L'archipel Hawaïen est constitué d'îles volcaniques chacune formée par un même point chaud situé sous la plaque du pacifique en mouvement. Le magma a percé la plaque lithosphérique en divers endroits.

L'archipel Hawaïen résulte donc du défilement de la plaque du pacifique au dessus d'un point chaud fixe et profond.

### Doc 13 : Les séismes

**Définition :** Un séisme ou tremblement de terre est une secousse du sol résultant de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Cette libération d'énergie se fait par rupture le long d'une faille, généralement préexistante. Plus rares sont les séismes dus à l'activité volcanique ou d'origine artificielle (explosions par exemple). Le lieu de la rupture des roches en profondeur se nomme le foyer, la projection du foyer à la surface est l'épicentre du séisme. Le mouvement des roches près du foyer engendre des vibrations élastiques qui se propagent, sous la forme de trains d'ondes sismiques, autour et au travers du globe terrestre. Il produit aussi un dégagement de chaleur par frottement, au point de parfois fondre les roches le long de la faille

#### Pourquoi les séismes ?

Ce sont les mouvements entre plaques lithosphériques qui sont la principale cause des séismes. Les mouvements relatifs entre les grandes plaques lithosphériques sont de 3 types principaux :

- 1- **de l'étirement** : là où se crée les plaques océaniques au niveau des rifts et des grandes dorsales médio-océaniques ;
- 2- **du raccourcissement dans les zones de chevauchement de plaques** : on parle de subduction lorsqu'une plaque océanique passe sous une autre plaque (par exemple la ceinture du Pacifique au Chili, Alaska, Japon) ou de collision lorsque deux plaques continentales sont impliquées (par exemple les chaînes himalayenne ou alpine) ;
- 3- **du coulissage latéral (ou décrochement)** : comme au niveau des failles transformantes ou des célèbres failles de San Andreas (Californie, États-Unis) ou Nord-anatolienne (Turquie).

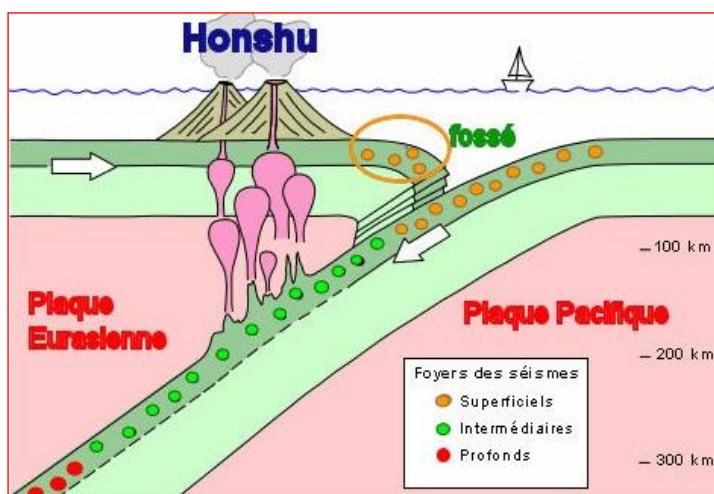
La surface de la terre se déforme donc lentement sous l'effet du déplacement relatif des plaques tectoniques. Toutefois ce déplacement ne se fait pas sans heurts car, dans les zones de contact, les roches s'opposent aux forces auxquelles elles sont soumises (frottements). En résistant à cette sollicitation, les roches se comportent comme un ressort que l'on comprime, elles se déforment : de l'énergie élastique s'accumule.

Les roches ne peuvent pas encaisser indéfiniment cette déformation, cette élasticité. Lorsque les forces en présence excèdent le seuil de résistance des roches, celles-ci cèdent brutalement, permettant aux plaques tectoniques de glisser l'une contre l'autre de part et d'autre d'une faille. Au cours de ce glissement, l'énergie accumulée progressivement est libérée en quelques secondes (le ressort se décomprime soudainement) sous forme de chaleur (phénomène de friction au niveau de la zone de contact) et de vibrations (ondes sismiques). Ces vibrations se propagent alors de proche en proche jusqu'à la surface : la terre tremble.

#### Où se produisent les séismes ?

Les séismes se produisent sur des failles qui sont des zones de plus faible résistance mécanique et qui sont donc plus propices à accommoder la déformation imposée par le mouvement relatif des plaques tectoniques.

La sismicité se concentre pour l'essentiel le long des frontières des grandes plaques tectoniques, là où les mouvements relatifs sont les plus importants. C'est notamment le cas tout autour de l'océan Pacifique (grands séismes d'Amérique du Sud, d'Alaska, du Kamchatka ou du Japon) ou à la périphérie de l'océan Indien (grands séismes indonésiens ou himalayens), là où plusieurs centimètres par an de déplacement relatif sont absorbés.



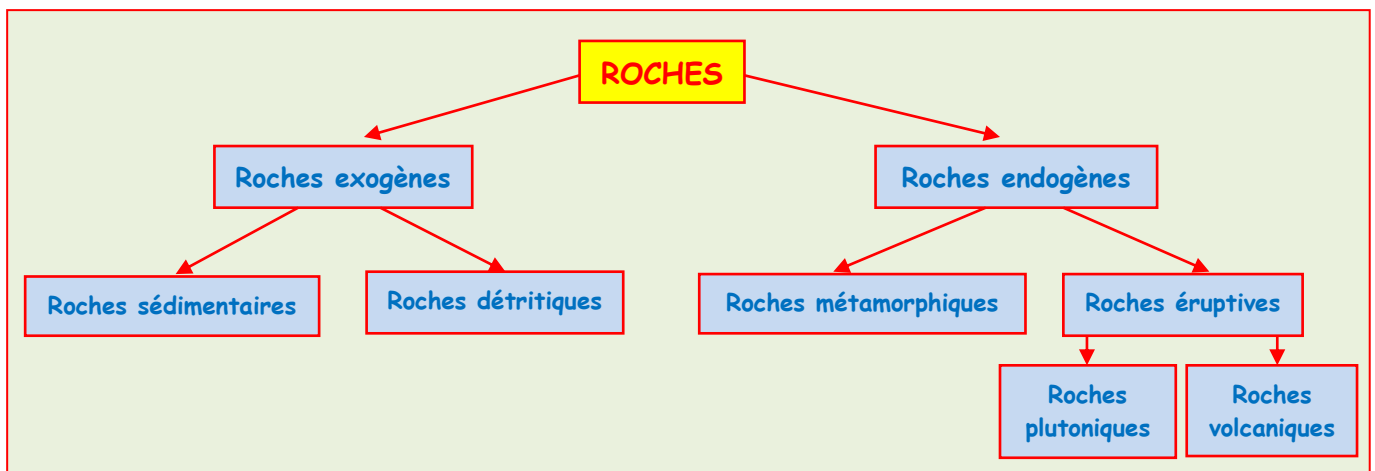
#### Très violent séisme au Nord-est du Japon suivi d'un tsunami destructeur et meurtrier (11 mars 2011)

La magnitude (intensité sur l'échelle ouverte de Richter) du tremblement de terre gigantesque a été réévaluée à 9.0 par l'Agence Météorologique Japonaise (AMJ). Le tsunami qui a été déclenché par la déformation du fond marin a touché plusieurs villes côtières dont la grande ville de Sendai (environ 1 million d'habitants) et plusieurs autres cités portuaires de plusieurs préfectures du Nord-est de l'archipel nippon, dont celles de Miyagi et Iwate. À l'heure actuelle, les autorités japonaises avancent un bilan de plus de 25 000 morts/disparus et de plusieurs centaines de milliers de personnes réfugiées dans des abris provisoires. La menace de séisme(s) secondaire(s) d'une magnitude supérieure à 7 reste

d'actualité alors que l'essai de la crise sismique du 11 mars semble se déplacer vers le Sud-ouest et donc se rapprocher de la mégalopole (25 millions d'habitants) de Tokyo. Selon l'AMJ, la probabilité d'une réplique sismique supérieure à 7 est estimée à 70 % jusqu'au 16 mars à 10 h (heure locale) et à 50 % jusqu'au 19 mars à la même heure. Par ailleurs, d'autres tsunamis associés aux répliques (« aftershocks ») sont à craindre sur les côtes orientales de l'archipel japonais.

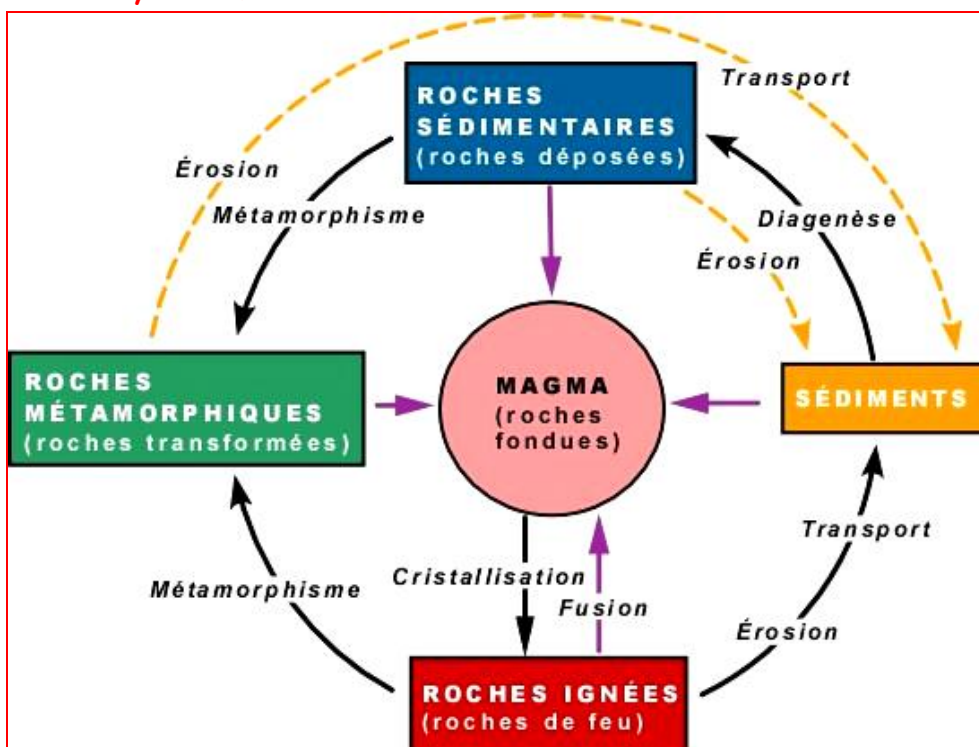
## Leçon 12 : LES ROCHES

Les roches (du latin *rocca*) sont des matériaux naturels généralement solides et formés, essentiellement ou en totalité, par un assemblage de minéraux, comportant parfois des fossiles (notamment dans les roches sédimentaires), du verre résultant du refroidissement rapide d'un liquide (volcanisme, friction) ou des agrégats d'autres roches. Chaque roche a une architecture, une forme, des dimensions et une disposition particulière. La pétrographie est la science qui étudie les roches. Il existe deux grandes catégories de roches : les roches exogènes (origine extérieure) et les roches endogènes (origine intérieure).



Trois grands types de roches forment la croûte terrestre : les roches sédimentaires, les roches métamorphiques et les roches magmatiques.

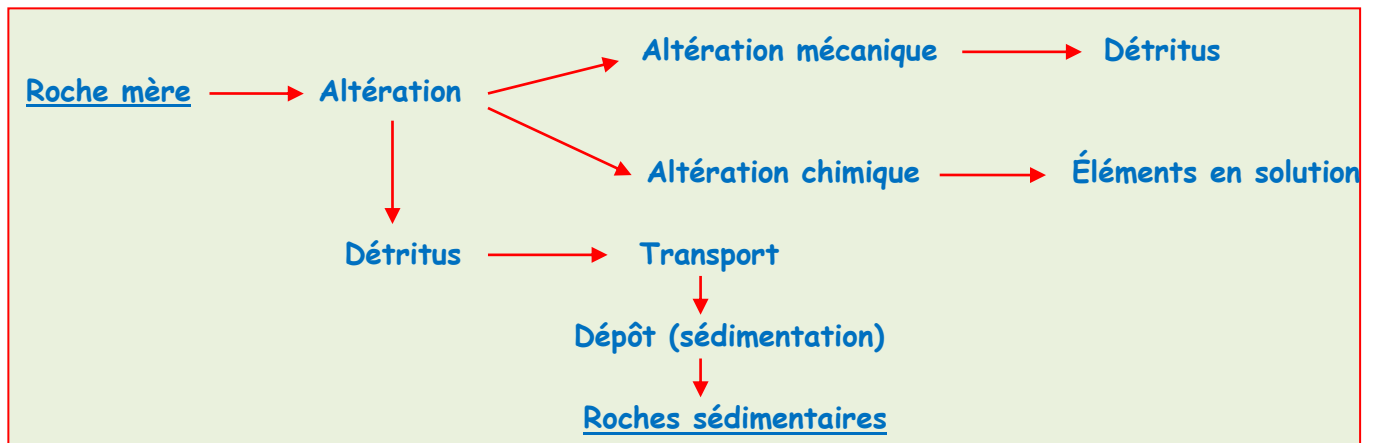
### Doc 1 : Cycle de formation des roches



## I/ LES ROCHES SÉDIMENTAIRES

Les roches sédimentaires sont les roches qui résultent de l'accumulation et du compactage de débris d'origine minérale (dégradation d'autres roches), organique (restes de végétaux ou d'animaux, fossiles) ou de précipitation chimique. Elles se forment sur la surface de la terre ou au fond des eaux et résultent de l'action des agents d'érosion et du transport, et de l'activité des êtres vivants ou des phénomènes purement physiques ou chimiques. Ce sont donc des roches exogènes (origine extérieure).

### 1°) Le processus de sédimentation



- **L'altération** : les processus de l'altération<sup>42</sup> superficielle de la roche mère sont de trois types : mécaniques, chimiques et biologiques.

- **les processus mécaniques (ou physiques)** sont ceux qui désagrègent mécaniquement la roche comme l'action du gel et du dégel qui, à cause de l'expansion de l'eau qui gèle dans les fractures, ouvre progressivement ces dernières. L'action mécanique des racines des arbres ouvre aussi les fractures.

- **l'altération chimique est très importante** : plusieurs silicates comme les feldspaths, souvent abondants dans les roches ignées, sont facilement attaqués par les eaux de pluies et transformés en minéraux des argiles (phyllosilicates) pour former des boues.

- **certains organismes** ont la possibilité d'attaquer biochimiquement les minéraux. Certaines roches vont chercher dans les minéraux les éléments chimiques dont ils ont besoin.

L'action combinée de ces trois mécanismes produit des particules de toutes tailles. C'est là le point de départ du processus général de la sédimentation.

- **Le transport des sédiments** : outre le vent et la glace, c'est surtout l'eau qui assure le transport des particules. Selon le mode et l'énergie du transport, le sédiment résultant comportera des structures sédimentaires variées.

- transport par roulement ;

- transport par traction ;

<sup>42</sup> **Altération** : transformation des roches, due à des facteurs mécanique, chimiques et biologiques, responsable, avec la désagrégation, de la formation des sols.

- transport par saltation ;
- transport par suspension.

- **La sédimentation** : tout le matériel transporté s'accumule dans un bassin de sédimentation, ultimement le bassin marin, pour former un dépôt. Les sédiments se déposent en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, ... varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés.

## 2°) Les principales roches sédimentaires

D'après l'origine, on distingue les roches détritiques, les roches chimiques et les roches organiques.

- **Les roches d'origine détritiques** (au bord d'une rivière ou de la mer) : la roche est plus ou moins fissurée, sous l'effet du gel et dégel, les fragments tombent au pied, la rivière les enlève, les transporte et les dépose plus loin, les dépôts ainsi formés sont des sédiments. Souvent les débris sont soudés les uns aux autres par un ciment, la roche qui était meuble à l'origine, se trouve consolidée et dure.

Roche sédimentaire détritique



Cinq étapes principales conduisent aux roches dures détritiques : élaboration sur place des fragments ; leurs enlèvements ou mobilisation ; le transport ; le dépôt sous forme de sédiments meubles ; la cimentation qui les transforme en roches cohérentes.

- **Les roches d'origine organique** : après la mort d'animaux ou de plantes, les parties dures ou résistantes s'accumulent et donnent des roches sédimentaires.



Roche calcaire d'origine organique

C'est une roche formée de matériaux déposés après suspension ou précipités d'une solution et généralement plus ou moins consolidés. On y observe des restes de tests d'animaux marins.

- **Les roches d'origine chimique** : l'évaporation se produit à l'air libre dans des lagunes sur salée, l'eau s'évapore, le sel reste et se dépose.



Roche carbonatée chimique

Il existe d'autres types de roches sédimentaires :

- **les roches sédimentaires siliceuses** (dures et formées essentiellement de silice sous forme de quartz, grande résistance chimique) :
- **les roches évaporitiques** (roches salines composées de chlorures ou de sulfate issues des résidus d'évaporation de l'eau de mer ou de lagunes, d'où le nom d'évaporites) : gypse, chlorure de sodium ;
- **les roches carbonatées** ou roches combustibles (composées de carbonate de calcium, carbonate de magnésium et de fer) : calcaires ;
- **les roches carbonées** formées essentiellement de carbone : tourbe, houilles, lignite et les pétroles ;
- **les roches argileuses** qui sont des roches tendres, douées d'un grand pouvoir absorbant.

