



**ROYAL BELGIAN INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES  
KONINKLIJK BELGISCH INSTITUUT VOOR  
NATUURWETENSCHAPPEN  
INSTITUT ROYAL DES SCIENCES NATURELLES DE BELGIQUE**

**Mandat de Retour**  
**" FOSSIL SPERM WHALES AND THEIR PREY: EVOLUTION OF  
PHYSETEROID FEEDING  
STRATEGIES "**

**RAPPORT FINAL**

par:

Olivier LAMBERT (premier assistant)

---

IRSNB, Département de Paléontologie  
Rue Vautier 29, B-1000 Bruxelles  
Tél: 02/627 44 97 - e-mail: [olivier.lambert@naturalsciences.be](mailto:olivier.lambert@naturalsciences.be)

## 1. RAPPEL DES OBJECTIFS

L'objectif principal de ce projet est d'explorer la grande diversité de morphologies et de tailles parmi les lignées fossiles et actuelles de cachalots, afin de reconstruire l'évolution des techniques de prédation (*raptorial vs. suction feeding*), les types de proies (céphalopodes, poissons, et/ou autres mammifères marins), et les habitats (eaux profondes ou non), et de déterminer les déclencheurs potentiels (e.g. fluctuations climatiques) des principaux changements écologiques au sein du groupe des cachalots. Pour atteindre cet objectif, des restes fossiles de l'Oligocène, du Miocène, et du Pliocène, nouvellement découverts (en Belgique et au Pérou) ou provenant d'anciennes collections, incluant la riche collection de l'IRSNB, sont étudiés, aussi bien en ce qui concerne les cachalots que leurs proies potentielles.

A l'aide de matériel de comparaison adéquat et des études les plus récentes de l'écologie et de l'anatomie fonctionnelle des cétacés à dents actuels, l'application de différentes techniques d'investigation dans les domaines de recherches considérés (incluant les techniques modernes d'acquisition de données, e.g. CT scan et microscope électronique à balayage) permet de répondre aux questions directement liées à l'histoire évolutive complexe des cachalots: chronologie des phases de diversification et d'extinction, vitesse d'évolution, facteurs déterminants (types de proies, compétition, changements climatiques...), adaptations et changements d'habitat, convergences évolutives...

## 2. METHODOLOGIE ET RESULTATS

### 2.1. Systématique et Phylogénie

L'étude systématique des cachalots fossiles du Miocène du Pérou s'est poursuivie, avec la description d'une nouvelle espèce dans le genre *Acrophyseter*, sur base de deux spécimens, chacun incluant le crâne et les mâchoires inférieures, provenant de deux sites (Cerro la Bruja et Cerro los Quesos), datant du Miocène moyen à supérieur. Cette espèce se différencie de l'espèce géologiquement plus jeune *A. deinodon* par, entre autres, un museau plus allongé et plus robuste, et un processus coronoïde du dentaire arrondi et plus court. Collecté en 2010 et préparé en 2012, le second spécimen apporte des informations importantes sur la partie antérieure du rostre, manquante sur la premier spécimen, et sur les dents, plus dégradées également sur le premier.

Un autre spécimen péruvien de cachalot, du Miocène inférieur est en cours de préparation. Il suggère la présence d'une espèce supplémentaire de cachalot de taille moyenne au cours du Miocène dans le Pacifique sud-est.

Les restes plus fragmentaires de deux petits cachalots, découverts récemment dans le Miocène moyen de la région d'Anvers et déposés dans la collection de l'IRSNB, ont pu être rapportés à l'espèce *Orycterocetus crocodilinus*, déjà connue des deux côtés de l'Atlantique nord (Belgique et Virginie - Maryland, Etats-Unis). Grâce aux microfossiles découverts dans le sédiment associé à ces spécimens, une datation plus précise des couches les contenant a pu être proposée (Langhien, 15.97-13.65 Ma).

L'étude préliminaire de ces nouveaux spécimens, de Belgique et du Pérou, a déjà permis de définir de nouveaux caractères pour l'analyse phylogénétique des cachalots.

Finalement, après une courte description publiée en 2010, les restes du cachalot géant du Miocène *Livyatan melvillei* ont été redécrits en détail (crâne, mandibules, et dents) et comparés avec les autres grands cachalots fossiles et actuels.

## 2.2. Anatomie fonctionnelle

Une recherche bibliographique approfondie a été réalisée concernant l'anatomie crânienne chez les cachalots actuels, aussi bien au niveau de l'ossature que des tissus mous associés (musculature, sinus ptérygoïde, organe du spermaceti et autres éléments impliqués dans la production des sons à haute fréquence...).

