

**ALBERT 1^{er} de MONACO, PROMOTEUR
D'UN RENOUVEAU DES RECHERCHES EN BIOLOGIE ABYSSALE**

Jean-Paul Truchot¹
**Ancien Professeur à l'Université Pierre-et-Marie-Curie,
à l'Institut Océanographique et à l'Université de Bordeaux 1**

Première édition : 2006
Edition révisée : janvier 2011

Les sujets abordés en Biologie abyssale lors des expéditions océanographiques du Prince Albert 1^{er} de Monaco étaient très divers : inventaire descriptif et répartition écologique des formes animales, bactériologie, analyse de l'adaptation du vivant aux conditions extrêmes des abysses, etc.. Ce programme très étendu préfigure remarquablement ce qu'est devenue aujourd'hui la recherche biologique dans l'environnement profond.

Si le Prince Albert 1^{er} n'est pas le premier savant océanographe à s'être intéressé à la vie dans les grandes profondeurs marines, il ne fait aucun doute qu'il est celui qui, à son époque, a poussé les recherches le plus loin et sous les angles les plus divers dans ce domaine, jouant ainsi un rôle à la fois de pionnier et d'inspirateur pour ses successeurs.

Les biologistes marins (on disait alors les naturalistes), étaient souvent conviés à bord des navires ayant contribué aux grandes découvertes géographiques. Ils n'ont d'abord eu accès qu'aux formes vivantes des eaux peu profondes, littorales ou de pleine mer, formes dont ils avaient entrepris l'inventaire, en même temps que de celles vivant dans les terres, depuis très longtemps (en fait depuis Aristote et Pline). Si l'on excepte quelques précurseurs², ce n'est vraiment qu'à partir de la première moitié du XIX^e siècle que l'on chercha à étendre cet inventaire vers les profondeurs. Le moyen principal utilisé pour les récoltes était alors la classique drague à huîtres qui fut d'ailleurs modifiée pour l'usage naturaliste dès le XVIII^e siècle par le zoologiste danois Otho Frederick Müller, grâce à l'adjonction d'un cadre métallique.

L'idée la plus importante à l'origine de cette démarche d'extension de l'inventaire des formes vivantes était d'inspiration écologique. Les milieux profonds étant physiquement très différents de ceux connus en surface, en particulier en raison des basses température et hautes pressions qui y règnent, on pouvait penser, à juste titre d'ailleurs, qu'ils devaient héberger une proportion importante de formes nouvelles et inconnues. Quand les théories de l'évolution biologique commencèrent à se faire jour, il fut aussi supposé que la stabilité physique de la mer profonde, que l'on croyait en particulier échapper totalement aux changements saisonniers de la surface, devait ralentir l'évolution du vivant et donc conserver des formes anciennes primitives. La découverte, dès 1854, de crinoïdes vivants en mer du Nord par Michaël Sars accrédita cette idée et la quête des « fossiles vivants », rendant possible une incursion dans le passé de la Terre et de la Vie, devint alors un autre puissant mobile de l'exploration biologique des profondeurs.

1 54bis Avenue Pierre Wiehn 33600 Pessac. <jean-paul.truchot107@orange.fr>

2 Parmi ceux-ci, on peut citer le pharmacien Antoine Risso qui, utilisant au tout début du XIX^{ème} siècle les captures des pêcheurs palangriers de la région de Nice, décrivait des organismes provenant de profondeurs atteignant 800-1000 mètres.