## II/ LES ROCHES MÉTAMORPHIQUES

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches ignées (brûlantes) ou sédimentaires sous l'effet de température et/ou de pressions élevées. Deux grands types de métamorphisme produisent la majorité des roches métamorphiques : le métamorphisme de contact et le métamorphisme régional. Un troisième type est plus restreint : le métamorphisme de choc.

### 1°) Les facteurs de métamorphisme

- **Augmentation de la température** : au cours d'un enfoncement sous de nouvelles couches de sédiment, les roches sont soumises à des températures de plus en plus élevées à cause du gradient géothermique. Lorsque le magma très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur et cuisson de la roche encaissante aux bordures. La tectonique est aussi un facteur de l'élévation de température.
- **Augmentation de la pression** : la pression s'accroît en profondeur en même temps que la température, les pressions que les roches subissent s'élèvent progressivement.
- **Le temps** : le métamorphisme s'effectue en temps assez long.

**Exemple** : la craie comprimée pendant quelques instants ne subit pas de transformation notable, mais elle se transforme en calcaire cohérent si on la maintient sous pression pendant 17 ans.

### 2°) Les types de métamorphisme

- **Le métamorphisme de contact** : il est celui qui se produit dans la roche encaissante au contact d'intrusifs. Lorsque le magma encore très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur et cuisson de la roche encaissante aux bordures.
- **Le métamorphisme régional** : le métamorphisme régional est celui qui affecte de grandes régions. Il est à la fois contrôlé par des augmentations importantes de pression et de

température. C'est le métamorphisme des racines de chaînes de montagnes (reliée à la genèse de grande chaîne de montagnes : 700 °C à 800 °C).

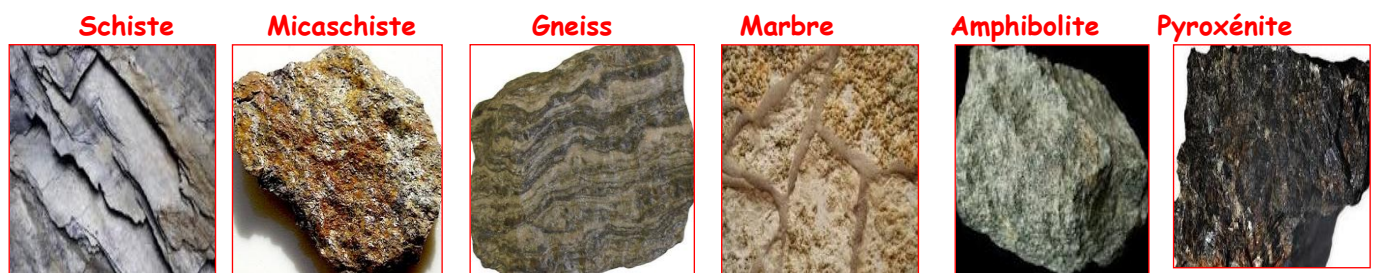
- **Le métamorphisme de choc** : le métamorphisme de choc est celui produit par la chute d'une météorite à la surface de la planète. Le choc engendre des températures et des pressions énormément élevées qui transforment les minéraux de la roche choquées, des températures et des pressions qui sont bien au-delà de celles atteintes dans le métamorphisme régional.

### 3°) Classification des roches métamorphiques

Le gros des roches métamorphiques (en volume) provient du métamorphisme régional. Il est rare que l'on puisse déterminer si une roche métamorphique vient de la transformation de telle ou telle roche (roche d'origine) à telle ou telle pression et température. Le tableau qui suit présente les roches métamorphiques les plus courantes en fonction du degré de métamorphisme.

#### Doc 2 : Principales roches métamorphiques

Quelques roches métamorphiques		Quelques minéraux du métamorphisme
schiste	toute roche métamorphique présentant une schistosité <sup>43</sup> , c'est-à-dire des plans de débitage donnant un aspect feuilleté à la roche (granite)	minéraux argileux : séricine, chlorite, biotite
micaschiste	roche métamorphique présentant une schistosité et une foliation <sup>44</sup> (schistosité minéralogique correspondant à des accumulations de minéraux le long des plans). Riches en lamelles de micas (brillantes) visibles à l'œil nu	
gneiss	roche métamorphique à foliation très nette caractérisée par des alternances de lits de teinte sombre (riches en minéraux ferromagnésien) et de lits clairs (quartz et feldspaths)	autres minéraux marqueurs : grenat, staurotide ...
marbre	roche métamorphique calcaire à grains fins présentant ou non des veines colorées correspondant à différents minéraux argileux. Proviennent de calcaires ou dolomies	silicates d'alumine : sillimanite, andalousite, disthène
amphibolite pyroxénite	roches métamorphiques sombre où dominent les amphiboles ou les pyroxènes. Elles peuvent provenir d'argiles sédimentaires, de basaltes ou encore de gabbros	



<sup>43</sup> **Schistosité** : disposition ou structure d'une roche en feuillets minces.

<sup>44</sup> **Foliation** : structure en feuillet d'un minéral ou d'une roche (la foliation des roches métamorphiques).

### III/ LES ROCHES MAGMATIQUES

Les roches magmatiques constituent la majeure partie des roches de l'écorce terrestre et se forment quand un magma se refroidit et se solidifie. Elles résultent donc de la cristallisation du liquide ou magma (bain silicaté). Ce magma arrive directement à la surface à l'état liquide et on l'appelle volcan. Quand le magma s'arrête en profondeur, il se cristallise, on parle de roches cristallines. On l'appelle dans ce cas pluton.

Les roches volcaniques se cristallisent plus rapidement que les roches plutoniques et possèdent souvent de cristaux de moins grande taille. Certaines roches volcaniques solidifiées trop vite n'ont pas cristallisé et donnent des verres (roches vitreuses).

#### 1°) Le processus de la naissance des roches magmatiques

Le volcanisme est un phénomène qui est le responsable de la majeure partie des ouvertures des océans :

##### - Naissance du magma (bain silicaté) :

- ✓ augmentation de la température : la fusion des matériaux ;
- ✓ diminution de la pression : elle est très souvent liée à la température de fusion.

Les magmas montent, du fait de leur densité plus faible que les roches avoisinantes. Ce qui est lié notamment à leur température. Plus ils montent, plus ils se refroidissent, ce qui augmente leur viscosité. Mais plus leur pression diminue, leur viscosité diminue en même temps. La fusion des roches est due principalement à une décompression.

- **Transfert du magma** : la force essentielle qui provoque la montée du magma c'est la gravité et la densité. Si les liquides se forment par fusion partielle, ils vont se trouver plus léger que les roches avoisinantes. Pour arriver en surface, le magma progresse à la faveur de fractures plus ou moins importantes. C'est le gaz qui est le moteur principal de l'ascension du magma.

Le caractère plus ou moins explosif d'une éruption (arrivée à la surface des produits magmatiques) dépend de la viscosité du magma (de sa composante liquide, solide et gazeuse), de la fracturation de la roche, de la présence d'eau dans le réseau de fractures (l'eau augmente toujours le caractère explosif de l'éruption) ou encore de la présence d'un bouchon de lave solidifiée dans la partie supérieure du conduit, principal témoin des éruptions antérieures.

- **Vitesse du magma** : il y'a la montée rapide (volcan) et la montée lente (pluton).

La vitesse de montée du magma est un paramètre important et au cours de sa montée le magma peut subir une modification de sa composition chimique.

2°) Les principales roches éruptives

Doc 3 : Les principales roches volcaniques

Roches plutoniques et roches volcaniques			
		avec quartz	sans quartz
Roches à minéraux clairs abondants	feldspaths alcalins et plagioclases sodiques	Granodiorite rhyo-dacire	Syénite Trachyte
		Granite rhyolite	Gabbro Andésite
	Plagioclases calciques	gabbro quartzique basalte tholéitique	Gabbro Basalte
Roches à minéraux sombres dominants			amphibolites pyroxénolites péridotites

Roche de volcan effusif



Roche de volcan explosif



Roche plutonique (la diorite)

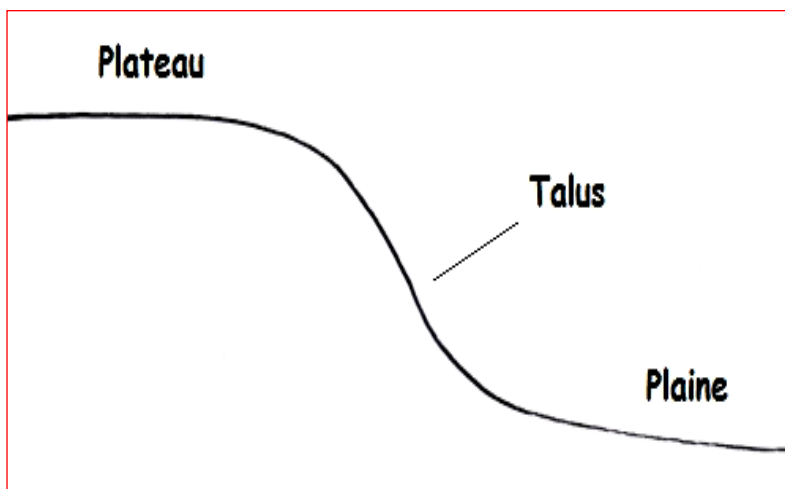


## Leçon 13 : LES GRANDS TYPES DE STRUCTURES ET LEUR RÉPARTITION

La structure correspond à l'organisation des roches dans l'écorce terrestre. On distingue d'une part les structures massives, notamment dans les roches éruptives de massif, et d'autre part les structures sédimentaires, dont la disposition des couches permet d'étudier les déformations.

Les déformations de l'écorce terrestre sont classées en deux types : les déformations souples observées uniquement dans les roches sédimentaires et qui sont à l'origine des structures plissées, et les déformations brisantes présentes dans toutes les roches et qui donnent les structures faillées.

### I/ LES STRUCTURES TABULAIRES



#### Doc 1 : Coupe d'une structure tabulaire

Les structures tabulaires correspondent à des topographies planes (plaines et plateaux) ou des formes verticales (abrupt) des talus ou escarpements, des rebords de plateaux ou falaise littorales.

On distingue deux types de structures tabulaires. Il s'agit de la structure horizontale ou acoline et de la structure monoclinale qui s'associent fréquemment dans les bassins sédimentaires et donnent des formes semblables d'où leur regroupement sous l'appellation de structures tabulaires.

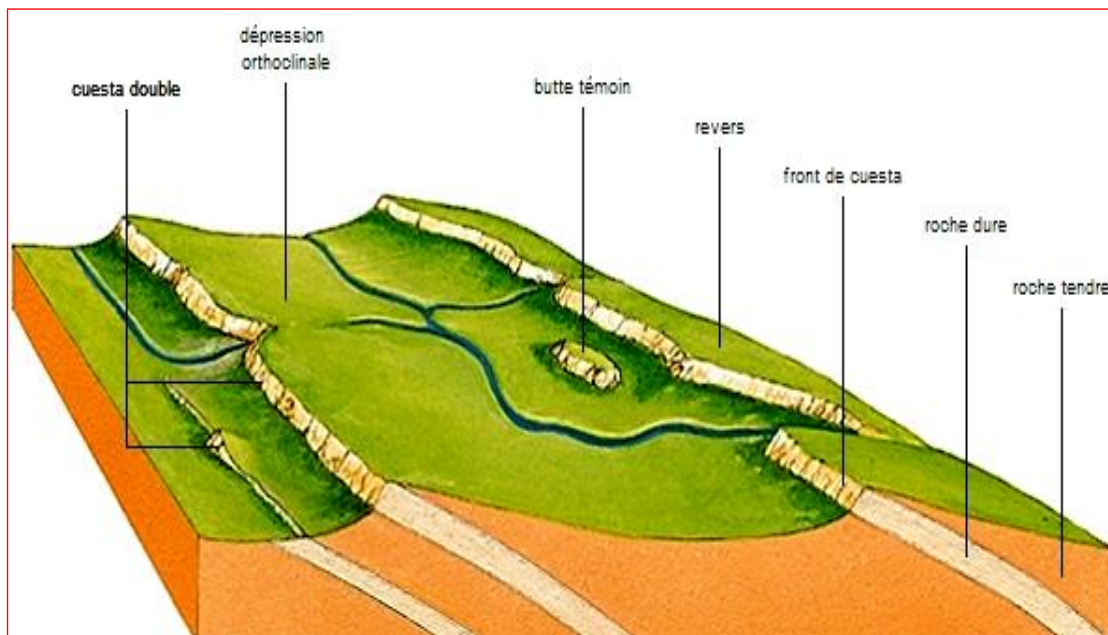
Les sédiments déposés dans les mers ou dans les lacs se présentent selon des couches le plus souvent horizontales si aucune déformation n'est venue les affecter. Sur ces couches, l'érosion se fait à partir du réseau fluvial qui s'encaisse dans les roches dures ou s'élargit dans les roches tendres. Le profil longitudinal d'un cours d'eau présente ainsi une série de ressauts correspondant aux couches dures et une série de biefs calmes liés aux couches tendres. Le profil des versants montre une succession de corniches (couches dures) et de banquettes (couches tendres) quand les couches sont épaisses. Il est plus rectiligne quand les bancs sont plus minces. Le réseau hydrographique est inséquent : il ne présente pas de direction particulière puisque les couches sont horizontales. Une déformation de grande ampleur ou un basculement entraînent l'inclinaison des couches.

L'érosion est à l'origine d'un relief dissymétrique : le relief de cuesta.

## II/ LE RELIEF DE CUESTA<sup>45</sup>

Le relief de cuesta comprend un front formé par un abrupt lié à la couche dure, une dépression située au pied de l'abrupt appelée dépression subséquente et un revers qui correspond généralement à la couche dure. Le front présente un profil latéral différencié : la partie supérieure est une corniche, tandis que la partie inférieure est un talus concave. Le profil longitudinal est généralement régulier, interrompu par endroits par les percées des cours d'eau conséquents, qui suivent le pendage général des couches. Le front est fréquemment précédé de buttes, restes de l'ancienne extension de la cuesta. Couronnées de couche dure, il s'agit de buttes témoins.

### Doc 2 : Relief de cuesta



Il existe différents types de cuestas. Si la différence de dureté entre les deux couches est grande, la cuesta est bien marquée dans le paysage avec une corniche très vive. Si cette différence est faible, la cuesta est peu nette avec un profil convexo-concave.

Le profil longitudinal est très rectiligne quand une couche dure épaisse surmonte une couche tendre mince. Par contre, si une couche dure mince repose sur une couche tendre épaisse, le tracé est sinueux, la couche dure étant attaquée rapidement.

Le réseau hydrographique comprend des cours d'eau qui coulent dans le sens du pendage des couches (cours d'eau conséquents), parfois dans le sens opposé (cours d'eau obséquents) et plus rarement au pied du front (cours d'eau subséquents). Les cours d'eau obséquents posent un problème car ils coulent dans le sens opposé au pendage. Ils ne sont par conséquent pas adaptés à la structure.

<sup>45</sup> **Cuesta** : terme utilisé en géomorphologie pour désigner une forme de relief dissymétrique constituée d'un côté par un talus à profil concave (le front) en pente raide et de l'autre, par un plateau doucement incliné en sens inverse (le revers). Les cuestas se trouvent aux bordures des bassins sédimentaires peu déformés.

### III/ LES STRUCTURES PLISSÉES

Les déformations les plus courantes affectant les couches sédimentaires sont les plis<sup>46</sup>, définis comme les ondulations d'une couche de forme et d'ampleur variables. Lorsque ce sont les couches les plus anciennes qui se trouvent au cœur du pli (noyau), le pli est un anticlinal. Quand ce sont les couches les plus récentes, le pli est synclinal.

Doc 3 : Anticlinal de la presqu'île de Crozon (France)



Doc 4 : Synclinal de Waulsort (Belgique)



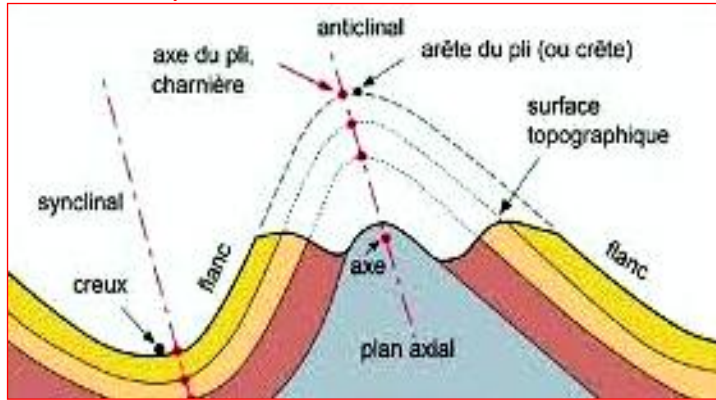
Le plan axial du pli est le plan de symétrie qui le divise en deux parties égales. La charnière est l'intersection du pli avec le plan axial : si elle se trouve au point le plus élevé du pli, elle forme sa crête (cependant, charnière et crête ne coïncident pas toujours). L'axe du pli est la ligne d'intersection du plan axial avec le plan horizontal : les flancs sont les parties du pli qui plongent de part et d'autre du plan axial. L'altitude de l'axe varie le long du pli : il peut s'abaisser (ensellement) ou se relever (surélévation).

Le pli se termine dans la direction de son axe par une terminaison périclinale qui correspond soit à la retombée de l'anticlinal, soit au relèvement de l'axe synclinal. On distingue différentes sortes de plis en fonction de leurs dimensions, formes et origines. Si la longueur du pli est voisine de sa largeur, le pli est brachyanticlinal ou brachysynclinal. Si le plan axial est vertical, le pli est dit droit.