La morphologie osseuse des formes actuelles a été comparée aux espèces fossiles connues, afin de déduire de l'ossature de ces dernières des informations sur leur anatomie molle (non-fossilisée), en particulier les régions d'origine et d'insertion des muscles des mâchoires et les zones de contact entre l'organe du spermaceti et les os du crâne. Ces informations ont déjà permis de proposer des interprétations pour le système d'écholocation et la technique de prédation de plusieurs espèces fossiles. L'analyse de la musculature des mâchoires s'est focalisée sur un spécimen extrêmement bien préservé d'*Acrophyseter deinodon*, du Miocène supérieur du Pérou. La qualité de préservation des surfaces des os du crâne et des mandibules de ce spécimen a permis la description détaillée et précise des aires d'origine et d'insertion de différents muscles fermant (temporal, masseter, et ptérygoïde) et ouvrant (digastrique) les mâchoires. L'interprétation de ces zones d'attachement a été facilitée par les données bibliographiques sur les mammifères terrestres, cachalots, et vrais dauphins actuels, de même que l'observation de squelettes de cétacés actuels dans la collection de l'IRSNB. Les conclusions morphologiques tirées de l'observation d'*A. deinodon* ont ensuite été confrontées aux données anatomiques sur d'autres cachalots fossiles.

L'étude de l'usure dentaire a débuté par un passage en revue de la grande collection de dents de cachalots fossiles néogènes de l'IRSNB. Différents types d'usure ont été détectés: usure apicale plus ou moins marquée, parfois jusqu'à la disparition complète de la couronne; usure d'occlusion sur les faces mésiale et/ou distale, formant un sillon parfois profond; usure sur tout le pourtour de la dent, en-dessous de la limite couronne-racine. En collaboration avec B. Beatty (New York College of Osteopathic Medicine) et A. Dooley (Virginia Museum of Natural History), ces types d'usure ont été comparés à l'usure observées sur les dents de spécimens fossiles plus complets de Belgique, d'Amérique du Nord, du Pérou, et d'Italie. Une série de mesures et d'observations standardisées ont été définies. 155 dents de cachalots fossiles du Miocène d'Anvers ont été observées et mesurées de même qu'une vingtaine de dents du Miocène du Pérou. Ce très grand échantillon de données a été joint à une série de spécimens d'Amérique du Nord dans une base de données dont l'analyse a commencé (associations de types d'usure, rapport entre taille, forme et usure...).

## 2.3. Fouilles

Fin 2012 et début 2013, plusieurs journées de prospection sur le site de construction d'une nouvelle écluse à Doel (Deurganckdoksluis) ont permis la découverte de

quelques dents isolées de cachalots fossiles du Miocène. Ces dents seront intégrées à l'étude d'usure dentaire présentée ci-dessus.

Une campagne de fouilles dans le désert Pisco-Ica, au Pérou, financée en partie par Belspo, s'est focalisée sur deux sites où des cachalots fossiles avaient été découverts en 2008 et 2010: Cerro Colorado pour *Livyatan melvillei* et Cerro los Quesos pour *Acrophyseter* sp. nov. Des observations in situ ont été effectuées sur plusieurs restes de cachalots fossiles à Cerro los Quesos et dans une localité voisine et contemporaine. De plus, une analyse détaillée et quantifiée de la riche faune associée de vertébrés marins a été menée, afin de mieux comprendre l'environnement de ces cachalots fossiles, en termes de proies potentielles (baleines à fanons de différentes tailles, dauphins, marsouins, pinnipèdes, poissons, et tortues) et de concurrents (requins et certains cétacés à dents). En outre, la visite de ces deux localités a été l'occasion d'une investigation poussée des faunes d'unicellulaires, en particulier les diatomées, et de leurs relations avec les niveaux riches en mammifères marins (y compris les cachalots). Ce volet de l'étude permettra d'aborder deux éléments cruciaux pour une meilleure compréhension de la richesse des localités miocènes du Pérou: (1) le lien entre développement de zones enrichies en nutriments telles que les aires d'upwelling, diversité et quantité de diatomées, et diversité des faunes de vertébrés marins (incluant les cachalots, en tant que méga-prédateurs) et (2) le rôle des tapis de diatomées pour une préservation remarquable des vertébrés fossiles (enfouissement rapide des carcasses et préservation de certains tissus non-minéralisés, par exemple les fanons des mysticètes).

### 3. DIFFUSION ET VALORISATION

#### 3.1. Publications en 2012 et 2013

*Revue avec facteur d'impact*

Beatty, B. L., Vitkovski, T., **Lambert, O.**, & Macrini, T., 2012. Osteological associations with unique tooth development in manatees (Trichechidae, Sirenia): a detailed look at modern *Trichechus* and a review of the fossil record. *The Anatomical Record*: 295(9): 1504-15012.

Geisler, J. H., Godfrey, S. J. & **Lambert, O.**, 2012. A new genus and species of Late Miocene inioid (Cetacea: Odontoceti) from the Meherrin River, North Carolina, U.S.A. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 32(1): 198-211.

