

DYNAMIQUE DES MASSES CONTINENTALES ET CONSEQUENCES PALEOGEOGRAPHIQUES

Evolution des circulations océaniques et atmosphériques, évolution des climats, répartition des êtres vivants

1. POSITION DU PROBLEME

L'hypothèse de la non fixité des continents a été émise à partir d'arguments purement géographiques: les cartographes ont remarqué depuis longtemps que les côtes des deux cotés de l'Atlantique se correspondaient comme un puzzle, en particulier celles de l'Afrique et de l'Amérique du Sud. En 1858, SNIDER-PELLEGRINI suggérait que l'Atlantique avait été formé à partir de la rupture d'un grand continent.

La répartition des êtres vivants a fourni un autre argument. Les ressemblances existant entre les faunes actuelles de Madagascar et de l'Inde ont conduit SUESS, vers la fin du siècle dernier, à supposer que ces terres avaient été reliées par des ponts continentaux qui s'étaient ensuite effondrés dans l'océan.

La similitude des fossiles végétaux trouvés dans les dépôts de charbon permo-carbonifère de l'Inde, de l'Afrique du Sud, de l'Australie et de l'Amérique du Sud, puis de l'Antarctique, ont confirmé à SUESS l'existence de "ponts continentaux" reliant jadis des régions en un seul continent appelé continent de Gondawana, d'après le nom d'une localité indienne ayant fourni la flore typique à *Glossopteris*.

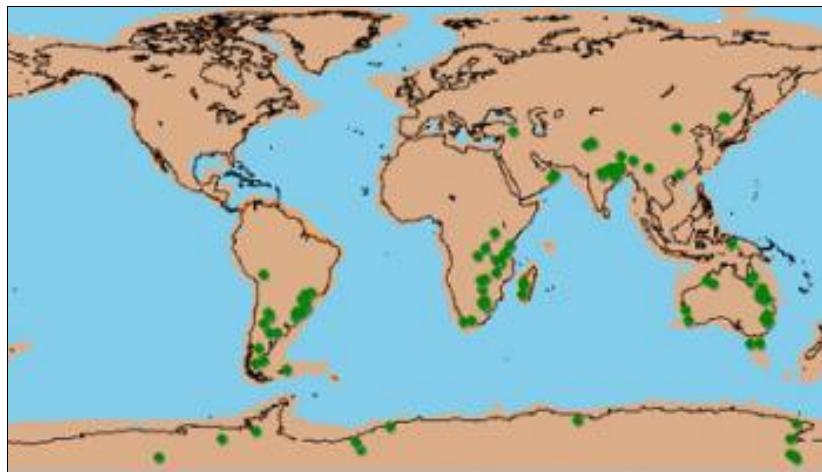


Fig. 1 Répartition de la flore à Glossopteris sur une carte actuelle (d'après STANLEY).

En 1908, TAYLOR proposait comme hypothèse que les régions possédant la flore à *Glossopteris* constituaient au Permo-Carbonifère une seule masse continentale; celle-ci avait ensuite été cassée en plusieurs parties qui avaient dérivé à la surface du globe jusqu'à leur position actuelle. Il suggérait également que la ride médio-atlantique découverte par les campagnes océanographiques marquait l'emplacement d'une ancienne ligne de rupture.

WEGENER, en 1915, reprit et développa cette hypothèse avec de nouveaux arguments d'ordre géographique, faunistique et floristique. A la fin du Paléozoïque existait un unique continent, la Pangée, qui aurait été ensuite morcelé

en plusieurs fragments qui se seraient éloignés. Il éliminait la possibilité des ponts continentaux qui, formé de croûte continentale légère, n'auraient pu s'enfoncer dans la croûte océanique plus dense. L'hypothèse de WEGENER, qui n'était même pas géologue ou géophysicien, fut vivement combattue par la communauté scientifique. Elle fut en revanche complétée par DU TOIT, un géologue sud-africain, avec des arguments stratigraphiques, biologiques et en plus paléoclimatiques.

Certains vers de terre ne sont connus qu'au Sud de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, d'autres au Sud de l'Inde et de l'Australie: il est difficile d'expliquer cette distribution par des migrations. La répartition de la flore à *Glossopteris* s'explique parfaitement si on rapproche en une seule masse les régions qui la possèdent; en revanche, la taille des grains de pollen, en particulier ceux de *Glossopteris*, est trop grande pour permettre une dispersion éolienne au dessus des océans actuels si on adopte la position fixiste. Autre argument paléontologique, les fossiles du reptile aquatique *Mesosaurus*, ne sont connus qu'au Brésil et en Amérique du Sud dans des milieux réducteurs d'eau douce (black shales) d'âge permo-carbonifère: dans le cas où ces deux régions occupaient la même place qu'aujourd'hui, il est difficile d'imaginer que ces animaux aient traversé toute la largeur de l'Atlantique et trouvé le même biotope de l'autre côté.

La série stratigraphique du Carbonifère au Jurassique montre des similarités remarquables dans les différentes provinces du continent de Gondwana. En Afrique du Sud, au Brésil, en Antarctique et en Inde, elle débute par une tillite et se poursuit par des shales à charbon contenant la flore à *Glossopteris*. Des séries rouges, principalement triasiques, sont surmontées par des coulées basaltiques jurassiques.

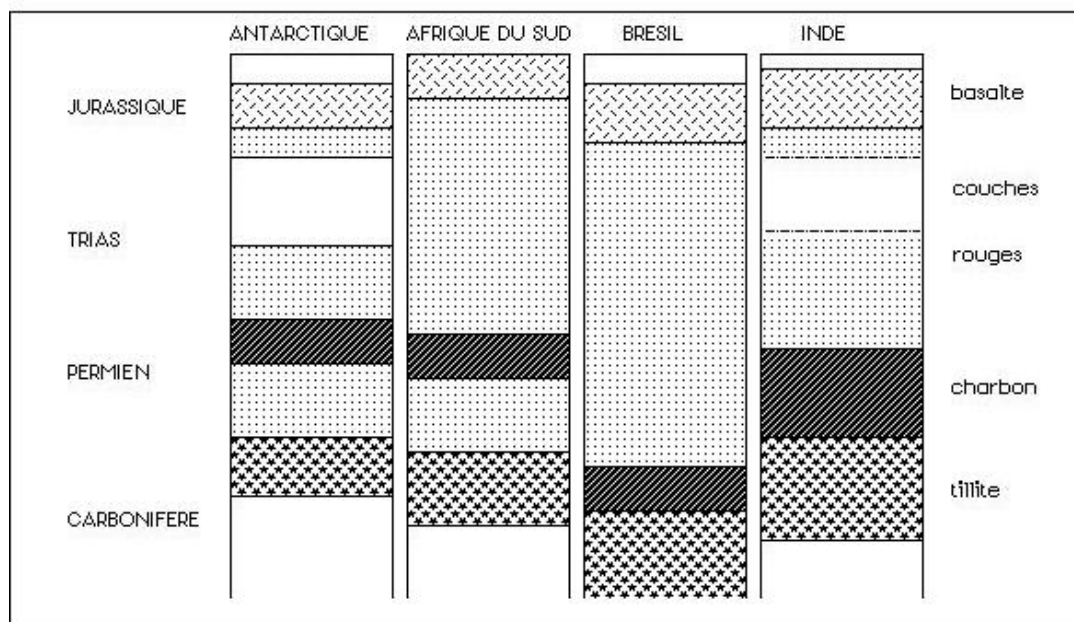


Figure 2 : colonnes stratigraphiques simplifiées en différentes parties du continent de Gondwana.

La présence généralisée de tillites constitue un autre argument de type paléoclimatique. Le continent de Gondwana au Permo-Carbonifère a subi une période glaciaire: sa position était plus proche du pôle. D'autre part, le trajet des glaciers, déduits des striations laissées sur les roches du substratum, exclut l'existence d'un océan entre les différentes provinces.