Forbes et le « niveau zéro de la vie »

Le principal nom qui reste associé à cette période est celui du britannique [Edward Forbes](#) (1815-1854). Bien qu'ayant étudié la médecine à Edimbourg, Forbes était aussi un excellent naturaliste. Il commença à explorer les fonds littoraux aux alentours des Iles britanniques puis, selon toute apparence déjà avec l'idée de rechercher une limite de la vie en profondeur, il entreprit en 1841 une campagne de dragages en mer Egée. L'absence de vie aux grandes profondeurs était alors souvent considérée plus comme une certitude que comme une possibilité, en raison, pensait-on, de l'absurdité d'une conception selon laquelle des créatures pourraient être capables de survivre en l'absence de lumière et sous des pressions



Edwards Forbes

considérables. De fait, les observations de Forbes publiées en 1843 et faites probablement à des profondeurs ne dépassant pas 400 m, montrèrent une raréfaction progressive avec la profondeur de l'abondance des spécimens récoltés. Une extrapolation lui permit de placer une limite vers 600 m au-dessous de laquelle la vie devait être absente ou du moins extrêmement raréfiée. Ces considérations, érigées en théorie dite « théorie du zéro de la vie », étaient peu compatibles avec les idées évolutives darwiniennes qui supposaient de puissantes capacités adaptatives des organismes. Mais il est vrai que Forbes défendait par ailleurs des opinions farouchement fixistes et qu'il mourut en 1854, avant la publication de la 1^{ère} édition de « L'origine de espèces » de Charles Darwin (1859).

Il est vrai aussi que ladite théorie du zéro de la vie pouvait être contestée à partir de nombreuses observations antérieures, et surtout depuis le début du XIX^{ème} siècle. La plupart de ces observations étaient certes suspectes, car entachées d'erreurs sur les profondeurs. Cependant, la théorie fut aussi très vite mise à mal par divers faits ayant suivi de très peu sa formulation. Le plus significatif fut sans doute l'observation d'organismes vivant sur un câble télégraphique sous-marin immergé à des profondeurs de 2000-2800 m entre la Sardaigne et l'Algérie et relevé en 1861 quelques années après sa mise en place. Ces formes vivantes furent étudiées par Alphonse Milne-Edwards, le savant zoologiste français qui influença le Prince Albert 1^{er}. Vinrent ensuite de nombreuses expéditions mieux équipées pour les dragages profonds et qui accumulèrent des récoltes à des profondeurs entre 2000 et 6000 m : expéditions anglaises avec le *Lightning* (1868) et le *Porcupine* (1869 et 1870), circumnavigation du *Challenger* (1872-1876), enfin expéditions françaises du *Travailleur*

puis du *Talisman* (1880-1883) auxquelles contribua Alphonse Milne-Edwards et qui furent sans doute une source d'inspiration majeure pour le Prince Albert 1^{er}.

Albert de Monaco entre en scène

C'est dans un tel contexte que le Prince Albert entre en scène. S'il fut le promoteur d'une exploration réellement multidisciplinaire de la mer, son intérêt principal se portait indubitablement vers la vie dans les profondeurs. La variété des questions abordées sous son patronage et au cours de ses expéditions à la mer suggère que son approche procéda certainement d'une réflexion approfondie et d'une volonté d'explorer la vie abyssale sous les angles les plus divers. En effet, plus personne ne doutait de l'existence d'une faune profonde, mais beaucoup de points restaient à développer ou à comprendre. L'inventaire des formes et de leur répartition devait certainement être complété et il était nécessaire pour cela de créer et de mettre en œuvre la plus grande diversité de techniques de collecte et d'étude. Cet inventaire devait s'étendre au-delà des formes visibles et considérer la possibilité de la présence de microbes, que l'on avait à l'époque de Pasteur démontré être omniprésents dans le monde terrestre. Il fallait comprendre pourquoi et comment, en dépit de ce que l'on avait longtemps cru impossible, des créatures très diverses pouvaient résister et prospérer dans les conditions de pression élevée des grandes profondeurs. Même la question de la rareté de la nourriture disponible pour les formes profondes était posée, ayant été vulgarisée par les spéculations sur la possibilité d'une génération spontanée de protoplasme en milieu abyssal, sous forme de la monère de Haeckel, *Bathybius haeckeli*³, qui aurait pu servir de source de nourriture. La plupart de ces questions ont été abordées par le Prince et ses collaborateurs, nous donnant rétrospectivement une image très organisée et remarquablement moderne de son entreprise.

