

Jean-Paul SCHAER

Les recherches d'Alexander Agassiz (1835-1910) sur les récifs et la participation suisse aux premières investigations océanographiques américaines

Résumé. Peu après son arrivée aux USA, Louis Agassiz entre en contact avec Alexander Dallas Bache, le dynamique directeur du Coast Survey. L'amitié qui lie rapidement les deux hommes conduit à une collaboration scientifique durable, particulièrement favorable pour soutenir, à ses débuts, le développement de l'océanographie américaine. Elle se marquera d'abord par les travaux sur les récifs de Floride entrepris par Louis Agassiz et ses élèves. Parmi ceux-ci, Louis de Pourtalès s'engage ensuite dans la reconnaissance des sédiments couvrant l'ensemble du plateau continental de la côte Est des USA, les prolongeant jusque dans la zone des Caraïbes. Dans ce secteur, il poursuit les investigations sur les récifs. Il se persuade que ceux-ci s'y développent en s'implantant sur des assises calcaires formées par l'accumulation de débris d'organismes qui finissent par réduire la profondeur des eaux. Alexander Agassiz, le fils de Louis, prolonge ces recherches en les amplifiant. Devenu immensément riche par ses investissements miniers et par son activité dans ce domaine, il s'engage, à titre privé, dans d'importantes investigations océanographiques dans les Caraïbes, puis dans le Pacifique dont il devient l'un des meilleurs connaisseurs. Au cours des ans, ses recherches se portent principalement sur la formation des récifs de coraux. Très opposé à la théorie de la subsidence de Darwin, il s'efforce de visiter toutes les principales provinces récifales du monde. Il est persuadé que seule une approche objective lui permettra de saisir la diversité des paysages rencontrés dans ces environnements où les effets de soulèvement s'observent plus fréquemment que ceux de subsidence. Malgré la qualité de ses observations et d'intéressantes propositions, son œuvre a souffert de son attitude par trop négative face à la subsidence. Ses importants travaux sur les faunes et sédiments profonds n'ont pas connu un impact comparable à ceux du *Challenger*, bien qu'ils en représentent un complément de valeur.

Mots-clés : récifs - océanographie - subsidence - Louis Agassiz - Charles Darwin - Louis-François de Pourtalès - XIX^e siècle - XX^e siècle.

Abstract. Shortly after his arrival in the United States, Louis Agassiz meets Alexander Dallas Bache, the dynamic director of the Coast Survey. Their friendship rapidly leads to a durable scientific collaboration on the development of the beginnings of American oceanography. It will be marked by Louis Agassiz and his students' work on the Florida reefs. Among them, Louis de Pourtalès later begins the survey of sediments deposited on the entire continental shelf of the eastern coast of the USA, as far

as the Caribbean zone. In this area, he also carries out investigations on the reefs. He considers that they develop by implanting themselves on limestone platforms formed by the accumulation of dead organisms, which, in reducing the water depth, make their development possible. Alexander Agassiz, the son of Louis, continues this research by amplifying it. Becoming immensely wealthy through his mining investments and by his activity in this domain, he single-handedly funds important oceanographic investigations. His voyages to the Caribbean and then the Pacific enable him to become one of the most knowledgeable scientists in these regions. As time elapses, he turns principally his attention to the formation of coral reefs. Very much opposed to Darwin's theory of subsidence, he strives to gain first-hand knowledge about all of the most important reef provinces in the world. He is persuaded that only an objective first-hand approach can allow the comprehension of the diversity of the landscapes encountered in these environments where the effects of uplift are more frequently observed than those of subsidence. Despite the quality of his observations and interesting proposals, his work suffered by his very negative attitude to the theory of subsidence. His work on deep fauna and sediments does not have an impact comparable to those of the *Challenger*, although they represent a useful complement.

Key-words: reefs - oceanography - subsidence - Louis Agassiz - Charles Darwin - Louis-François de Pourtalès - XIXth century - XXth century.

Introduction

À ses débuts, l'océanographie américaine a été soutenue par le Coast Survey, une institution créée par le Suisse Ferdinand Rudolph Hassler (1770-1843). Elle a connu un développement particulièrement important sous l'autorité de son second directeur, Alexander Dallas Bache (1806-1867), grand ami de Louis Agassiz (1807-1873) et premier président de l'Académie américaine des sciences. Scientifique et gestionnaire reconnu, ce physicien a rapidement gagné la confiance des autorités pour qu'il puisse développer, dans son service, des activités de recherche de caractère fondamental. En 1847, peu après l'arrivée de Louis Agassiz aux USA (Lurie, 1960), il met ainsi à la disposition du savant, un bateau, afin que celui-ci puisse explorer, dans les meilleures conditions possibles, la géologie, les eaux et les faunes des zones côtières situées dans la région de Boston. Durant l'hiver 1851, il offre à nouveau à Agassiz les services d'un bateau et de son équipage, pour que le naturaliste puisse, avec l'aide de deux de ses étudiants, examiner, au large de la Floride, l'évolution des récifs et des chenaux marins de cet important secteur donnant accès à la mer des Caraïbes. Dans les conclusions de son étude, Louis Agassiz (1852) considère que la péninsule de Floride et ses récifs évoluent dans un milieu tectoniquement stable, sans subsidence, ni soulèvement. Les coraux s'y développent jusqu'à ce qu'ils atteignent la surface des eaux, entraînant alors l'arrêt de leur possible croissance verticale. Sous l'effet des tempêtes, ces édifices sont alors recouverts par des sédiments meubles conduisant à l'émergence de dépôts côtiers qui, par infiltration des eaux, sont lentement transformés en calcaires massifs. Ceux-ci, par le comblement sédimentaire de ces étendues d'eaux peu profondes, viennent se joindre à ceux du continent qui, antérieurement, avaient participé à la même évolution. Au large, en prenant appui sur des sédiments côtiers, de nouveaux récifs prennent le relais. On assiste ainsi, par

l'accrétion régulière d'anciennes zones récifales, à l'accroissement progressif de terres émergées, à l'extension du domaine continental. Cette interprétation de l'évolution récifale est donc fort différente de celle décrite par Darwin dans le Pacifique où la subsidence du fond océanique est considérée comme le mécanisme primordial du développement des récifs.