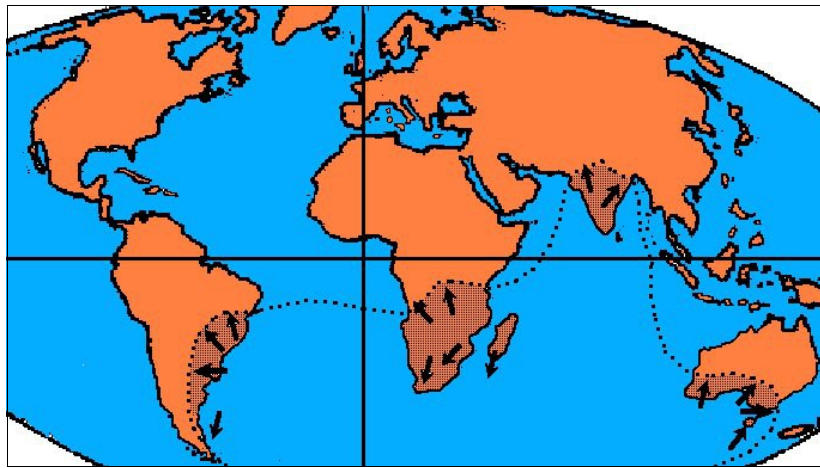


Fig. 3 : Répartition de la glaciation fini-paléozoïque sur une carte actuelle et sens de déplacement des glaciers. Si les continents n'étaient pas réunis, les glaciers d'Afrique du Sud, Inde et Australie sembleraient provenir de l'océan, ce qui est absurde (d'après STANLEY).

Enfin, DU TOIT remarqua que les structures tectoniques des différentes provinces sont en continuité quand ces provinces sont réunies en un seul continent.

Malgré tous ces arguments, le scepticisme de la communauté scientifique resta de règle jusqu'à dans les années 60. Les objections étaient de deux sortes:

- les observations géophysiques montraient que les continents considérés comme des radeaux légers ne peuvent pas se déplacer sur la croûte océanique qui est dense et rigide. L'ensemble croûte continentale + croûte océanique constitue tout comme l'atteste la continuité du Moho.
- le moteur de ces mouvements demeurait inconnu; WEGENER invoquait l'action de la rotation de la Terre. Cependant certains avaient déjà pensé à l'action des courants de convection dans le manteau.

Il fallut attendre le raffinement des techniques de mesures du paléomagnétisme et une meilleure connaissance de la structure de la croûte océanique pour relancer le débat. En 1962, HESS, océanographe, publia une contribution non conformiste, portant d'ailleurs en sous-titre le terme de "géopoésie". L'idée principale était que l'ensemble de la croûte pouvait se déplacer. Il utilisait comme argument la profondeur des monts sous-marins ("guyots"), l'âge maximal de la croûte océanique, la structure des dorsales médio-océaniques et reprenait l'hypothèse des courants de convection mantellique. Un an plus tard, la cartographie des anomalies magnétiques du fond des océans confirmait l'hypothèse de l'expansion océanique. La tectonique des plaques prenait forme.

Suite à cet historique, on voit que la mobilité des continents a d'abord été pressentie à partir de ses conséquences de type paléogéographique, paléoclimatique et paléobiogéographique. Le déplacement des masses continentales agit sur la répartition des terres et des mers, sur les modifications du climat, sur la répartition et l'évolution des êtres vivants.

2. DEPLACEMENT DES MASSES CONTINENTALES

2.1 Méthodes d'étude

La limite des continents actuels est marquée, non par la ligne de côte, mais par la bordure de la plate-forme continentale. Des océans profonds séparent les plate-formes continentales. A certaines périodes, comme au Jurassique et au Crétacé, les eaux marines se sont étendues largement sur les continents pour former des mers épicontinentales peu profondes, comme la Mer du Nord ou la Manche actuellement.

La paléolatitude des masses continentales à différentes époques peut être déterminée par la magnétisation des roches à leur formation. Les mesures de paléomagnétisme montrent en effet que les pôles ont migré au cours de l'histoire de la Terre, plus exactement que les masses continentales se sont déplacées par rapport aux pôles magnétiques. Le champ magnétique terrestre est enregistré dans une roche et peut être ensuite lu comme celui de l'aiguille d'une boussole. Celle-ci donne non seulement la direction mais également l'inclinaison du champ magnétique par rapport à

l'horizontale du lieu. Cette inclinaison est d'autant plus faible qu'on se trouve proche de l'équateur. Ainsi les mesures de paléomagnétisme donneront à la fois la direction du pôle magnétique de l'époque et la distance de la roche au pôle (paléolatitude). Néanmoins, elles ne donneront aucune indication sur la paléolongitude.

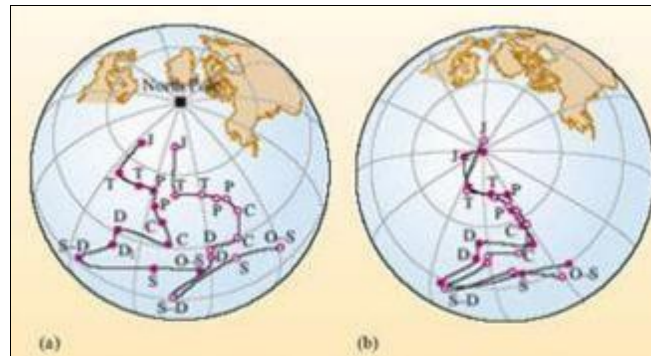


Fig. 4 : Déplacement apparent du pôle magnétique à partir des mesures faites en Amérique du Nord (cercles pleins) et en Europe (cercles vides). (a), traces du déplacement avec les continents à leur place actuelle. (b), continents juxtaposés selon la théorie mobiliste: les deux traces coïncident du Silurien au Jurassique (d'après Mussett & Khan, 2000, in Open University). Légendes : J: Jurassique P: Permien D: Dévonien S: Silurien O: Ordovicien

Cette méthode a permis de reconstituer le déplacement apparent du pôle magnétique de l'ère primaire à l'ère secondaire. Les trajets coïncident lorsqu'on réunit l'Amérique du Nord à l'Europe. Néanmoins l'utilisation du paléomagnétisme souffre de nombreuses limitations et n'est pas suffisante pour situer la position de toutes les masses continentales aux différentes époques: toutes les roches ne sont pas magnétisées, d'autres peuvent avoir subi des remagnétisations à la suite d'événements thermiques et perdre leur information originale, la paléolatitude enfin n'est pas indiquée. Il faut avoir recours aux données plus traditionnelles fournies par la paléontologie, la paléobotanique et la paléoclimatologie.

2.2 La disposition des continents depuis la fin du Paléozoïque

Ce n'est qu'à partir du Silurien que l'on a une bonne idée de la distribution des continents. Le continent de Gondwana était déjà individualisé autour du pôle Sud. Suite à l'orogénèse calédonienne, l'Europe et l'Amérique du Nord étaient réunies et proches de l'équateur. La Sibérie et la Chine constituaient des continents séparés.

A la fin du Carbonifère, le continent de Gondwana s'unit au continent euraméricain pour former un énorme continent s'étendant de l'Alaska au Nord à l'Australie au Sud.





Figure 5 : disposition simplifiée des masses continentales du Paléozoïque (Carbonifère) au début du Tertiaire (Eocène).

(d'après V.Battaglia, http://www.dinosoria.com/tectonique_plaque.htm)

Au Permien, il subit la collision de la Sibérie, donnant naissance à l'Oural, puis de la Chine pour former un unique supercontinent, la Pangée.

Au cours du Trias, la Pangée commence à éclater. Le continent de Gondwana se détache et dérive vers le Sud en se morcelant. des mers épicontinentales pénètrent profondément à travers l'Amérique du Nord et l'Asie.

A la fin du Crétacé, l'Est de l'Amérique du Nord est connectée à l'Europe par le Groenland tandis que l'ouest est en relation avec l'Asie; l'Afrique et l'Inde sont individualisées mais l'Amérique du Sud est encore reliée à l'Antarctique et à l'Australie. La Tethys sépare l'Afrique de l'Europe et l'Asie.