L'amélioration des techniques

L'évolution des connaissances en Océanographie a toujours été très dépendante des techniques mises en œuvre. Le Prince Albert 1^{er} semble avoir été particulièrement conscient du fait qu'une connaissance exhaustive de la vie abyssale dépendait de la qualité des méthodes de collecte et il a toujours été très soucieux de perfectionner, de diversifier et d'adapter les moyens utilisés pour les récoltes profondes. De la première et modeste *Hirondelle* navigant à voiles, munie d'un treuil à bras déroulant, au moins au début, des câbles de chanvre, aux grands navires spécialement conçus que furent les deux *Princesse Alice* et l'*Hirondelle II*, utilisant la vapeur aussi bien pour la propulsion que pour la manoeuvre des treuils eux-mêmes équipés de câbles d'acier constamment perfectionnés, que de progrès et d'amélioration des performances, permettant des dragages et chalutages à des profondeurs supérieures à 6000 m qui furent longtemps des records⁴ ! La multitude d'engins de récolte mis en œuvre témoigne aussi d'une recherche systématique de la diversification maximum des captures : dragues et chaluts benthiques, filets de tailles et d'ouvertures très variées, horizontaux puis verticaux. La quête de spécimens zoologiques aussi divers que possible s'accompagnait de préoccupations concernant leur répartition selon la profondeur, étudiée

3 Découverte par Huxley en 1868, et qui se révéla n'être qu'un misérable précipité minéral de sulfate de calcium, comme le montra plus tard J.Y. Buchanan, chimiste qui embarqua régulièrement sur les navires du Prince Albert 1^{er}.

4 Ainsi, un chalutage profond à 6035 m au large du Cap Vert en 1901 est réputé être resté le plus profond dans l'Atlantique jusqu'en 1947. Un autre exemple est la capture du Poisson abyssal *Grimaldichthys profundissimus* dans une nasse appâtée mouillée à plus de 6000 m.

grâce à la mise en œuvre de dispositifs d'ouverture et de fermeture de plus en plus perfectionnés. L'utilisation de nasses appâtées semble aussi avoir fait l'objet d'une attention particulière, les modèles utilisés ayant été très divers de tailles, de formes ainsi que d'équipements annexes variés (nasses lumineuses en particulier). C'est ainsi qu'ont pu être collectées de nombreuses espèces carnivores ou nécrophages de grande taille, comme les Amphipodes de la famille des Lysianassidés, dont on sait à présent qu'elles constituent un compartiment biologique important de la faune abyssale, utilisant principalement les carcasses de grands animaux morts. Pour l'anecdote, on doit aussi noter que le Prince n'a pas négligé le moyen d'exploration que constitue l'analyse des contenus digestifs des grands cétacés comme les cachalots, qui reste le mode d'étude principal des calmars géants bathyaux leur servant de proies.

On peut sans risque de se tromper affirmer que l'activité de collecte zoologique patronnée par le Prince Albert 1^{er} a utilisé les techniques les plus perfectionnées de son temps, techniques à l'élaboration desquelles il a d'ailleurs largement participé. Il a même tenté de mettre en œuvre les moyens photographiques de l'époque dans l'espoir d'arriver à voir directement en place les spécimens profonds que ses engins capturaient à l'aveugle. Certes, le développement moderne d'abord des bathyscaphes puis de submersibles plus maniables, pouvant évoluer aux plus grandes profondeurs et munis de dispositifs de prélèvement, a permis l'observation directe et la récolte précise de spécimens de la faune des profondeurs, voire la mise en place d'expérimentations *in situ* sur les animaux et les communautés de ces milieux. Mais on conviendra que ces moyens remarquables, complétés maintenant par des engins téléguidés depuis la surface, n'atteignent leur pleine efficacité que sur les sites hydrothermaux profonds des rifts océaniques où les communautés animales sont particulièrement concentrées, et que leur avantage est sans conteste bien moindre dans les grands espaces constituant l'essentiel du milieu abyssal, où la vie demeure très dispersée. De fait, ce sont des moyens classiques, analogues à ceux utilisés par le Prince Albert qui ont été employés par des expéditions plus récentes telles que celles du navire danois *Galathea* (1950-1952)⁵, ou encore par les remarquables études soviétiques menées à bord du navire *Vitiaz* et ayant conduit aux premières estimations quantitatives de biomasse et de production dans les milieux abyssaux.

