.
.
.

Rapport sur l'échouage de baleines à bec en baie du Prony novembre 2013

Claire Garrigue, Marc Oremus, Jean-Christophe Vivier

Mars 2014

Opération Cétacés, B.P. 12 827 98802 Nouméa, Nouvelle-Calédonie
Tél. / fax : 24 16 34, courriel : op.cetaces@lagoon.nc,
site web : www.operationcetaces.nc
Ridet : 476804 001

Remerciements :

Nous tenons à remercier tous les sauveteurs qui ont participé à la remise à l'eau des baleines à bec de Longman lors de l'échouage en masse du 16 novembre ainsi que tous les volontaires qui ont aidé aux examens des animaux morts le 17 novembre 2013 et plus particulièrement Rémi Dodemont et Morgan Poupon.

Nous remercions également Madame Denise Desoutter du Service des Laboratoires Officiels Vétérinaires de la Nouvelle-Calédonie pour son aide dans le transport des échantillons vers la métropole. Enfin nous remercions Geneviève Libeau et Olivier Kwiatek de l'équipe de Virologie du Département Systèmes Biologiques, "Contrôle des maladies exotiques et émergentes" du CIRAD de Montpellier pour avoir réalisé la recherche des virus.

Ce rapport a été réalisé pour l'"OEIL - Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie, province Sud" et le Comité Consultatif Coutumier Environnemental (CCCE).

A citer : *Garrigue, C., Oremus, M., Vivier, J.C. 2014. Rapport sur l'échouage de baleines à bec de Longman en baie du Prony, novembre 2013. Rapport polycopié, 74p.*

SOMMAIRE

LISTE DES TABLES **5**

LISTE DES FIGURES **5**

RESUME **7**

1. INTRODUCTION **9**

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE 9
1.2 LIMITATIONS 10
1.3 STRUCTURE DU RAPPORT 10

2. COLLECTE DES DONNEES ET ANALYSES EFFECTUEES **11**

2.1 ENTRETIENS 11
2.2 OBSERVATION VISUELLE EXTERIEURE 11
2.3 BIOMETRIE 12
2.4 EXAMEN ET PRELEVEMENTS 12
2.5 ANALYSE GENETIQUE 14
2.6 ANALYSE DE METAUX 16
2.7 RECHERCHE DE MORBILLIVIRUS 17

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS **18**

3.1 CHRONOLOGIE DE L'ECHOUAGE 18
3.1.1 Première observation : vendredi 15 octobre 18
3.1.2 Déroulement de l'échouage : samedi 16 novembre 19
3.1.3 Déroulement de l'échouage : dimanche 17 novembre 20
3.1.4 Déroulement de l'échouage : lundi 18 novembre 23
3.1.5 Déroulement de l'échouage : du 19 novembre au 14 décembre 24
3.2 DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE 25
3.2.1 Animal 1 25
3.2.2 Animal 2 26
3.2.3 Animal 3 27
3.2.4 Animal A 28
3.2.5 Animal B 31
3.2.6 Animal C 33
3.3 RAPPORT VETERINAIRE 35
3.3.1 Animal A 35
3.3.2 Animal B 36
3.3.3 Animal C 37
3.4 ANALYSE GENETIQUE 40
3.4.1 Identification de l'espèce 40
3.4.2 Sexage moléculaire 40
3.4.3 Diversité génétique 42
3.5 CONCENTRATIONS EN ELEMENTS METALLIQUES 44
3.5.1 Le cobalt (Co), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le vanadium (V), l'argent (Ag) et le plomb (Pb) 44
3.5.2 Le fer (Fe) 44
3.5.3 Le cadmium (Cd) 48
3.5.4 Le Zinc (Zn) 48
3.5.5 Le cuivre (Cu) 49
3.5.6 Le sélénium (Se) 49
3.5.7 Le mercure (Hg) 49
3.6 RECHERCHE DE MORBILLIVIRUS 50
3.7 PERTURBATIONS SISMIQUES ET USAGE D'APPAREILS ACOUSTIQUES 52
3.7.1 Perturbations sismiques 52
3.7.2 Entretien avec la Marine Nationale 52
3.7.3 Entretien avec Vale NC 53