Au Cénozoïque, la distribution des continents prend l'allure actuelle. L'Atlantique Nord s'ouvre, l'Australie se sépare de l'Antarctique et migre vers le Nord, l'Inde entre en collision avec l'Asie, l'Afrique se rapproche de l'Europe et la Téthys se ferme en partie: la Méditerranée en est un témoin.

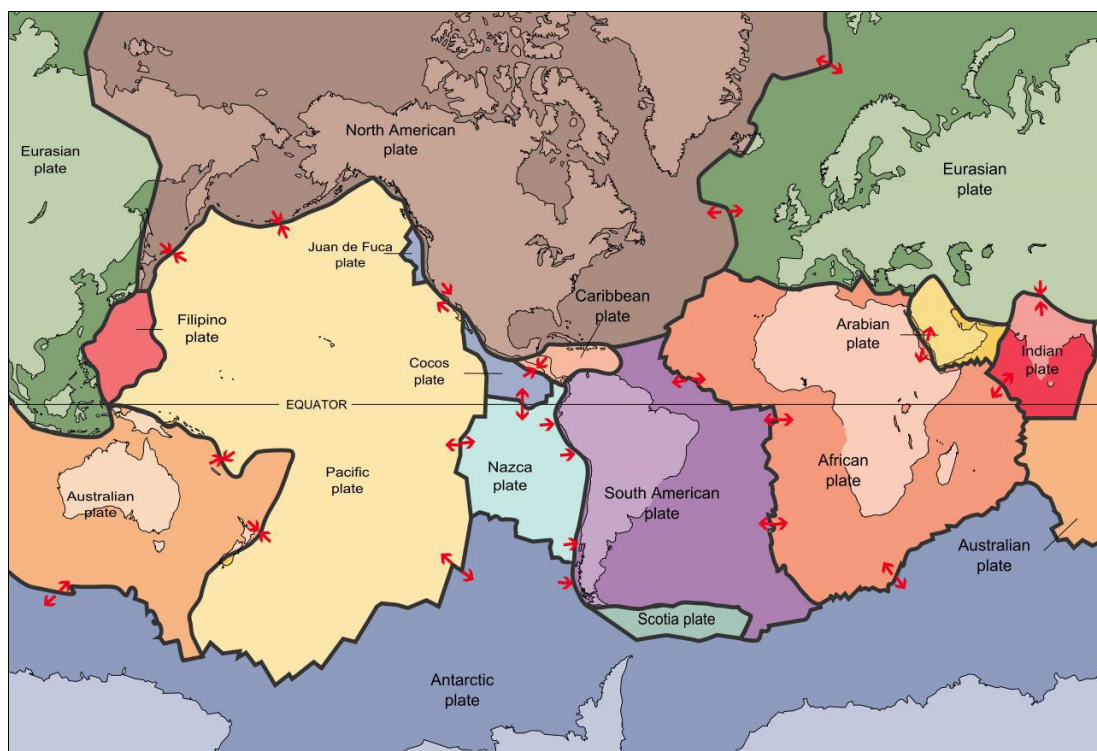


Figure 6 : Répartition actuelle des plaques tectoniques (source : Wikipedia).

On voit qu'au cours de cette évolution, les zones continentales restent les mêmes, mais elles se séparent, se réunissent ou sont recouvertes partiellement par des mers épicontinentales. De nouveaux domaines océaniques se créent à la séparation des continents (cas de l'Atlantique Sud par exemple), d'autre disparaissent par collision continentale et laissent comme traces des chaînes de montagne (Himalaya, Oural...)

2.3 Pangée et Continent de Gondwana

La notion de Pangée date du siècle dernier. SUESS en particulier avait déduit des observations stratigraphiques et paléontologique que les aires continentales étaient réunies en un seul super continent à la fin du Paléozoïque. Néanmoins, les caractères de la flore et de la faune restaient distincts dans l'ancien continent de Gondwana, ce qui laisse supposer l'existence d'une barrière entre celui-ci et les parties septentrionales formant la Laurasie. Cet obstacle aux migrations des faunes terrestres et à la dissémination des spores, graines et pollens peut être un désert, une chaîne de montagne ou un océan. Des auteurs ont généralement favorisé l'hypothèse d'un large espace océanique oriental, la Téthys, s'enfonçant dans la Pangée et isolant le Gondwana des provinces eurasiatiques.

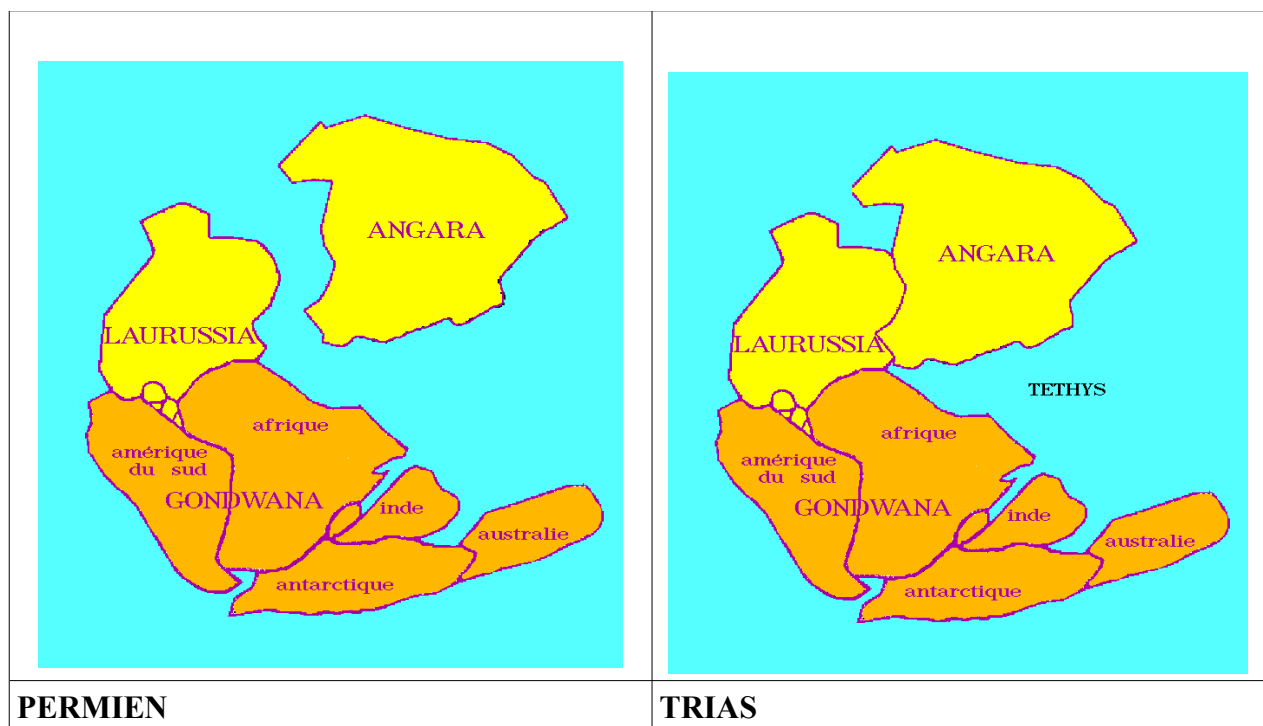


Figure 7 : Regroupement des continents au début du Secondaire en un seul continent, la Pangée. Dans cet assemblage, l'océan mondial envoie un large prolongement dans la masse continentale, la Téthys.

Néanmoins cet espace océanique est remis en question au Permien terminal par la distribution d'un reptile mammalien thérapside, du genre Diictodon. Ce genre fossile terrestre est considéré comme monophyllétique; il est connu en Afrique du Sud et en Chine. Cette répartition très disjointe d'une forme franchement terrestre implique une relation continentale directe entre ces deux régions au Permien terminal ou avant, ou au moins que l'espace océanique paléotéthysien soit suffisamment étroit pour que la distance Chine-Afrique du Sud puisse avoir été franchissable par Diictodon. Le même problème se pose au Trias inférieur avec la répartition de Lystrosaurus, un autre Thérapside. Les représentants de ce genre, considéré comme monophyllétique, ont été trouvés en Afrique du Sud, Antarctique, Inde, plate-forme russe, Chine et Laos (douteux).