Louis François de Pourtalès (1824-1880)

Louis de Pourtalès est un autre Suisse qui s'est distingué au Coast Survey. À Neuchâtel où il est né, il avait été l'un des étudiants favoris de Louis Agassiz. Très jeune encore, il avait participé à ses recherches sur le glacier de l'Aar. En 1847, il fait partie du premier groupe de chercheurs neuchâtelois qui rejoint Agassiz aux USA. Avec l'appui de ce dernier, il se trouve bientôt engagé par le Coast Survey où sa carrière se poursuit jusqu'en 1873. Il met alors ses connaissances et sa compétence à la disposition du Musée de Zoologie comparée, créé par Louis Agassiz à Harvard, en y travaillant jusqu'à son décès, comme collaborateur scientifique et administratif bénévole.



Figure 1. Louis François de Pourtalès (1824-1880) [à gauche] avec Louis Agassiz (1807-1873).

Les travaux océanographiques de Pourtalès (A. Agassiz, 1880) se sont essentiellement effectués au large de la côte est de l'Amérique, du Maine jusque dans la partie nord de la mer des Caraïbes. En 1870, sur la base de quelque 7 000 échantillons prélevés lors de sondages bathymétriques, il publie la première carte des

sédiments récents de ce vaste secteur (Pourtalès, 1870). Ce travail montre qu'au large du plateau continental et au sud, dans les régions placées sous l'influence du Gulf Stream, les sédiments ont partout une composition calcaire liée à l'activité biologique. Le long des côtes, par contre, du Cap Cod jusqu'à la Floride, sur les larges étendues peu profondes du plateau continental, les sédiments sont des sables essentiellement quartzeux. Particulièrement purs près du rivage, ils se chargent, en allant vers le large, de fragments d'organismes marins calcaires dont les espèces sont révélatrices de la profondeur des prélèvements. Au-delà de 100 mètres de profondeur, les coquilles de globigérines deviennent l'élément dominant de cette contamination biologique. Localement, à la limite du plateau continental, Pourtalès signale la présence de sables verdâtres, dont la coloration est liée à la glauconite, qui imprègne et transforme insensiblement les coquilles de foraminifères. Les données générales de cette étude, comme celles où Pourtalès montre que les apports glaciaires sont présents jusqu'au sud du New Jersey, n'ont pas été fondamentalement bouleversées par les recherches ultérieures.

Pourtalès a également participé aux premiers sondages et dragages entrepris entre la Havane et Key West pour reconnaître la nature des fonds marins sur lesquels devait être posé un premier câble télégraphique (Pourtalès, 1870). Il montre alors que les faunes des grandes profondeurs, tout en étant aussi variées et abondantes que celles des zones côtières peu profondes, se composent d'espèces fort différentes. Il reconnaît qu'au-delà des édifices de coraux bordant la côte, le fond marin s'enfonce d'abord régulièrement sur près de deux miles. Bien que couvert par d'abondants débris de coraux et de gastéropodes provenant des récifs voisins, ce secteur est marqué par une absence presque totale de vie animale macroscopique. Au-delà, sur plus de 30 miles parallèlement aux récifs, à des profondeurs de 90 à 300 brasses (100-500 m), un palier calcaire est formé par l'accumulation de débris de coraux, d'échinodermes et de gastéropodes sur lequel viennent se fixer de nouveaux organismes. Bien que poreux, ce dépôt se trouve rapidement consolidé et induré par diverses actions biologiques dont celle des algues. Par accroissement lié à l'accumulation persistante de débris organiques, cette plateforme, qu'Alexander Agassiz nommera le Plateau Pourtalès, tend lentement à gagner des profondeurs permettant l'implantation des coraux constructeurs. C'est une zone sur laquelle vont prendre pied de futurs récifs. Cette proposition aura une grande incidence sur le regard qu'Alexander Agassiz portera sur le développement des constructions récifales.

Pionnier de la récolte et de l'étude des faunes vivant à grande profondeur, Pourtalès s'intéresse tout particulièrement aux coraux de ces milieux. Il leur consacre une importante monographie (Pourtalès, 1871). Les globigérines attirent également son attention par le rôle qu'elles jouent dans les sédiments et par leur vie. Il montre que ces organismes flotteurs vivent et se déplacent dans une large tranche d'eau, s'étendant de la surface de l'océan jusqu'à des profondeurs situées bien au-delà de celles atteintes par la lumière. En 1871-72, lorsque Louis Agassiz, très affaibli, entreprend le tour de l'Amérique du Sud à bord du *Hassler*, la nouvelle unité du Coast Survey, Pourtalès est membre de l'expédition avec la responsabilité des opérations de

dragage. Comme d'autres biologistes, il part avec l'espoir que ces recherches le mettront en contact avec des faunes disparues. À la suite du décès d'Agassiz, c'est à lui que reviendra la tâche de publier les quelques résultats scientifiques de cette décevante aventure.