Bianucci, G., Miján, I., **Lambert, O.**, Mateus, O. & Post, K., 2013. Bizarre fossil beaked whales (Odontoceti, Ziphiidae) fished from the Atlantic Ocean floor off the Iberian Peninsula. *Geodiversitas*, 35(1): 105-153.

Bianucci, G., **Lambert, O.**, Salas-Gismondi R., Tajada, J., Pujos, F., Urbina, M., & Antoine, P.-O., 2013. A Miocene relative of the Ganges river dolphin from the Amazonian Basin. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 33(3): 741-745.

Bisconti, M., **Lambert, O.** & Bosselaers, M., 2013. Taxonomic revision of *Isocetus depauwi* (Mammalia, Cetacea, Mysticeti) and the phylogenetic relationships of archaic 'cetothere' mysticetes. *Palaeontology*, 56(1): 95-127.

**Lambert, O.** & Muizon, C. de, 2013. A new long-snouted species of the Miocene pontoporiid dolphin *Brachydelphis* and a review of the Mio-Pliocene marine mammal levels in the Sacaco Basin, Peru. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 33(3): 709-721.

**Lambert, O.**, Muizon, C. de, & Bianucci, G., 2013. The most basal beaked whale *Ninoziphius platyrostris* Muizon, 1983: clues on the evolutionary history of the family Ziphiidae (Cetacea: Odontoceti). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 167: 569-598.

Bardet, N., Jalil, N. E., Lapparent, F. de, Germain, D., **Lambert, O.**, & Amaghazaz, M., 2013. A giant chelonioid turtle from the Late Cretaceous of Morocco with a suction feeding apparatus unique among tetrapods. *PLoS ONE*, 8(7): 1-10.

#### *Résumés de communications de congrès publiés dans des revues à comité de lecture*

**Lambert, O.**, Bianucci, G., & Muizon, C. de, 2012. The archaic beaked whale *Ninoziphius platyrostris*: clues on the evolutionary history of the family Ziphiidae (Cetacea, Odontoceti). *Supplement to the online Journal of Vertebrate Paleontology*, October: 125A.

#### *Publications de vulgarisation*

**Lambert, O.**, Goolaerts, S., Ryssaert, C., Bosselaers, M., Vandorpe, L., & Schynkel, E., 2012. Walvissen uit Waasland. *Hona*, 3: 37-40.

**Lambert, O.**, Ryssaert, C., Goolaerts, S., Degueldre, C., & Verbouw, J., 2012. Un rorqual en Belgique? 3 pages sur le site web du Muséum des Sciences Naturelles. [http://www.sciencesnaturelles.be/active/sciencenews/vrasene/index\\_html](http://www.sciencesnaturelles.be/active/sciencenews/vrasene/index_html)

**Lambert, O.**, Degueldre, C., Verbouw, J., & Goolaerts, S., 2013. Découverte d'une baleine fossile à Doel. 1 page sur le site web du Muséum des Sciences Naturelles. [http://www.sciencesnaturelles.be/active/sciencenews/doel/index\\_html](http://www.sciencesnaturelles.be/active/sciencenews/doel/index_html)

### **3.2. Missions en 2012 et 2013**

04.2012: Fouilles à Vrasene (Beveren). Découverte et collecte d'ossements de cétacés fossiles du Pliocène.

18-28.06.2012: Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marco, Lima, Pérou. Etude d'archaeocètes et d'odontocètes de l'Eocène et du Miocène de la région d'Ica. Collaboration avec R. Salas-Gismondi. En particulier, les restes de plusieurs cachalots fossiles nouvellement découverts dans les localités de Zamaca (Miocène inférieur) et Cerro los Quesos (Miocène supérieur) ont été étudiés. Des indications ont également été données pour la finition du dégagement de l'un des spécimens.

26-28.09.2012: Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France. Etude d'odontocètes du Néogène de la région d'Ica. En particulier, le crâne de l'holotype du

kogiidé (cachalot nain) *Scaphokogia cochlearis* (Miocène supérieur, Formation Pisco) a été analysé et photographié. De plus, des sections dans une dent du cachalot géant fossile *Livyatan melvillei* (Miocène moyen à supérieur, Formation Pisco) ont été étudiées afin de détecter les couches annuelles de croissance.

3-17.07.2013: Pérou. (1) Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marco, Lima, Pérou. Etude d'archaeocètes et d'odontocètes de l'Eocène au Miocène de la région d'Ica. (2) Désert Pisco-Ica. Fouilles de cétacés dans l'Oligocène et le Miocène.