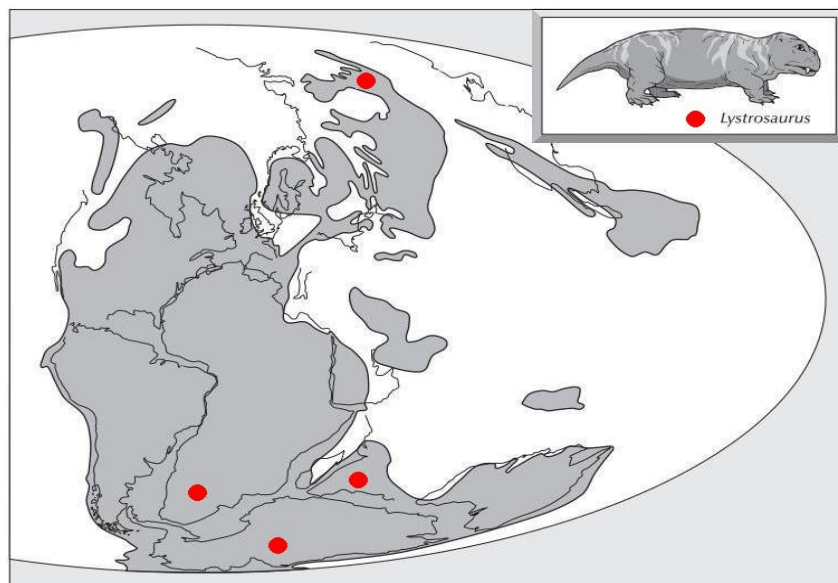


Fig. 8 : Répartition du reptile *Lystrosaurus* au début du Trias (d'après R.J. Hugget, 2004).

Les Lystrosaures, à mode de vie semi-aquatiques, auraient migré entre le Gondwana et la Chine en passant par le Sud Est asiatique qui formait un archipel. Dans cette hypothèse qui utilise la reconstitution paléogéographique d'Owen (1983), l'aire marine qui sépare l'Afrique de l'Eurasie n'est plus une Téthys à croûte océanique mais une simple mer épicontinentale (à croûte continentale) située au sein d'une Pangée compacte et communiquant à l'Est avec l'océan mondial. Cette reconstitution permet également d'expliquer la répartition d'autres groupes de Vertébrés triasiques comme les Dipneustes connus en Eurasie et au Gondwana mais absents en Sibérie et dans les Amériques.

Au Trias supérieur-Jurassique basal, la plupart des familles de Dinosaures ont été récoltés d'une part en Laurasie au Nord (Amérique du Nord-Europe Occidentale-Maroc), d'autre part en Gondwanie au Sud (Amérique du Sud-Afrique du Sud-Inde) avec quelques formes en Chine. Ces animaux franchement terrestres ont dû migrer le long des rivages de la Téthys en passant par l'Asie du Sud Est.

La répartition des groupes végétaux au Trias supérieur montre une flore bien individualisée au sud du paléo-équateur tandis que 4 provinces floristiques peuvent être distinguées en Laurasie. Les échanges floristiques observés entre l'Asie du Sud Est et l'Australie peuvent être expliqués par la proximité de ces deux régions. L'espace téthysien était moins vaste que le prévoient les reconstitutions classiques comme dans la figure 7: en effet des microflores caractéristiques de la Laurasie ont été découvertes dans les bassins gondwaniens bordant la Téthys (Pakistan, Inde, Madagascar, Australie de l'Ouest).

En conclusion, la continent de Gondwana, même s'il est bien caractérisé par sa flore, apparaît à la fin du Paléozoïque comme étroitement associé aux continents septentrionaux en une Pangée compacte. La reconstitution paléogéographique proposée par OWEN à partir du Tris permet de situer les voies de migration des vertébrés l'Est, au niveau des îles du Sud Est asiatique plutôt qu'au travers de l'Afrique. La Téthys ne semble pas être une large étendue océanique mais plutôt une mer épicontinentale plus réduite pouvant être franchie à l'Est par les faunes continentales et par les pollens.

3. EFFETS DE LA DERIVE SUR LES CLIMATS

Le climat en un lieu dépend notamment de sa latitude, de sa distance à la mer et de son altitude. L'évolution de ces facteurs est liée à la tectonique des plaques: dérive des continents et mouvement relatif des pôles, expansion des fonds océaniques, mouvements verticaux orogéniques et épiorogéniques, activité volcanique.

3.1 Position et fragmentation des continents

Le déplacement des continents à la surface du globe change leur position par rapport aux pôles et à l'équateur:

la répartition de l'énergie solaire change, les circulations atmosphériques et océaniques réalisant les échanges thermiques entre les différents points de la surface sont modifiées. Une région peut ainsi traverser plusieurs zones climatiques lors de la dérive. Ainsi, au Permien et au Trias, le climat de l'Europe occidentale était plus chaud et sec comme l'attestent les énormes quantités d'évaporites déposées, sel du Zechstein sur l'Allemagne et la Mer du Nord, gypse du Keuper): l'Europe occidentale était alors beaucoup plus proche de l'équateur. Les glaciations fini-Protérozoïques du Sahara sont expliquées par la position du centre de l'Afrique au niveau du pôle Sud. Une des causes de l'extension des glaciers à la fin du Cénozoïque en Amérique du Nord et en l'Europe a été la dérive vers le Nord de ces continents. L'aridité progressive du climat de l'Australie au cours du Cénozoïque s'explique par la dérive de ce continent vers le Nord.

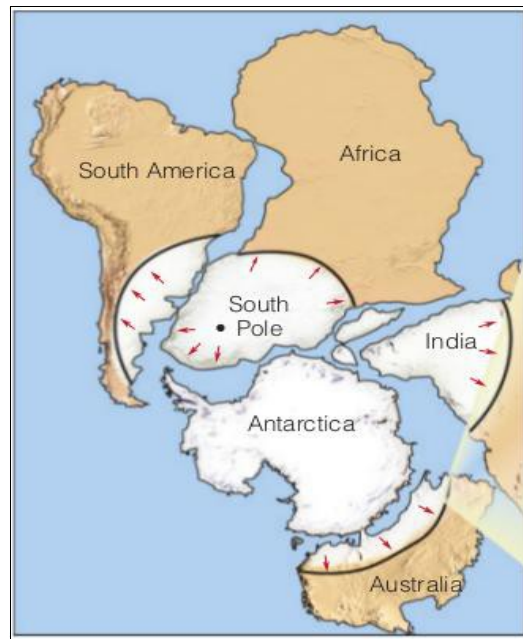


Figure 9: répartition des glaciers au Permo-Carbonifère sur le continent de Gondwana (d'après Wincander & Monroe, 2016).

La fragmentation des continents et la répartition des aires océaniques ou épicontinentales a également une action sur la production et la distribution de l'air humide sur les continents. Une énorme masse continentale est soumise à des climats stables de type continental (comparer avec les climats de la Sibérie actuelle). Des terres dispersées dans une étendue marine reçoivent plus d'humidité, les conditions météorologiques sont plus variables (exemple actuel des Iles Britanniques).

La vitesse de génération de la croûte océanique est l'une des causes des ingressions des eaux marines sur les continents. Une accélération du fonctionnement des dorsales diminue le volume océanique disponible: les eaux envahissent les zones basses des continents en format des mers épicontinentales. Ces étendues d'eau supplémentaires apportent plus d'humidité aux terres voisines.

La dérive des continents est également le moteur de l'orogénèse. Lors de la rencontre de deux plaques, les bordures en compression s'élèvent, une zone haute se crée qui modifie la circulation atmosphérique. Le soulèvement des continents contribue à augmenter la continentalité du climat et diminuer la température. On peut remarquer que les glaciations du Permo-Carbonifère au Sud de l'Afrique et du Quaternaire en Europe et Amérique du Nord ont été précédées par des périodes d'orogénèse.