Alexander Agassiz (17 déc. 1835 - 27 mars 1910)

Né à Neuchâtel, Alexander Agassiz passe sa première jeunesse dans cette ville. En 1848, il rejoint son père à Boston où il poursuit ses études à la Lawrence Scientific School pour y recevoir une double formation d'ingénieur civil et de biologiste. Grâce aux relations de son père, il est à son tour également engagé par le Coast Survey, mais après une première campagne sur la côte du Pacifique, il donne sa démission, cette activité lui paraissant sans avenir.



Figure 2. Alexander Agassiz (1835-1910).

En 1860, il entre en tant qu'« *agent* » au Musée de Zoologie comparée que dirige son père; il se marie et, par cette alliance, renforce les liens que sa famille a établis avec les cercles aisés de Boston. Bien que satisfait par ses activités scientifiques, il aspire à les pratiquer en dehors des constantes contraintes financières que son père a connues toute sa vie. En 1866, l'un de ses beaux-frères et des investisseurs de Boston ayant acquis des droits miniers sur les bords du lac Supérieur, le prie de se rendre

sur place pour en évaluer le potentiel. Enthousiasmé par les fortes teneurs de cuivre natif rencontrées, il emprunte 10 000 \$ pour devenir partenaire de cette affaire. L'exploitation se révélant beaucoup plus difficile que prévue, Alexander Agassiz prend toute l'affaire en main et parvient, en deux années de travail intensif, à mettre sur pied une entreprise qui paraissait proche de la faillite et à la transformer en une compagnie prospère et rapidement très rentable. Il en est successivement l'ingénieur, le directeur financier, puis le directeur général. Entre 1869 et la fin 1909, la société dégage un bénéfice cumulé de 110 millions de \$ de l'époque. Bien que n'étant pas le principal bénéficiaire de cette heureuse manne, elle lui permet d'utiliser sa part substantielle pour réaliser, sans contrainte financière, ses ambitions scientifiques qui s'expriment d'abord par la sortie d'un important ouvrage illustré consacré à la révision des Echinides (A. Agassiz, 1872-1874).

En 1869, à Dublin, lors d'une grande tournée qu'il effectue en Europe, Alexander Agassiz entre en contact avec Wyville Thomson qui est à la veille d'entreprendre la grande expédition du *Challenger*. Celui-ci l'informe que, lors d'une croisière dans l'Atlantique, il a remonté des organismes vivants, depuis 5 000 m de profondeur. Agassiz comprend que ces découvertes ouvrent un tout nouveau domaine de recherche qui ne demande qu'à être exploité.

Après le décès de son père puis de sa femme en 1873, il s'engage avec une ferveur toujours renouvelée dans sa double carrière minière et scientifique. Il oriente cette dernière d'abord vers l'océanographie des Caraïbes, ce qui lui permet de quitter Boston et son climat hivernal rigoureux qu'il n'apprécie pas.

À partir de 1877 et jusqu'en 1880, le Coast Survey met à sa disposition le *Blake*, un vapeur de 350 tonnes, afin d'étendre les recherches de Pourtalès en direction de la mer des Caraïbes. Les résultats de ces missions paraissent sous la forme de 2 volumes richement illustrés (A. Agassiz, 1888), formant une sorte d'introduction à l'océanographie (à la thalassographie selon l'auteur) destinée à un large public cultivé. Au-delà de la description des faunes, jusque là peu ou pas connue et de leur illustration, des cartes en couleur donnent une vue générale de la morphologie complexe, de la nature des sédiments ainsi que des températures d'un large secteur marin s'étendant jusqu'aux abords de l'Amérique du Sud. Ces dernières données, jointes à celles dont on dispose alors grâce aux travaux du *Challenger*, couvrent même une large part de l'Atlantique. Celles de surface font particulièrement bien ressortir l'influence du Gulf Stream, tandis que celles des profondeurs soulignent l'homogénéité thermique des fonds marins avec des températures proches de 2°C, correspondant à la densité maximale de l'eau de mer à ces profondeurs. Les résultats obtenus ont souvent été facilités par l'amélioration des équipements de sondage introduits par l'ingénieur minier.

Les dragages du fond marin, entrepris avec de nouveaux chaluts spécialement adaptés, ont rapporté des profondeurs une abondante moisson d'animaux, dont plusieurs espèces encore inconnues. Ils sont présents jusque dans les zones les plus

profondes où ils se nourrissent de la pluie de matière organique provenant de la surface. Alexander Agassiz juge alors que le milieu marin ne compte que deux zones où se rencontre la vie. Celle de surface, qui s'étend jusqu'à quelques centaines de mètres, est habitée par des faunes bénéficiant des effets de la lumière. Une seconde zone de vie, également épaisse d'une centaine de mètres, surmonte le plancher marin. Elle est habitée par des organismes qui se nourrissent de la matière organique accumulée sur le fond océanique par la pluie de détritiques provenant de la surface. Entre ces deux domaines, Alexander Agassiz situe une sorte de grand désert où toute vie est absente. Il n'abandonnera jamais cette idée contestée, estimant que les prélèvements de faunes que signalent ses contradicteurs sont des accidents sans signification, résultant de captures effectuées avec des filets mal adaptés, ne garantissant pas la localisation des prises.

En 1891, le gouvernement américain met à la disposition d'Alexander Agassiz l'*Albatros*, une belle unité de 1 100 tonnes, pour autant qu'il assure les frais liés à son utilisation. Il explore alors les eaux situées entre les Galápagos, l'Amérique centrale et le Mexique où il constate un appauvrissement sensible des faunes profondes par rapport à celles qu'il avait récoltées dans les Caraïbes.