4. CAUSES POTENTIELLES DE L'ECHOUAGE 54
4.1 GENERALITES SUR LES ECHOUAGES EN MASSE 54
4.2 L'HYPOTHESE D'UNE PERTURBATION ACOUSTIQUE 55
4.3 L'HYPOTHESE D'UNE POLLUTION AUX METAUX LOURDS 56
4.4 SCENARIO LE PLUS PROBABLE POUR EXPLIQUER L'ECHOUAGE 58
5. RECOMMANDATIONS 62
6. SYNTHESE SUR INDOPACETUS PACIFICUS 63
6.1 TAXONOMIE 63
6.2 MORPHOLOGIE 63
6.3 PARAMETRES BIOLOGIQUES 64
6.4 COMPORTEMENT 64
6.5 DISTRIBUTION, HABITAT ET DEPLACEMENT 66
6.6 ORGANISATION SOCIALE ET STRUCTURE DES POPULATIONS 67
6.7 ABONDANCE RELATIVE 67
6.8 MENACES POTENTIELLES 67
7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 68
8. ANNEXE : FICHE ECHOUAGE 74

LISTE DES TABLES

Table 1. Limites de quantification de méthode, validées selon NF T 90-210. 16
Table 2. Liste des personnes ayant observé les animaux vivants le 15 octobre 2013. 18
Table 3. Personnes ayant participé aux examens réalisés le 17 octobre 2013. 21
Table 4. Sexe, longueur totale (cm) de six baleines à bec de Longman échouées en baie du Prony, novembre 2013. 25
Table 5. Mesures effectuées sur les baleines à bec échouées en baie du Prony les 16 et 17 novembre 2013 (en cm). 34
Table 6. Liste des séquences *d'Indopacetus pacificus* disponibles pour la comparaison avec les échantillons des baleines échouées à Prony, Nouvelle-Calédonie. 43
Table 7. Concentrations des différents éléments métalliques dans les organes et les tissus en µg/g ps. 45
Table 8. Concentrations en éléments traces (en µg/g ps et nombre d'échantillons) dans le foie et les reins de quatre petits cétacés extraits de Aubail et al. (2013) (Données originales Lahaye et al., 2005, 2006, 2007a et b et Mendez-Fernandez et al., 2013). 46
Table 9. Concentrations en éléments traces (en µg/g ps et nombre d'échantillons) dans le foie et les reins de quatre cétacés de Méditerranée extraits de Capelli et al. (2008). 47
Table 10. Mesures effectuées sur les baleines à bec échouées à Hawaii (West et al., 2013), en Afrique du Sud et aux Maldives (Dalebout et al., 2003) et à Taiwan (Yao et al., 2012). 65

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Exemple de relevé des mensurations de l'animal 2. 12
Figure 2. Ouverture pour accès à la cavité abdominale. 13
Figure 3. Examen du cœur et des poumons. 13
Figure 4. Extraction de l'extomac et des intestins. 14
Figure 5. Observation des baleines à bec en baie du Prony le 15 novembre 2013 (Photo : G. Lasne). 18
Figure 6. Positions des moments clés de l'échouage durant les périodes du 15-16 novembre 2013. 20
Figure 7. Positions des moments clés de l'échouage le 17 novembre 2013. 22
Figure 8. Cicatrices au niveau du péduncule caudal de l'animal 3, 17 novembre 2013 (Photo : Carceller J.). 22