Le pli coffré offre une crête plane et des flancs verticaux. Si le plan axial est dissymétrique, les plis sont déjetés, en genou, déversés ou couchés. L'érosion attaque les plis. Si l'anticlinal est conservé, il correspond à des voûtes appelées monts. Si le synclinal reste intact, il donne naissance à des berceaux appelés vaux.

<sup>46</sup> Pli : structure courbe due à une déformation ductile de la roche sous l'effet d'une contrainte compressive. La connaissance de la forme avant la déformation permet de la quantifier. Le cas le plus simple est le pli de roches sédimentaires dont la structure et les marqueurs sont planaires avant la déformation.

## Doc 5 : Les plissements



La région du pli où la courbure est maximale est la charnière ou axe du pli. Le plan axial contient les axes des plis affectant les couches successives.

- L'attaque peu avancée de l'érosion est à l'origine d'un type particulier de relief : le relief jurassien. Ce relief est caractérisé par la combe, dépression formée au sommet de l'anticlinal, le crêt qui représente la couche dure de l'anticlinal de chaque côté de la combe et la cluse (passage d'un cours d'eau perpendiculaire au mont). L'attaque plus avancée de l'érosion entraîne l'inversion du relief plissé. En effet, les anticlinaux, par élargissement des combes, sont évidés et dominés par les synclinaux qui se trouvent ainsi perchés. L'érosion finit par mettre sur un même plan anticlinal et synclinal qui sont alors arasés.

- Si l'érosion reprend, elle donne naissance au relief appalachien : les roches dures situées à une même altitude constituent les sommets de ce relief, tandis que les roches tendres sont creusées en sillons. Le réseau hydrographique des régions plissées présente un tracé en baïonnette : les sections adaptées des cours d'eau coulent dans les vaux, les secteurs inadaptés parcourant les cluses. Celles-ci sont dues aux captures et aux phénomènes épigéniques<sup>47</sup>. Le plus souvent, elles correspondent à des ensemlements. Elles peuvent être fonctionnelles ou mortes : dans ce dernier cas, elles sont appelées *wind-gaps*.

#### IV/ LES STRUCTURES FAILLÉES

Les régions faillées sont affectées par trois types d'accidents structuraux : la flexure (brusque rupture avec étirement des couches), la fracture (cassure sans dénivellation tectonique) et la faille (cassure à laquelle est liée une dénivellation tectonique).

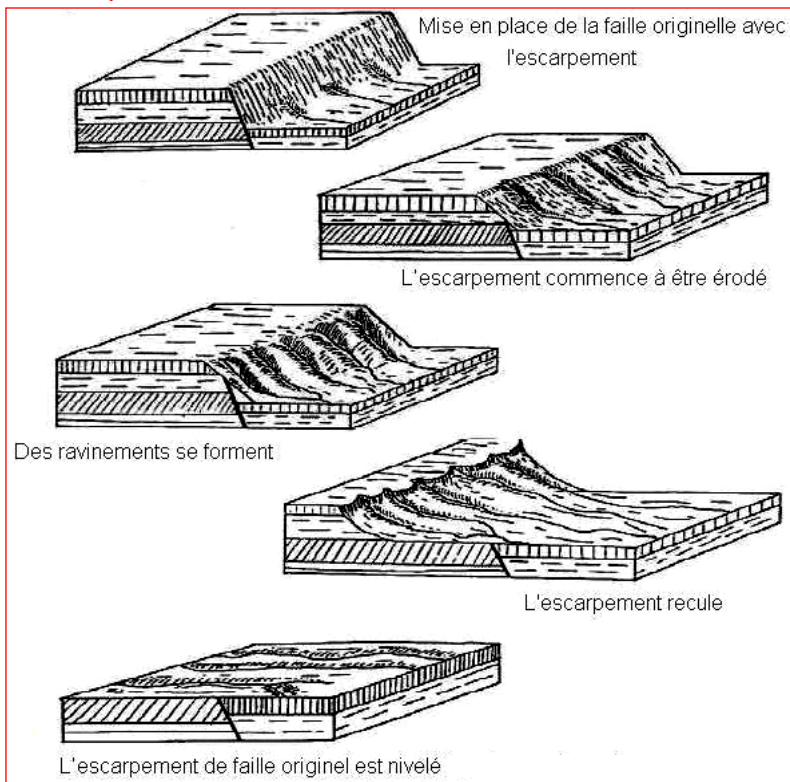
La faille est le plus caractéristique des accidents. Elle est définie par son rejet (mesure de la dénivellation), son regard (côté vers lequel est situé le bloc affaissé), sa direction et son tracé.

Le découpage d'une région par des failles montre le plus souvent des blocs surélevés appelés *horsts* et des compartiments affaissés, les fosses d'effondrement. Les lignes de failles, qui présentent généralement des formes géométriques, se groupent parfois pour donner une mosaïque de blocs et se relient plus ou moins en enfilades.

<sup>47</sup> **Épigénique** : inadéquation d'un cours d'eau et de sa vallée par rapport à la structure géologique qui n'était pas apparente avant l'encaissement du cours d'eau.

Dans le paysage, la faille engendre un relief ou ne donne pas d'abrupt. L'absence d'abrupt s'explique soit par le nivellement du bloc soulevé, surtout s'il est formé de roches tendres, soit par le remblaiement du bloc affaissé jusqu'au niveau du compartiment surélevé. Toutefois, en règle générale, les failles donnent naissance à des escarpements : si ceux-ci résultent directement de la dislocation verticale, l'érosion n'intervenant que pour les abaisser ou pour les faire reculer sans jamais les faire disparaître. Ils sont appelés escarpements de faille. Quand l'escarpement est dû à l'action exclusive de l'érosion le long de la ligne de faille, il est appelé escarpement de ligne de faille.

**Doc 6 : processus de formation d'une faille**



On appelle faille une cassure, une rupture de la continuité de terrains primitivement situés au même niveau et qui s'accompagne d'un déplacement relatif des compartiments qu'elle détermine. Une faille va donc décaler deux blocs dans l'écorce terrestre sur une longueur et une hauteur variables (quelques mètres). La faille résulte généralement de la mauvaise transmission d'une poussée ou d'un effet tectonique dans un matériel rigide et inapte à la déformation souple ou au plissement. La série est alors dite incompétente.

Il existe d'autres types de cassures qui affectent les roches à des échelles différentes et qui ne sont pas des failles. C'est le cas de :

- La fracture : c'est une cassure sans déplacement de quelques mètres
- La diaclase : c'est une fissure sans déplacement dans une roche dure en général

**Doc 7 : Faille sur le terrain dans une carrière**



Les reliefs de failles existent dans tous les types de structures, mais les failles sont particulièrement nombreuses dans des structures de roches dures comme le basalte, le granite ou des couches de calcaire. Au contraire dans d'autres roches sédimentaires plus déformables, les failles sont moins fréquentes. Les fractures sont particulièrement nombreuses au niveau des marges actives de la planète et elles s'accompagnent de séismes. Le long de ces fractures, du magma peut remonter en surface et provoquer des éruptions volcaniques.

## V / LES CONTACTS

Au contact des bassins sédimentaires et des massifs anciens, il existe des types de relief particuliers. Le passage des couches d'un bassin sédimentaire au socle a lieu à travers une discordance. La couverture sédimentaire est dite discordante par rapport au socle parce qu'elle repose sur une surface tranchant les anciennes racines de la chaîne érodée qui a donné naissance au socle. Deux grands types de contacts peuvent être distingués : les contacts sans faille et les contacts avec failles.

### 1°) Les contacts sans faille

Les contacts sans failles se divisent en plusieurs sous-types. Il y a contact en glacis lorsque le passage du massif ancien à sa couverture sédimentaire discordante est en continuité topographique. La surface du massif ancien est basculée, et les couches sédimentaires vont en s'épaississant vers l'extérieur. Le contact par dépression périphérique présuppose que la surface du massif ancien est basculée, qu'il existe un binôme constitué d'une couche tendre surmontée d'une couche dure, et que cette dernière est tranchée en cuesta au-dessus de la dépression. Lorsque la surface du massif ancien n'est pas basculée, le rebord de la couverture sédimentaire restée quasi horizontale est appelé *glint* : c'est un contact par *glint*.

### 2°) Les contacts avec faille

Les contacts avec failles sont les plus fréquents, mais toutes les failles bordières n'apparaissent pas dans la topographie. Quand le relief de contact est directement lié aux failles, il s'agit le plus souvent d'un contact par escarpement de ligne de faille ou d'un contact par vallée de ligne de faille.

Le contact d'une chaîne alpine et d'une plaine subalpine donne également des formes particulières : les formes de piedmont. Un modelé de piedmont s'élabore en avant d'une montagne qui s'élève au-dessus d'une plaine par le jeu d'une faille ou flexure unique, véritable front au contact de la plaine. L'érosion intense qui s'exerce sur la montagne en voie de surrection fournit des matériaux qui s'accumulent au pied de la montagne à l'air libre, sous les eaux lacustres ou marines. La surrection de la chaîne s'accompagne d'une subsidence, les matériaux où prédominent les faciès grossiers étant entassés sur des centaines ou des milliers de mètres (à l'échelle des temps géologiques), l'avant-pays ou piedmont peut être incorporé à la chaîne. Les sédiments détritiques sont alors à leur tour plissés.

Le piedmont, lorsqu'il apparaît à l'air libre, donne un paysage de croupes. Les rivières sortant de la montagne y déposent leur forte charge et créent des glacis alluviaux appelés piedmonts alluviaux.

Dans le cas d'un encaissement des cours d'eau, par suite d'une surrection, d'un changement de niveau de base ou d'une fluctuation climatique, le piedmont est découpé en lanières : c'est alors un piedmont à serres.

Si les interfluves sont plus larges, un relief de plateau apparaît. L'élargissement des vallées conduit à la destruction du piedmont et à l'élaboration d'une plaine d'érosion.

## Leçon 14 : L'ÉROSION

### Doc 1 : Effet de l'érosion sur le relief : parc national de Bryce Canyon aux États-Unis



L'érosion est un mécanisme d'usure et de transformation des roches et du sol par des agents d'érosion tels que l'eau, le vent, le mouvement des glaciers ou la température.

Lors de l'érosion, des particules des roches ou du sol sont détachées et déplacées de leur point d'origine. C'est un processus de dégradation et de transformation du relief qui peut être lent et progressif, ou encore totalement violent. Il faut plusieurs millions d'années pour araser (aplanir, égaliser) une montagne ou creuser des vallées, mais il ne faut que quelques minutes pour qu'une avalanche, un lahar (coulée boueuse d'origine volcanique) ou un orage ne transforme le paysage.

### I/ LES AGENTS D'ÉROSION

L'érosion peut être causée par de nombreux facteurs que l'on nomme agents d'érosion :

#### 1°) L'érosion par l'eau

- Lorsque les gouttes de pluie frappent le sol, la force de leur impact permet de briser les agrégats et de disperser les particules qui forment le sol. C'est ce qu'on appelle *l'effet splash*<sup>48</sup>. Ainsi les sables fins, les limons, les argiles et la matière organique sont facilement emportés par les gouttes d'eau car ce sont des particules très fines.

Le ruissellement se produit lorsque l'eau sur une pente ne peut pas s'infiltrer assez vite dans le sol ou être interceptée par des obstacles naturels. Plus les précipitations et le ruissellement sont de forte intensité, plus les particules déplacées sont de grosse taille et

<sup>48</sup> *L'effet splash* : terme désignant l'érosion d'un sol nu provoquée par l'impact des gouttes d'eau. Le *splash* est susceptible de provoquer, même en l'absence de ruissellement, une reptation des particules sédimentaires.

en plus grande quantité. L'eau qui coule entraîne donc avec elle des particules de sol et cause de l'érosion. C'est principalement les eaux de ruissellement qui creusent les vallées.

- Les chutes Niagara sont un bel exemple d'érosion. On considère que les chutes du Niagara se trouvent actuellement à 11 kilomètres du lieu où elles se sont formées initialement. Jusqu'au début des années 50, l'érosion des chutes du Niagara était de un mètre par année. Maintenant, grâce aux différentes constructions, ce taux est estimé à 36 cm par année.

### Doc 2 : La chute du Fer à Cheval, une des trois chutes Niagara



- Les vagues et les courants provoquent de l'érosion sur le littoral. Lorsque les vagues frappent le rivage avec un certain angle, il en résulte des courants littoraux, parallèles au rivage, qui déplacent continuellement les sables de la plage. L'ensemble des vagues produites par le sillage des bateaux, appelé batillage, frappe les berges et provoque de l'érosion là aussi.

### Doc 3 : Érosion du littoral visible à marée basse



### 2°) L'érosion par la glace et les glaciers

L'eau sous forme de glace peut être aussi très érosive. Par exemple, une moraine est un amas de débris minéraux qui ont été transportés par un glacier ou une nappe de glace. Les cours d'eau et les glaciers façonnent les vallées.

**Doc 4 : Vallée glaciaire de la région du Ladakh en Inde****3°) L'érosion par le vent (éolienne)**

Le vent agit comme l'eau. Il enlève des particules de sol et les transporte plus loin. Les débris que le vent souffle causent aussi de l'érosion par frottement. Ils usent et polissent les surfaces. Les sols s'appauvrissent. D'ailleurs, l'érosion éolienne est le principal facteur physique responsable de l'épuisement des terres agricoles.

Le vent assèche les terres et leur degré d'humidité diminue. Évidemment, plus le vent est fort, régulier et rempli de poussières et moins il y a d'obstacles sur son chemin, plus son pouvoir d'érosion est grand. Le vent a un grand pouvoir d'érosion dans les régions sèches où il n'y a pas beaucoup de végétation comme les déserts.

**Doc 5 : Sédiments transportés sous l'action du vent****4°) l'érosion par la gravité**

La gravité permet à plusieurs processus d'érosion de se produire. Le ruissellement, la reptation (lent mouvement de particules du sol vers le bas des versants), les éboulements, les avalanches, les glissements de terrain et la descente sur un versant de matériaux boueux sont tous des phénomènes d'érosion par la gravité.

**Doc 6 : Une avalanche de neige attirée par la gravité****5°) L'érosion et la température**

Dans les endroits où les variations de température sont importantes (climat continental, climat polaire, désert, haute montagne, ...), on assiste à la thermoclastie (érosion due aux changements de température).

Par exemple, l'eau qui s'infiltré dans les fissures des roches poreuses prend plus de volume lorsqu'elle passe de l'état liquide à l'état solide. Cette eau est capable de faire éclater les roches en cas de gel et de dégel. C'est ce qu'on appelle la cryoclastie.

**Doc 7 : Une roche fragmentée par la cryoclastie****5°) L'érosion et l'action de l'homme**

L'être humain, par certaines de ses actions, augmente l'érosion. Par exemple, la déforestation, l'agriculture, l'urbanisation et le transport ont pour effet d'accélérer l'érosion.

- Lorsqu'on défriche une terre, on enlève la couverture végétale et on expose ainsi le sol au vent et à l'éboulement.
- Lorsqu'on construit des barrages, les cours d'eau sont alors déviés.
- En construisant des routes, on augmente les surfaces de ruissellement.

- Lorsqu'on utilise des bateaux à moteur ou des moto-marines, on détruit des habitats, on augmente la turbidité de l'eau et on libère de nutriments qui causent l'augmentation des algues.

Ces activités ont des conséquences sur les plans économiques et environnementaux. Le meilleur moyen de limiter l'érosion consiste à préserver la végétation, car les racines des plantes contribuent à maintenir le sol en place.

**Doc 8 : Déforestation par brûlage (à gauche) et agriculture intensive (à droite)**



Certains facteurs accélèrent le processus d'érosion. Entre autres :

- Il y a des roches plus sensibles que d'autres aux différents types d'érosion. Par exemple, le grès siliceux ne sera pas facilement dissous, mais sera très sensible aux effets du gel. À l'inverse, une roche calcaire massive sera facilement attaquée par l'eau, mais très peu sensible aux effets du gel.
- Plus la pente est longue et raide, plus l'eau érodera le sol. Et plus la vitesse de l'eau est grande, plus elle occasionne un grand lessivage.
- La couverture végétale joue un rôle très important dans la prévention de l'érosion. En effet, plus il y a de résidus et de végétaux au sol, plus ils protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie. Ils ralentissent la vitesse de l'eau de ruissellement et ils favorisent une meilleure infiltration de l'eau dans le sol.

L'érosion ne fait pas que perdre des particules de sol de la couche arable. L'eau de ruissellement peut par exemple, entraîner hors d'un champ les éléments nutritifs du sol, les engrais et les semences. La culture de ce champ ne serait pas aussi productive qu'elle pourrait l'être.

Les sédiments qui sont transportés par l'eau peuvent, par exemple, ensabler des fossés de drainage ou couvrir les zones de fraie. La qualité de l'eau est diminuée, car les pesticides et les engrais transportés avec les particules de sol peuvent contaminer les sources d'eau.

## II/ LES PROCESSUS D'ÉROSION

### 1°) La météorisation

La météorisation est l'ensemble des processus mécaniques, physico-chimiques ou biologiques de réduction élémentaire des roches et des minéraux à la surface de la terre. Elle se divise en deux grandes catégories de processus :

- **Les processus mécaniques** : ces processus entraînent un débitage ou une désagrégation de la roche en matériaux de taille plus réduite, mais sans changement appréciable dans la composition chimique ou minéralogique. La pluie, les plantes, la foudre ou le vent peuvent être des facteurs de désagrégation violente.