### 3.3. Participation à des conférences

11-14.09.2012: 4th International Geologica Belgica conference - Brussels. Communication orale: **Lambert, O.**, Bianucci, G., Salas-Gismondi, R., Tejada, J., Pujos, F., Urbina, M., & Antoine, P.-O. A relative of the Ganges and Indus river dolphins from Miocene deposits of the Amazonian basin: multiple toothed whale invasions of freshwater environments?

17-20.10.2012: Society of Vertebrate Paleontology annual meeting - Raleigh (USA). Communication orale: **Lambert, O.**, Bianucci, G., & Muizon, C. de. The archaic beaked whale *Ninoziphius platyrostris*: clues on the evolutionary history of the family Ziphiidae (Cetacea, Odontoceti).

### 3.4. Fonctions dans la communauté scientifique en 2012 et 2013

Maître de stage de baccalauréat de S. Fronville (UCL) (juillet 2012).

Co-promoteur du mémoire de master de W. Colpaert (Universiteit Gent) sur un marsouin fossile du Pliocène de la Mer du Nord (2012-2013).

Lecteur pour la thèse de Doctorat de V. Fischer (ULg-IRSNB) sur les ichthyosaures du Crétacé (03.2013).

Rapporteur pour la thèse de Doctorat de M. Martínez-Cáceres (MNHN, Paris) sur la transition Archaeoceti-Neoceti (06.2013).

Reviewer d'articles pour les revues scientifiques *Austrian Journal of Earth Sciences*, *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, *Comptes Rendus Palevol*, *Geodiversitas*, *Journal of Paleontology*, *Journal of Vertebrate Paleontology*, et *Paleontological Research*.

## 4. BILAN ET PERSPECTIVES

Le mandat de retour octroyé a permis des avancées importantes dans l'étude des cachalots fossiles et de leurs modes de prédatons. De nombreuses observations et mesures ont été effectuées sur les spécimens; plusieurs collaborations internationales ont été mises en place pour développer certains points du projet de recherche, particulièrement en ce qui concerne la systématique, la phylogénie, l'usure dentaire et

la musculature des mâchoires des formes fossiles. Plusieurs manuscrits sont maintenant en cours de préparation; ils seront dans un avenir proche soumis pour publication à des revues spécialisées à facteur d'impact. Cette première phase du projet a également permis la valorisation d'une partie largement sous-exploitée de l'importante collection de mammifères marins fossiles de l'IRSNB.

Après un an et 4 mois de mandat de retour, O. Lambert eu la chance de bénéficier d'un recrutement statutaire au sein de la Direction Opérationnelle Terre et Histoire de la Vie, à l'IRSNB. Dans le cadre de ce nouveau poste de chercheur spécialisé dans l'étude de l'évolution des tétrapodes marins, mon travail sur l'histoire évolutive des cachalots fossiles se poursuivra tout naturellement, en parallèle avec d'autres projets sur les adaptations d'autres groupes de tétrapodes au milieu aquatique.

En ce qui concerne les cachalots, la description de nouvelles espèces fossiles sera poursuivie, principalement sur base des spécimens récemment découverts au Pérou, en collaboration avec G. Bianucci (Univ. Pisa) et C. de Muizon (MNHN, Paris). De nouvelles fouilles dans les Formations Chilcatay et Pisco du bassin Pisco-Ica (demande de financement *National Geographic* pour 2014) devraient également permettre la collecte de nouveaux spécimens, de même qu'une meilleure datation, par microfossiles et par isotopes radioactifs, de squelettes prélevés par le passé. Ces nouvelles espèces seront intégrées dans l'analyse phylogénétique.

L'étude de l'usure dentaire sera poursuivie par un traitement quantitatif des données et la détermination de tendances au niveau des types d'usure en fonction de la taille et de la position des dents, menant finalement à des hypothèses sur le(s) type(s) de prédation des espèces fossiles. Ces hypothèses seront confrontées aux données extraites de l'analyse comparée du crâne et de sa relation avec les tissus mous associés, chez les cachalots actuels et les formes fossiles.

Le passage aux rayons X de vertèbres de cachalots fossiles permettra la recherche de signes d'ostéonécrose avasculaire, indiquant que l'animal a souffert d'embolies non-léthales liées à la formation de bulles de gaz dans les tissus lors de la remontée de plongées profondes. Ce type d'information sera crucial pour identifier les premières étapes du passage d'une ou plusieurs lignées de cachalot à une nutrition en eau profonde, telle qu'elle est observée chez le grand cachalot actuel.

L'ensemble des données au niveau de l'anatomie fonctionnelle sera placé dans un contexte phylogénétique, pour déceler certaines étapes de l'histoire évolutive des cachalots. La confrontation avec les changements climatiques et l'évolution des faunes d'autres mammifères marins apportera une nouvelle dimension, écologique et environnementale, à cette histoire évolutive s'avérant bien plus complexe que ce qui a longtemps été proposé.