Figure 9. Evacuation des carcasses par les services techniques de la ville du Mont Dore (Photo : Province Sud).....23
Figure 10. Positions des moments clés de l'échouage durant la période du 18 novembre au 14 décembre 2013.....24
Figure 11. Animal 1 : Extrémité du bec abimée et coloration générale gris foncée.....26
Figure 12. Animal 2 : Coloration de la face inférieure de la nageoire caudale montrant des stries.....27
Figure 13. Animal 2 : Présence de deux dents à l'extrémité de la mâchoire inférieure.....27
Figure 14. Animal A : Aspect général du corps de l'animal et coloration dorsale.....28
Figure 15. Animal A : Longues cicatrices blanches parallèles sur le flanc.....29
Figure 16. Animal A : Front bulbeux, melon séparé du bec par un pli prononcé.....29
Figure 17. Animal A : Fentes mammaires de part et d'autre de la fente génitale.....30
Figure 18. Animal A : Petites nageoires pectorales.....30
Figure 19. Animal B : Cicatrices laissées par le frottement sur le fond.....31
Figure 20. Animal B : Petite dépression pour positionner la nageoire pectorale.....32
Figure 21. Animal B : Protubérances sur le bord d'attaque de la nageoire caudale.....32
Figure 22. Animal C : Blessures à l'extrémité du bec.....33
Figure 23. Cœur de l'animal A.....36
Figure 24. Estomacs de l'animal B.....37
Figure 25. Congestions de la cage thoracique de l'animal C.....38
Figure 26. Examen des poumons de l'animal C.....38
Figure 27. Lésion d'aspect emphysème pulmonaire sur l'animal C.....39
Figure 28. Résultats sur gel d'agarose des sexages moléculaires pour les baleines à bec échouées à Prony. Les individus présentant une seule bande sont des femelles tandis que l'individu présentant deux bandes est un mâle.....40
Figure 29. Arbre phylogénétique obtenu avec le programme DNA-surveillance après implémentation des séquences d'ADNmt provenant des baleines à bec échouées dans la baie du Prony.....41
Figure 30. Arbre phylogénétique montrant la position du morbillivirus détecté chez les baleines à bec échouées dans la baie du Prony par rapport aux autres souches de ce virus (G.Libeau).....50
Figure 31. Localisation des exercices de tirs prévus par la Marine Nationale d'après les Avurnav 40 et 41/13.....53
Figure 32. Conditions météorologiques dans la zone de Nouméa entre le 10 et 17 novembre 2013 telles qu'enregistrées par le site de Windguru.....59

RESUME

- Le 16 novembre 2013 un échouage en masse de sept à huit cétacés semblant appartenir à l'espèce baleine à bec de Longman (*Indopacetus pacificus*) est survenu en baie du Prony. Tous les animaux ont été remis à l'eau à l'exception d'un mâle adulte qui est mort et a dû être transporté au large par la brigade de Gardes Nature du lagon sud.
- Le 17 novembre trois baleines de la même espèce sont retrouvées mortes baie de la Somme. Une équipe d'Opération Cétacés s'est rendue sur place pour effectuer des mesures et des prélèvements. Un examen clinique a également été réalisé par un vétérinaire.
- L'ensemble des informations recueillies permet de conclure qu'un minimum de huit individus est entré dans la baie du Prony et qu'au moins six d'entre eux se sont échoués. Il est probable que sans la présence des sauveteurs, toutes les baleines échouées le 16 novembre seraient mortes dans la baie de la Somme.
- Des analyses génétiques conduites sur les cinq individus échantillonnés, confirment qu'il s'agit bien de l'espèce *Indopacetus pacificus*, une espèce pélagique peu connue qui vit sur des fonds profonds et ne fréquente pas les zones lagonaires. Elles confirment également le sexe des individus tel qu'identifié sur le terrain (4 femelles et 1 mâle).
- C'est le premier cas d'échouage en masse de cette espèce enregistré de par le monde.
- Parmi les cinq individus étudiés un seul haplotype a été identifié au niveau de l'ADN mitochondrial. Deux hypothèses peuvent être formulées pour expliquer ce résultat :

    1) Les animaux appartenaient à une même famille/lignée, ce qui pourrait expliquer le ré-échouage des baleines, comportement induit par de forts liens sociaux. ;

    2) La diversité génétique de l'ADNmt est très faible chez cette espèce.

- L'examen nécropsique a révélé une pathologie respiratoire aigüe qui a pu contribuer à l'échouage de l'animal C. A l'exception de la gastrite observée sur l'animal B, l'autopsie n'a pas révélé d'autres lésions sur les cadavres.
- La recherche de Morbillivirus est positive sur l'échantillon de poumon de l'animal malade (animal C), ce qui indique qu'il a été ou était en phase d'infection.