- **Les processus physico-chimiques** : dits aussi processus d'altération, ils provoquent une transformation de la roche saine en produits secondaires, c'est-à-dire une modification irréversible des propriétés physiques et chimiques des roches et minéraux. Le principal agent de météorisation physico-chimique est l'eau atmosphérique qui agit à la fois comme un réactif chimique, comme un vecteur de transmission d'autres réactifs (le transport de dioxyde de carbone par exemple) et comme un agent d'évacuation des produits libérés par la météorisation (solutés).

### 2°) Le transport

Ceci correspond au mouvement des sédiments vers l'aval, que ce soit sur un versant ou dans un cours d'eau. Le transport peut s'effectuer dans l'air comme c'est le cas pour le *splash* ou dans l'eau par le ruissellement.

Le terme « capacité de transport », évoqué pour décrire la capacité du ruissellement à transporter des sédiments, est utilisé de 2 manières :

- La masse totale de sédiments que peut transporter le ruissellement (g/l ou kg/m<sup>3</sup>) ;
- La taille maximale des sédiments qui peuvent être transportés à un débit et vitesse d'écoulement donnés (à tel débit avec telle vitesse d'écoulement, des sédiments de telle taille peuvent être gardés en mouvement, les sédiments plus grossiers que cette valeur sont déposés, ...).

La quantité de sédiments transportés dans un écoulement et par unité de temps est égale à la concentration en sédiments (kg/m<sup>3</sup>). À la limite de la capacité de transport, l'écoulement ne peut pas transporter plus de sédiments, même s'il y a beaucoup de sédiments disponibles. Dans ce cas, l'érosion est dite « limitée par le transport ». Dans le cas où la capacité de transport n'est pas atteinte et que l'écoulement pourrait transporter plus de sédiments s'il y en avait, l'érosion est dite « limitée par le détachement ».

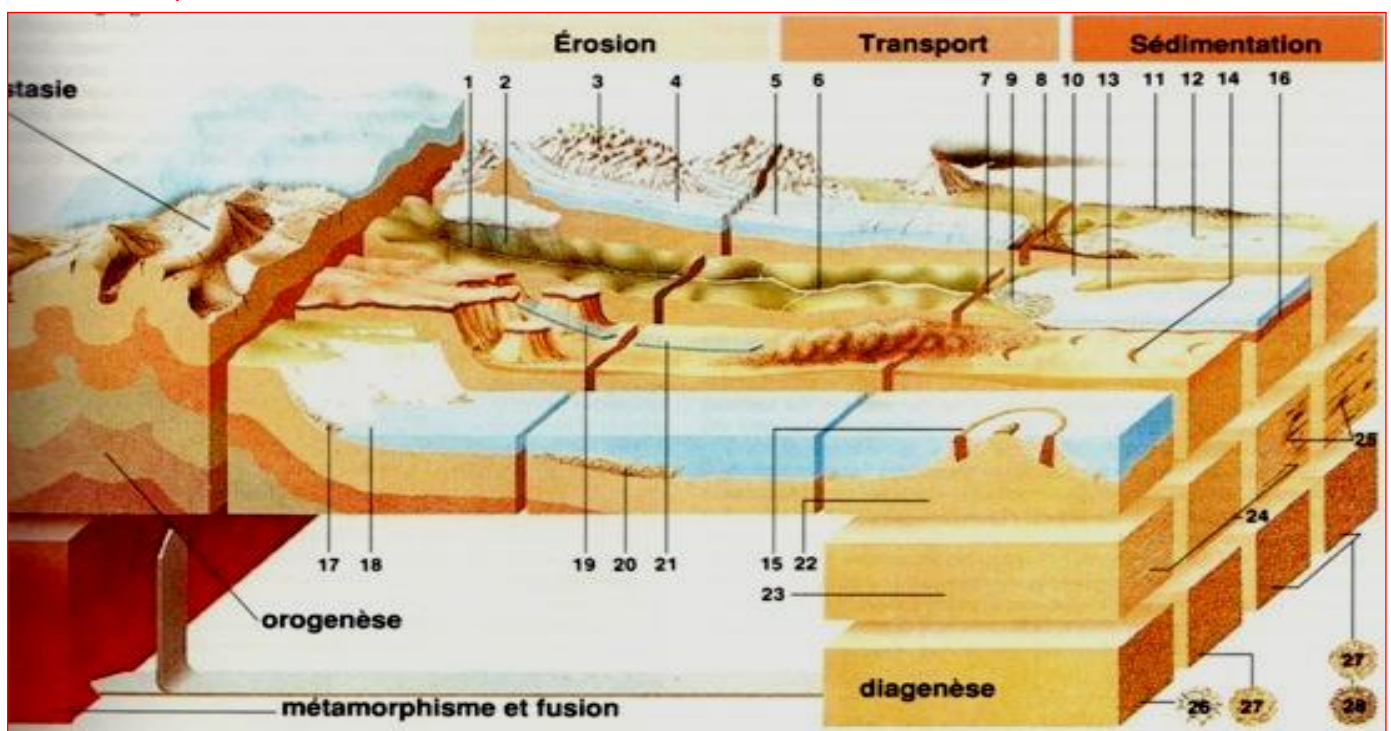
### 3°) Le dépôt

Tôt ou tard, les sédiments transportés par le ruissellement se déposent. Le dépôt peut se faire à l'intérieur d'une parcelle sur le même versant, dans le fossé en limite de parcelle, sur la route, dans le ruisseau, une rivière, la mer, ... Très souvent, les conséquences provoquées par le dépôt des sédiments sont aussi graves, voire plus graves, que celles provoquées par l'enlèvement de la terre sur le versant.

Donc le dépôt se fait en fonction de la vitesse d'écoulement : les sédiments sont déposés en fonction de leur granulométrie et de la vitesse d'écoulement. Les particules très fines, les argiles, sont transportées le plus loin.

## III/ LE CYCLE DE L'ÉROSION ET L'ACTION DU TEMPS SUR LE PAYSAGE

### Doc 9 : Le cycle de l'érosion



Les agents d'altération sont multiples :

- rivières (1), pluie (2), gel (3), glaciers (4), gravité (17), vagues (18), vent (19) et certains sont également des agents de transport :

- moraines glaciaires (5), cours d'eau (6), courants de turbidité (20), turbulence de l'air (21). Selon la nature de ces agents, les dépôts et les constructions seront variés : alluvions (7), dépôts deltaïques (9), sels dans les lagunes (10), cendres volcaniques emportées par le vent (11), boues lacustres (12), cordon littoral (13), dunes (14), récif corallien (15), haut-fond (16), sédiments océaniques (22), dont certains sont organiques : pétrole (23), carbonate de calcium provenant des coquilles (24), charbon (25).

De nouveaux minéraux se forment dans ce matériel par recristallisation (26) ou par diagenèse évoluant par cimentation (27) et compaction (28).

Le cycle de l'érosion se déroule à des rythmes variables 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 1000 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, ...) connaissent évidemment l'érosion la plus rapide. De leur côté, les régions situées à basse altitude et celles où les matériaux sont très résistants (le bouclier canadien par exemple) subissent une transformation plus lente.

Quant aux cavités souterraines, on les retrouve 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, s'allonge de 5 centimètres.

#### IV/ LES CONSÉQUENCES DE L'ÉROSION

Le sol est une fine couche de matières minérales et organiques qui permettent la rétention et la circulation de l'eau et de l'air à la surface de la terre. Cette fine couche, dont l'épaisseur varie de quelques cm à quelques m, fait vivre pratiquement toutes les formes de vie de la planète. Le sol est une ressource « non-renouvelable » qui, lorsqu'il subit une forte érosion, est perdu à l'échelle de millénaires.

Aujourd'hui, l'érosion des sols participe à plusieurs grands problèmes environnementaux qui perturbent la planète.

- **La biodiversité** : le sol est un milieu vivant où des milliards de bactéries, champignons et insectes de tous genres habitent. Sa dégradation provoque une perte d'espèces dont nous avons peu conscience à cause des difficultés de mesure et de suivi de ces micro-organismes et parce que ces familles d'espèces se trouvent rarement parmi les espèces « emblématiques » (comme le loup, l'aigle, le panda, le dauphin, ...). De plus, la dégradation du sol provoque inévitablement une perte d'habitat pour divers espèces à la surface de la terre et dans les milieux aquatiques où l'augmentation de la turbidité et de la pollution jouent un rôle important dans la dégradation de ces environnements.

- **La désertification** : la perte du sol dans les milieux semi-arides conduit à la création de vastes zones « stériles » et des conditions de sécheresse aggravée par une augmentation du ruissellement et par la diminution de la réserve hydrique du sol.

- **La pollution des eaux** : pratiquement toute l'eau qui tombe sur une surface terrestre entre en contact avec le sol. L'eau peut s'infiltrer et percoler vers la nappe phréatique et les cours d'eau. Dans ce cas, elle lessive une partie de ce qui est soluble dans le sol (nitrates, pesticides, ...). Elle peut également ruisseler à la surface et transporter vers les cours d'eau les sédiments et tout ce qui y sont associés : pesticides, engrais, matières organiques, ...

## Leçon 15 : LES FORMES DE RELIEF TERRESTRE ET LEUR RÉPARTITION

Le relief désigne l'ensemble des déformations qui caractérisent la surface de la terre. La surface des continents présente de grandes irrégularités : les chaînes de montagnes, les plaines et les plateaux sont les principales formes de relief. Toutes résultent de la longue histoire géologique de la terre.

### I/ LES CHAÎNES DE MONTAGNES

Les montagnes correspondent à une élévation du relief qui peut revêtir des formes très variées. Une montagne se définit généralement par son altitude élevée, sa hauteur au-dessus des régions environnantes, ses pentes, ses sommets, ses glaciers, etc. Il faut distinguer la haute montagne (d'altitude élevée, généralement supérieure à 2000 mètres), la moyenne montagne (moins élevée et dont les sommets sont usés par l'érosion) et les collines (de faible altitude).

#### - Les hautes montagnes :

Doc 1 : L'Aconcagua, le point culminant de la Cordillère<sup>49</sup> des Andes



Les chaînes de hautes montagnes sont au nombre de deux : la chaîne circumpacifique (autour de l'océan pacifique) et la cordillère alpine. La première est largement développée sur la bordure Ouest des continents américains où les altitudes supérieures à 4000 m sont particulièrement nombreuses. Dans la cordillère des Andes par exemple, on note quatre sommets supérieurs à 6000 m (dont l'Aconcagua à 6960 m). La cordillère alpine, dans sa partie Ouest, borde le Sud de l'Europe et le Nord de l'Afrique occidentale où elle ne dépasse qu'exceptionnellement les 4000 m (les Alpes). Elle s'élève progressivement vers l'Est avec 5000 m et plus dans le Caucase (le mont Elbrous : 5642 m), pour atteindre des

<sup>49</sup> **Cordillère** : chaîne de montagnes allongée et étroite résultant généralement de la subduction d'une plaque océanique sous une plaque continentale.

altitudes de 7000 à 8000 m et plus dans l'Himalaya et au Tibet. Ces chaînes se caractérisent par des formes escarpées, des sommets neigeux et rocheux très découpés, et par des vallées très encaissées aux versants raides.

- **Les moyennes montagnes** : elles forment souvent des massifs de dimension médiocre à l'échelle continentale, mais non négligeable à l'échelle régionale (mont des Appalaches aux États-Unis, le massif du Hoggar en Afrique). Les altitudes modérées comprises entre 500 et 2500 m ne sauraient cependant masquer des paysages aux formes souvent vigoureuses.

**Doc 2 : Appalaches - Parc de la Gaspésie (Québec)**



- **Les collines** : elles sont de petites élévations de terrain dont les versants sont en pente douce. Quand il s'agit d'une petite colline, on parle de butte. Contrairement à une plaine, la colline n'est pas plate mais a une forme arrondie et sa hauteur peut varier. Une colline peut être disposée seule ou former un champ de collines s'il y en a plusieurs. Les collines sont différentes des montagnes car elles sont moins hautes et leurs pentes moins raides. Elles peuvent abriter diverses faunes et flores, mais aussi des constructions humaines.

**Doc 3 : Arbre sur une colline verdoyante**



Les montagnes font partie d'un ensemble généralement constitué d'une multitude de sommets qui s'étalent parfois sur plusieurs kilomètres. Ainsi, la cordillère des Andes (en Amérique du Sud) dessine un ruban constitué par une succession de montagnes qui s'étirent sur plusieurs pays : c'est ce que l'on appelle une chaîne de montagnes. On distingue la chaîne du massif qui constitue un ensemble de montagnes présentant une certaine unité géographique. Le plus haut sommet de la planète est le mont Everest (8850 m d'altitude) dans l'Himalaya en Asie.

- **Les chaînes récentes** : Les mouvements de rapprochement des plaques qui soulèvent les chaînes montagneuses ont provoqué des déformations simples et complexes. Les déformations simples produisent des plis assez réguliers avec anticlinaux et synclinaux dans des empilements sédimentaires. Ce type de relief est dit jurassien<sup>50</sup>.

Liées à la mise en place de nappes de charriage (structures ayant subi un déplacement important) comme dans les Alpes, les Andes ou les Rocheuses, les déformations complexes peuvent engendrer des reliefs spectaculaires comme les arêtes montagneuses appelées crêtes de chevauchement dits aussi « surface de chevauchement ».

- **Les massifs anciens** : Correspondant aux racines de vieilles chaînes de montagnes, les massifs anciens sont formés de roches magmatiques et de roches métamorphiques. Tous les massifs anciens sont nivelés par une ou plusieurs surfaces d'érosion tronquant les structures géologiques. Ces massifs anciens sont bien souvent dits « rajeunis ». À une époque récente, ils ont été faillés ou soulevés. À partir des sommets, une reprise d'érosion s'est alors effectuée qui a engendré des vallées profondes donnant à ces massifs une allure vigoureuse.

## II/ LES PLAINES

Les plaines sont des grandes étendues de terre plates et unies où les cours d'eau ne sont pas encaissés. Leurs dimensions varient considérablement d'une région à l'autre. La plus grande partie des plaines se trouve à moins de 200 mètres d'altitude et forment de vastes étendues. Les plaines aux horizons lointains se caractérisent par des pentes et des dénivellations faibles. Les formes très douces dominent. Les cours d'eau s'écoulent dans des vallées à peine marquées dans la topographie. Ces paysages peu accidentés sont des lieux favorables aux cultures. Les plaines occupent de vastes surfaces sur le continent américain (Grandes plaines d'Amérique du Nord, plaine du Mississippi, plaine amazonienne), la Russie d'Europe ou encore la Sibérie occidentale. L'Europe de l'Ouest, avec son relief plus compartimenté, n'offre, en revanche, que des plaines d'extension limitée. Des plaines étroites peuvent se former dans le creux des régions montagneuses.

<sup>50</sup> **Relief jurassien** : relief développé dans une structure sédimentaire régulièrement plissée, où alternent couches dures et couches tendres.

**Doc 4 : Plaine de Llanos couverte de savane (Venezuela central)**

### III/ LES PLATEAUX

Les plateaux sont de grandes surfaces planes. Limités par des talus, les plateaux ne sont pas parfaitement plats : leurs altitudes, comprises entre 100 et 1500 m, présentent une opposition entre des sommets aux formes peu marquée, souvent lourdes, aux faibles pentes et dénivellations, et des vallées profondément encaissées, constituant parfois de véritables gorges (exemple : les gorges du Colorado). En effet, à la différence des plaines, les plateaux peuvent être fortement découpés par des cours d'eau qui les traversent. Généralement d'extension limitée, les plateaux sont des formes de relief fréquentes en Afrique.

**Doc 5 : Le massif du Hoggar**

Le Hoggar est un massif au cœur du Sahara. Il est qualifié de plateau (à cause de ses sommets très larges et de ses vallées très profondément encaissées) ou encore de montagne ancienne. Venant perturber la régularité des formes des sommets de ce massif, des intrusions volcaniques dressent leurs aiguilles, leurs colonnes et constituent les points culminants.

- **Les plaines et les plateaux des bassins sédimentaires** sont des unités topographiques de faible altitude qui s'organisent de façon grossièrement concentrique et présentent, du centre du bassin vers la périphérie, une succession relativement régulière de surfaces, de talus à forte pente et de zones déprimées.

Les bassins sont constitués de couches sédimentaires, empilées les unes sur les autres sur une épaisseur de plusieurs centaines voire plusieurs milliers de mètres. Selon leur composition, les couches peuvent présenter une résistance forte (grès, calcaire) ou faible (marnes, argiles, sables) à l'érosion hydrique. Généralement horizontales dans la partie centrale du bassin, ces couches se soulèvent légèrement de quelques degrés vers la bordure. La déformation de la périphérie est due à des mouvements de redressement des reliefs environnants. Ce redressement entraîne une première phase d'érosion qui tronque en biseau l'ensemble des couches. La surface d'érosion, très légèrement inclinée, laisse affleurer des alternances de roches résistantes et de roches peu résistantes réparties en vastes auréoles.