Les récifs

En 1851, lorsque Louis Agassiz avait entraîné son fils dans son exploration des récifs de Floride, il estimait que la théorie de Darwin, qui avait reçu un accueil très favorable dans les milieux scientifiques, offrait une approche satisfaisante pour expliquer les récifs barrière et les atolls du Pacifique, mais qu'elle était mal adaptée pour rendre compte du développement des récifs dans des secteurs stables comme la Floride. Pour sa part, au cours des années, Alexander Agassiz va se montrer de plus en plus critique vis-à-vis de la théorie de la subsidence. Au-delà de sa première expérience, ses doutes sont alimentés par les travaux de Pourtalès montrant que les récifs ne se développent pas nécessairement sur la bordure d'édifices volcaniques, mais qu'ils peuvent s'installer sur des plateformes produites par l'accumulation de coquilles calcaires. Dans une lettre adressée à Alexander Agassiz, Darwin admettra cette possibilité du développement récifal (G. Agassiz, 1913), mais il la considère comme négligeable, estimant même qu'il y a peu de chance de la rencontrer dans le Pacifique.

Lors de ses premières expéditions dans les Caraïbes orientées vers la connaissance des faunes et des sédiments profonds, Alexander observe que de nombreuses zones côtières de ces régions sont formées par d'anciennes constructions récifales soulevées. En 1876, lors d'une visite faite à Edinburgh chez Murray, il apprend que le savant écossais, qui vient de rentrer de la grande croisière du *Challenger*, réfute également les propositions de subsidence de Darwin pour expliquer l'évolution des récifs du Pacifique (Murray, 1911). Il considère que ceux-ci se forment au-dessus des nombreuses zones élevées qu'on rencontre dans les océans. Bien que

d'abord trop profonds pour permettre l'implantation de récifs, ces reliefs s'élèvent régulièrement par les apports sédimentaires, d'abord planctoniques, puis par ceux liés à l'activité biologique, de plus en plus intense et variée, que favorise la diminution progressive de la profondeur. On finit ainsi par atteindre le milieu favorable au développement des coraux. Avec le temps, en prenant pied sur les dépôts de talus des premiers récifs, cette zone de croissance s'étend latéralement. Elle gagne progressivement le large, laissant derrière elle, ceinturée par un atoll, l'étendue moins bien alimentée du lagon (Dobbs, 2005). Cette information va donc dans le même sens que les considérations de Pourtalès.

Alexander Agassiz estime alors que le problème de la formation des récifs doit être totalement repris. Après 1884 et une première visite aux Hawaï, ce sujet devient le centre de ses préoccupations scientifiques. Il le conduit à de nouvelles expéditions dans les Caraïbes, les Bahamas et les Bermudes ; puis de 1896 à 1900, il l'entraîne dans le Pacifique avec des visites à la Grande Barrière de Corail, aux Fidji, dans le Pacifique central, et pour terminer, aux Maldives en 1902 .

À l'occasion de la publication qu'il consacre aux îles Hawaï (A. Agassiz, 1889), Agassiz fait état des connaissances acquises en Floride et dans les Caraïbes. À ses yeux, bien que la théorie de la subsidence de Darwin soit alors largement acceptée par la majorité et qu'elle se trouve reprise dans presque tous les manuels de géologie, il tient à souligner qu'elle est vivement critiquée par la majorité des savants ayant récemment entrepris des études régionales approfondies dans les zones récifales. Alors que plusieurs d'entre eux ont pu montrer la fréquence de récifs soulevés, aucune recherche entreprise sur des atolls ou des barrières récifales n'est réellement parvenue à prouver la subsidence. Cette dernière ne paraît donc être qu'une idée mise à la disposition d'une théorie. Alexander Agassiz ne nie pourtant pas la possibilité de subsidence dans le Pacifique, il admet même qu'elle est localement prouvée. Par contre, il souligne que personne n'a montré que la croissance des coraux y est associée et qu'elle en serait la cause.

Dans son analyse, Alexander Agassiz ne manque pas de reprocher à Darwin, qui se veut si attaché aux causes naturelles, de ne pas tenir compte des plus simples d'entre-elles, pourtant visiblement actives dans les zones récifales, comme l'érosion mécanique, la dissolution et l'extension latérale des coraux en zone de faibles profondeurs. Le recours à la subsidence sur une aussi grande surface que le Pacifique n'est-il pas un nouvel appel aux causes extraordinaires et catastrophiques ?

Il importe de souligner qu'au moment où paraissent ces commentaires, la position de Darwin, suite à la publication de *l'Origine des Espèces*, n'est plus celle qui avait prévalu après son voyage autour du monde où chacun admirait le jeune et talentueux explorateur. Du fait de ses prises de position évolutionnistes, on en est même venu à remettre en cause ses anciennes propositions, autrefois si admirées. Le duc d'Argyll s'efforce même de discréditer l'homme et par là, la communauté scientifique qui, à ses yeux, met en péril la foi chrétienne : « *La théorie de la subsidence n'est, en fait, qu'un*

rêve malsain, contraire à la vérité. Malgré les précautions prises par Darwin et son grand pouvoir d'observation, il a entraîné chacun dans ses erreurs qui sont aussi profondes que les abysses du Pacifique. Acclamées à leur sortie par la foule des ignorants prétentieux, aujourd'hui leur caractère douteux peut encore à peine être murmuré » (Argyll, 1887). Au contraire de cette attitude polémique et passionnée, la critique d'Alexander Agassiz, qui est alors acquis à la théorie de l'évolution, cherche à maintenir le débat sur le seul plan scientifique, même si le ton se veut ferme. Il reproche essentiellement à la théorie des récifs de Darwin son caractère spéculatif et de n'être associée qu'à bien peu d'observations. Dobbs (2005) pense que l'attitude d'Alexander est partiellement dictée par un esprit de revanche contenue, visant celui qui a écarté son père de sa position de premier phare de la biologie. Nous ne partageons pas ce point de vue.

