

Charles Darwin et Alcide d'Orbigny en Amérique du Sud.

Les observations face aux théories.

Jacques MICHAUX¹

Introduction	2
Les voyages	3
Les idées au début du 19^e siècle	4
Le Monde physique	5
Strates et sédiments	6
Mammalogie sud-américaine	9
Les édentés	10
Ongulés autochtones d'Amérique du Sud (Notongulés)	11
L'ADN conservé de <i>Machrauchenia</i> .-	11
Proboscidiens et Équidés	12
Les cobayes et autres rongeurs caviomorphes	12
L'origine africaine des caviomorphes ²	13
Conclusions	15
Orientation bibliographique	17
Figures	19

1 Directeur d'Études émérite à l'EPHE (École Pratique des hautes Études, Paris) – UMR 5554 Institut des Sciences de l'évolution (ISEM), Montpellier.

2 On doit au paléontologiste français, René Lavocat (1910 - 1997) d'avoir contribué de manière décisive à l'interprétation de l'origine des caviomorphes.

Introduction

La seconde moitié du 18^e siècle et la première du 19^e ont vu de nombreux voyages terrestres ou maritimes auxquels ont participé des naturalistes. En même temps se multiplient les discussions à propos de la structure du globe terrestre, de la réalité des espèces disparues, de la distribution des animaux et des plantes... Les observations accumulées d'une part, les théories disponibles d'autre part, alimentent les controverses. En choisissant deux naturalistes voyageurs exceptionnels, Charles Darwin et Alcide d'Orbigny et en nous intéressant à quelques faits qu'ils ont notés au cours de leurs périples en Amérique du Sud, nous découvrirons ce qu'ils ont apporté aux débats de l'époque. Mais à la lumière de nos connaissances actuelles, si les apports des deux naturalistes ont été décisifs, nos connaissances actuelles révèlent qu'un long chemin fut parcouru depuis.

Quand le nom de Charles Darwin (1809 -1882) est célèbre, qu'il a suscité et suscite encore de vives réactions, celui de Alcide d'Orbigny (1802 - 1857) ne vous est probablement pas connu. Darwin profitait d'une mission hydrographique de l'Amirauté britannique et avait ses propres ressources, d'Orbigny avait un financement du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Pour le premier, ce fut un tour du Monde avec haltes dans des ports de l'Amérique du Sud et pour le second, une mission dans la partie méridionale de ce continent puis en Bolivie. Ces deux naturalistes fort jeunes au départ de leur périple (respectivement 22 et 24 ans) avaient déjà une incontestable compétence dans les trois domaines des sciences naturelles de leur époque, la zoologie, la botanique et la géologie. Ces voyages s'inscrivent en fait dans le vaste mouvement d'exploration du globe commencé au 18^e siècle, mouvement qui avait apporté une extraordinaire moisson d'observations ainsi qu'une multitude de spécimens d'animaux et de plantes transmis aux musées européens. L'étude et la description des êtres et des corps qui se trouvent dans la nature avait pris un essor exceptionnel, citons pour la France, deux naturalistes, Lamarck pour les invertébrés actuels et fossiles et Cuvier pour les mammifères.

A la fin du 18^e et au début du 19^e siècles, de nombreuses théories permettent l'exploitation des observations faites aussi bien sur les animaux et les plantes que sur le milieu physique dans lequel ces organismes vivent (climat, relief...). Beaucoup d'entre elles irréalistes et non vérifiables, dans l'impossibilité d'apporter une explication cohérente des multiples observations s'effondrèrent alors que d'autres, au contraire, ont permis de les mettre en ordre. Toutefois, il serait naïf de penser que tout avait été dit, même dans le cas de théories fécondes comme celle de la sélection naturelle (Darwin) ou d'entreprise ambitieuse telle la construction d'une échelle stratigraphique générale (d'Orbigny).

Ce texte veut illustrer de quelle manière ces deux naturalistes ont exploité leurs observations en s'appuyant sur les théories générales qui avaient alors cours, puis un regard actuel sera porté.

Les voyages

Ces naturalistes ont travaillé dans des conditions très différentes. Charles Darwin qui doit aussi tenir compagnie au capitaine du navire hydrographique HMS Beagle (mission de cinq années, 1831 - 1836) accomplit des excursions à terre au gré des escales du vaisseau. L'une d'elles le conduit jusque sur la cordillère et le plateau andins puis un peu au-delà. Alcide d'Orbigny, une fois atteint ce qui allait devenir l'actuelle Argentine, va explorer l'Amérique méridionale, l'Uruguay et le Paraguay actuels et l'Argentine jusqu'en Patagonie, puis passant au Pérou, il termine en Bolivie, soit un séjour total de huit ans (1826 – 1833) durant lequel les difficultés financières s'accumuleront, situation très différente de celle de Darwin. Ces voyages s'intercalent pour l'Amérique du Sud, entre celui d'Alexandre de Humboldt qui visite l'Amérique équinoxiale (entre les deux tropiques, jours et nuits varient peu au cours de l'année) entre 1799 et 1803 et les activités de deux collecteurs naturalistes anglais exceptionnels que furent Arthur Russell Wallace et Henry Walter Bates au cours des années 1849 - 1852 dans le bassin de l'Amazone et de l'Orénoque. Wallace viendra peu après au premier plan avec Darwin puisqu'ils aborderont indépendamment la question de la formation des espèces.

Rappelons que Darwin et d'Orbigny voyageaient sur des bateaux à voiles et excepté l'entrée en fonction définitive des chronomètres vers la fin du XVIII^e siècle, la navigation d'alors ne différait pas de celle de Cook, Bougainville, La Pérouse et autres explorateurs célèbres. En fait tout change dans les mêmes années 1830 -1835 avec l'essor de la navigation à vapeur. A ce propos, rappelons que le bateau à vapeur qu'avait retenu Wallace pour ramener ses échantillons pris feu et sombra. Le matériel du naturaliste étant assuré, le montant de l'indemnité apportée par l'assurance souscrite auprès des Lloyds permit à ce dernier de reprendre courage et d'entreprendre son célèbre séjour dans l'archipel Malais. On connaît la suite, une remarquable carrière de scientifique. Nous devons ajouter que le monde que ces deux voyageurs découvraient diffère du notre, l'impact du développement agricole avait peu mordu sur la végétation naturelle, la forêt tropicale et la pampa étaient encore pour l'Ouest de l'Amérique du Sud à quelques pas de Rio de Janeiro et de Buenos Aires !³

Darwin connaissait la présence de d'Orbigny et supposait qu'il accomplissait un travail de même nature que le sien. Ils ne se sont pas rencontrés, ni par la suite. Tous deux effectivement récoltaient en abondance des spécimens d'animaux. Voici ce qui est advenu dans le cas du nandou (*Rhea americana* Linné, 1758), oiseau ratite à allure

3 Picq, 2013- De Darwin à Lévi-Strauss | Éditions Odile Jacob

d'autruche auquel ils s'intéressaient. Darwin comme d'Orbigny savent et s'intéressent à l'existence probable d'une seconde espèce du genre (Fig. 1). Des spécimens de ce nandou du sud du continent américain transmis à Londres arrivent dans les mains de l'ornithologue Gould qui le dénomme *Rhea darwini* en 1837 sans savoir que d'Orbigny avait décrit cette forme dès 1834 sous le nom de *Rhea pennata*. Le code zoologique international devant être respecté, le nom *R. pennata* a priorité et est seul valide !

Darwin et d'Orbigny collectent des spécimens actuels et des fossiles. Une fois préparés et expédiés en Europe, les échantillons passent entre les mains des savants naturalistes qui commencent immédiatement leur étude. Tout ceci se solda par des publications spécialisées aux illustrations souvent remarquables, qui s'ajoutèrent aux relations de voyage des deux explorateurs qui eurent un succès exceptionnel. Plus tard, leurs carnets de notes et leurs courriers devinrent aussi une source de renseignements complémentaires pour comprendre leurs travaux et les réflexions qui les accompagnaient.