#### IV/ LES RELIEFS VOLCANIQUES

**Doc 6 : Les Monts Dôme, l'un des plus beaux volcans à cratère de la chaîne des Puys (France)**

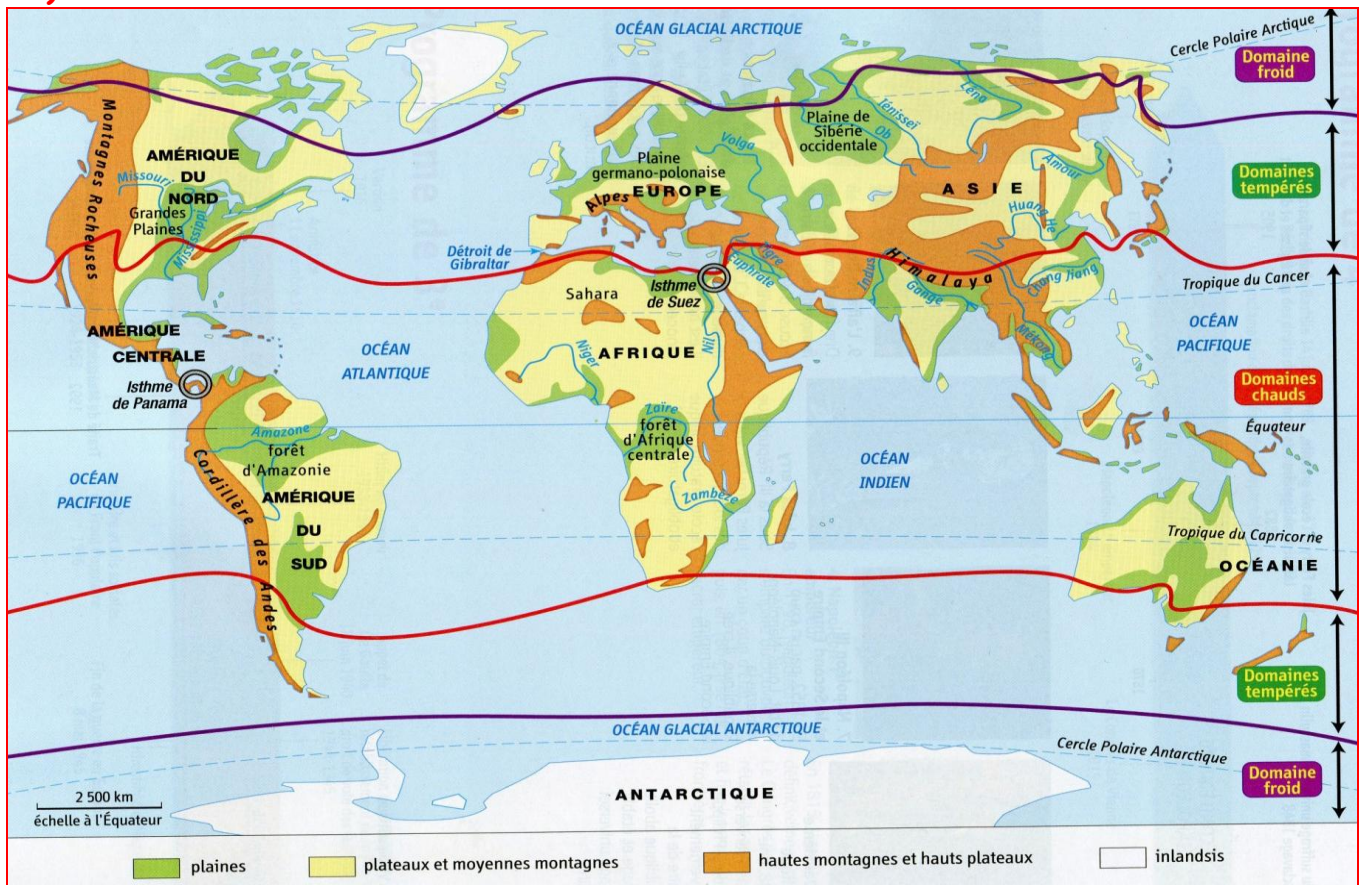


Les reliefs volcaniques sont considérés comme des postiches, car ils reposent sur des reliefs préexistants. Le cône volcanique et son cratère ou sa caldeira, les trapps et les coulées sont des formes primitives, de même que les orgues et les colonnades (laves basaltiques refroidies).

Les formes dérivées sont des reliefs d'inversion : les formes initialement en creux sont aujourd'hui en relief. Parmi celles-ci, on note des planèzes et des plateaux de basalte en position dominante. Les necks sont des culots de laves bouchant une cheminée dont le matériel encaissant a été dégagé. Les dykes constituent eux, de véritables murs de lave, très allongés : cette lave a été figée dans une fissure puis dégagée par l'érosion.

## Leçon 15 : TRAVAUX PRATIQUES

### 1°) CARTE DE LOCALISATION DES FORMES DE RELIEF



### 2°) INITIATION À LA COUPE TOPOGRAPHIQUE

La coupe topographique est une représentation graphique destinée à mettre en évidence les éléments du relief les plus caractéristiques.

#### A/ La carte topographique

La carte topographique est la projection sur un plan horizontal, celui d'une feuille de papier par exemple, d'une partie de la surface terrestre.

#### - La projection cartographique :

Il existe de nombreux types de projection topographique, pour divers types de cartes, à différents endroits de la planète. La projection dépend de la surface couverte et du type de relief. Aucune n'est parfaite, chacune a ses défauts et ses qualités. Sur un planisphère, le globe est recouvert de réseaux de méridiens N-S et de parallèles E-W orthogonaux qui présentent de fortes distorsions près des pôles notamment.

À faible échelle, deux cartes voisines présentent de faibles distorsions et peuvent se juxtaposer. La carte topographique au 1/25 000 de l'IGN en France est de type Lambert conique conforme. Tout point de la planète peut se repérer par sa latitude et sa longitude

sur une carte plane. Cette projection s'appelle la planimétrie. L'orographie est la représentation sur la carte de l'altitude de ces points, c'est à dire le relief ou topographie.

### - Les principaux éléments représentés sur la carte topographique :

- les éléments d'origine humaine (ville, infrastructure).
- toponymie : en noir.
- hydrographie : en bleu (source, rivières, lacs,...).
- la végétation : en vert.
- des symboles pour des lieux ou points repérés (églises, mégalithes, chapelle, ruines, points géodésiques).
- les courbes de niveaux qui expriment le relief.
- les points de même altitude sont sur des isohypses.
- points cotés remarquables (sommets, croisements, ponts, col, ...).

### - L'échelle :

L'échelle (E) d'une carte est définie par le rapport entre une distance (d) sur la carte et la distance réelle (D) sur le terrain :  $E = d/D$ . Différentes échelles sont usitées :

L'échelle numérique : 1/10 000, 1/25 000, 1/50 000, 1/100 000, 1/200 000.

L'échelle graphique : → Segment gradué en km, hm, m, cm, ...

### - L'orientation et la localisation :

Les bords latéraux de la carte sont parallèles aux méridiens terrestres et indiquent le Nord géographique. Le Nord géographique sur une carte de localisation sera indiqué aussi par une flèche orientée verticalement vers le haut. Sur les bords de la carte, sont annotés les longitudes et latitudes terrestres principales. L'orientation d'une coupe géologique doit être donnée par les lettres des points cardinaux principaux.

### - Le relief :

- **hachure et tons foncés** : sur les anciennes cartes ou encore sur certaines cartes topographiques de montagne, les hachures ou des teintes foncées sont utilisées (étaient utilisées) par données du « relief » au paysage en utilisant le principe de l'ombrage.

- **les courbes de niveaux** : sur les cartes topographiques, le relief est figuré par des courbes de niveau.

Une courbe de niveau représente l'intersection du relief par un plan horizontal. Tous les points d'une courbe de niveau ont la même altitude.

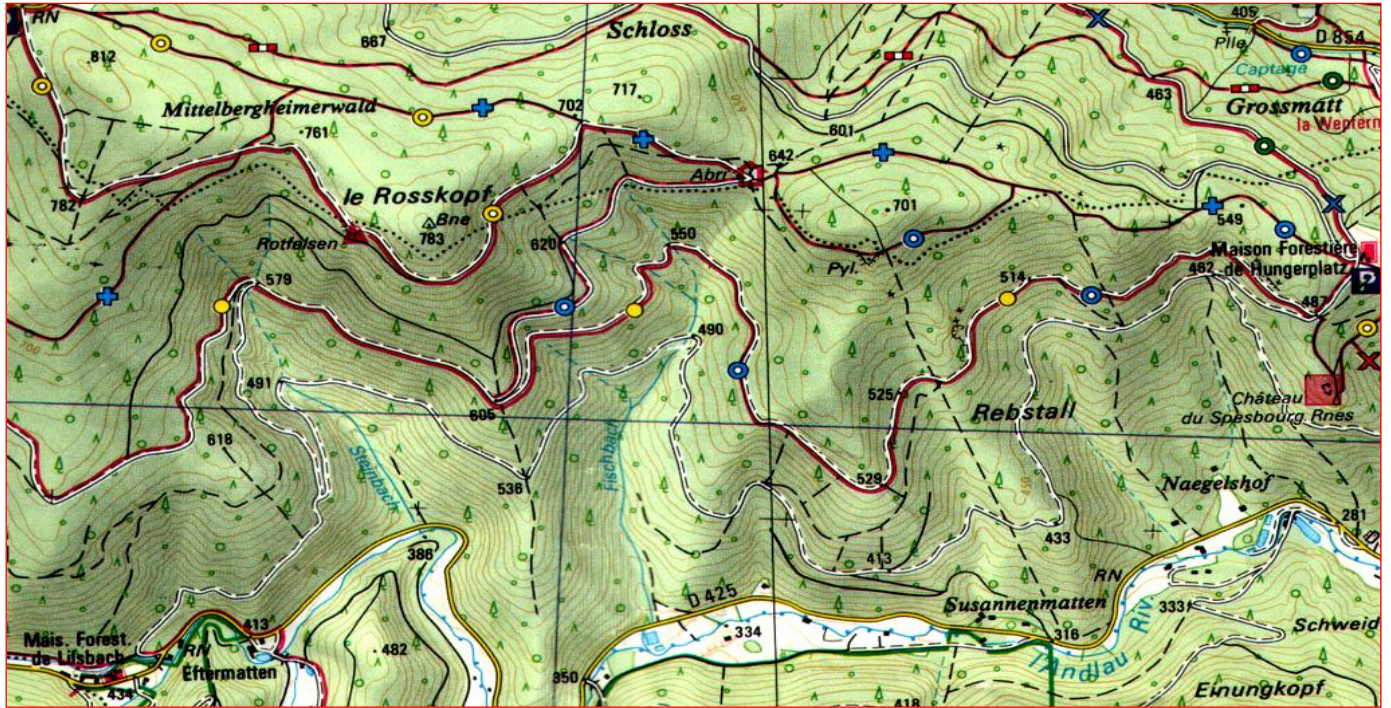
La différence d'altitude entre deux courbes de niveau normales successives est dite équidistance.

Elle est de 10 m dans les zones de faible relief et de 20 m en montagne.

Tous les 50 m (ou 100 m en montagne), des courbes maîtresses sont figurées par un trait plus épais, l'altitude est indiquée par un chiffre.

Dans les paysages très plats, des courbes intercalaires tous les 5 m peuvent être ajoutées en trait pointillé.

#### Courbes de niveau (extrait de la feuille de Strasbourg)



- **Les pentes du relief** : la distance horizontale appelée écartement ou espacement entre deux courbes de niveau sur la carte permet d'apprécier et de calculer la pente du relief ou pente topographique.

Plus les courbes sont espacées, plus la distance est grande pour monter ou descendre la hauteur d'une équidistance : la pente est dite faible.

Inversement, plus les courbes de niveau sont serrées, plus la pente est forte.

- **Les formes particulières du relief** :

- les crêtes : elles se caractérisent par des courbes de niveau qui se referment sur elles-mêmes en forme allongées. Sur une crête aigue (arête), les fermetures des courbes de niveau sont pointues. Une crête dont les deux versants sont différents est dite dissymétrique. Lorsque la montagne est très dissymétrique : un sommet doux se prolongeant par un plateau est un versant abrupt, on parle de corniches sommitales.

- les vallées : même si un cours d'eau n'y est pas figuré, une vallée se reconnaît par les fermetures des courbes de niveau à l'amont. Si le vallon est sec, on parle aussi de talweg. La forme des courbes de niveau indique la forme de la vallée et son type. Une fermeture en V indique une vallée incisée, érosive. Une fermeture en U, un creusement de vallée par un glacier, un éboulement, avec parfois colmatage par des alluvions.

- les falaises : les abrupts, les falaises et parois rocheuses à forte pente sont marquées par des figurés de rochers. Les courbes de niveau n'y sont pas marquées parce que trop rapprochées.
- Les cuvettes et les dépressions : les pays glaciaires et les contrées calcaires présentent des cuvettes ou dépressions. Pour ne pas confondre avec des collines, le plus souvent les courbes de niveau sont tracées en pointillé et une flèche est dirigée vers le fond de la cuvette.

## B/ Le profil topographique

Un profil topographique est une section par un plan vertical de la surface topographique, ce profil qui sera représenté à une certaine échelle doit rendre compte des formes du relief.

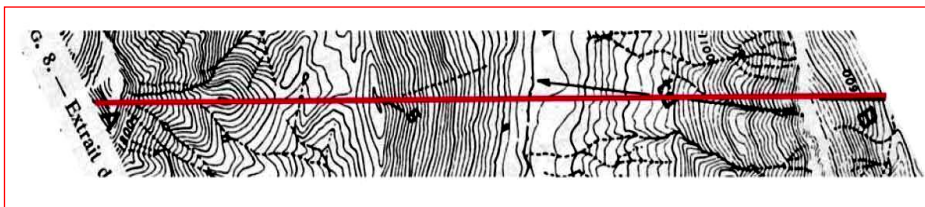
### - Principe de construction du profil topographique

- choisir une ligne imaginaire qui traverse les principaux éléments du relief de la carte ;
- plier une feuille de papier millimétré et l'appuyer contre cette ligne ;
- faire figurer en abscisse les altitudes, en ordonnée la distance (échelle 1 cm pour 500 m équivalente à la carte) ;
- relever le long de la ligne toutes les courbes de niveaux et reporter les altitudes (sous forme de pointillé) sur la feuille de papier millimétrée ;
- joindre ces points pour construire une courbe ;
- noter les points importants pour localiser la courbe, l'échelle, l'orientation principale de la courbe.

**Étape 1** : tracer un trait A-B sur une carte à l'échelle donnée ;

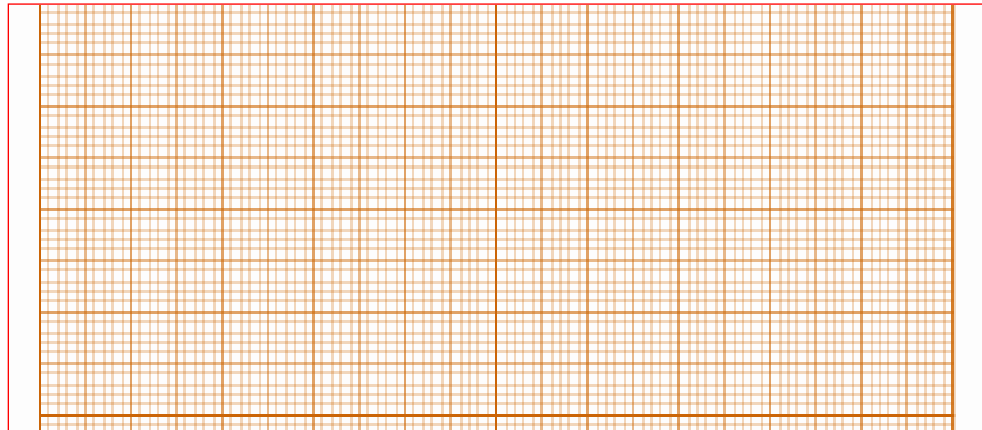


**Étape 2** : se positionner face à la ligne (tracer cette ligne au crayon noir et non rouge) ;



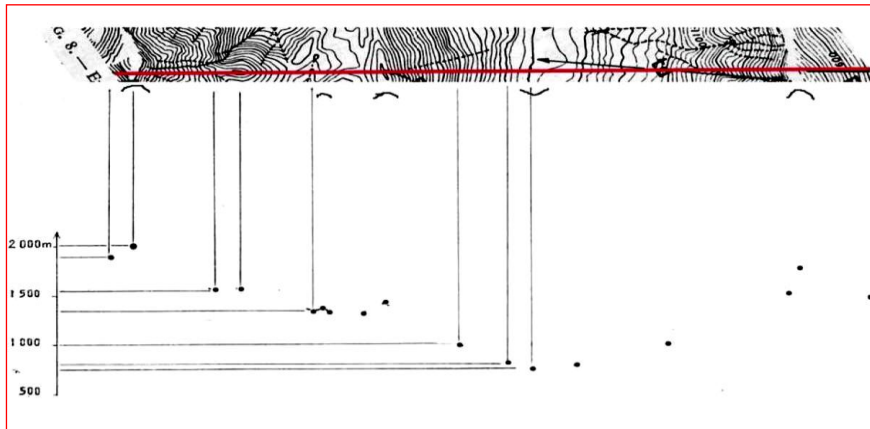
**Étape 3 :** prendre une feuille de papier millimétrée. Reporter en ordonnée l'altitude et en abscisse la distance (en respectant l'échelle de la carte) ;

altitude (échelle conforme au relief de la carte) →

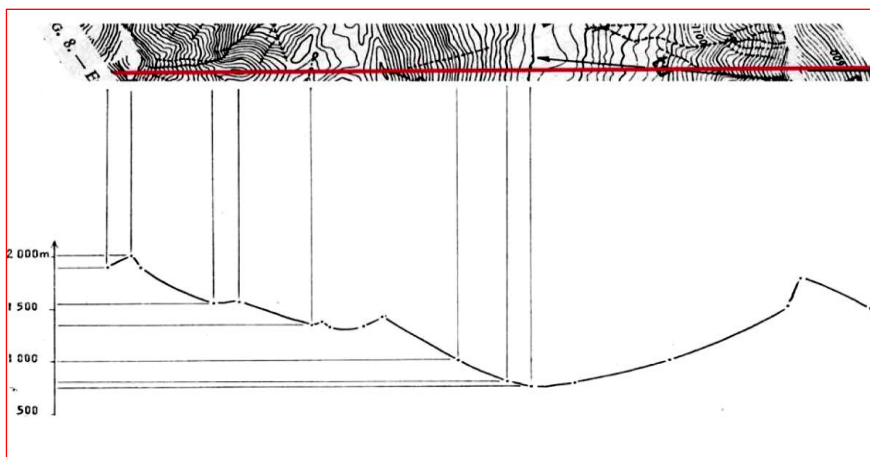


distance (1 cm pour 500 m)