3.2 Circulation atmosphérique

Le soulèvement du plateau tibétain à la fin du Tertiaire, estimé à 2 km en 5 à 10 millions d'années, consécutif de la collision de l'Inde avec l'Asie, a constitué un obstacle qui a dévié les vents d'ouest et crée un régime de mousson: en été, l'air humide venant de l'Océan Indien donne les pluies de mousson sur le Sud Est asiatique; il est bloqué par le Plateau Tibétain qui détermine les conditions désertiques du Désert de Gobi. A la même époque, le

soulèvement des Montagnes Rocheuses a privé les grandes plaines d'Amérique du Nord de l'air doux océanique des vents d'ouest au dépend de l'air froid arctique. Le soulèvement de ces deux massifs a modifié la circulation atmosphérique générale et donné à des hivers plus rudes en Europe, Asie, Amérique du Nord aboutissant finalement à l'extension des glaces.

3.3 Circulation océanique

La disposition des rides médio-océaniques et des continents eux-mêmes retentit sur la circulation océanique et en conséquence sur les climats. Actuellement, les courants froids de Humbolt, au large de la côte ouest de l'Amérique du Sud, de Benguela sur la côte ouest de l'Afrique du Sud, le courant chaud du Gulf Stream et l'écoulement des eaux froides de l'océan Arctique dans l'Atlantique dépendent de la configuration actuelle des continents; ils ont une forte influence sur le climat des zones côtières proches. Il paraît évident qu'un changement de disposition des continents modifie ces courants et les climats déterminés.

L'expansion océanique crée des bassins ou ferme entre eux des communications. Les courants marins de surface et de fond en sont profondément modifiés. Au Jurassique, des courants marins Est-Ouest s'établissent dans la Téthys; ils cessent à la fermeture orientale de ce bras de mer au Crétacé supérieur. Au Crétacé terminal, des ostracodes marins des microfaunes d'Australie et d'Afrique du Nord Ouest se retrouvent en Argentine: la réorganisation des courants océaniques dans l'hémisphère sud explique ce transport. Le Cénozoïque permet de suivre l'installation progressive de la circulation océanique actuelle au fur et à mesure de la dérive continentale.

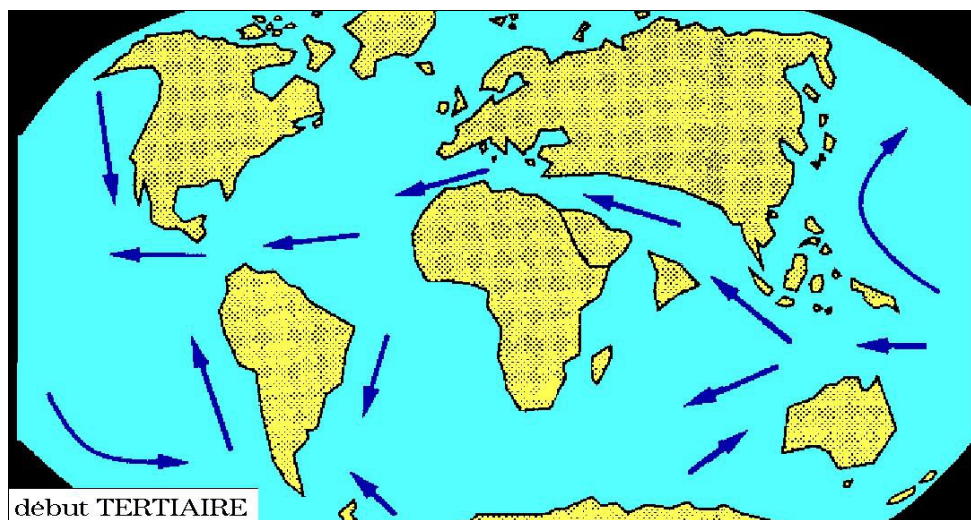


Fig.10 : Paléocirculation océanique au cours de la dérive continentale (d'après DER COURT et al., 1986.

A l'Oligocène, la dérive de l'Australie vers le Nord ouvre un passage marin au Sud de la Tasmanie qui permet une circulation circum-Antarctique partielle. Au Miocène, le passage de Drake au Sud de l'Amérique du Sud s'ouvre à son tour, la circulation circum-antarctique des masses d'eaux devient complète et l'englaciation du continent antarctique commence. La masse d'eau profonde antarctique s'installe.

A la fin de l'Eocène, l'abaissement de la crête Groenland-Faroë libère les eaux froides et salées (conséquence de la formation de la banquise) de la mer de Norvège qui s'écoulent au fond de l'Atlantique Nord et forment la masse d'eau profonde nord-atlantique. Néanmoins, jusqu'à -2,5 millions d'années, l'isthme de Panama n'existe pas et les eaux peu salées du Pacifique (35 g/l environ) peuvent s'écouler dans l'Atlantique et diminuer la salinité de ses eaux de surface: la circulation thermo-haline telle qu'elle est connue actuellement ne s'établit qu'après la formation de l'isthme de Panama. Le courant chaud du Gulf Stream se met en place. L'histoire de la circulation océanique ancienne est reconstituée en particulier à l'aide de l'évaluation des paléo-températures des eaux fournie par les mesures isotopiques faites sur les tests de foraminifères planctoniques et benthiques.

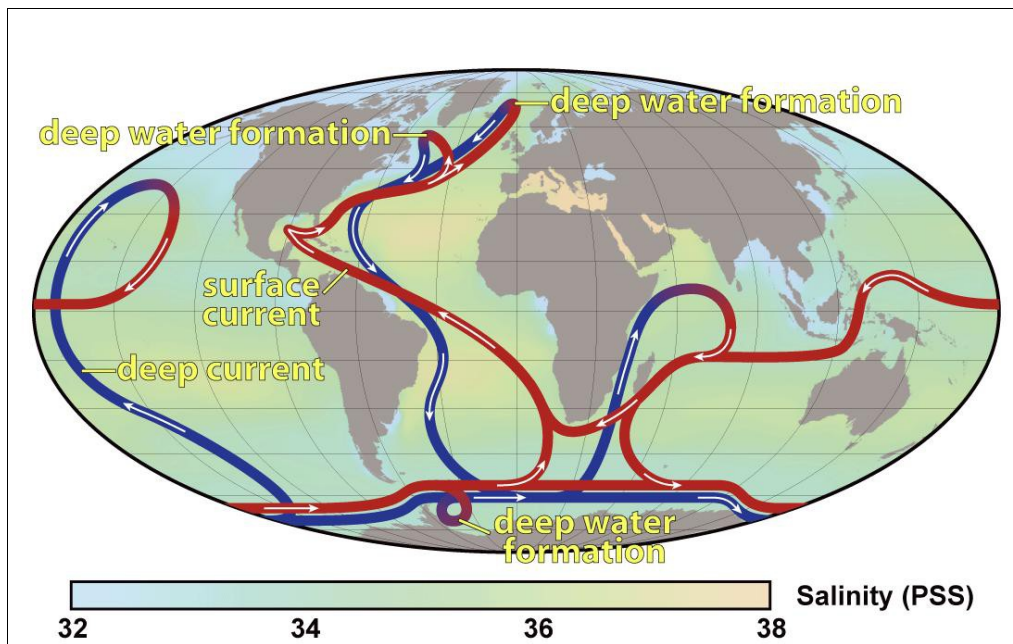


Figure 11 : La circulation thermo-haline actuelle (source : Wikipedia).

3.4 Activité volcanique

L'activité volcanique enfin, intense à certaines époques géologiques (par exemple à la fin du Crétacé) suite au contexte tectonique global, a pu altérer le bilan énergétique de la Terre et modifier profondément le climat et l'environnement. Il n'est pas exclu que ces crises volcaniques aient pu être à l'origine de certaines des grandes extinctions biologiques. Le point chaud, qui est actuellement sous l'île de la Réunion, était à la fin du Crétacé au-dessous de l'Inde. Il a provoqué l'énorme volcanisme des Trapps du Dekkan (1,26 millions de km³ de magma émis en quelques centaines de milliers d'années) dont les projections ont dû fortement diminuer l'ensoleillement et déterminer un refroidissement généralisé. C'est une hypothèse alternative pour expliquer la grande extinction biologique à la transition Crétacé-Tertiaire.