En 1885, le président Cleveland propose à Alexander Agassiz de prendre la direction du Coast Survey, un signe évident de la reconnaissance qu'on accorde à ses travaux et à ses capacités. Ne se sentant pas disposé à renoncer à ses engagements miniers, à ses objectifs de développement du Musée de Zoologie comparée et, par dessus tout, à l'indépendance dont il dispose pour ses recherches océanographiques, il décline cette offre séduisante. En 1892-93, une expédition aux Bahamas ne lui permet pas de montrer, comme il l'aurait souhaité, que la croissance des récifs de ces régions s'est développée à partir d'une large plateforme carbonatée. Il est par contre heureux de relever dans ces paysages à fleur de l'eau, comme d'autres l'avaient déjà souligné avant lui, la grande importance des sables éoliens couvrant de très larges surfaces dans ces régions souvent faiblement émergées. Aux Bermudes, en 1893-94, il constate que ce même type de sédiments est l'élément dominant du paysage, à terre comme en mer. Là, il forme la charpente de presque tous les reliefs, petites îles et écueils, qui, lorsqu'ils sont immergés, même partiellement, se trouvent recouverts par un mince tapis d'organismes marins. On les prend alors facilement pour des constructions récifales alors que celles-ci ne sont présentes qu'au large où, du reste, elles ne jouent qu'un rôle mineur. En 1894-95, il retourne en Floride, visitant à nouveau des lieux qu'il avait examinés, quarante années plus tôt, sous la conduite de son père : *« Nous avons alors pratiquement visité les mêmes affleurements rocheux que ceux que nous avons examinés anciennement avec papa, seulement ce qu'il voyait et ce qu'il avait réellement vu, je suppose, n'existait pas »* (G. Agassiz, 1912). Alexander se rend compte que, face aux données de terrain, son père pouvait, par son autorité et ses qualités pédagogiques, faire admettre à son entourage les interprétations qui convenaient à ses théories. Alexander reconnaît maintenant dans ces mêmes paysages de nouveaux traits et de nombreuses questions anciennement ignorées. Malgré ses constatations, il reste persuadé de la totale objectivité de ses propres observations et de ses analyses. Il ne peut même pas envisager que son désir de prouver l'absence de subsidence puisse avoir une influence sur ses propres démarches, sur sa vision des récifs.

En 1896, Alexander Agassiz se rend dans la région de la Grande Barrière d'Australie. Effectuée à une époque peu favorable, cette mission est un échec partiel,

même s'il estime y avoir rencontré des données confirmant ses vues. L'hiver suivant, il est aux Fidji où il retrouve des récifs soulevés (A. Agassiz, 1899). Il est persuadé que, dans certaines de ces îles, les vastes étendues souvent peu profondes situées au large des terres, sont d'anciennes surfaces d'érosion marine qui n'ont été colonisées que tardivement par les coraux. La barrière récifale situe l'emplacement de leur développement optimal, entretenu par les apports nutritifs des courants. À terre, il observe l'importance de l'érosion calcaire favorisée par l'abondance de la végétation tropicale. Elle aboutit localement à de spectaculaires développements karstiques. Pour Alexander Agassiz, contrairement aux propositions de Darwin, les Fidji ne sont pas une région de subsidence, mais au contraire une région de soulèvement soumise aux phénomènes d'altération, de dissolution et d'érosion marine.

D'août 1899 à mars 1900, Agassiz complète sa connaissance du Pacifique par sa plus longue mission. Après avoir exploré une large part du Pacifique central, elle le conduit jusqu'au Japon (A. Agassiz, 1903a). Au cours de cette tournée, il fait entreprendre un forage sur la marge d'un récif afin de prouver que dans une pareille situation, contrairement aux propositions de Darwin, l'épaisseur des calcaires récifaux reste faible. Comme on se maintient dans ce type de roche au-delà de ses espérances, le forage est abandonné sous prétexte que des affleurements voisins permettent une meilleure appréciation de la situation.

Pour sa dernière expédition vers les récifs, Agassiz se rend aux Maldives (A. Agassiz, 1903b). Elle le conduit à proposer que ce vaste champ d'atolls composites s'est développé à partir d'un large plateau avec des reliefs mineurs peu profonds, d'où, par croissance, les coraux sont parvenus à atteindre la surface des eaux. Agassiz avait l'espoir de mettre au point un ouvrage de synthèse sur les récifs et leur évolution. La grande variété de paysages rencontrés lors de ses expéditions l'a rapidement persuadé qu'un tel travail exigeait une connaissance de première main de toutes les principales zones récifales de la planète. C'est la raison de ses multiples visites dans les Caraïbes et l'océan Pacifique. Il pensait qu'une ample récolte de données précises devait lui permettre d'éviter les spéculations audacieuses et devait lui fournir la substance d'un travail impartial. Cette façon d'aborder la recherche se trouve en totale opposition avec celle suivie par Darwin (Herbert, 2005). On sait que celui-ci a conçu son hypothèse bien avant d'observer ses premiers récifs. Formé par la lecture des *Principles of Geology* de Lyell, il avait, au cours de la première partie de son voyage autour du monde, été très frappé par les plages soulevées de la côte de l'Amérique du Sud. Au Chili, après le fort tremblement de terre dont il est témoin, il observe à nouveau le soulèvement de plusieurs régions côtières. Il propose alors que, sur une Terre finie, de tels phénomènes doivent être compensés par la subsidence d'autres régions. La zone du Pacifique lui paraît pouvoir être l'une d'elles. Il confirme cette proposition après un arrêt de quelques jours dans les îles de Keeling (actuellement îles Cocos) dans l'océan Indien. Les examens cartographiques et les lectures effectués après son retour en Grande-Bretagne lui confirment le bien fondé de sa théorie et l'engagent à publier son ouvrage sur les récifs (Darwin, 1848).