Vers de nouvelles approches

Faire l'inventaire des formes animales de profondeur ne fut pas la seule entreprise des collaborateurs biologistes invités dans les campagnes du Prince Albert 1^{er}. A une époque où l'omniprésence des microbes avait été soulignée par les études de Pasteur et de ses continuateurs, il eut été surprenant que l'on ne les cherchât pas dans les grandes profondeurs marines. Pour cela, la méthode de prélèvement devait offrir toutes les garanties d'asepsie rigoureuse. C'est en 1906 que l'un des plus proches collaborateurs du Prince Albert, Jules Richard⁶, zoologiste mais aussi personnalité remarquable par son aptitude à concevoir des dispositifs nouveaux, conçut en collaboration avec le physiologiste Paul Portier un appareil de prélèvement d'eau profonde pour des études de bactériologie. L'objectif était non seulement d'inventorier les formes de bactéries et leur répartition mais aussi sans doute de rechercher quelle était l'importance des microorganismes dans les milieux marins et en particulier dans le

5 Qui fut le premier à effectuer un dragage fructueux à une profondeur supérieure à 10000 m dans la fosse des Mariannes, à l'aide d'un câble à diamètre dégressif de 14000 m seulement..

6 Jules Richard, qui fut le premier Directeur du Musée océanographique, participa à toutes les campagnes du Prince (de 1888 à 1921) et assura le plus gros du travail d'édition des Résultats de ces campagnes.

milieu abyssal. En effet, c'est vers 1910 qu'émergea l'idée, apparemment suggérée par le chimiste danois Gunnar Gran⁷, que la matière organique devait être dégradée par les activités bactériennes, lors de sa descente vers les grandes profondeurs. Ces idées ainsi que les études sur les bactéries vivant sous haute pression et basse température, furent développées plus tard, en particulier par l'américain Claude ZoBell au cours des campagnes de la *Galathea* (1950-52), puis dans toutes les expéditions dévolues à l'étude biologique des communautés des sites hydrothermaux des rifts océaniques. On sait à présent l'importance des bactéries chimiosynthétiques, sulfoxydantes et méthanotrophes, pour la production de matière organique dans cet environnement, à partir de l'énergie d'oxydation de composés réduits (tels que sulfures et méthane) d'origine géothermique. Les applications biotechnologiques permises par les études de microbiologie abyssale sont aussi devenues potentiellement très importantes de nos jours.

La vie en conditions « extrêmes »

La théorie du zéro de la vie étant contredite par les faits, il restait à comprendre comment, contrairement à ce que l'on avait longtemps cru, des organismes vivants pouvaient subsister et prospérer sous de très hautes pressions. L'observation directe des milieux profonds étant évidemment impossible à concevoir alors, et les spécimens ramenés des grands fonds parvenant en surface en piteux état, l'approche de cette question ne pouvait qu'utiliser les méthodes de la physiologie expérimentale. Il est tout à fait significatif que les premières recherches concernant les effets des hautes pressions sur les êtres vivants aient été développées dans l'environnement immédiat du Prince Albert 1^{er}, au moment où il commençait à s'intéresser à la biologie abyssale⁸, sous la houlette de son ami d'enfance Paul Regnard⁹. Si ce dernier ne participa que très peu aux campagnes à la mer du Prince, il resta toute sa vie en contact avec lui, échangeant idées et surtout techniques. Regnard a été un concepteur de dispositifs et d'instruments remarquablement imaginatif. Il avait une formation de physiologiste ayant été en particulier l'élève de Paul Bert. Ce dernier avait travaillé sur les effets d'une diminution de la pression atmosphérique, telle que celle qui se produit en altitude, ou d'une augmentation de celle-ci jusqu'à quelques atmosphères¹⁰, telle que celle subie dans les caissons de plongée ou les scaphandres. Dans ces conditions, les effets observés sur l'homme et sur les organismes à respiration aérienne ne sont pas dus à la pression *per se*, mais aux changements dépendant de la pression des contenus en oxygène, azote et dioxyde de carbone de l'atmosphère respirée. Les problèmes des hautes pressions abordés par Regnard sont en fait d'une toute autre nature à la fois par le niveau des pressions considérées (plusieurs centaines d'atmosphères) et par le fait que les effets de la pression sur les systèmes vivants sont directs. Pour conduire de telles études, on disposait alors de la presse hydraulique de Cailletet (1832-1913) et Regnard fit construire des enceintes de pression étanches munies de hublots pour l'observation des organismes entiers ou des préparations d'organes (muscles de Grenouille par exemple) mis en expérience. Les résultats obtenus sur des organismes vivant en surface et soumis à des pressions de plus en plus élevées montraient d'abord une phase