Les grandes éruptions pliniennes de l'époque récente ont produit des nuages de poussières éjectées dans la haute atmosphère, jusqu'à 50 km d'altitude, qui ont pu faire le tour de la Terre et diminuer l'ensoleillement général. Le Krakatoa (Indonésie) a produit plus de 10 km³ de projections en 1881, le Pinatubo (Philippines) 5 à 10 km³ en 1991.

4. REPARTITION DES ETRES VIVANTS

4.1 Les groupes indicateurs

L'effet de la dérive, de la séparation ou de la jonction des zones continentales est surtout décelable par l'étude des flores et des faunes terrestres qui ont été fossilisées. Pour les végétaux, ce sont les empreintes de feuilles, les restes de cuticules, de spores et de pollen, les troncs minéralisés (bien qu'il soit souvent difficiles d'attribuer ces restes dispersés à une seule espèce végétale). Les animaux terrestres qui sont fossilisables sont essentiellement les Vertébrés; les restes d'arthropodes sont trop rarement conservés pour être utilisables. Néanmoins, les faunes marines peuvent témoigner de l'individualisation d'une nouvelle aire marine et ses communications avec les autres océans; les microfossiles, ostracodes et foraminifères, peuvent être de bons indicateurs. Il est possible de montrer que la distribution des organismes fossiles sont corrélés avec les diverses disposition des terres et de comprendre ainsi la distribution des plantes et des animaux actuels.

La fragmentation des aires continentales par la dérive des continents a conduit à la notion de vicariance géographique, c'est à dire à l'apparition de deux taxons par division de l'aire de répartition de leur espèce ancestrale. d'une façon générale, la fragmentation des aires d'habitat augmente la diversité de espèces et leur endémisme, alors que la suture d'aires primitivement disjointes homogénéise les faunes et les flores mais diminue leur diversité.

4.2 Les êtres vivants avant la Pangée

Bien qu'apparues dès la fin du Silurien, la répartition des plantes vasculaires n'est bien connue qu'à partir du Carbonifère, quand les dépôts de houille fournissent d'abondantes paléoflores. Plusieurs flores peuvent être distinguées à la fin du Carbonifère: à cette période, les continents de la zone nord n'ont pas encore fusionné et le continent de Gondwana paraît bien isolé par une barrière en partie au moins climatique (déserts sub-tropicaux). La flore caractéristique à *Glossopteris* se développe dans les zones tempérées et froides du Gondwana à la lisière des glaciers; elle contient des genres existant également dans le Nord (lycopodes, fougères, fougères à graines) mais pas de Calamites.

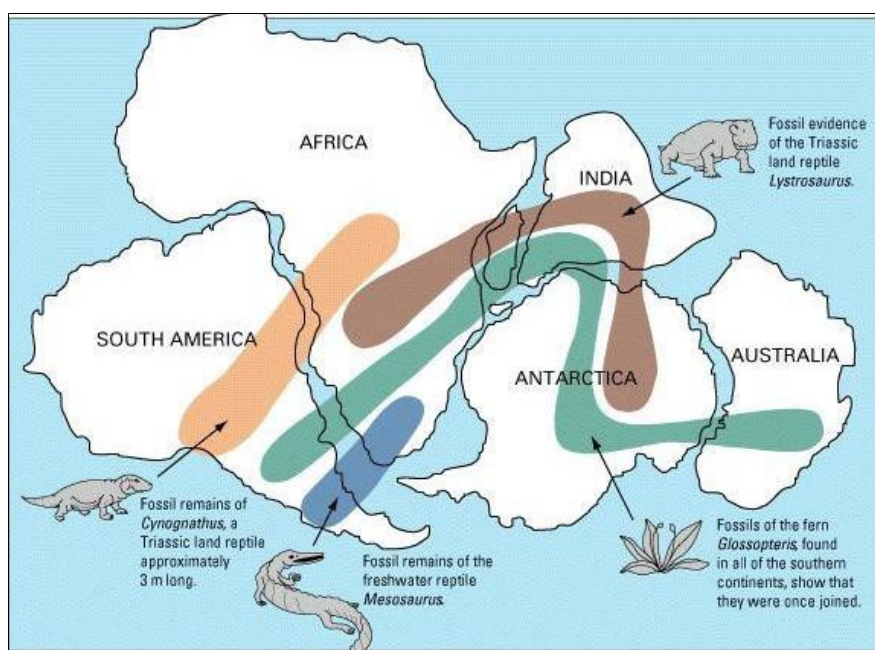


Figure 12 : Répartition de la flore et de la faune dans le continent de Gondwana (Wikipedia).

La distribution des premiers vertébrés terrestres illustre également la fragmentation des zones continentales. Les premiers amphibiens et les reptiles terrestres ne sont connus qu'en Europe et Amérique du Nord jusqu'au Permien moyen, à quelques exceptions près. L'Asie était indépendante de l'Europe. Les vertébrés terrestres manquent presque complètement dans le Gondwana jusqu'au Permien supérieur: une barrière, physique ou climatique, empêchait les migrations depuis le nord.

4.3 Faunes et flores de la Pangée

La fusion des terres en un seul énorme continent s'accompagne d'une certaine uniformisation dans la répartition des êtres vivants. Les particularités du continent de Gondwana s'estompent (voir paragraphe 2.2). Les glaciers disparaissent et le climat devient plus chaud même aux hautes latitudes. La disparition des espaces océaniques entre les continents désormais rassemblés diminuent l'afflux de l'air marin humide dans de nombreuses régions qui sont soumises à un climat continental plus sec.

La tendance vers l'aridité du climat à partir du milieu du Permien entraîne un changement important de la flore: les arbres du groupes des lycopodes, les Cordaïtes disparaissent au profit des Gymnospermes (Gengko, Cycas...) Le Gondwana conserve une flore distinct jusqu'au début du Jurassique. Les premières familles de vertébrés terrestres (amphibiens et reptiles) se sont dispersées largement dans les différentes zones climatiques de la Pangée qui dès le Trias contient une faune assez uniforme. La faune de reptiles mammaliens (Thérapsidés) du Permien est remplacée par les dinosaures qui dominent le monde du Jurassique au Crétacé. La similitude des microfaunes d'ostracodes lacustres en Afrique occidentale et au Brésil au Jurassique supérieur-Crétacé inférieur montre que l'Afrique et l'Amérique du Sud n'étaient pas encore disjointes. Les premières différences apparaissent au Néocomien, signe du début de l'ouverture de l'Atlantique sud.

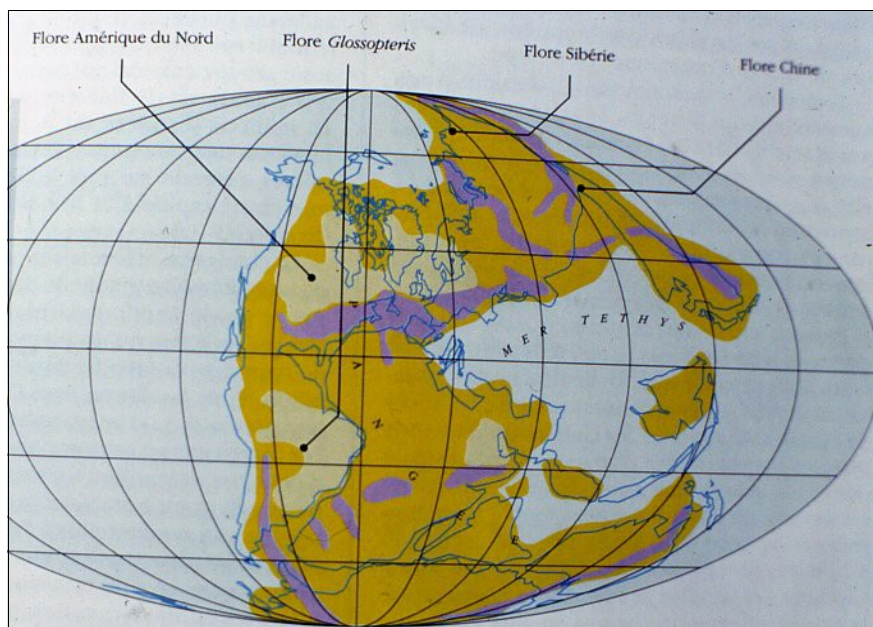


Figure 13 : Répartition des paléoflores de la Pangée au Carbonifère-Permien (A. Blicek et al., 1988).