Le projet de synthèse d'Alexander Agassiz, longtemps esquissé, n'a malheureusement jamais vu le jour. Les recherches faites pour retrouver les manuscrits qu'il mentionne à plus d'un de ses correspondants n'ont jamais abouti (Dobbs, 2005). Sa vision de l'évolution des récifs ne nous est connue que par ses multiples descriptions et par un groupe de six croquis topographiques d'îles du Pacifique évoquant les stades successifs conduisant, sans subsidence, à la formation d'atolls, pour des îles calcaires et pour des îles volcaniques (fig. 3) (*in* G. Agassiz, 1913). L'île de Fulanga dans les Fidji, dont l'origine n'est pas précisée, forme avec ses falaises calcaires qui encerclent un lagon, une sorte de vaste doline façonnée par l'érosion karstique. Soumises aux importantes précipitations tropicales, les assises calcaires disparaissent insensiblement, puis totalement par la dissolution favorisée dans la zone interne de l'île par la végétation. Il ne restera au final, comme à Reid Haven, qu'une couronne de récifs héritée de ceux qui s'étaient installés autour de l'île calcaire dès sa sortie de l'eau. Le développement des atolls, à partir d'une île volcanique, s'explique de façon semblable mais, dans ce cas c'est l'érosion mécanique qui est l'agent actif, favorisé par la forte altération tropicale.

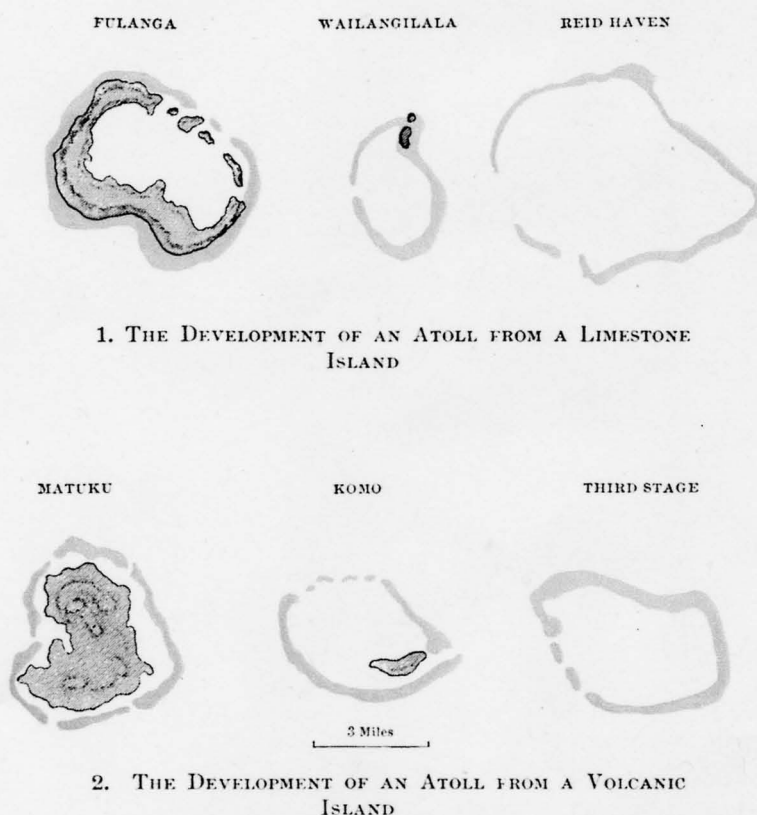


Figure 3. Propositions d'Alexander Agassiz pour rendre compte de l'évolution des atolls, sans subsidence, à partir d'une île calcaire et d'une île volcanique.

Au cours de ses recherches sur les récifs, Alexander Agassiz n'a pas su apprécier la force de la théorie inductive de Darwin qui, si elle ne prouvait rien, permettait d'expliquer tant de généralités et de détails tout en présentant une ouverture incomparable pour la recherche ultérieure. Darwin était au reste conscient des limites de ses propositions. En réponse à l'enthousiasme de Lyell, il demandait qu'on s'en

tienne aux faits, sans utiliser sa théorie pour l'appliquer à des objets voisins : « *alors qu'elle n'est basée que sur peu de faits, la généralisation d'une hypothèse à un ensemble étendu, ne peut être adressée qu'avec prudence* » (lettre à Lyell du 13 septembre 1838). Deux commentaires adressés par Darwin à ses correspondants au sujet de sa théorie de l'évolution peuvent certainement être repris ici pour illustrer sa position par rapport aux problèmes des théories en général et tout particulièrement à celle des récifs : « *Je crois fermement que sans théorie spéculative, il n'y a pas d'observation bonne et originale* » (Lettre de Darwin à A. R. Wallace du 22 décembre 1857) et « *Permettez-moi d'ajouter qu'à mon avis il existe un grand nombre de difficultés qui ne sont pas expliquées d'une manière satisfaisante par ma théorie (celle de l'évolution) ; d'un autre côté, il m'est impossible de croire qu'une théorie fausse expliquerait autant de classes de faits qu'elle me semble expliquer* » (Lettre à Asa Gray du 11 novembre 1859).