Les idées au début du 19^e siècle

Darwin et d'Orbigny n'ignorent pas les débats de cette période⁴ mais leur formation scientifique, l'une à l'université de Cambridge, l'autre au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, par des maîtres que tout oppose parfois, explique qu'ils abordent l'exploration de l'Amérique du Sud de manière très différente. Ceci fait l'intérêt de s'attacher à eux. Alcide d'Orbigny appréhendera la géologie via la stratigraphie. Il tentera de répondre à cette question : peut-on corréler des terrains éloignés de milliers de kilomètres ? Y a-t-il un cadre, un découpage ou des repères universels pour dater les terrains ? Il poursuit ainsi l'œuvre de Cuvier et de Constant Prévost. Charles Darwin, lui, emporte le premier tome du traité de géologie de Charles Lyell, tome paru en 1830. Il va alors s'intéresser aux phénomènes géologiques dits actuels, ceux qui se déroulent sous nos yeux. S'il n'y a rien d'exceptionnel dans cet intérêt lorsque la géologie est considérée (voir Lamarck et beaucoup d'autres auteurs en Europe), c'est l'intégration de ces phénomènes pour la compréhension du globe qui est mis en avant avec Lyell d'une manière disons « moderne ». Ainsi, Darwin qui a pu faire des observations sur les conséquences d'un tremblement de terre majeur survenu peu avant son passage sur la côte chilienne, sera en mesure d'appliquer les principes de Lyell.

En ce qui concerne la paléontologie, voyageurs et habitants de ces zones avaient repéré et collecté des ossements souvent de grande taille qui abondent dans les terrains de la Pampa (côté atlantique, en grande partie dans l'Argentine actuelle) et en divers

4 Quelques figures majeures illustrent le contexte scientifique exceptionnel de la fin du XVIII^e siècle : Linné (1707 - 1778), Buffon (1707 - 1788), Lamarck (1744- 1829), Cuvier (1769 - 1832), Geoffroy Saint-Hilaire (1772 - 1844), Smith (1769 - 1839), Sedgwick (1783 - 1875), Lyell (1797 - 1875), Owen (1804 - 1892), Constant Prévost (1787 - 1856). Cette liste reste fort incomplète. Deux historiens des sciences français, François Ellenberger pour la géologie et Goulven Laurent pour la question du transformisme, ont porté leur attention sur cette période exceptionnelle par l'intensité des discussions à propos des concepts et des théories relatives à la Terre et au Monde vivant. Bernard Balan dans « L'ordre et le temps » apporte un éclairage saisissant sur les débats du début du 19^e siècle

points de la Bolivie où ils faisaient déjà objet de mise en collection. Les deux naturalistes effectuent de même des collectes. Mais restait l'interprétation de la présence de ces fossiles à un double titre : 1) quels groupes documentaient-ils (vis-à-vis de l'Eurasie, de l'Amérique du Nord et de l'Afrique, l'Amérique du Sud, avec l'Australie, apparaissait un monde très singulier, 2) de quelle manière s'étaient formés les gisements ? Nous verrons que les deux naturalistes donnent des interprétations bien différentes car ils s'appuient sur des théories antagonistes, l'actualisme de l'école anglaise et le catastrophisme de l'école française. Nous montrerons ce qu'il en est aujourd'hui, soit quelque 150 plus tard à la lumière des recherches récentes effectuées en Amérique du Sud.

Le Monde physique

Au début du 19^e siècle, les savants s'intéressent à la question de la stabilité du Monde⁵ Pourquoi mettre en doute la stabilité du niveau de la mer comme celle des contours géographiques (bien que l'on avait déjà reconnu des coquilles marines dans des terrains loin de la mer) ou celle du climat ? Ce dernier, s'il change à l'échelle de quelques générations humaines ou qu'il diffère selon l'endroit où l'on se trouve, rien n'indique cependant qu'il varie sur de très longues durées, encore difficilement imaginables. La mesure des durées est d'un côté celle de la vie humaine et de l'histoire humaine accessible, de l'autre, celle apportée par les textes religieux qui donnent un temps court bien qu'il y ait aussi reprises d'idées anciennes qui mettent en avant une très longue durée. Une telle situation rend bien difficile l'établissement d'une relation entre d'une part, des catastrophes comme les raz-de-marée, les éruptions volcaniques, les tremblements de terre, et de l'autre, la formation d'une chaîne de montagnes. Toutefois, l'idée que la Terre existe depuis longtemps gagne du terrain puisqu'il était admis par exemple que celle-ci se refroidissait, nous renvoyons ici à Buffon. Ces diverses catastrophes (éruptions volcaniques, tremblements de terre) dont sont victimes les humains indiquent que la Terre vit et au début du 19^e siècle suite aux réflexions de l'écossais John Hutton, l'idée progresse d'une Terre vivante où se produit une succession de cycles dans lesquels la formation des montagnes et leur destruction alternent. La théorie des cycles explique l'observation de coupes où des couches que l'on appelle encore des strates à disposition horizontale, en recouvrent d'autres qui ont un pendage ou encore sont plissées. Comme les strates lors de leur dépôt étaient horizontales, idée acceptée depuis un siècle, ces coupes démontrent qu'il y a eu successivement dépôt de couches horizontales, plissement de ces dernières, érosion, et pour terminer, retour de conditions qui permettent à nouveau le dépôt de couches horizontales. La superposition de couches plissées par des couches horizontales indique une rupture des conditions ce qu'évoque le mot discordance utilisé pour désigner ce fait car il y a comme « une fausse note ». Irlande, Écosse, Massif armoricain, Causses et plus loin encore, le Grand canyon du Colorado en font connaître de remarquables exemples. Les couches qui reposent en discordance sur

5 et à celle des espèces, pour beaucoup, les espèces créées ne peuvent changer d'autant plus sur une terre où règne l'harmonie.

un substratum sédimentaire ou cristallin, pour les plus inférieures d'entre elles, contiennent souvent des galets issus des terrains sous-jacents, fait qui trahit une érosion. Reste une question : l'évidence des cycles indique t-elle pour autant que la Terre a une histoire ?

Une histoire implique un avant et un après soit un changement irréversible alors que les cycles annoncent seulement un retour aux conditions initiales. Le contenu fossilifère des terrains sédimentaires (donc ni volcaniques, ni cristallins) en apportera la démonstration au tournant du 19^e siècle lorsque l'on prend conscience que dans diverses parties de l'Europe, des couches superposées de terrains fossilifères montrent que la faune y change toujours de la même manière. Il y a donc une polarité temporelle. Les fossiles étant maintenant considérés sans discussion comme les témoins d'êtres vivants ayant vécu par le passé, l'évidence d'un changement de composition ne peut être réfutée surtout dans le cas des très nombreux fossiles qui proviennent de terrains déposés dans la mer.^{6, 7}

Strates et sédiments

La multiplication des coupes de terrains relevées ici et là (affleurements naturels, coupes artificielles consécutives au creusement de canaux, à la construction des lignes de chemin de fer, aux carrières, aux mines) avait en effet fini par révéler des successions comparables de terrains identifiables par la nature de leurs roches : y aurait-il des règles, voire des lois, sinon, pourquoi les mêmes successions de strates s'observent-elles en Allemagne, en France, en Angleterre ? Comme ces successions fournissent chacune aussi les mêmes fossiles, les assemblages de fossiles changent donc de composition de la même manière. Des hiatus semblent accompagner les changements constatés puisqu'une faune disparaît et qu'une autre prend sa place. D'Orbigny applique une démarche scientifique puisqu'elle lui autorise des prédictions. Ainsi si une série (Fig. 2) est supposée complète, en lui comparant d'autres séries, il est possible de découvrir s'il y a un manque ou non, par exemple le dépôt n'a pas eu lieu ou bien a été érodé. Alcide d'Orbigny propose ainsi pour la première fois des corrélations entre l'Amérique du Sud et l'Europe pour les terrains les plus anciens connus en son temps (le Paléozoïque). À la fin de sa courte vie, il avait donné naissance à la stratigraphie paléontologique et proposé un

6 Les fossiles de mammifères proviennent de sites localisés dont la position géométrique relative est souvent difficile à démontrer ce qui implique de faire intervenir des considérations sur le contenu des faunes éteintes, ce qui a ouvert la porte à des contestations parfois très vives.