4.4 La fragmentation de la Pangée : endémisme et migrations des faunes et des flores

La distribution actuelle des êtres vivants montrent des particularités régionales qui sont la conséquence de la fragmentation de la Pangée à partir du Jurassique.



Fig. 14: répartition actuelle des grandes provinces faunistiques d'après Sclater et Wallace (R.J. Hugget, 2004)

Au Crétacé, la répartition des nouveaux types de dinosaures reflète assez bien l'évolution paléogéographique. Ceux qui apparaissent au début du Crétacé sont largement répandus dans tout l'hémisphère nord. En revanche, ceux qui évoluent à la fin du Crétacé ont une aire de répartition plus restreinte: des communications terrestres entre régions ont été interrompues. Peu de dinosaures sont connus dans le Gondwana à la fin du Crétacé, sauf en Amérique du Sud, ce qui suggérerait une communication avec l'Amérique du Nord.

Pour les plantes à fleurs et les Mammifères, leur répartition est le résultat de l'interaction entre les débuts de l'histoire de ces deux groupes, la fragmentation progressive des continents (en particulier dans l'hémisphère sud) et les changements climatiques du Cénozoïque.

Bien que les premiers Mammifères soient apparus au Trias, ce n'est qu'à la fin du Crétacé qu'ils se diversifient. Les principaux groupes se mettent en place après la disparition des dinosaures. Au Crétacé terminal, on recense 3 familles de Marsupiaux et 8 familles de Mammifères placentaires (Euthériens). A la fin du Paléocène, soit 10 millions d'années plus tard, il y a seulement 2 familles de Marsupiaux mais 44 familles d'Euthériens.

La répartition des Marsupiaux reflète la mobilité continentale. Ces Mammifères primitifs apparaissent probablement au milieu du Crétacé. Plus tard, les Euthériens, plus évolués, s'étendent sur une grande partie du monde en supplantant les Marsupiaux. Les Marsupiaux ne survivent que dans les régions qui ont été isolées de la Pangée avant l'expansion des Euthériens. Au Crétacé terminal les Euthériens sont trouvés en Asie puis en Amérique du Nord après migration par le Nord. Ils entrent en compétition avec les Marsupiaux puis les remplacent partout où ils pénètrent, sauf en Australie qui est déjà séparée de l'Antarctique et probablement en Inde qui ne les recevra que lorsqu'elle sera suffisamment proche de l'Asie.

Les faunes actuelles d'Australie et d'Amérique du Sud montrent de fortes particularités, alors que celles des autres régions sont assez proches. Ce particularisme s'explique par le fait que ces deux régions ont été isolées du reste du monde pendant une grande partie du Cénozoïque et ont développé un grand nombre de familles endémiques (91 % en Australie, 47 % en Amérique du Sud). Dans les autres régions, en particulier dans les hautes latitudes, les changements climatiques du Cénozoïque, et notamment les glaciations quaternaires, ont décimé de nombreuses espèces.

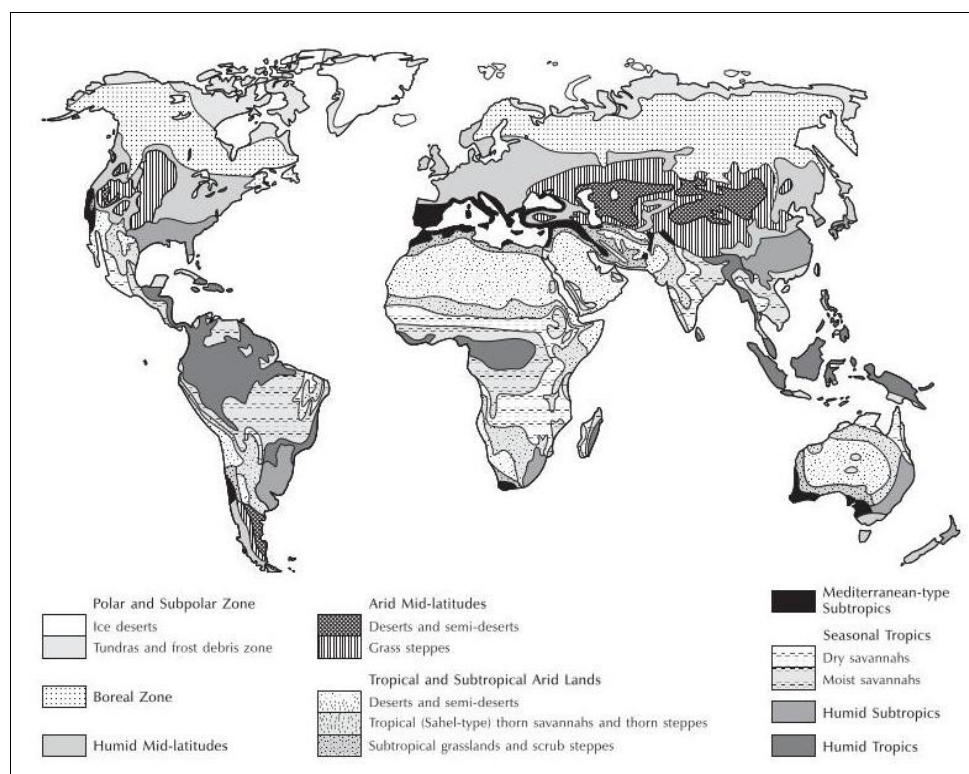


Figure 15 : Grandes provinces floristiques actuelles (R.J. Hugget, 2004)

Les fossiles d'Angiospermes sont trouvés dès le Crétacé moyen. Les premiers Angiospermes se dispersent très vite et plus tôt que les Mammifères. Ils peuvent envahir ainsi toutes les aires continentales en franchissant les espaces

océaniques encore peu étendus et les mers épicontinentales. A la fin du Crétacé, la répartition des flores dépend de la latitude. Quatre provinces floristique peuvent être distinguées (Fig. 18): une province tempérée au Nord de la Laurasia dominées par des pinacées; une province au Sud de la Laurasia sub-tropicale avec une grande variété de fougères; une flore tropicale sèche du Nord Gondwana avec notamment des Gymnospermes du genre *Cycas* et *Ephedra*; une flore humide du sud Gondwana comprenant des Gymnospermes du genre *Podocarpus* et des fougères.

Actuellement, on voit que la dispersion des Angiospermes a été bien plus grande que celle des Mammifères, les océans ne constituant pas une barrière infranchissable aux graines. Quatre grandes familles se retrouvent partout dans le monde: composées, graminées, légumineuses, cypéracées. Peu de familles sont endémiques à une région. Dans l'hémisphère sud, on retrouve quelques familles particulières qui représentent les descendants de la flore humide du Gondwana (Nouvelle Zélande en particulier). Les îles du Sud Est asiatique (Indonésie, Nouvelle Guinée) montrent un mélange entre les plantes à fleurs et les marsupiaux d'Australie et les plantes à fleurs et les Euthériens d'Asie. Au siècle dernier, Wallace y avait défini un limite faunistique en se fondant sur les faunes d'oiseaux.