**Étape 4 :** reporter les altitudes sur la feuille de papier millimétrée sous forme de points ;



**Étape 5 :** joindre les points ;

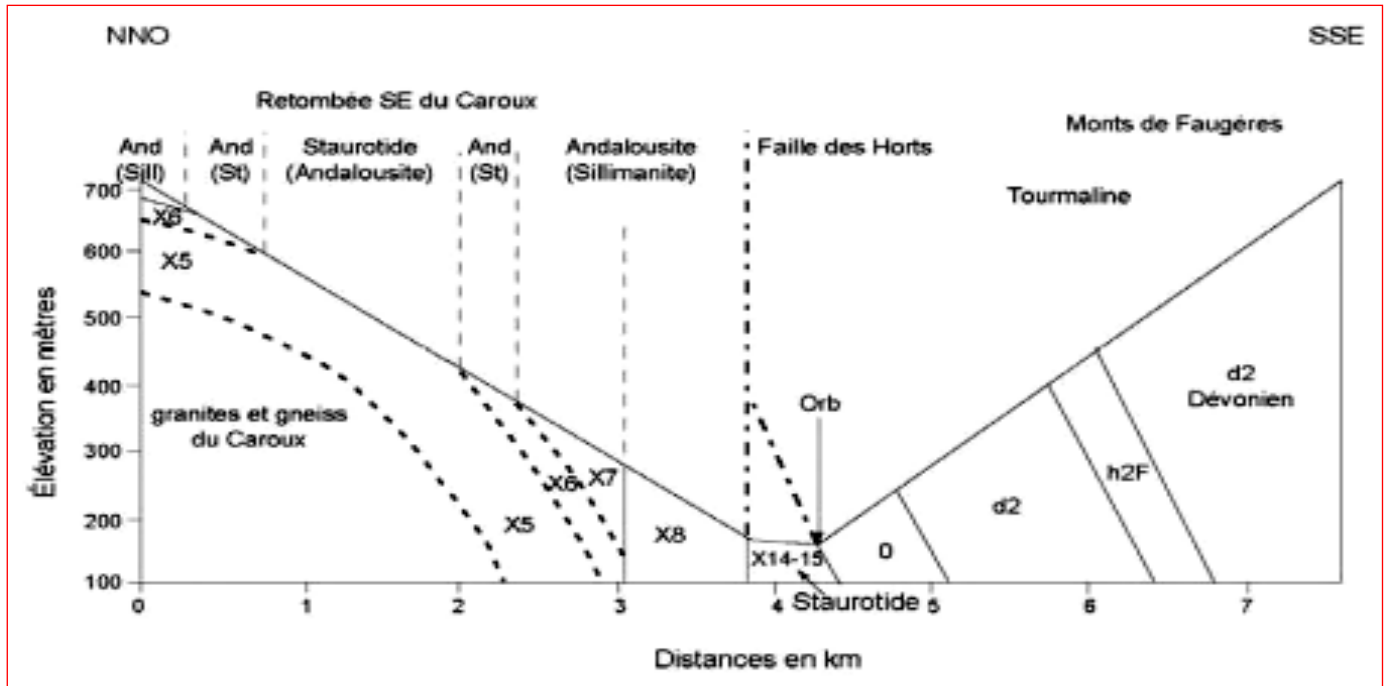


**Étape 6 :** habiller la coupe topographique en faisant figurer :

- le titre,
- les deux échelles (hauteur et distance),
- l'orientation (ex : du Nord-ouest au sud-est),
- les lieux et points de passage remarquable de la carte.

Exemple de coupe topographique habillé :

Coupe topographique de la moyenne vallée de l'Orb entre le Mont Caroux et les Monts de Faugères



# TROISIÈME PARTIE :

# LES "RÉGIONS NATURELLES" DU GLOBE

## COMPÉTENCES EXIGENCES

- Analyser les caractéristiques des différentes régions naturelles du globe
- Évaluer les potentialités de chaque région naturelle du globe.

## Leçon 17 : LES RÉGIONS INTERTROPICALES

Situé entre le tropique du Cancer et le tropique du Capricorne, le domaine tropical se caractérise à la fois par une chaleur constante et une forte humidité. Les pluies y sont abondantes et leur rythme, quotidien ou saisonnier, d'une grande régularité. Les températures moyennes mensuelles les plus basses n'y descendent généralement pas au-dessous de 18 °C et les amplitudes thermiques annuelles restent inférieures à 10 °C. De telles conditions climatiques s'expriment aussi bien par l'originalité des formations végétales, forêts ou savanes, que par celles des modalités de l'érosion et des modèles correspondants.

Selon les régions, les limites de ce domaine morphoclimatique se manifestent avec plus ou moins de netteté. Dans l'Ouest et le Centre des continents où existent des déserts tropicaux, elles s'expriment clairement par la dégradation rapide de la couverture végétale. En Afrique occidentale et centrale, on passe ainsi de la savane soudanaise à la steppe à acacias sahélienne, annonciatrice du Sahara.

### I/ LES RÉGIONS ARIDES

#### Doc 1 : Le désert du Sahara



Les facteurs géographiques comme la forme et la taille des continents, la disposition des chaînes de montagne, la présence de courants froids côtiers et la continentalité perturbent la répartition zonale des déserts dans le monde.

La principale zone aride s'étire depuis la façade occidentale de l'Afrique jusqu'au Centre-est de

l'Asie. Les déserts zonaux et chauds du Sahara et de l'Arabie sont suivis d'un chapelet de déserts froids en situation d'abri à l'intérieur des bassins intra-montagneux (déserts d'Asie Centrale et de Gobi). En Amérique du Sud, le désert d'Atacama (Pérou-Chili) s'étire en une longue bande étroite au bord du Pacifique.

Le climat désertique est caractérisé autant par son aridité que par l'irrégularité des précipitations. L'aridité résulte de la combinaison de la faiblesse des précipitations (moins de 250 mm par an) et des fortes températures (30 à 50 °C). Les *oueds*, cours d'eau intermittents aux crues soudaines et brutales, reflètent dans leur régime ces excès climatiques.

Sous un tel climat, l'arbre disparaît peu à peu pour laisser la place aux plantes xérophiles<sup>51</sup> adaptées à l'aridité. L'absence de couvert végétal caractérise les regs<sup>52</sup> et les ergs<sup>53</sup>.

### Doc 2 : Oasis dans le désert du Sahara



La connaissance des points d'eau et le ravitaillement en eau sont donc des données fondamentales et permanentes de l'existence dans un tel milieu. La capacité de trouver de l'eau et son corolaire, la nourriture, commande les activités humaines.

Ce sont les oasis, îlots de vie sédentaire, qui assurent, grâce à la pratique de l'irrigation, la présence de toute vie humaine au désert. Là où il n'y a pas d'oasis, il n'y a non plus de nomades. Ces derniers y viennent pour y vendre leurs animaux et le sel, y acheter les produits de première nécessité et leur alimentation : dattes et céréales, mais aussi le thé et le sucre. Le commerce trans-saharien répond ainsi à la nécessité vitale de concilier les exigences de la vie dans les différentes zones écologiques complémentaires.

## II/ LES RÉGIONS CHAUDES ET HUMIDES

### 1°) Des forêts denses aux savanes arborées

#### Doc 3 : Forêt dense amazonienne



De part et d'autre de l'équateur, la zone équatoriale a des bilans thermiques positifs toute l'année, les précipitations, variables mais toujours fortes, sont supérieures à l'évapotranspiration<sup>54</sup>. Sous les climats équatoriaux, peu contrastés, toujours chauds et pluvieux, la période végétative ne connaît pas d'interruption.

La quantité de matière végétale élaborée (biomasse) est considérable.

La très forte humidité jointe à la chaleur facilite l'exubérance de la végétation et la prolifération de la vie. Les forêts tropicales représentent un peu plus de 50 % des forêts et abritent les 2/3 des espèces végétales et animales du globe. La forêt dense, toujours

<sup>51</sup> **Xérophile** : se dit de plantes adaptées au milieu aride (racines très longues, branches rabougries, feuilles vernissées).

<sup>52</sup> **Reg** : étendue désertique caillouteuse, débarrassée des éléments fins par le vent.

<sup>53</sup> **Erg** : vastes étendues de sable, massif dunaire en zone aride chaude.

<sup>54</sup> **Évapotranspiration** : quantité d'eau donnée par l'évaporation et par la transpiration des plantes en un lieu donné. Elle est fonction de la température et de l'humidité de l'air.

vertes, formée de grands arbres, est portée par un manteau d'altérites et des sols pauvres en matières nutritives.

De nombreuses régions chaudes et pluvieuses à forte densité de population comme en Asie n'ont plus que de médiocres forêts secondaires.

Les contrastes saisonniers se renforcent quand on s'éloigne de l'équateur. L'hiver est marqué par la saison sèche. L'été, les régions tropicales reçoivent des vents chargés d'humidité : c'est la saison des pluies appelée hivernage. L'augmentation de la durée de la saison sèche s'accompagne d'une dégradation végétale. Les arbres, moins hautes, se font de plus en plus rares et perdent leurs feuilles à la saison sèche. On passe de la savane arborée à la savane arbustive. Ces formations végétales sont cependant largement déterminées par l'érosion anthropique.

## 2°) Des milieux fragiles face à l'action anthropique

Depuis des siècles, les hommes qui ont compris l'extrême vitalité de la forêt y puisent chaque jour davantage, aussi bien pour l'agriculture que pour le bois, la médecine ou l'industrie. Selon les civilisations, la riziculture irriguée et l'agriculture itinérante sur brûlis ont largement entamé la richesse des forêts tropicales.

Dans l'Asie des moussons, depuis des millénaires, les sociétés ont appris à maîtriser l'eau au prix de travaux permanents.

Le système de la culture sur brûlis a permis l'exploitation permanente de la forêt. Cependant, la pression démographique croissante et la diminution de la superficie des terres arables, consécutive à la dégradation des sols, ont contraint les paysans à réduire les cycles de culture.

Les conséquences de cette pression sur le sol sont graves : appauvrissement des terres, freinage de la régénération et baisse de la rentabilité des sols.

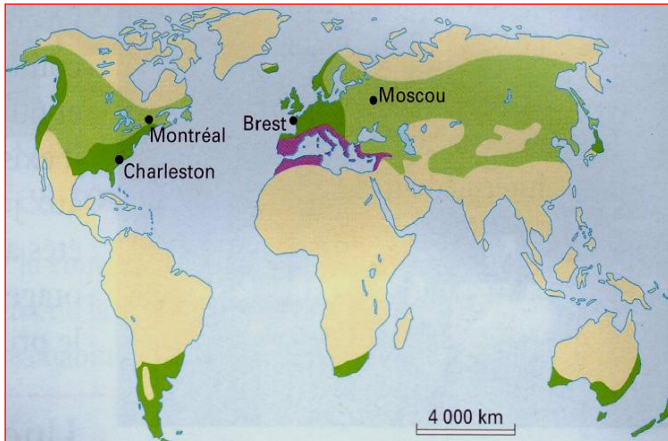
En Amazonie, le débat sur la déforestation a permis de mettre évidence que le non-développement de l'Amazonie n'est nullement acceptable pour les Brésiliens. Aussi des projets de politique de l'environnement proposent-ils de substituer au développement à tout prix une stratégie d'écodéveloppement. Celle-ci consiste à réhabiliter des terres déjà déboisées, à arrêter la frontière de la colonisation et les nouveaux déboisements.

### Doc 4 : Déforestation de l'Amazonie, un problème de développement durable



## Leçon 17 : LES RÉGIONS TEMPÉRÉES

### Doc 1 : Les zones tempérées du globe



Les régions tempérées s'étendent dans les latitudes moyennes, c'est-à-dire entre les tropiques et les cercles polaires. Les températures dans ces régions se définissent en fonction des saisons. On distingue l'hiver, l'été, l'automne et le printemps. L'humanisation très forte et ancienne de cette zone climatique explique la transformation quasi totale du milieu naturel.

### I/ LA MOSAÏQUE DES CLIMATS TEMPÉRÉS

#### 1°) Les multiples atouts de la zone tempérée

L'humidité de l'air est le seul trait prévisible de la grande majorité des climats tempérés. Tout y est nuancé, fugace et incertain. La situation géographique de la zone tempérée aux latitudes moyennes implique que les quatre saisons, d'origine thermique, soient contrastées. Le balancement et l'affrontement constant des masses d'air froid et d'air chaud font de cette zone le théâtre de perturbations particulièrement dynamiques, de types de temps très changeants et d'accidents climatiques courts mais violents. L'irrégularité des précipitations fait dire qu'une année est sèche ou qu'un été est pourri.

Les atouts d'un tel milieu sont pourtant loin d'être négligeable : l'humidité constante de l'air et la répartition sur toute l'année d'une quantité d'eau en général suffisante le rendent propice à la végétation, aux hommes et à leurs activités. Ainsi, près de 50 % de la population mondiale vivent dans les régions tempérées.

#### 2°) Des climats contrastés

Quatre facteurs apportent de multiples nuances, bouleversent la répartition zonale et, en définitive créent plusieurs domaines climatiques.

La mer, par son effet de régulateur thermique, réduit les amplitudes thermiques ; elle « tempère » les excès du climat. À proximité de la mer, les hivers sont doux et pluvieux, les étés frais et humides. Le réchauffement de la mer par les courants chauds explique la douceur particulière de certains littoraux, comme le littoral atlantique de l'Europe favorisé par le passage de la dérive nord-Atlantique.

L'éloignement de la mer entraîne l'accentuation des contrastes thermiques et pluviométriques. Les hivers du climat continental sont longs, froids et secs, les étés chauds et aux précipitations orageuses. La continentalité réduit la durée de la saison végétative et

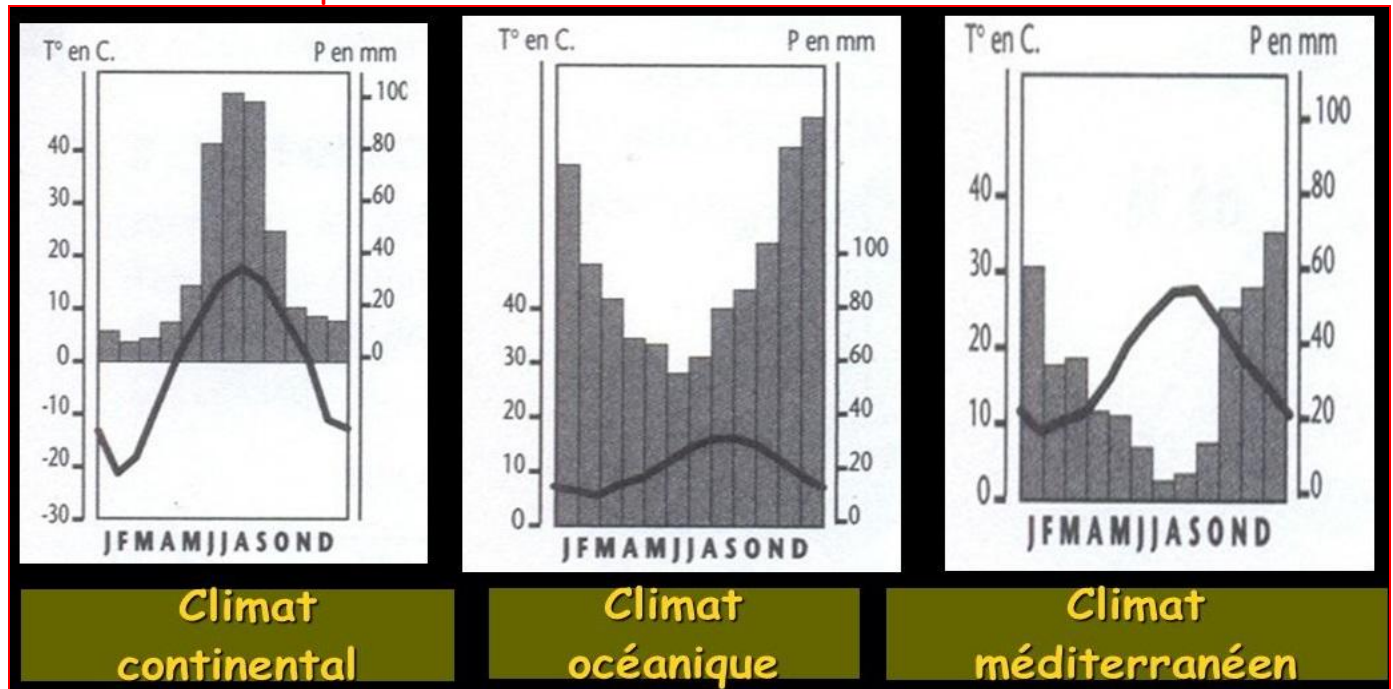
explique la diminution des densités de la population au fur et à mesure que l'on va vers le Centre et l'Est des continents, aux conditions climatiques plus rude.