7 Cette interprétation du contenu fossilifère n'implique pas nécessairement de choisir entre fixisme ou transformisme. Toutefois, les fossiles vont jouer un rôle décisif par les difficultés intellectuelles majeures qu'ils obligent à affronter. En effet, il va falloir prouver qu'une espèce, celle que le fossile représente, disparaît de manière définitive (extinction) et plus compliqué encore, que des espèces apparaissent. Mais les faits sont là et par exemple en France, en Allemagne et en Angleterre, aux couches à trilobites succèdent les terrains à ammonites que surmontent des couches à coquillages d'aspect moderne (murex, coques et huîtres...). Autre démonstration, la succession des terrains marins postérieurs à ceux qui livrent les ammonites montre que le pourcentage des coquillages modernes, c'est à dire que l'on récolte encore aujourd'hui augmente des couches les plus inférieures aux plus élevées pour atteindre 100 % dans les tout derniers dépôts. Observations qui guideront Darwin et d'Orbigny lorsqu'ils exploreront les côtes de l'Amérique du Sud et sur lesquelles réfléchit Lyell.

tableau qui donne une succession d'étages à vocation internationale. Il a aussi créé la micropaléontologie dont on peut pas passer sous silence son immense implication, entre autres dans la recherche pétrolière.

Darwin tout autant que d'Orbigny accomplira un important travail de géologue en accumulant les observations sur ce que l'on appelle aujourd'hui la géodynamique externe. La simple lecture de ses travaux suffit à en mesurer l'ampleur : plages soulevées, dépôts de terrains salifères du plateau andin ou de la côte atlantique de l'Argentine, dépôts alluviaux des Pampas, sans oublier les collectes de roches cristallines et une coupe géologique de la cordillère des Andes. Enfin, il récolte comme d'Orbigny de nombreux restes de mammifères et bien que tous deux reconnaissent la réalité des phénomènes actuels, ils donneront une interprétation différente de la présence de ces fossiles issus d'une même formation. Darwin s'appuie sur les hypothèses de Lyell qui met en avant les causes actuelles alors que d'Orbigny fait appel à des cataclysmes.

L'actualisme représente le point de vue qui exclut des causes extraordinaires dans les interprétations (aujourd'hui, plus nuancés, nous reconnaissons qu'il y a selon une échelle de gradation non linéaire d'innombrables événements d'intensité très faible et très rarement, d'extrême violence). Les extinctions dans ce contexte résultent d'une inadéquation entre des espèces et un milieu qui change. Le catastrophisme veut que l'histoire de la Terre soit entrecoupée de catastrophes qui en affectent la presque totalité (exemple du catastrophisme de Cuvier). Le constat d'une coupure faunique n'apporte en fait aucun contrôle de la théorie car une absence n'est pas une preuve d'absence. Il faut aussi imaginer des catastrophes majeures puisque de mémoire historique nous ne disposons en Europe que l'éruption du Vésuve et le séisme de Lisbonne. Il est toutefois intéressant de noter que Lyell qui établit une liste des phénomènes géologiques actuels relate un raz-de-marée survenu sur la côte de la péninsule malaise d'une force probable égale celle que nous avons connue en 2004 sur la côte de l'Océan indien en Thaïlande. Dernier point à mentionner, la durée des temps géologiques reste impossible à mesurer et seules sont proposées des hypothèses qui dépendent de choix philosophiques ou idéologiques. Si un temps court va avec les catastrophes, un temps long s'accorde à l'hypothèse selon laquelle les longues durées suffisent à indiquer que des phénomènes géologiques que nous voyons survenir sous nos yeux rendent compte de la formation des montagnes et de la distribution des animaux et des plantes.

Les observations de Darwin faites sur la côte atlantique de l'Amérique du Sud ont aussi eu un rôle très important dans la maturation de sa méthode scientifique. Les terrains de la Pampa ont une épaisseur considérable et montrent de bas en haut le même faciès, celui d'un sédiment d'origine fluviale, dit encore alluvial. Le dépôt résulte en l'accumulation de laisses d'inondations en réponse à une succession interminable de crues et de décrues. L'enfoncement du socle à un rythme en gros égal à celui de l'alluvionnement explique l'épaisseur du terrain si l'on invoque une longue durée (Fig. 3). Le même raisonnement « uniformitariste » vaut pour les terrasses marines soulevées observées à l'estuaire du Rio de La Plata jusqu'à la pointe sud du continent. Elles

s'expliquent par le soulèvement du continent par rapport à l'océan : plus la terrasse est élevée en altitude plus du temps s'est écoulé et les coquilles des niveaux les plus hauts en apporte la preuve, puisqu'elles comprennent des espèces disparues. Mais le niveau relatif peut changer dans les deux sens comme l'a montré Lyell qui a observé les traces d'érosion marine sur les colonnes du temple de Sérapis près de Naples où ces traces indiquent plusieurs enfoncements du socle suivis de rehaussements. Darwin reprendra ce raisonnement (Fig.4) dans son interprétation de l'origine des atolls coralliens .

Darwin qui observe des niveaux à huîtres surélevés sur la côte chilienne à la suite du tremblement de terre de Concepción survenu peu avant le passage du H.M.S. Beagle, applique la démarche de Lyell qui met en avant deux principes qui se complètent. Le premier, l'actualisme que nous avons évoqué, veut qu'une explication s'appuie sur les seuls phénomènes que l'on observe devant nous ou dont on a des témoignages fiables. Le second est celui de l'uniformitarisme⁸ qui envisage l'absence de variations extrêmes de l'intensité des phénomènes (donc qui restent dans des limites proches de ce que l'on peut constater aujourd'hui). Dans ces conditions, seule la durée peut produire des changements importants : épaisseur des couches, déformation des terrains. Ainsi, le soulèvement cumulé de la côte du Chili observé à la suite d'un grand nombre de tremblements de terre rendra compte d'un soulèvement majeur du continent. Rien dans ce qui est alors connu justifie qu'il y ait des catastrophes globales comme le pense d'Orbigny à la suite de Cuvier et de beaucoup d'autres savants français. Mais, l'accumulation des données paléontologiques, géologiques, les datations des couches, bref, 150 ans de progrès des connaissances en apportant une résolution très fine de l'enregistrement sédimentaire et paléontologique, moins du million d'années, a entraîné le retour des catastrophes, peu nombreuses, 5 ou 6, qui permettent d'expliquer le renouvellement des faunes marines et terrestres. Mais c'est une autre affaire.

Les fossiles de mammifères trouvés dans les terrains qui forment la Pampa confirment l'opposition irréductible des deux démarches. A partir des mêmes observations de terrain, de récoltes identiques, les interprétations divergent. Pour Darwin, il s'agit d'une accumulation lente de sédiments qui emportent des cadavres d' animaux qui vivaient sur toute l'étendue d'une vaste plaine alluviale. Naissances et morts se succédaient et, au gré des crues, les eaux emportaient les animaux ou leurs cadavres. Le sédiment apporté par les eaux provenait de l'érosion de la cordillère andine. En revanche, Alcide d'Orbigny, frappé par la taille et le nombre des animaux, en déduit que ceux-ci ne pouvaient pas vivre sur une surface aussi limitée, ils vivaient loin de la zone où l'on récolte leurs fossiles et leur présence résulte d'un puissant cataclysme qui les y a amenés depuis l'intérieur des terres. Aujourd'hui, l'interprétation a considérablement été complétée : l'essor de la stratigraphie haute résolution, l'analyse sédimentologique, les données de la pédologie (étude des sols et des sols anciens protégés par les couches venues les recouvrir) et la recherche de nouveaux niveaux à mammifères montrent que l'histoire du sous-sol de la Pampa est plus complexe et qu'elle couvre plusieurs millions d'années. Darwin et

8 Les Anglo-saxons désigne la théorie sous le nom « uniformitarianism ».

d'Orbigny ayant exploité seulement les terrains les plus accessibles, ils ne pouvaient maîtriser cette situation mais le rejet de l'interprétation catastrophique au sens de Cuvier, lui, est définitif.