Il est intéressant de comparer les flores et les faunes d'Inde et d'Australie. Ces deux continents se sont détachés du Gondwana et ont dérivé vers le nord. L'Inde ne présente pas d'originalité floristiques ou faunistiques par rapport à l'Asie. Elle s'est détachée très tôt, à la fin du Jurassique, avant que n'apparaissent les Mammifères Marsupiaux et Euthériens et les Angiospermes. Pendant sa dérive, au Crétacé, elle a pu recevoir déjà des Angiospermes ayant franchi l'Océan Indien. A partir de sa collision avec l'Asie, à l'Eocène, elle acquiert la flore et la faune asiatique. L'Australie, en revanche, s'est détachée plus tard du Gondwana. Au milieu du Crétacé, elle était encore reliée à l'Antarctique. Le climat était humide, tempéré à chaud, même à proximité des pôles, les mers étaient chaudes également. Elle reçut alors le groupe des Marsupiaux et les Angiospermes. Sa dérive vers le Nord ouvrit un passage marin au Sud et empêcha l'incursion des Euthériens. Un courant froid circum-Antarctique s'établit et l'englaciation du continent antarctique commença vers -35 millions d'années (Oligocène).

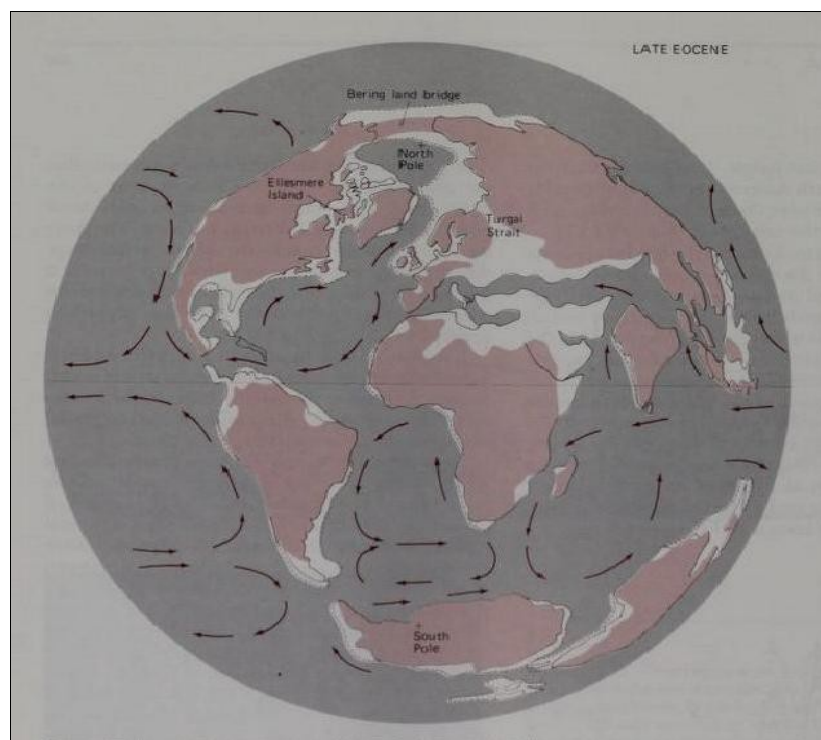


Fig. 16: Modification des courants marins entre l'Eocène et l'Oligocène: la dérive de l'Australie vers le Nord ouvre un passage aux eaux froides de l'Antarctique (d'après STANLEY, 1992).

La diminution de l'évaporation au dessus des eaux froides océaniques et le passage dans la zone de convergence subtropicale diminua les précipitations: le climat devint aride. La flore de la forêt humide et la faune de

Marsupiaux durent s'adapter à ces nouvelles conditions climatiques. Parmi les plantes endémiques, on peut citer le genre Eucalyptus, Myrtacée adapté à la sécheresse et aux sols pauvres. Le Nord de l'Australie enfin s'approcha suffisamment des îles du Sud Est asiatique pour permettre le passage partiel de la faune asiatique: chauves-souris, rats, homme (vers -30 000 ans) et chien.

Les rapports existant entre les deux Amériques au cours du Cénozoïque sont mis en évidence par les migrations animales. Au Crétacé supérieur-Paléocène, ont lieu des échanges faunistiques. Quelques uns sont dans le sens Nord-Sud (certains Dinosaures) mais la majorité va dans le sens Sud-Nord. C'est le cas de poissons d'eau douce, de lézards, de serpents (Boa), de Mammifères comme les Sarrigues (Marsupiaux), de certains Dinosaures gondwanien (Titanosaures). La liaison terrestre qui semble s'être faite par les Antilles est ensuite interrompue.

Elle est rétablie au Pliocène avec la formation de l'isthme de Panama, aléa de l'orogénèse andine. Elle est datée d'environ -3,5 millions d'années, car à partir de cette époque les microfaunes de Foraminifères diffèrent de chaque côté de l'isthme. Le sens préférentiel des migrations est maintenant du Nord au Sud. Passent des animaux comme le groupe des chameaux, des rhinocéros, des éléphants, des chevaux, des lapins, des chats... La Mer des Caraïbes est isolée du Pacifique. Au cours des glaciations, elle reçoit les eaux froides du Nord qui déciment une grande partie de sa faune de coraux. Les Mammouths, dont l'apparition se situe en Afrique de l'Est au Pliocène, traversent à pied le détroit de Gibraltar et colonisent l'Eurasie. Ils franchissent le détroit de Béring et passent en Amérique du Nord.

5. CONCLUSION

La réunion ou la fragmentation des masses continentale, l'ouverture ou la fermeture des espaces marins ont d'importantes répercussions sur la nature et la répartition des climats. La distribution des grandes zones climatiques est conditionnée par l'insolation à la surface du globe; le bilan radiatif global, dépendant des facteurs astronomiques, semble avoir peu variée. En revanche, les masses continentales ont pu traverser plusieurs zones climatiques, la répartition des masses marines et le régime des vents ont pu changer: les climats locaux ont ainsi évolué au cours de la dérive.

La mobilité continentale agit profondément sur la répartition des êtres vivants. La position respective des continents est ainsi enregistrée dans les couches géologiques par les fossiles qui constituent un outil indispensable pour la reconstitution des paléogéographies successives. Les faunes et les flores s'homogénéisent lorsque les terres sont rassemblées en une seule masse, elles se diversifient au contraire quand la masses continentale se fragmente et que des zones s'isolent: l'évolution indépendante de ces êtres vivants isolés produits des faunes et des flores originales: c'est l'endémisme.

A l'heure actuelle, nous sommes encore dans une phase de fragmentation continentale alors que l'on assiste plutôt à l'homogénéisation et l'appauvrissement des flores et des faunes. C'est l'homme qui déplace les êtres vivants d'un continent à l'autre, qui détruit de nombreuses espèces et en crée quelques nouvelles à sa convenance. A la diversification de la dérive continentale s'oppose l'uniformisation par le commerce mondial.

REFERENCES

<http://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/science/geology/plate-tectonics/content-section-2.2.5>

<http://www.fossilmuseum.net/plantfossils/Glossopteris/Glossopterisssp.htm>

<http://www.evolution-biologique.org/echelle-du-temps/echelle-des-temps-geologiques/permien/glossopteris.html>

http://www.dinosoria.com/tectonique_plaque.htm

https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation

<http://www.evolution-biologique.org/echelle-du-temps/echelle-des-temps-geologiques/permien/glossopteris.html>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Gondwana>

BLIECK A., BATTAIL B. et GRAUVOGEL-STAMM L. (1988) – Tétrapodes, plantes et Pangée : relance du débat sur les relations paléogéographiques Laurasie-Gondwanie. Ann. Soc. Géol. Nord, 107, p. 45-56.

BRIGGS J.C. (1987) – Biogeography and plate tectonic. Elsevier.

COX B.C. et MOORE P.D. (2005) - Biogeography: an ecological and evolutionary approach. Blackwell, Oxford.

DERCOURT J., FOUCAULT A. et RENARD M. (1986) - Liaisons entre les phénomènes globaux, les changements de milieu et les grandes crises du monde vivant. Bull. centres Explor.-Prod. Elf Aquitaine, 10, p. 285-311.

HUGGET R.J. (2004) – Fundamentals of Biogeography. Routledge, London.

STANLEY S.M. (1992) - Earth and Life through Time. Freeman New York.

WICANDER R. et MONROE J.S. (2016) - Historical Geology. Evolution of Earth & Life through time. Cengage Learning, USA.