L'extension en latitude explique le renforcement des caractéristiques des hivers et des étés au Nord et au Sud de la zone. Les hivers sont froids et pluvieux au Nord. Au Sud, des étés chauds et secs caractérisent les régions méditerranéennes.

La disposition des reliefs par rapport à la circulation dominante des masses d'air frais et humide d'Ouest en Est explique l'extension du climat océanique. Celui-ci pénètre largement l'espace européen, tandis qu'en Amérique du nord, la disposition méridienne des reliefs en limite les influences.

La situation géographique des continents par rapport à la circulation générale crée la dissymétrie entre l'Ouest des continents au climat plus doux et humide, et l'Est plus froid et moins arrosé.

**Doc 2 : Le domaine tempéré**



**II/ LA DIVERSITÉ VÉGÉTALE**

Les milieux tempérés ont avant tout une vocation forestière. Dans les régions de climat océanique, le froid hivernal provoque la chute des feuilles. C'est le domaine des arbres à feuilles caduques : chênes, hêtres, ormes et châtaigniers. Les sols bruns forestiers sont de bonne qualité et se reconstituent facilement. L'allongement de la période froide rend difficile la vie des arbres à feuilles caduques : la taïga<sup>55</sup>, formée d'arbre à aiguilles et de conifères toujours verts, couvre les immenses espaces du domaine continental. Vers les hautes latitudes, s'étend la forêt mixte qui associe les feuillus et les arbres à aiguilles :

<sup>55</sup> **Taïga** : formation végétale de type forestière parcourue par un vaste réseau lacustre résultant de l'érosion fluvioglaciaire. Sa végétation a la particularité d'être formée d'une majorité de conifères adaptés au froid (pins, sapins) associée à un mélange de feuillus. La limite des arbres sépare la taïga de la toundra.

érables, bouleau, hêtres, sapin. Des formations végétales de transition révèlent les dégradations climatiques.

Au Centre et à l'Est des continents des latitudes tempérées, la prairie<sup>56</sup>, formation herbeuse adaptée à la raréfaction de l'eau, remplace la forêt. En Eurasie, elle s'étend de la Hongrie jusqu'à la Sibérie et elle produit des sols noirs parmi les plus fertiles du monde : les tchernozioms. La prairie d'Amérique du Nord couvre de vastes étendues : à l'abri des montagnes Rocheuses qui arrêtent les vents humides du Pacifique, elle est adaptée aux hivers particulièrement rudes et venteux. En Amérique du Sud, la *pampa* caractérise les plaines de l'Argentine.

La disposition des milieux est, comme celle des climats, globalement zonale ; mais dans le détail, la forme des continents et la localisation des reliefs perturbent cette organisation.

### Doc 3 : Diversité végétale

Taïga (forêt tempérée humide)



Prairie tempérée



Pampa (Argentine)



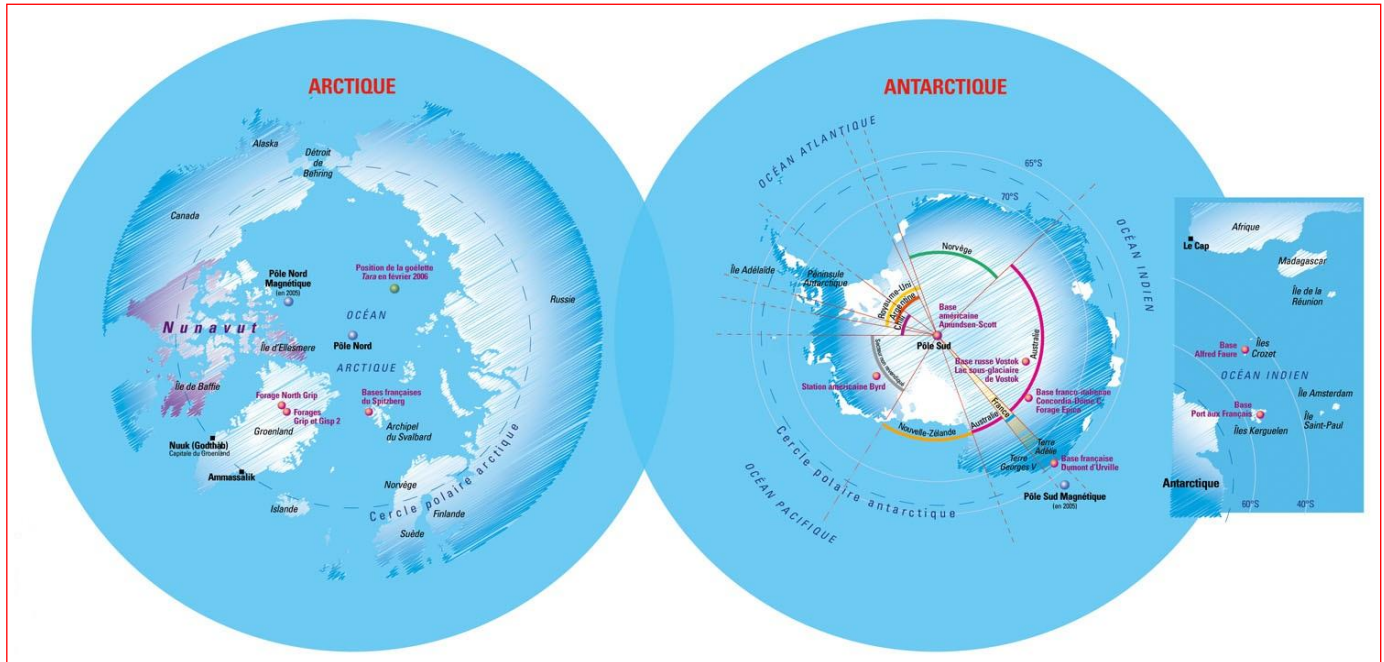
Les paysages du domaine tempéré sont avant tout l'œuvre des agriculteurs qui, depuis cinq millénaires, défrichent les forêts pour obtenir du bois à différents usages ou pour les remplacer par des cultures, des pâturages, des villes et des routes. Les forêts aménagées et balisées de nos loisirs ne sont que des lambeaux de forêts « humanisées ». La plus part des landes sont des formes dégradées de la forêt originelle climacique<sup>57</sup>. Les nombreuses transformations anthropiques des prairies ont fait de celles-ci les grandes régions de céréaliculture du monde.

<sup>56</sup> **Prairie** : étendues herbacées au climat tempéré pouvant prendre le nom de steppe, *pampa* ou *veld* selon l'endroit où elles se localisent. Le paysage naturel est celui d'une immense étendue d'herbes dont les arbres sont le plus souvent complètement absents, sauf le long des cours d'eau.

<sup>57</sup> **Climacique** : qui est en équilibre avec les caractères d'un climat donné.

## Leçon 19 : LES RÉGIONS POLAIRES

### Doc 1 : Répartition géographique des régions polaires



Les régions polaires, du Nord et du Sud, c'est-à-dire respectivement l'Arctique et l'Antarctique, sont les régions de la planète au-delà des cercles polaires (hautes latitudes). Dans l'hémisphère Nord, cet espace est occupé principalement par l'océan Arctique bordé par les côtes septentrionales du Canada, de l'Alaska et de la Sibérie, ainsi que par diverses îles dont le Groenland. Dans l'hémisphère Sud, on a au contraire un vaste continent, l'Antarctique bordé par l'océan glacial Antarctique dans lequel se situent des îles, généralement petites.

### I/ LE CLIMAT POLAIRE

Le climat polaire est le plus froid du monde. On distingue :

- **Le climat de l'Antarctique** : l'Antarctique est une zone de hautes pressions permanentes. Elles donnent naissance à un vent glacial (*blizzard*<sup>58</sup>) qui souffle vers l'Est, en direction des régions chaudes. Sa vitesse moyenne est de 70 km/h proche du maximum sur l'échelle de Beaufort<sup>59</sup>. On a même enregistré des rafales de 190 km/h, plus fortes que celles d'un ouragan. À l'intérieur des terres, les températures hivernales s'échelonnent entre -40 et -70 °C. En été, le thermomètre remonte entre -35 et -15 °C. Les précipitations sont toujours solides (neige), avec une moyenne annuelle de 50 mm seulement.

<sup>58</sup> **Blizzard** : forte tempête caractérisée par un froid intense, des vents violents et accompagnée d'importantes chutes de neige. Un blizzard se définit par des vents atteignant 55 km/h ou plus, une visibilité de 400 m ou moins durant une période d'au moins trois heures.

<sup>59</sup> **Échelle de Beaufort** : utilisée par les marins et les météorologistes pour indiquer la force et la vitesse du vent, ainsi que ses effets sur l'état de la mer (applicable également aux effets du vent sur la terre ferme). Elle a été inventée en 1805 par l'hydrographe et amiral britannique Francis Beaufort.

Le long des côtes, les maxima sont de l'ordre de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  en hiver et de  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en été. La neige et la pluie tombent régulièrement et totalisent en moyenne  $600\text{ mm/an}$ .

L'Antarctique est recouvert par une énorme masse de glace (inlandsis) qui s'étend sur  $14,2$  millions de km et dont l'épaisseur moyenne est de  $2\text{ km}$ . Elle est à l'origine de la formation de glaciers qui avancent vers l'océan à la vitesse approximative de  $1\text{ m}$  par jour, créant autour du continent une plate-forme de glace pouvant atteindre près de  $100\text{ m}$  de hauteur. Elle est elle-même entourée par le pack, masse de glace flottante d'où se détachent des icebergs qui s'éloignent lentement vers le Nord en fondant progressivement. On estime que les glaces formant la banquise dans l'Antarctique représentent  $90\%$  de toutes celles du globe.

Doc 2 : Le blizzard



Doc 3 : Inlandsis Groenland



- **Le climat de l'Arctique** : l'océan Arctique est presque tout entier entouré de continents. Il s'étend sur plus de  $12$  millions de  $\text{km}^2$  et possède dans sa majeure partie une couverture de glace de  $3\text{ m}$  à  $3,50\text{ m}$  d'épaisseur. À certains endroits, la couche de glace est encore plus importante, atteignant son maximum dans la mer de Beaufort, au Nord de l'Alaska et au Groenland. Tout autour de la banquise côtière se trouve une succession de plates-formes de glace flottante. Comme l'Antarctique, la zone arctique, délimitée au sud par le cercle polaire, connaît des périodes d'obscurité permanente et des périodes de soleil de minuit.

Doc 4 : Soleil de minuit



L'océan lui-même est soumis à un climat extrêmement froid, dominé par de hautes pressions atmosphériques et par les vents d'Est qui en résultent et qui soufflent dans cette direction en suivant la rotation de la terre. En hiver, les températures oscillent en moyenne entre  $-40$  et  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tandis qu'en été elles dépassent rarement  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

On distingue trois zones climatiques : le climat de la banquise<sup>60</sup>, le climat polaire océanique et le climat polaire continental.

La banquise recouvre la majeure partie du Groenland, la plus grande île du monde. Elle contient environ 90 % de la glace terrestre de la partie Nord du globe. Presque tous les icebergs<sup>61</sup> présents dans l'hémisphère Nord sont originaires des glaciers du Groenland.

Doc 5 : Iceberg



Doc 6 : Banquise



- **Le climat polaire océanique** : il s'observe dans des régions où le Pacifique et l'Atlantique rejoignent l'océan Arctique. Le détroit de Béring, entre l'Alaska et la Sibérie, ne fait que 80 km de large. Les conditions climatiques y sont rigoureuses, mais moins que dans les régions polaires continentales. En hiver, les températures ne dépassent pas 0 °C et descendent parfois très bas. En été, elles peuvent monter jusqu'à 10 °C. La mer est prise par les glaces, sauf pendant trois mois de l'année au Sud du détroit.

Le Nord de l'océan Atlantique communique avec l'Arctique par un large bras de mer, au Nord-est de l'Islande, appelé mer du Groenland. L'influence des eaux de la dérive Nord-atlantique réchauffe la côte septentrionale de la Norvège qui est libre de glaces toute l'année. Dans cette région du Nord de la Russie, les températures dépassent parfois 0 °C.

- **Le climat polaire continental** : il affecte tout l'extrême Nord de l'Amérique et de l'Eurasie éloigné des eaux de l'océan Arctique. Les hivers sont interminables et le sol est recouvert d'un épais manteau neigeux une grande partie de l'année. En été, pendant un court répit, la fonte des neiges laisse place à une végétation éphémère.

- **Le climat subarctique** : au Sud de la toundra, commence la zone subarctique ou subpolaire dont la frontière est tracée par la limite de croissance des arbres. L'été, les températures avoisinent 10 °C pendant quatre mois, mais les hivers sont longs et rigoureux avec jusqu'à - 54 °C.

<sup>60</sup> **Banquise** : étendue marine ou côtière couverte par une couche de glace, résultant de la congélation de l'eau de mer, opérée entre -1 et -2 °C selon la salinité.

<sup>61</sup> **Iceberg** : bloc de glace d'eau douce dérivant sur la mer.

## II/ LA VÉGÉTATION

### Doc 7 : La toundra sur l'île de Baffin (Island)



La végétation des régions se nomme toundra<sup>62</sup> : elle se compose, entre autres, de fleurs et d'arbres nains, de mousses et de lichens. Ce n'est pas un milieu très aimé des humains. La faune polaire est surtout composée de manchots, d'ours blancs, communément appelés ours polaires, de rennes, de phoques, de caribous ainsi que de nombreux oiseaux migrateurs.

Les activités particulières des habitants de ce milieu sont surtout la pêche et la chasse. On y trouve également, sur la plate-forme continentale, des puits de forage de pétrole.

## III/ LES SOLS DES RÉGIONS POLAIRES

Dans les régions polaire, partout où le sol n'est ni rocheux, ni perpétuellement recouvert de neige ou de glace, les conditions climatiques déterminent des formes de sols très particulières. Les pierres grosses ou petites et les terres argileuses, au lieu d'être mélangées pêle-mêle et sans ordre, y apparaissent triées par grosseurs et groupées en arrangement caractéristiques. Des zones où sont rassemblées les plus grosses pierres alternent avec d'autre où n'est formé que de fines boues argileuses. Ainsi prennent naissances des sols d'un aspect si particulier qu'ils ont été remarqués de suite par tous les explorateurs polaires.

D'une manière générale, les sols des régions polaires sont très pauvres. En effet, l'absence de matières organiques et de chaleur entrave la formation d'humus. Le sol est gelé pendant la plus grande partie de l'année sur toute son épaisseur. Les glaciers occupent de larges surfaces.

<sup>62</sup> **Toundra** : formation végétale située dans les zones climatiques froides, polaires ou montagnardes, constituée d'une strate végétale unique principalement composée de graminées, de carex, de lichens, de mousses et de diverses variétés d'arbrisseaux.

## Leçon 20 : L'ORIGINALITÉ DES MONTAGNES ET DES LITTORAUX

Les montagnes et les littoraux sont des milieux originaux. Si les montagnes présentent de forts contrastes en fonction de la latitude, les milieux littoraux tiennent un rôle de plus en plus important dans la vie des hommes.

### I/ LES MILIEUX MONTAGNARDS

#### Doc 1 : Le mont Everest



Le milieu montagnard est créé par l'existence de la montagne. L'altitude provoque une raréfaction de l'air, un abaissement des températures et une augmentation des précipitations. La montagne modifie donc certaines des données climatiques régnant à plus basse altitude dans la région où elle est située.

La montagne est aussi un espace où les pentes très obliques posent des problèmes d'aménagement (généralement des terrasses) pour que l'homme puisse s'y installer et produire sa nourriture. Aujourd'hui le milieu montagnard redevient attractif grâce aux installations touristiques qui permettent l'accueil de vacanciers aussi bien l'été que l'hiver.

#### 1°) Les contraintes de l'altitude

- **La raréfaction de l'air** : l'altitude élevée est responsable de la raréfaction de l'air, ce qui contraint les organismes vivants à une adaptation (fabrication de plus de globules rouges afin de capter plus d'oxygène). Cette caractéristique est souvent utilisée dans la préparation physique des sportifs de haut niveau. Malgré cette difficulté pour respirer, des millions d'hommes vivent à de très hautes altitudes comme dans la Cordillère des Andes en Amérique du Sud ou sur les plateaux du Tibet en Asie.

- **La diminution des températures** : la température de l'air diminue avec l'altitude. On perd environ 0,6 °C par cent mètres en s'élevant en montagne. Dans les parties très hautes des montagnes les basses températures gênent ou interdisent la croissance des plantes. Le sol est gelé une grande partie de l'année, ce qui empêche l'enfoncement des racines et la mobilisation de l'eau nécessaire aux plantes. Mais aussi la trop basse température de l'air bloque l'évapotranspiration de la plante, phénomène naturel nécessaire pour que la plante puisse puiser les éléments nutritifs du sol. À partir d'une certaine altitude, variable selon les zones climatiques, la végétation, même herbeuse, n'existe plus et la vie animale est très réduite (cela correspond à l'étage rocheux de l'étagement de la végétation).