Mammalogie sud-américaine

Avant de présenter quelques fossiles remarquables découverts en Amérique du Sud, un court rappel sur la systématique est utile. Depuis Linné tout organisme reçoit un nom double, on parle de binôme, l'un en première position donne le genre ce qui sert à indiquer une appartenance, l'autre en deuxième position désigne l'espèce. Cette procédure permet de dénommer les animaux ou les plantes de manière univoque, et sert de fondement à une classification. L'introduction du genre représente une étape fondamentale car nous pouvons comprendre que si l'on dispose de trois groupes d'individus qui en gros se ressemblent (vous savez bien qu'il y a de nombreuses espèces d'antilopes, d'ours, ou de cervidés...), il est toujours possible de constater que deux des trois groupes morphologiques (nos espèces pour le commun des mortels) se ressemblent plus entre eux qu'au troisième, les mettre dans un même genre scelle cette hypothèse. On peut en conséquence classer : deux groupes d'individus appartiennent au genre A, le troisième au genre B. Les genres peuvent être eux-mêmes classés de la même manière, dans une ou plusieurs familles... Poursuivant la procédure, on construit une classification : le genre regroupe des espèces, la famille regroupe des genres, l'ordre, des familles... Le système que propose Linné convient bien à celle d'un Monde créé, permanent, la classification revenant à rendre compte de son organisation. Du temps de Linné, le Monde vivant « créé » est fait d'espèces qui vivent de plus « en harmonie » (espèces stables et en effectifs plutôt constants, proies plus nombreuses que prédateurs, des plantes pour la nourriture de herbivores ...).

La découverte des fossiles bouscule cette vue – les espèces ne sont pas là de toute éternité – mais fait important, le système linnéen leur est appliqué, reconnaissant par là leur communauté de nature. Si l'on peut admettre ou accepter que des espèces disparaissent (conditions défavorables par exemple) qu'en est-il de la question de leur apparition puisque des espèces font leur première apparition dans des séries géologiques. Création unique, créations multiples ? Et de quelle manière interpréter les cas où de toute évidence les individus récoltés se répartissent non seulement en ensembles distincts sur la base de caractères morphologiques, mais encore, que l'on peut ordonner selon la succession des strates, succession qui donne la chronologie ? Dans d'autres cas encore, il est difficile de délimiter les fossiles récoltés dans une même couche, la variation quasi-continue des coquilles s'opposant à la délimitation de groupes pouvant représenter des espèces. Au delà de la pratique du spécialiste qui tri et détermine, et doit prendre des décisions, se plaçant d'un point de vue plus général, ces faits ne signifieraient-ils pas un passage d'une espèce à une autre ? Cela touche à la question de l'origine de l'espèce :

quelles circonstances président à l'apparition d'une espèce ? Mystère ! L'affaire n'est pas dans les préoccupations de d'Orbigny. Il construit une échelle de repères et des espèces invariables conviennent dans cette opération (il relève des présences, des absences). Camper sur une position créationniste et catastrophiste affirmée n'a pas encore de conséquences. Darwin abordera ces questions pendant les vingt années qui suivent son retour.

Charles Lyell dont on a déjà beaucoup parlé revient ici toutefois au premier plan et s'il doit être reconnu pour son traité de géologie, Lyell est aussi un naturaliste très averti qui accorde une grande importance à la question de l'espèce et aux fossiles. Ce sera un apport précieux à la réflexion de Darwin qui reçoit le second volume de son traité en cours de voyage (parution datant de 1832). S'appuyant sur les travaux des naturalistes français Cuvier et Lamarck, Lyell développe dans ce second volume plusieurs chapitres sur l'espèce : est-elle stable ? Y a-t-il transmutation (transformation) ? L'espèce n'obéit-elle seulement qu'aux conditions du climat, ou bien d'autres facteurs agissent-ils, comme la présence des autres espèces ? La répartition géographique des organismes (la biogéographie d'aujourd'hui) demande aussi des explications. Pourquoi une espèce vit ici et non là ou encore en vertu de quoi des faunes et des flores qui occupent des zones climatiques identiques de continents distincts ont-elles des compositions aussi différentes ? Une régionalisation des flores et des faunes (marines aussi bien que continentales) semble évidente mais comme animaux et plantes peuvent aussi se disperser, une relative homogénéité devrait être observée et ce n'est pas le cas. En effet, l'Amérique du Sud livre des espèces éteintes de mammifères d'affinités évidentes avec les Édentés actuels comme les tatous et les paresseux d'aujourd'hui. Quelle cause explique la présence de genres totalement inconnus ailleurs ? La réponse dans le cas des édentés est la suivante : ce groupe a peuplé ce continent par le passé où des espèces éteintes le représentent, il n'est donc pas inattendu que l'on puisse y rencontrer encore aujourd'hui des espèces du même groupe. Quant aux autres ils ont peuplé le continent et en ont disparu mais ils n'ont pu se disperser en dehors, il y avait isolement. Mais la récolte dans ce continent d'animaux connus dans d'autres parties du monde à l'état fossile ou non est-elle une surprise ? Non, si des barrières peuvent exister, elles peuvent aussi être levées et les animaux en profitent pour passer.

Nous avons choisi de retenir quelques exemples relatifs aux mammifères, les **Édentés** (aujourd'hui tatous, paresseux et fourmiliers), des herbivores à sabots propres à l'Amérique du Sud (les **Notongulés**) et d'autres groupes également spéciaux, mais aussi des **Équidés** (chevaux), des **Proboscidiens** ou éléphants (« *Mastodon* ») et des **Rongeurs**.⁹

9 Il suffit d'accéder aux textes en ligne par le réseau des bibliothèques centrales (Muséum national d'Histoire Naturelle, BNF Gallica, Biodiversity Heritage Library et autres universités, bibliothèques et projets de numérisation en cours) pour consulter les travaux effectués en liaison avec ces voyages.

Les édentés

Cuvier a décrit de manière complète le premier édenté fossile avec *Megatherium americanum* qu'il a montré être un « paresseux » quadrupède terrestre. Mais cet animal disparu ne représente qu'un des innombrables membres d'un groupe qui rassemble des formes de taille variée et à crâne également divers, les uns massifs, les autres étroits. Ils incluent aux côtés des mégathères, des tatous éteints de grande taille (*Glyptodon*). Les deux autres zoologistes à avoir étudié ces animaux dans la foulée de leur découverte sont contemporains, l'anatomiste anglais C. Owen, et P. Gervais, professeur au Muséum de Paris.

Ongulés autochtones d'Amérique du Sud (Notongulés)

Il s'agit d'un ensemble de formes qui évoquent les ongulés actuels (ongulé signifie quadrupède à sabots, mais étant ici exclusif de l'Amérique du Sud, la racine grecque « not » le précise qui renvoie à méridional). D'un spectre de taille qui est celui des ongulés de l'Ancien Monde, ils ont des traits parfois originaux mais en même temps, leur dentition et leur allure (proportions du corps) ne nous paraissent pas inconnues puisqu'il s'agit d'herbivores. Ils étaient quasi-inconnus au début du 19^e siècle. Darwin a recueilli de leurs restes sur la côte de la région de Buenos-Aires (*Toxodon* et *Macrauchenia*). Le premier avait un corps de rhinocéros, le second, un cou allongé. La diversité de ces animaux aujourd'hui et la masse des travaux qui les concernent interdisent d'aller plus loin mais nous allons franchir un siècle et signaler une publication récente (M. Westbury, 2017) qui va nous plonger plusieurs dizaines de millions d'années dans le Cénozoïque (- 66 ma à aujourd'hui).