Reconnu de son vivant et au-delà comme l'un des meilleurs connaisseurs des récifs (Davis, 1928), Alexander Agassiz les aborde par une approche totalement différente de celle de Darwin. Elle ne doit être que déductive, basée sur une large moisson de données, devant toutes être parfaitement objectives. À son époque, celles-ci sont pratiquement réduites à des considérations morphologiques, à l'examen des zones récifales très peu profondes ou faiblement émergentes. Il y a bien les récifs soulevés, mais là, les données doivent être écartées étant trop souvent teintées de possibles interprétations subjectives. À cette époque, la difficulté, voire même l'impossibilité de disposer d'une représentation fiable de la structure interne des récifs, de maîtriser les données de l'eustatisme et de celles d'une chronologie précise, rend pratiquement illusoire l'étude de leur développement par cette approche.

Recherches récentes

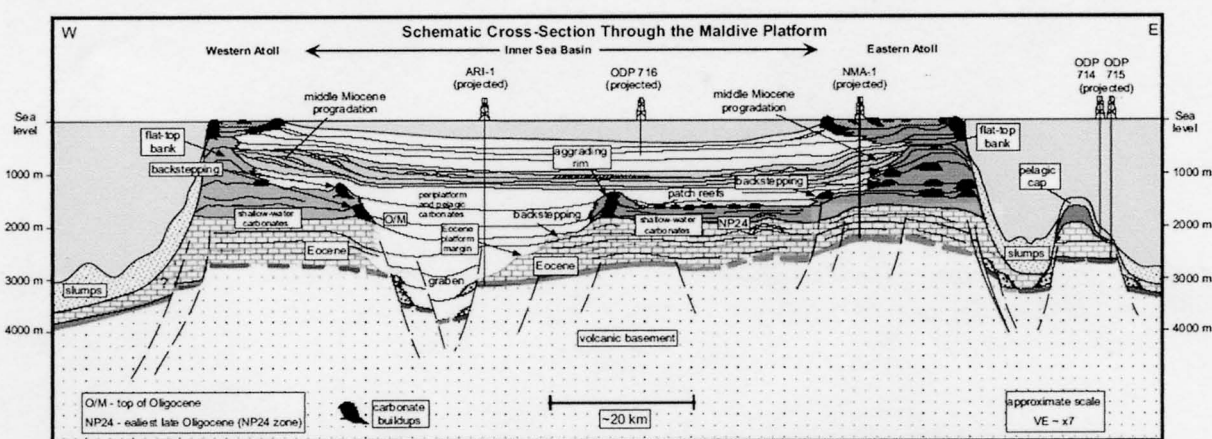


Figure 4. Structure des récifs des Maldives, d'après Belopolsky et Droxler (2004), simplifiée.

La contribution scientifique d'Alexander Agassiz dans le domaine récifal n'est cependant pas négligeable, même si elle est actuellement souvent ignorée. Cette situation tient au fait que sa position s'articule essentiellement sur la négation de la subsidence qui s'est justement imposée. On ignore cependant un peu trop ses

observations sur la karstification, sa défense de l'installation des récifs sur des bancs calcaires et l'impulsion que ses études ont entraînée dans la recherche récifale en général. Les résultats des forages entrepris sur l'atoll d'Eniwetok en 1950 qui se sont maintenus dans des calcaires récifaux sur une épaisseur de 4 300 pieds, ont apporté une preuve éclatante de la subsidence de ces îles et la validité des propositions de Darwin (Dobbs 2005). Aux Maldives, les récents travaux d'une équipe américaine, où se rencontrent à nouveau des géologues neuchâtelais comme Droxler et Aubert (Aubert et Droxler 1996, Belopolsky et Droxler, 2004) illustrent, eux aussi, l'importance de la subsidence tout en constatant que, dans ce secteur, les récifs se sont développés en s'installant sur des sédiments calcaires. Disposant de deux forages industriels et de deux forages ODP (Ocean Drilling Program) ainsi que des lignes sismiques Shell, ces chercheurs ont pu suivre l'histoire complexe de cette vaste plateforme carbonatée s'étendant sur 800 km de longueur et présentant une largeur de 130 km. Sans entrer dans les détails, nous retiendrons ici (fig. 4) que, dans ces régions de l'océan Indien, le socle volcanique datant du Paléocène ancien s'est trouvé recouvert, dès l'Eocène, par des sédiments calcaires de faible profondeur qui, jusqu'à nos jours, sous l'effet de la subsidence, ont conduit à des dépôts carbonatés épais de 3 km (jusqu'à 4 km dans des grabens étroits actifs jusqu'à l'Oligocène inférieur). Ce n'est qu'à partir de la fin de l'Oligocène, à la faveur d'une baisse marquée du niveau marin, que les récifs se sont développés ; ils s'installent alors, comme le proposait Alexander Agassiz, sur les parties les plus élevées de la plateforme carbonatée, tout particulièrement sur ses deux bordures qui sont alors nettement individualisées. Tandis que la partie centrale de la plateforme est ennoyée, la croissance récifale progresse à sa périphérie en suivant la montée eustatique. Les sédiments issus de l'érosion active de ces niveaux constructeurs participent au comblement de la dépression centrale. Au cours du temps, l'évolution de toute la plateforme est marquée par des variations eustatiques entraînant des périodes d'érosion. C'est surtout durant le Quaternaire, sous l'influence des grands cycles climatiques, que celles-ci deviennent fréquentes. Les régimes de bas niveau marin des périodes froides favorisent, comme en d'autres régions récifales, une importante karstification. C'est sur cette morphologie que se sont développés les atolls actuels.