Cette caractéristique permet ainsi aux régions montagneuses équatoriales ou tropicales d'avoir un climat moins chaud que les régions basses qui les entourent. Cela favorise

l'agriculture et l'élevage (absence de la mouche tsé-tsé). Les hauts-plateaux équatoriaux de l'Est-africains bénéficient de ces possibilités. Il en est de même dans la Cordillère des Andes où vers 3500 mètres d'altitude, les Andes humides sont couvertes d'une prairie de graminées et les Andes sèches d'une steppe buissonneuse.

- **La diminution de la pression atmosphérique et ses conséquences** : avec l'augmentation de l'altitude, l'air est plus détendu (moins de pression) que l'air des basses altitudes. De ce fait il se refroidit. Ce qui provoque la condensation de la vapeur d'eau qu'il contient. Les précipitations sont donc plus fortes en montagne. Dès que les températures sont suffisamment basses, la pluie se transforme en neige. À très haute altitude et dans les creux, la neige s'accumule d'une année sur l'autre (neige persistante, appelée neige éternelle). Cela donne naissance à des glaciers qui peuvent déborder du cirque glaciaire (leur lieu de naissance) et descendre dans les vallées proches dont ils modifient le relief.

La variation de la pression de l'air en fonction de l'altitude a donné naissance au phénomène du *Föhn* dans les Alpes suisses ou du *chinook* à l'Est des montagnes Rocheuses aux États-Unis. Ce phénomène est aussi constaté dans l'Ouest de l'Argentine aux pieds de la Cordillère des Andes. Il s'agit d'un vent très chaud et très sec qui descend de la montagne proche (en descendant l'air se comprime, se réchauffe et en fait s'assèche). Ce vent provoque la fonte de la neige, mais peut déclencher des avalanches. Au printemps, il permet la sortie plus précoce des troupeaux enfermés pendant tout l'hiver dans les étables et il avance la montée vers les pâturages d'altitude.

- **Le régime des cours d'eau** : dans les montagnes des régions tempérées, les cours d'eau (torrents et rivières) sont gelés ou ont un débit réduit en hiver. Par contre dès le printemps, la fonte des neiges apporte de l'eau en quantité. Il en est de même en été avec la fonte des glaces (si elles existent dans le bassin hydrographique).

## 2°) Les contraintes de la pente

- **L'aménagement nécessaire** :

### Doc 1 : Aménagement de pentes rizicoles au Vietnam



Sur les pentes naturelles, l'eau s'écoule rapidement. Dans son mouvement, elle emporte une partie de la terre superficielle. Pour conserver l'eau tombée et une épaisseur suffisante à la terre afin de pouvoir cultiver ces pentes, l'homme doit les aménager. Il lui faut créer des terrains horizontaux perpendiculaires à la

pente afin de permettre à l'eau de pluie de s'infiltrer et non pas de s'écouler. Pour cela l'homme crée des terrasses. On peut en voir de superbes ensembles dans la Cordillère des

Andes (aménagement datant des civilisations précolombiennes) ou dans les montagnes de l'Asie des moussons où se pratique la riziculture.

- **Différences selon l'orientation par rapport au réchauffement solaire** : en fonction de l'orientation des vallées, les possibilités offertes à l'homme sont différentes selon les versants. Dans le cas des vallées orientées Est-ouest, le versant exposé au Nord (donc qui se situe au Sud de la vallée) n'est jamais face au soleil. Il y fait donc plus froid que sur le versant exposé au Sud (c'est-à-dire le versant Nord de la vallée) qui est au soleil toute la journée. Les étages de végétation sont donc plus bas sur le versant exposé au Nord. Souvent sur ce versant la forêt atteint le fond de la vallée, ce qui rend ce versant impropre à l'agriculture. Dans les Alpes on appelle *adret* le versant exposé au Sud et *ubac* le versant faisant face au Nord.

- **La difficulté de l'utilisation du matériel agricole moderne en montagne** : les champs en terrasses sont généralement de petites dimensions, donc l'utilisation du matériel agricole motorisé est handicapée par les nombreux allers-et-retours dans la parcelle cultivée et la perte de temps et d'espace nécessaire pour faire tourner trop souvent la machine. De plus, y amener du gros matériel agricole pose un problème de circulation sur les pentes. Dans les pays développés, la culture moderne abandonne les montagnes parce qu'elle est trop coûteuse par rapport à celle pratiquée dans les plaines ou les plateaux.

N'y subsiste que l'élevage pour la viande ou pour le lait. Celui-ci peut tirer profit des prairies d'altitude (les « alpages ») où les animaux passent une partie de l'année. De plus il ne nécessite presque pas de matériel.

- **La pente peut favoriser la production d'énergie d'origine hydraulique** :

**Doc 2 : Des conduites forcées alimentant une usine hydroélectrique en Aragon (Espagne)**



On peut profiter de la différence d'altitude entre les régions les plus hautes (où il peut y avoir des glaciers) et le bas des vallées. On peut capter l'eau de fonte des glaciers et l'acheminer vers le bas au moyen de conduites forcées. L'eau arrive en bas à très grande vitesse et peut alors mettre en mouvement les turbines

d'usines hydroélectriques. La production à bas prix et sans transport de l'électricité a favorisé l'implantation d'industries gourmandes en énergie dans certaines vallées montagnardes. C'est grâce à cette possibilité que l'Italie, dépourvue de charbon mais disposant des Alpes, a pu devenir, dans un premier temps dans le Nord, un pays industriel.

## - Les aménagements touristiques en altitude :

### Doc 3 : Une station de ski dans le Tyrol en Autriche



Dans les pays développés, la présence des hommes en montagne a été sauvée par l'introduction des sports d'hiver. Plus on est haut, plus l'enneigement est précoce et abondant. Ce qui garantit une longue saison de tourisme. De plus la variété des pentes disponibles permet d'offrir des parcours à toutes les catégories de skieurs adeptes du ski alpin.

On a donc équipé les montagnes de stations de ski, ce qui a permis aux agriculteurs de vendre leurs terrains et de trouver un emploi (bien souvent saisonnier) dans les diverses installations ou dans l'encadrement sportif des skieurs. Le boom sur l'*or blanc* a poussé des villages d'altitude moyenne à créer des stations.

Cependant, le changement climatique (et surtout le réchauffement) risque de leur poser un problème de raccourcissement de la durée de l'enneigement et d'épaisseur insuffisante de la neige. Ce qui sera un handicap sérieux pour attirer suffisamment de touristes capables de rentabiliser les coûts de construction et de fonctionnement des installations et du parc hôtelier.

## II/ LES ESPACES LITTORAUX

Plus de 60 % de la population mondiale vit sur les espaces littoraux, c'est-à-dire les espaces qui subissent directement ou indirectement les actions de la mer. Ces espaces de contact entre la terre et la mer sont soumis à de très fortes pressions : urbanisation croissante, développement des activités portuaires et industrielles, essor du tourisme, ... Ces occupations entrent parfois en concurrence, s'opposent pour défendre leurs intérêts, ce qui suscite une grande tension entre utilisateurs.

### 1°) Une littoralisation des hommes et des activités

- **Des espaces naturellement attractifs** : un littoral est une interface, un espace linéaire marquant le contact entre deux espaces de nature différente : ici l'espace terrestre et le domaine maritime. Cette originalité confère aux régions côtières une attractivité réelle. Elle facilite les circulations transversales (flux humains ou de marchandises), mais aussi longitudinales par le cabotage (circulation de bateaux le long des côtes).

Même si tous les littoraux ne sont pas des espaces moteurs, beaucoup d'entre eux attirent les hommes qui s'y installent. Les activités économiques se développent. On parle de littoralisation des populations et des activités. Ceci pose le problème de l'équilibre entre

l'indispensable développement économique de ces espaces et la préservation des milieux naturels.

- **Une concentration des populations** : l'observation d'un planisphère sur la répartition des populations rend compte de cette attraction du littoral : les grands foyers de peuplement occupent en grande partie des espaces côtiers.

En Asie orientale, premier foyer de peuplement de la planète, les populations se concentrent en particulier sur le littoral de la Chine orientale. Cette attraction du littoral est particulièrement sensible au Japon également, entre Tokyo et Fukuoka. L'Asie du Sud, le continent européen, le Nord-est des États-Unis ou le Sud-est du Brésil offrent de la même manière une place privilégiée aux littoraux dans le peuplement. L'urbanisation y est particulièrement marquée : seize des vingt-trois plus grandes agglomérations de la planète sont situées sur le littoral.

- **Un développement des activités économiques** :

#### Doc 4 : Le port de Rotterdam



Avec l'accélération de la mondialisation et le développement des échanges maritimes, le rôle économique des littoraux s'est accru. Certaines façades maritimes, en particulier dans l'hémisphère Nord, ont vu se développer de vastes complexes industrialo-portuaires.

Il s'agit d'espaces portuaires réservés aux activités industrielles et commerciales ainsi qu'au stockage des marchandises. Celui de Rotterdam, deuxième port mondial après Singapour, aligne 35 km de quais tous équipés pour recevoir des navires qui ont jusqu'à 12 m de tirant d'eau. Ces zones industrialo-portuaires ont tendance à s'étendre sur la mer par le système des *polders*, étendues de terre gagnées sur la mer par endiguement et drainage. C'est le cas à Rotterdam avec Maasvlakte en aval du port, ainsi que le long du littoral de la mégalopole japonaise dans les baies de Tokyo, Nagoya ou d'Osaka-Kobe.

#### 2°) Le tourisme dans les environnements littoraux

De la contemplation à la consommation, les activités ludiques liées à la proximité de la mer et de la plage restent des plus plébiscitées parmi lesquelles la baignade, le farniente ou encore la pratique des sports et loisirs nautiques renouvelés. Aussi, depuis le développement du tourisme balnéaire de masse au lendemain de la seconde guerre mondiale, les touristes contribuent-ils à faire du littoral un espace tant convoité.

**Doc 5 : La côte d'Azur (France)**

Si le tourisme n'apparaît pas, au premier abord, comme une activité susceptible de dégrader l'environnement comme les productions industrielles classiques, il n'en demeure pas moins que les relations que le tourisme entretient avec les environnements (naturels et humains) sont complexes, contradictoires, paradoxales. En effet, le tourisme ne cesse de se

développer dans des confins littoraux et insulaires. Il convoite particulièrement les espaces périphériques, longtemps isolés des logiques économiques dominantes, qui ont su préserver des ressources naturelles et culturelles particulièrement attractives de nos jours.

Les littoraux insulaires et continentaux sont particulièrement convoités et font l'objet d'une urbanisation croissante, entre inflation et spéculation immobilière.

**Doc 6 : Urbanisation de Matalascañas (Andalousie)**

Les enjeux économiques autour du tourisme sont colossaux à plusieurs titres. Sur le plan macro-économique, le tourisme connaît globalement une croissance soutenue et qui demeure honorable en période de crise : plus de 1 milliard d'individus ont participé au tourisme international en 2011 (OMT) et probablement 2 milliards

supplémentaires dans le cadre du tourisme domestique.

Sur le plan économique, cela signifie 1200 milliards de dollars américains de transaction financière, soit une dépense quotidienne de 3,4 milliards de dollars américains.

Mais la forte concentration urbaine, si elle n'est pas maîtrisée, a un effet très important sur le milieu marin par la destruction des habitats, les rejets de matières plastiques et toxique, et de déchets de toutes sortes, les pollutions par déversement direct ou par lessivage du sol pendant les pluies, auxquels il faut ajouter, dans les pays où le manque d'eau est croissant, l'impact des stations de désalinisation.

**Doc 7 : Pollution en méditerranée****Doc 8 : Avancée de la mer à Saly (Sénégal)****Doc 9 : Les villes côtières de l'Afrique de l'Ouest menacées de disparition**

Une réunion de validation d'une étude diagnostic régionale de « Suivi du trait de côte et élaboration d'un schéma directeur du littoral Ouest-africain » a réuni des ministres en charge de l'Environnement et experts de 11 pays de l'Afrique de l'Ouest à Dakar du 16 au 19 mai dernier. Cette étude ... montre que toutes les villes côtières de la sous-région risquent de disparaître d'ici l'an 2100, si rien n'est fait, du fait de plusieurs facteurs dont l'érosion côtière, la pression démographique et l'activité socio-économique sur le littoral, l'avancé de la mer et la changement climatique.

La frange littorale constitue le support de l'avenir démographique et économique des États côtiers du fait de la forte concentration humaine et de ressources, et de potentialités qu'elle offre. Selon une étude de suivi du trait de côte, une réflexion prospective démo-économique (2030 et 2050) conduite à partir des méthodes utilisées pour l'étude Waltps (West Africa long term perspective study), montre que le littoral Ouest-africain (qui a été considérée ici sur une frange de 25 km en profondeur) rassemble aujourd'hui 31 % de la population totale et 51% de la population urbaine des États côtiers.

Toutes les capitales administratives et/ou économiques y sont implantées. Le niveau d'urbanisation y est plus de deux fois plus élevé que dans l'hinterland ... Certaines zones restent inoccupées. Cette frange littorale concentrerait aujourd'hui environ 56 % du PIB (Produit intérieur brut) total des pays côtiers ... Ces données moyennes doivent toutefois être relativisées s'il s'agit de caractériser cet ensemble côtier qui reste d'abord marqué par ses forts contrastes. Seulement, cette étude qui concerne 11 pays côtiers de l'Afrique de l'Ouest à savoir la Mauritanie, le Sénégal, la Gambie, la Guinée Bissau, la Guinée, la Sierra Leone, le Liberia, la Cote d'Ivoire, le Ghana, le Togo et le Bénin révèle que l'Afrique de l'Ouest figure parmi les régions les plus vulnérables au monde à cause de la morphologie des côtes et du manque de stratégie efficace de lutte contre l'érosion côtière. Ce qui fait que d'ici à l'an 2100, toutes les villes côtières de la l'Afrique de l'Ouest risquent d'être englouties par l'océan du fait de l'érosion côtière et l'avancée de la mer, si rien est fait ...

Source : Sud Quotidien du 25 mai 2011

**RESSOURCES DOCUMENTAIRES**

- A. Charbonnel, "Synthèse sur les projections cartographiques simples".
- André Allix, "Théorie et pratique du relief terrestre", Revue de Géographie de Lyon.
- Barbara Romanowicz, "Structure et dynamique du système Lithosphère/Asthénosphère", Cours, collège de France.
- Ch. P. Peguy, "Précis de climatologie", Paris, Masson.
- Émilie Gauthier, "Cours de paléoclimatologie".
- Géographie du temps présent, seconde, Hachette classique.
- Géographie seconde, Hachette éducation.
- INSA Toulouse, "Structure du globe terrestre", Sciences de la vie et de la terre, 2<sup>e</sup> année de l'enseignement secondaire.
- L. Borrel et Yann Esnault, "Circulation générale de l'atmosphère".
- Laurent Jolivet, "La tectonique des plaques : une approche historique", Cours de classe de 1<sup>ère</sup> S.
- Mamadou Moustapha Fall, "Fascicule de Géographie seconde", Lycée de Yeumbeul, Dakar.
- Max Derrau, "Les formes de relief terrestre", Armand Colin, 8<sup>e</sup> édition.
- Max Derrau, "Précis de géomorphologie", Paris, Masson.
- Pierre Le Hir et Ricardo Silva Jacinto, "Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau", Presses de Cloîtres Imprimeurs.
- Pilar Lorengar, "La représentation de la terre", Histoire-Géographie, section bilingue.
- Roger Coque, "Géomorphologie", Armand Colin.

SITOGRAPHIE

- [amazon.fr](http://amazon.fr)
- [armand-colin.com](http://armand-colin.com)
- [astronomes.com](http://astronomes.com)
- [astronomie.haplosciences.com](http://astronomie.haplosciences.com)
- [changement-climatique.fr](http://changement-climatique.fr)
- [commentcamarche.net](http://commentcamarche.net)
- [cosmovisions.com/courants](http://cosmovisions.com/courants)
- [developpement-durable.gouv.fr](http://developpement-durable.gouv.fr)
- [eduterre.ens.lyon.fr](http://eduterre.ens.lyon.fr)
- [enseignons.be/upload/secondaire](http://enseignons.be/upload/secondaire)
- [etudierautrement.com](http://etudierautrement.com)
- [forumsinfoclimat.fr](http://forumsinfoclimat.fr)
- [fr.fr.topographic-map.com](http://fr.fr.topographic-map.com)
- [futura-sciences.com](http://futura-sciences.com)
- [global-climat.com](http://global-climat.com)
- [greenfacts.org](http://greenfacts.org)
- [la.climatologie.free.fr](http://la.climatologie.free.fr)
- [latmosphere.fr](http://latmosphere.fr)
- [lemonde.fr](http://lemonde.fr)
- [le-système-solaire.net](http://le-système-solaire.net)
- [macarte.ca/topographie](http://macarte.ca/topographie)
- [marée.info](http://marée.info)
- [materre.fr](http://materre.fr)
- [maxisciences.com](http://maxisciences.com)
- [meteofrance.com](http://meteofrance.com)
- [meteolafleche.com](http://meteolafleche.com)
- [meteonature.com](http://meteonature.com)
- [monde-diplomatique.fr](http://monde-diplomatique.fr)
- [mongosukulu.com](http://mongosukulu.com)
- [nom-des-nuages.perso.sfr.fr](http://nom-des-nuages.perso.sfr.fr)
- [notre-planete.info/terre](http://notre-planete.info/terre)
- [persee.fr/geo](http://persee.fr/geo)
- [support-edugeo.ign.fr](http://support-edugeo.ign.fr)
- [universalis.fr](http://universalis.fr)