L'ADN conservé de *Machrauchenia*.-

Ce mammifère sud-américain si spectaculaire a disparu comme ses cousins il y a peu (10 000 ans environ). Des restes sont connus de sites de l'extrême sud du continent, entre autres avec *Glyptodon* (édenté), *Macrauchenia* et *Toxodon* (notongulés). Si l'on sait que le *Glyptodon* est un tatou de grande taille, la parenté des Notongulés est à chercher chez des mammifères venus de l'Amérique du Nord au tout début du Cénozoïque, mammifères qui ont parmi leurs descendants lointains dans l'hémisphère Nord et l'Afrique, des ongulés tels que rhinocéros, tapirs et chevaux. L'âge extrêmement récent des fossiles cités plus haut a justifié un programme d'extraction de l'ADN des ossements, le contexte non tropical pouvant avoir favorisé la conservation de cette macromolécule. Un résultat positif obtenu pour le *Machrauchenia* a permis l'analyse des séquences préservées et apporte ces conclusions, 1) cet ongulé est plus proche des Périssodactyles (tapirs, rhinocéros, chevaux) et des Carnivores que des Artiodactyle (cochons, cerfs, antilopes...), 2) une fourchette estimée entre 75 et 55 millions d'années est obtenue pour la divergence de la lignée qui témoigne d'un peuplement ancien (et documenté) compatible avec la radiation des mammifères placentaires survenue vers 66 ma à la suite de l'extinction majeure (entre autres celle des dinosaures) qui marque le passage du Mésozoïque au Cénozoïque, 3) l'isolement ultérieur de l'Amérique du Sud explique la radiation des

notongulés qui rassemblent de multiples lignées et 4) la fin de l'isolement du continent signe la disparition des notongulés, voir ci-après.

Proboscidiens et Équidés

Alcide d'Orbigny apporte une autre surprise à propos des faunes mammaliennes du continent sud-américain, la présence de proboscidiens et de chevaux. Si ces noms familiers ne surprennent pas, c'est leur occurrence en Amérique du Sud qui le fait. Ils ont évolué dans l'hémisphère Nord, les premiers naissent en Afrique, les seconds, en Asie et pour les chevaux, en Amérique du Nord. Leur présence en Amérique du Sud résulte de la rupture de l'isolement de ce continent il y a un peu plus de 3 millions d'années en raison de la surrection de l'isthme de Panama. Il s'ensuit un mouvement d'échanges dans les deux sens, des échanges déséquilibrés, le Nord l'emporte sur le Sud, et c'est après un pic de diversité, l'effondrement de la diversité sud-américaine dans les derniers 15 000 ans.

Les cobayes et autres rongeurs caviomorphes

Mais l'histoire du peuplement sud-américain est encore plus complexe, inimaginable au début du 19^e siècle. Nous connaissons tous le cobaye et le singe ouistiti. Les ancêtres respectifs des deux animaux (rongeur, primate) sont venus d'Afrique à une date relativement ancienne dans une fourchette milieu Éocène – Oligocène, soit la première moitié du Cénozoïque. Les rongeurs actuels sud-américains appelés caviomorphes dérivent de rongeurs arrivés d'Afrique et il en est de même pour les singes (dits singes du nouveau Monde), mais dans les deux cas, il n'y a pas « d'isthme panaméen ou caraïbe », il y a franchissement accidentel de l'Atlantique.

Darwin et d'Orbigny ont récolté des rongeurs caviomorphes, Darwin des restes de *Ctenomys* fossile dans les niveaux panaméens (côte atlantique de l'Amérique du Sud tempérée), et d'Orbigny, signale un probable rongeur de très grande taille qu'il dénomme *Megamys* (soit le « grand rongeur »). *Ctenomys* est un genre fouisseur de caviomorphe représenté aujourd'hui par de nombreuses espèces, les tuco-tucos. Quant aux rongeurs de grande taille, il faut savoir que les caviomorphes ont en moyenne une masse plus grande que celle de n'importe quel autre groupe de rongeurs de la faune actuelle et qu'ils incluent de nos jours le plus grand rongeur, le cochon d'eau ou capybara, *Hydrochoerus hydrochaeris* (40 – 60 kg). Des découvertes récentes ont confirmé l'existence de gros rongeurs, de très gros rongeurs : l'un qui était dans les collections du musée de Buenos Aires a un crâne d'environ 55 cm de longueur (!) ce qui correspond à un individu d'un poids probable d'une tonne. Puis il y a eu extraction dans des terrains d'âge compris entre 10 et 5 millions d'années, au Venezuela, d'un squelette quasi-complet d'un second rongeur de taille également considérable, au poids estimé de 400 à 600 kg, soit 10 fois le poids de l'*Hydrochaerus* !

Les progrès immenses accomplis depuis par les paléontologistes d'Amérique du Sud, d'Europe et d'Amérique du Nord demanderaient un exposé beaucoup trop long et nous éloignerait de notre propos. Cependant, la question de l'origine africaine des caviomorphes mérite un court exposé dans lequel le nom d'Aicidé d'Orbigny reviendra.

L'origine africaine des caviomorphes¹⁰

Les « caviomorphes » représentent un groupe de rongeurs propres à l'Amérique du Sud. A leurs côtés vivent des écureuils et des rats et souris dits « américains » venus plus tardivement depuis l'Amérique du Nord, lors du grand échange intercontinental signalé plus haut.

L'anatomie crânienne des caviomorphes ressemble beaucoup à celle de certains rongeurs de l'Ancien Monde, pour n'en citer que deux, le porc-épic (ou *Hystrix*, Eurasie et Afrique) et le rat des roseaux (*Thryonomys*, Afrique). Cette similitude n'interdit pas de les réunir dans un même groupe plus inclusif ce qui signifie une parenté étroite. Mais que dire de la répartition actuelle de ces animaux ? Que peuvent nous apporter les fossiles ? La question resta longtemps ouverte puisque les premiers fossiles n'apportaient pas de réponse ferme, sauf sur un point, en Amérique du Sud, les caviomorphes viennent s'ajouter courant « milieu du Cénozoïque » à une faune autochtone préexistante qui ne contient aucun mammifère susceptible d'en être l'ancêtre. Où chercher ?

Les plus anciens rongeur connus ont un âge compris entre 60 et 55 millions d'années, aussi bien dans l'Ancien monde qu'en Amérique du Nord. Comme les premiers plus anciens fossiles de rongeurs sud-américains évoqués à l'instant étaient beaucoup plus jeunes (Argentine, vers 23 ma), la première réponse à la question de l'origine géographique des caviomorphes était : « du continent le plus proche, l'Amérique du Nord » ! Une difficulté s'opposait à cette explication car aucun rongeur nord-américain d'âge acceptable (c'est à dire plus ancien que le plus ancien caviomorphe alors connu) n'avait de caractères dentaires et de la mandibule susceptibles d'annoncer les caviomorphes. La situation s'éclaircit un peu plus tard lorsque de nouveaux fossiles décrits de Bolivie, plus anciens que ceux d'Argentine, ont été décrits, puisqu'ils l'ont été à un moment où des fossiles africains venaient de l'être. Les molaires boliviennes ressemblent à celles des fossiles africains qui de leur côté, avaient non seulement un âge comparable, mais aussi qui montraient leur position ancestrale vis à vis du *Thryonomys* actuel. L'hypothèse d'une origine africaine des caviomorphe prenait corps.

La question revint au premier plan plus récemment encore avec de nouvelles récoltes tant en Afrique qu'en Amérique du Sud. Elles ont fait connaître des rongeurs non seulement également fort ressemblants mais encore plus anciens et toujours d'âge comparable ! Il s'agit de travaux conduits dans la partie amazonienne du Pérou par des paléontologistes de l'Université de Montpellier II et pour l'Afrique, en Libye, par une équipe de l'université de Poitiers. Les molaires recueillies dans chacun des continents sont quasi-

10 On doit au paléontologiste français, René Lavocat (1910 - 1997) d'avoir contribué de manière décisive à l'interprétation de l'origine des caviomorphes.

indistinguables. Enfin, la date d'arrivée en Amérique du Sud recule d'une dizaine de millions d'années (entre 40 – 45 millions d'années) ! Ceci nous donne l'occasion de souligner le caractère essentiel des fossiles, ils documentent concrètement une histoire. En effet, la pertinence de l'hypothèse africaine était reconnue depuis un certain temps par les comparaisons moléculaires (protéines, ADN mitochondrial et ADN nucléaire), à partir des nombreux travaux menés à l'Université de Montpellier II.

Les datations retenues pour ce passage accidentel renvoient à une période durant laquelle il y avait un Atlantique plus étroit. La disposition des terres d'alors, avec en particulier la séparation des deux continents américains qui permet d'envisager un système de puissants courants Est-Ouest. Si on est loin de connaître les conditions du passage, une fois la barrière marine franchie, l'histoire est plus « simple » : des pionniers africains ayant survécu, ils se multiplient, interagissent avec un environnement qui comprend une faune de mammifères totalement différente de celle d'Afrique. Ils donnent naissance aux caviomorphes qui par la diversité des tailles, des morphologies externes, dentaires et squelettiques, illustrent une radiation exceptionnelle encore plus exceptionnelle si l'on compte les formes éteintes géantes.