L'important apport d'Alexander Agassiz à la morphologie marine, à l'étude des oursins vivants, ainsi qu'à l'étude des sédiments et des faunes des grands fonds, paraît, de nos jours, également ignoré. Dans ces derniers domaines, ses résultats n'ont pourtant pas pâti d'une position doctrinale. Ils ont par contre souffert de la comparaison qu'on pouvait faire avec la vaste moisson de la grande expédition du *Challenger*, riche de ses cinquante volumes de rapports scientifiques auxquels Alexander Agassiz a lui-même collaboré. Il n'en reste pas moins que la contribution de ce savant à la connaissance de la zone des Caraïbes est pour le moins de qualité comparable et nettement complémentaire à cette œuvre monumentale. Il paraît également nécessaire d'ajouter qu'Alexander Agassiz mérite notre estime pour la générosité dont il a toujours fait preuve avec les matériaux rapportés de ses expéditions scientifiques. Toute sa vie, il fut un modèle pour la promotion de la collaboration internationale, cherchant toujours

à placer, sans restriction, ses trouvailles dans les mains des savants les plus compétents et en apportant son appui pour que les études qui en résultaient puissent être publiées dans les meilleures conditions. L'oubli que notre temps témoigne à ce savant tient peut-être au fait qu'on est face à un homme dont les actions furent trop dispersées, ayant mené de front et avec succès, en dehors de ses recherches fondamentales en océanographie et zoologie, une vie d'entrepreneur, de directeur d'une grande institution scientifique, qu'il a encore complétée par un solide engagement de mécène (Winsor, 1991). Son image a certainement aussi souffert de la comparaison qui a pu être faite avec celle de son père. Celui-ci, par ses talents d'enseignant, par son incomparable charme avait su se faire admirer par beaucoup et préparer sa gloire future. Alexander, par contre, n'aimait pas du tout enseigner. Sensible au mal de mer, il aimait pourtant ce milieu qui lui avait tant apporté. À terre, il affectionnait par dessus tout les grandes tournées équestres. En toutes circonstances, il aimait se sentir entouré par le petit groupe de ses proches collaborateurs et partager la compagnie de quelques amis.

Bibliographie

- AGASSIZ, A. (1872-1874). Revision of the Echini. *Illustrated Catalogue of the Museum of Comparative Zoology*, 7.
- AGASSIZ, A. (1880). Louis Pourtalès : 1824-1880. *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences*, 5, p. 78-89.
- AGASSIZ, A. (1888). Three cruises of the United States Coast and Geodetic steamer "Blake" in the gulf of Mexico, in the Caribbean Sea, and along the Atlantic Coast of the United States, from 1877 to 1880. *Bull. Museum of Comparative Zoology*, 14 and 15.
- AGASSIZ, A. (1889). The Coral Reefs of the Hawaiian Islands. *Bull. Museum of Comparative Zoology*, 17, n° 3.
- AGASSIZ, A. (1899). The Islands and the Coral Reef of Fiji. *Bull. Museum of Comparative Zoology*, 33, p. 1-167.
- AGASSIZ, A. (1903a). The Coral Reef of the tropical Pacific. *Mem. Museum of Comparative Zoology*, 28, p. 1-410.
- AGASSIZ, A. (1903b). The Coral Reef of the Maldives. *Mem. Museum of Comparative Zoology*, 29, p. 1-169.
- AGASSIZ, G. R. (1913). *Letters and Recollections of Alexander Agassiz*. Houghton Mifflin, Boston, 454 p.
- AGASSIZ, L. (1852). Extracts from the report [...] on the examination of the Florida reefs, keys and coast. *U.S. Coast Survey Rept. for 1851*, p. 145-160.
- ARGYLL, Duke of (1887). A great lesson. *Nineteenth Century*, 22, p. 293-309.

- AUBERT, O. et DROXLER, A. W. (1996). Seismic stratigraphy and depositional signatures of the Maldive carbonate system (Indian Ocean). *Marine and Petroleum Geology*, **13**, p. 503-536.
- BELOPOLSKY, A. et DROXLER, A. W. (2004). Seismic Expressions and Interpretation of Carbonate Sequences : The Maldive Platform, Equatorial Indian Ocean. *AAPG Studies in Geology*, **49**, 46 p.
- DARWIN, C. (1842). *The structure and Distribution of Coral Reefs*. Smith, Elder and Co., London [edit. 1874].
- DARWIN, F. (1888). *La vie et la correspondance de Charles Darwin*. Traduit par Henry C. de Varigny. C. Reinwald, Paris, 2 vol., 701 p. et 794 p.
- DAVIS, W. M. (1928). The Coral Reef Problem. *American Geographical Soc.*, Special Publication n° 8.
- DOBBS, D. (2005). *Reef Madness. Charles Darwin, Alexander Agassiz and the Meaning of Coral*. Panthon Books, New York, 306 p.
- LURIE, E. (1960). *Louis Agassiz : A Life in Science*. Chicago University Press, Chicago, 449 p.
- HERBERT, S. (2005). *Charles Darwin, Geologist*. Cornell University Press., Ithaka, 485 p.
- HERDMAN, W. A. (1923). *Founders of Oceanography and their Work*. Ed. Arnold, London.
- MURRAY, J. (1911). Alexander Agassiz : His life and scientific work. *Bull. of the Museum of Comparative Zoology*, **54**, n° 3, p. 139-158.
- POURTALÈS, L. F. de (1870). Der Boden der Golfstroms und der Atlantischen Kuste Nord America's. *Petermanns Mitteilungen aus J. Pethes geographisches Anstalt*, **11**, p. 393-398.
- POURTALÈS, L. F. de (1871). Deep-Sea Corals. *Mem. Museum of Comparative Zoology.*, **2**, n° 4.
- WINSOR, M. P. (1991). Reading the Shape of Nature : Comparative Zoology at the Agassiz Museum. University of Chicago Press, Chicago, 324 p.