⁷ Surtout connu par une méthode électrométrique de titration qui porte son nom.

⁸ Recherches publiées entre 1884 et 1891. Elles furent reprises et amplifiées plus tard par les collaborateurs et continuateurs de l'œuvre du Prince Albert que furent P. Portier puis M. Fontaine qui y consacra sa thèse de doctorat en 1930.

⁹ Paul Regnard (1850-1927), futur directeur de l'Institut océanographique de Paris, partagea avec le Prince Albert les bancs du collège Stanislas à Paris.

¹⁰ L'ouvrage majeur de Paul Bert sur ce sujet, publié en 1878, s'intitule d'ailleurs « *La Pression barométrique* ».

d'excitation puis de léthargie avant la mort. De même, les préparations musculaires perdaient leur excitabilité sous haute pression. La conclusion importante, qui débouche sur toutes les recherches modernes et qui nous apparaît à présent évidente, était que les formes prospérant en permanence en profondeur ne devaient nullement subir ces effets délétères et que, par conséquent, elles devaient être adaptées aux conditions de pression régnant dans leur milieu, ce qui expliquait d'ailleurs aussi que, ramenées en surface, elles ne pouvaient survivre. Leur étude expérimentale en surface n'est en fait possible que si leur survie est assurée en les recomprimant dans des enceintes spécialement conçues pour cela, ce qui est maintenant largement pratiqué lors des expéditions consacrées à la biologie des faunes profondes des sites hydrothermaux. En fait, on sait à présent que les effets des hautes pressions sur les systèmes vivants sont des effets au niveau moléculaire, protéines, enzymes, lipides membranaires, molécules dont la structure est désorganisée par les effets thermodynamiques de la pression et qui de ce fait perdent leurs caractéristiques fonctionnelles, entraînant des déficits irréversibles de multiples fonctions au niveau de l'organisme. Les espèces prospérant dans les grandes profondeurs marines se sont adaptées au cours de leur évolution, en développant des variants de ces molécules spécialement conçus pour que les effets de la pression sur leur structure et leurs propriétés soient réduits au minimum.

En guise de conclusion, il est permis de dire que, dans un certain nombre de domaines liés à la biologie abyssale, l'activité scientifique du Prince Albert 1^{er} et de ses collaborateurs a permis non seulement de récolter et de décrire de nombreuses espèces abyssales, mais aussi de lever un peu du voile de mystère recouvrant les problèmes posés par la vie dans les grandes profondeurs marines. Les thèmes abordés dans cette courte rétrospective ne sont sans doute pas exhaustifs. De même, l'état de développement de nombre de ces questions est resté à l'époque très fruste. Mais il ne fait aucun doute que le défrichage de ce passionnant sujet était pour l'essentiel opéré, et que l'on retrouve assez facilement dans les idées et résultats d'alors les prémices de ce qui est devenu notre connaissance actuelle de la biologie abyssale.