Nous ne pouvons pas terminer sans citer à nouveau Alcide d'Orbigny à propos des caviomorphes. Un des volumes du « Voyage en Amérique méridionale » inclut une planche de toute beauté qui représente le rongeur fouisseur tuco-tuco, avec la légende *Ctenodactylus brasiliensis* de Blainville. Cette légende surprend puisque le genre *Ctenodactylus* Gray, 1830 désigne un rongeur saharien, le gundi, et que le genre *Ctenomys* avait été nommé peu avant, l'espèce type du genre étant *Ctenomys brasiliensis*, de Blainville 1826. S'agit-il d'une coquille, d'une confusion ? Les noms savants des genres rappellent la présence de « peignes » faits de poils durs à la hauteur des doigts (*cteno* signifie en grec, peigne, et *dactylus*, doigts, et *mys*, le rat ou le rongeur). Comme la planche du livre de d'Orbigny donne aussi un dessin du crâne, de la mandibule et des molaires du *Ctenomys brasiliensis*, il est aisé pour le spécialiste de reconnaître sur ces points la très nette ressemblance anatomique entre *Ctenomys* et *Ctenodactylus*, ressemblance réelle mais il manquait la mention d'un trait de la mandibule. Passé inaperçu jusque vers la fin du 19^e siècle, il distingue les caviomorphes (dont *Ctenomys*), les porcs-épics et les *Thryonomys* des *Ctenodactylus*. Les premiers possèdent une branche montante de la mandibule décalée vers l'extérieur par rapport à la branche horizontale qui porte l'incisive et les dents jugales, alors que chez *Ctenodactylus* et tout le reste des rongeurs, cette branche se situe dans le plan de la branche horizontale. Cette situation signe une singularité indicatrice d'un lien de parenté. Les études de phylogénie moléculaire conduites à l'Université de Montpellier que nous avons citées plus haut ont établi que les cténodactyles sont les plus proches parents de ce groupe inattendu qui comprend caviomorphes et des genres de l'Ancien Monde ! Il y a bien eu passage au plus court d'Afrique en Amérique du Sud.

La figure 5 donne un schéma de l'histoire du peuplement mammalien de l'Amérique du Sud.

Conclusions

Les observations tant géologiques que celles relatives aux plantes et aux animaux faites par les deux naturalistes appuient ou vont appuyer des théories qui ont révolutionné les sciences naturelles. La géologie en a bénéficié immédiatement puisque les arguments « actualistes » et « uniformitaristes » de Lyell donnaient une explication cohérente des plages soulevées et de l'épaisseur des terrains de la Pampa, il faut seulement envisager de longues durées. La suite du voyage de Darwin confirmera définitivement la valeur du principe « uniformitariste » avec l'explication qu'il suggère des récifs coralliens appelés atolls. La nature biologique des récifs et leur contexte géologique lui a suggéré une hypothèse, celle d'une filiation avec les deux autres catégories observées dans le Pacifique, récif frangeant, récif barrière, atoll (l'atoll étant le stade ultime de la succession). Une transposition dans le temps de ces trois stades contemporains, traduit un enchaînement caché lié à l'interaction subsidence - croissance des coraux.

Rien dans les observations faites par les deux naturalistes ne met aussi en question les causes de la répartition des espèces et de leurs extinctions, causes climatiques ou présence d'autres espèces. L'explication de la régionalisation de la faune de l'Amérique du Sud demandera d'accepter l'hypothèse qu'il y a une filiation entre les êtres vivants et que si ces derniers ont tendance à se multiplier et à se disperser, ils interagissent avec l'histoire géologique du globe qui facilitera ou interdira des dispersions, les périodes d'isolement étant alors propice aux radiations, les ruptures d'isolement, aux crises d'extinctions et de renouvellements fauniques. Elle rend compte dans le cas des édentés de la présence de représentants actuels et fossiles du groupe, celui-ci ayant pris son origine il y a longtemps sur le continent sud-américain. La rupture de l'isolement du continent explique la présence d'animaux qui ont évolué ailleurs et le cas des caviomorphes et des primates sud-américains, illustre un cas encore plus complexe dont la solution a été plus longue à formuler. Dans tous les cas, il y a intervention d'autant d'événements fortuits.

Les durées (âge de la Terre, durée d'une formation géologique...) ont longtemps été ou trop courtes ou trop longues, voire même beaucoup trop longues. Toutefois tout démontre aussi la validité de l'objectif qu'avait Alcide d'Orbigny de construire une échelle stratigraphique internationale et rien n'arrêtera les spécialistes de la stratigraphie comme le montrent aujourd'hui les tableaux de corrélations qui sont pour les pétroliers et autres géologues ce que sont pour les chimistes les tables des caractéristiques des éléments ou des molécules. L'objectif ambitieux que s'était fixé d'Orbigny ne le poussait pas, à la différence de Darwin, d'aborder prudemment la gestion des espèces que les fossiles représentaient et qu'il décrivait. Il recherchait à construire une échelle stratigraphique et pour chaque étage de celle-ci il ambitionnait de trouver l'espèce dite caractéristique de celui-ci, une vue qui le poussait parfois à écarter ou à forcer la solution de cas litigieux. En tout cas la variation des individus compliquait la décision.

Maintenant, ces mêmes tableaux de corrélation des diverses échelles stratigraphiques montrent que le rythme des changements qui ont affecté le Monde vivant comme le Monde physique a varié et que l'hypothèse d'une stabilité des taux associée à l'uniformitarisme allait trop loin. C'est ainsi que dans la seconde moitié du 20^e siècle il y eut un retour au « catastrophisme » avec la mise en évidence des extinction dites « en masse » qui ont ponctué l'histoire des 500 derniers millions d'années. Si les observations confirment qu'extinctions et apparitions de nouvelles espèces se produisent de manière plus ou moins régulière (phénomènes de fond), il y a eu des changements « brutaux » comme l'illustrent les quelques coupes géologiques dont il a été établi qu'elle documentent de manière continue l'écoulement du temps et malgré cela, il y a des coupures fauniques radicales. Ainsi, la limite entre le Crétacé et le Paléocène il y a 66 millions d'années. Leur nombre varie mais en tout cas cinq grandes sont acceptées. Mais changement brutal signifie catastrophe et catastrophe demande une cause... ainsi la chute d'une comète ou d'un astéroïde, mais nous restons dans l'actualisme. Nous devons concevoir l'uniformitarisme en fonction d'une distribution de fréquence d'événements singuliers, qui va d'un pôle caractérisé par le grand nombre des événements de faible intensité à un pôle où le nombre des événements de très grande intensité est très faible (courbe dite en L, Fig. 5).

Il importe de retenir l'importance capitale d'une chronologie et d'un étalonnage en unités de temps pour appréhender le rythme des transformations du monde, vivant ou non. Mais pour cela il faut aussi mesurer l'obstacle des changements d'échelles temporelles et spatiales que cela exige et ne pas oublier que nos enregistrements très souvent lacunaires du temps compliquent le changement d'échelle, ce qui est « continu » dans le temps court ne l'est plus dans le temps long.

Enfin, l'exploration reste d'actualité pour deux raisons, faire un état des lieux le plus complet possible en raison de l'appauvrissement des faunes et des flores que l'on peut constater, et qu'il y a encore découverte effective de taxons nouveaux même chez les mammifères. Enfin, l'enregistrement paléontologique est bien loin d'avoir été exploré à ce jour comme nous le révèle la presse internationale pratiquement chaque trimestre.

Orientation bibliographique

- Antoine P, Marivaux L et al., 2012.- Middle Eocene rodents from Peruvian Amazonia reveal the pattern and timing of caviomorph origins and biogeography. *Proceedings of the Royal Society B*: 279 (1732): 1319-26.
- D'Orbigny A (1835 – 1847).- *Voyage en Amérique méridionale*. Pitois-Levrault, Paris (9 tomes, 11 volumes). Réédition de Voyage dans l'Amérique méridionale: Pampas, Patagonie. La Découverte, 2007.
- Darwin, Ch. (1842).- <https://www.darwinproject.ac.uk/commentary/geology/geology-beagle-voyage>
- Ellenberger F. (1994).- Histoire de la Géologie, T. 2. La grande éclosion et ses prémices 1660-1810, Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 383 p.
- Huchon, D. and Douzery E, (2001).- From the Old World to the New World: a molecular chronicle of the phylogeny and biogeography of hystricognath rodents. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 20: 238–251
- Laurent G. (1987).- Paléontologie et évolution en France de 1800 à 1860. Une histoire des idées de Cuvier et Lamarck à Darwin. Éditions du Ctrh, Paris, 553 p.
- Legré-Zaidline F, Voyage en Alcidie : à la découverte d'Alcide d'Orbigny (1802-1857) Boubée, 1977.
- Legré-Zaidline F. (1982). L'oeuvre paléontologique d'Alcide d'Orbigny en Amérique du Sud. Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie, Comité français d'Histoire de la Géologie, 1982, 1ère série, pp.9-15. <hal-00951352>
- Taquet, Ph. (2002).- Un voyageur naturaliste : Alcide d'Orbigny . MNHN et Nathan.
- Westbury et al., (2017).- A mitogenomic timetree for Darwin's enigmatic South American mammal *Macrauchenia patachonica*, *Nature* **8**, article 15951.

La recherche de publications faites dans des revues spécialisées ne demande que de combiner sur Google, le nom d'un auteur à celui d'un taxon (le nom scientifique d'un genre suffit ou bien encore le nom Français ou Anglais des familles) .

Le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris offre des ressources multiples et exceptionnelles. Sur le site, il y a accès aux ressources électroniques et aux collections numérisées à partir de questions relatives aux taxon [<http://bibliotheques.mnhn.fr/>]

Documentation iconographique : « Animal Diversity Web » de l'Université du Michigan apporte de précieuses données.

Sur la classification des mammifères : le site « Mammals of the World » offre en accès libre une présentation complète des taxons (tout groupe qu'une classification acceptée par la communauté reconnaît) accompagné d'une bibliographie complète à la date de publication du livre correspondant (2 volumes) soit 2005.

Le site »PALEOMAP Project « donne les géographies passées du globe de période en période.

L'accès aux textes originaux (Cuvier, de Blainville, Darwin, Gervais, Wallace..., de tous les auteurs anciens cités dans le texte) est aisée via gallica [<https://gallica.bnf.fr/html/und/rechercher-dans-gallica>] et « Biodiversity heritage library » (<https://www.biodiversitylibrary.org/> et diuvers autres sites comme darwin-online.org.uk/majorworks.html ou <http://wallacefund.info/>

Les illustrations de la conférence ont été prises via Wikipedia ou bien ont été proposées au conférencier par des collègues qui sont remerciés ici pour leur aide, Mmes. Vianey-Liaud et Girard, et M. P.O. Antoine et L. Hautier de l'Université de Montpellier, sans compter les nombreuses publications consultées.

Le site <http://www.annales.org/archives/cofrhigeo/orbigny.html> renvoie à A. d'Orbigny et www.annales.org/archives/cofrhigeo/travaux.html à l'histoire de la Géologie. sur l'histoire de la géologie

Figures



Fig. 1.- Répartition des deux espèces de nandou, ratites d'Amérique du Sud (*Rhea americana* *, bleu, *Rhea pennata***, rouge).

* <https://www.iucnredlist.org/species/22678073/92754472>

** <https://www.iucnredlist.org/species/22728199/94974489>

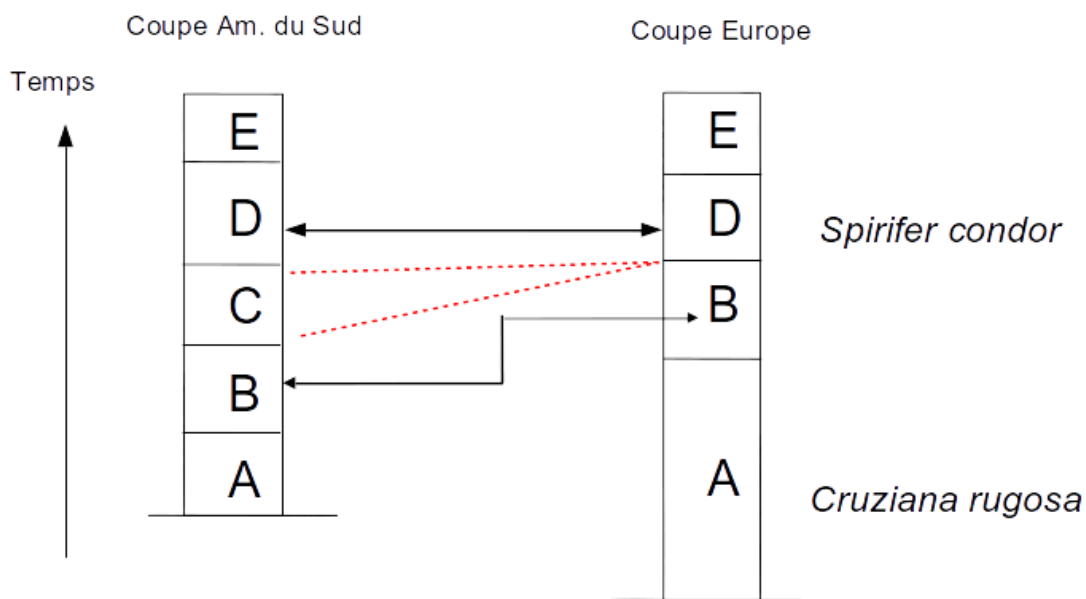


Fig. 2 ; - Deux coupes géologiques théoriques relevées sur deux continents distincts ; les contenus fossilifères des formations reconnues diffèrent, les lettres renvoient à des fossiles caractéristiques de chacune. Le schéma montre la validité de l'hypothèse que dans les deux continents, les divisions avec les groupes de fossiles A, B, D et E ont le même âge et que dans la coupe de droite il y a une lacune des terrains, absence de dépôts avec les fossiles C. Alcide d'Orbigny a décrit les fossiles cités ici, le brachiopode *Spirifer* et la trace *Cruziana* présents également en Europe.

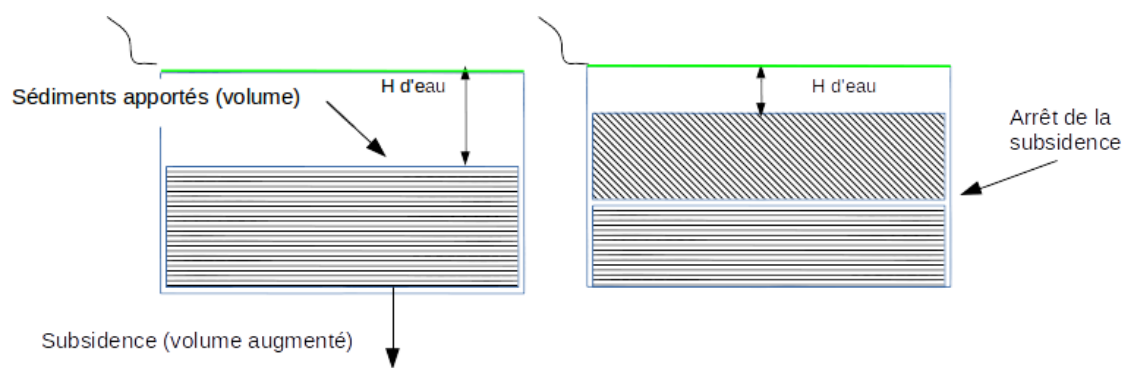


Fig. 3.- La subsidence. Schéma de gauche, si le volume des sédiments apportés est égal au volume produit par l'enfoncement (subsidence), l'épaisseur des sédiments augmente régulièrement avec le temps et les faciès ne changent pas. A droite, le cas où il a arrêt de la subsidence, le volume disponible pour recevoir les sédiments devient plus faible au fur et à mesure que les sédiments se déposent ; leur faciès changera car la hauteur d'eau a diminué

Trois états contemporains

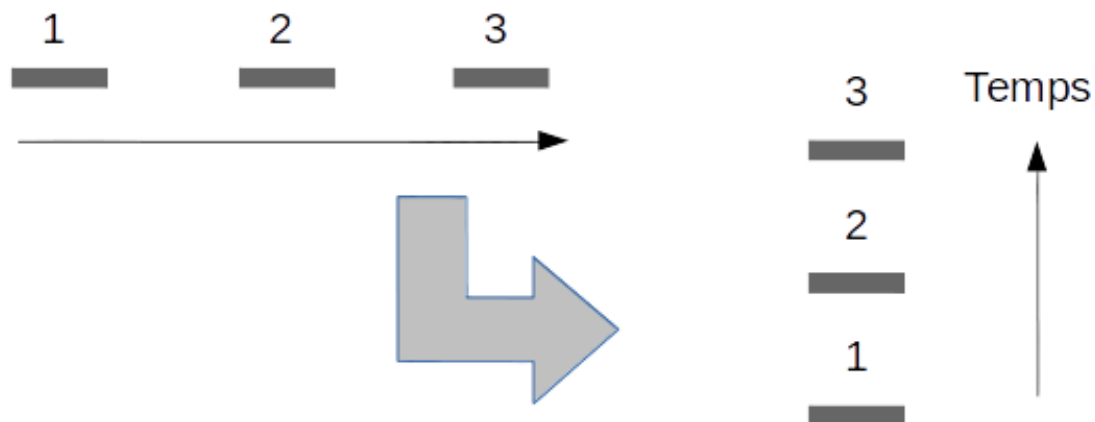


Fig. 4.- Soit trois états d'une même structure ; l'état 2 paraît intermédiaire entre 1 et 3. Dans l'hypothèse d'un lien entre eux trois dû à l'effet de mêmes causes, 1 ou bien 3 quoique contemporains de 2, relèvent d'une série temporelle, 1, 2, 3 ou 3, 2, 1. C'est ainsi que Darwin lors de sa traversée du Pacifique, chemin du retour après l'Amérique du Sud, explique les trois catégories de récifs coralliens, récifs frangeants (1), récifs barrière(2) et atolls (3). Ils sont autant de stades successifs qui découlent de l'interaction de la croissance des coraux et de l'enfoncement par subsidence de leur support volcanique,. Les deux tendances s'équilibrant à peu près, les coraux donnant la référence du niveau zéro puisque contraints de vivre dans les 50 premiers mètres sous la surface et de s'installer sur un support. L'atoll (3) est ainsi l'état le plus dérivé, les coraux recouvrent leur soubassement volcanique. Voir Darwin, C. R. 1842. *The structure and distribution of coral reefs. Being the first part of the geology of the voyage of the Beagle, under the command of Capt. Fitzroy, R.N. during the years 1832 to 1836*. London: Smith Elder and Co. In « Darwin online ».

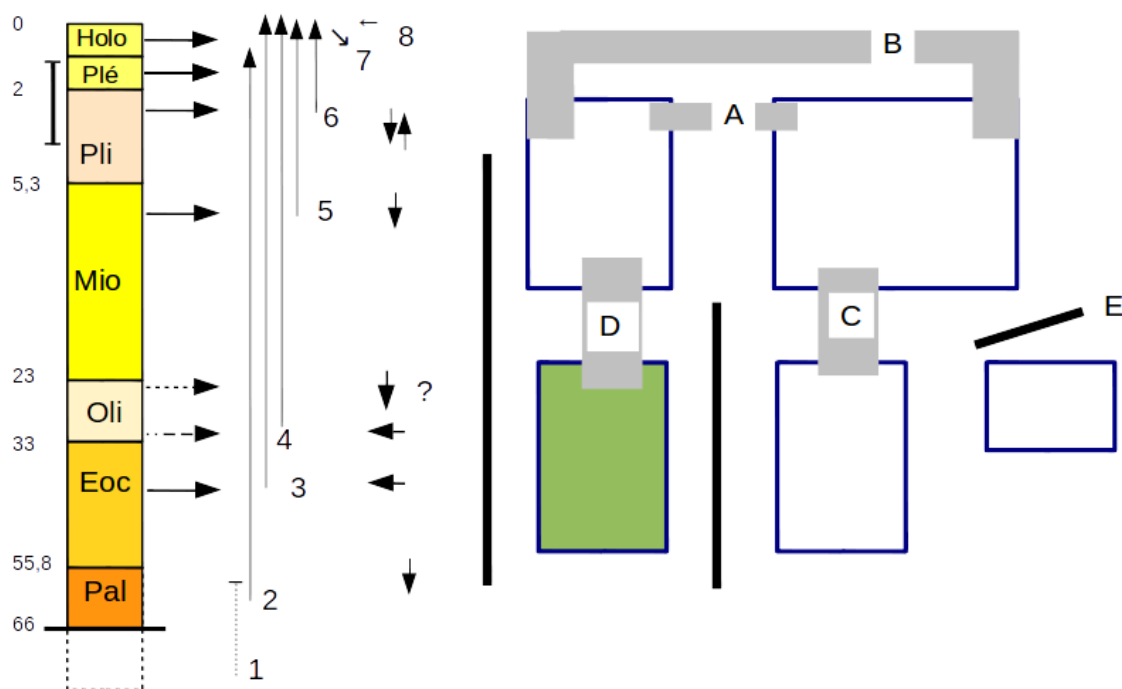


Fig. 5 ; - Schéma de l'histoire du peuplement du continent sud-américain. 1) existence d'un fond de peuplement mésozoïque, fossiles de mammifères peu nombreux et encore mal connus. 2) Peuplement post-crise Mésozoïque-Cénozoïque (-66 ma), dont ancêtres des Notongulés, plus anciens édentés... 3) Arrivée d'Afrique des ancêtres des Caviomorphes 4) Arrivée d'Afrique des ancêtres des singes sud-américains. 5) Premières arrivées d'Am du N. 6) Arrivée massive d'Am du Nord (proboscidiens, chevaux, lamas...), quelques mammifères d'Am. du Sud remontent. 7) Extinction massive (moins de 15 000 ans). 8) retour du cheval courant 15^e siècle...

Les chiffres, colonne à gauche, âges en millions d'années.

Les flèches en pointillés indiquent l'ancien âge admis pour la date d'arrivée des premiers rongeurs caviomorphes (Oligocène, supérieur), l'âge est en fait plus ancien, Éocène moyen.

Les lettres majuscules sur la carte schématisée des continents renvoient aux zones qui ont pu être des barrières ou des ponts entre continents. A, au début du Cénozoïque, passage Eurasie – Amérique du Nord par l'Ouest. Ensuite, seulement par la zone de Béring, C, zone arabique, D, zone panaméenne – caraïbe. L'Australie est séparée encore aujourd'hui de la zone indo-malaise (E). Inspiré de Simpson, 1969.- Géographie de l'évolution, Masson.

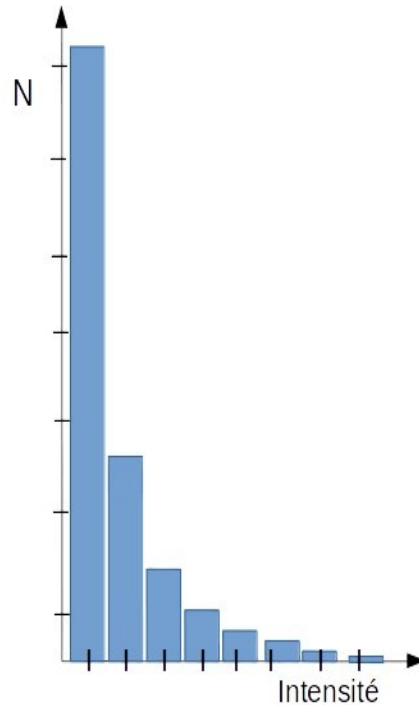


Fig.6.- Distribution du nombre d'événements d'une intensité donnée, courbe dite en L Exemples classiques : tremblements de terre, nombre de genres éteints par étage. Dans ce dernier cas, on observe la distinction entre extinctions dites de fond (très nombreuses et peu importantes) et crises biologiques majeures (exemple de la crise de la fin du Crétacé, il y a 66 millions d'années).