- Les analyses ont révélé des concentrations élevées pour certains métaux dans le foie et les reins (Cd, Hg). Il s'avère néanmoins que des concentrations bien supérieures ont été mesurées chez d'autres espèces de cétacés de par le monde.
- Les faibles concentrations relevées en Co, Cr, Ni et Mn suggèrent que les activités d'extraction minière de Nouvelle-Calédonie ne constituent pas une source significative de contamination pour les baleines à bec qui sont venues s'échouer en baie du Prony.
- Des entretiens avec la marine nationale et ValeNC il est ressorti qu'aucun appareil acoustique susceptible de présenter des effets néfastes sur les cétacés ne semblent avoir été utilisé dans la semaine ayant précédé l'échouage, écartant l'hypothèse d'une perturbation acoustique forte comme cause potentielle de l'échouage.
- Au vu de ces résultats, l'hypothèse suivante parait la plus à même d'expliquer cet échouage : ***Un événement particulier tel que la présence de prédateurs et/ou l'état de santé d'un ou plusieurs individus a provoqué l'entrée des baleines dans le lagon alors qu'elles vivent normalement en milieu océanique. Le lagon constituant un environnement totalement inhabituel pour cette espèce, les baleines se sont alors retrouvées piégées dans la baie du Prony. Dans ces conditions, il est probable qu'une erreur de navigation liée au disfonctionnement de leur sonar dans ces zones peu profondes soit responsable de l'échouage initial du 16 novembre. La présence d'un individu malade a également pu favoriser cet échouage. La cohésion sociale entre les membres du groupe a de toute évidence joué un rôle important dans cet événement.***
- Du fait des dangers associés aux infections morbillivirales, il est recommandé que des analyses soient systématiquement effectuées lors des prochains échouages de cétacés en Nouvelle-Calédonie.
- Bien que des moyens importants aient été mis en œuvre lors de cet échouage, certaines failles dans la chaine de communication et la gestion de l'événement soulignent le besoin de mettre en place un réseau d'échouage à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie.

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

Le week-end du 16 et 17 novembre 2013 un échouage en masse de baleines à bec s'est produit en baie du Prony. Les membres d'Opération Cétacés se sont rendus sur les lieux afin de procéder à un examen des carcasses et effectuer des prélèvements de tissus pour analyse ultérieure.

Du fait du récent accident survenu au sein du complexe industriel de ValeNC (rupture de l'émissaire marin), l'OEIL a souhaité participer à cette étude. Adrien Bertaud, chargé de projet pour l'OEIL a donc contacté Claire Garrigue d'Opération Cétacés pour proposer de participer financièrement à cette étude afin d'en accélérer le processus. A la demande de l'ŒIL une réunion a été conduite en présence d'Adrien Bertaud (OEIL), de Fabrice Wacalie et Nicolas Marin du Comité Consultatif Coutumier Environnemental (CCCE) et de Claire Garrigue pour Opération Cétacés. La mise en place d'un contrat avec ces deux organismes va permettre d'obtenir des informations sur l'espèce, de documenter l'évènement et de rechercher les causes éventuelles de l'échouage.

Les problématiques de cette étude sont les suivantes :

- Comment s'est déroulé l'échouage ?
- Que connait-on sur cette espèce ?
- Quel était l'état physique et sanitaire des animaux ?
- Quelles peuvent être les causes potentielles de l'échouage ?

Le présent document constitue le rapport final de cette étude.

Les étapes nécessaires sont les suivantes :

- Phase de terrain
    - Collecter les informations biologiques sur les animaux échoués ;
    - Rencontrer les personnes ayant participé à l'échouage ;
    - Rechercher des informations sur les interventions en cours dans la zone maritime pendant la période de l'échouage.
- Phase d'analyse
    - Identifier l'espèce et confirmer les sexes par analyse génétique ;

- Analyser le contenu en métaux lourds des organes suivants : foie, rein, muscle sur trois individus ;
- Rechercher la présence de morbillivirus ;
- Réaliser une expertise vétérinaire sur l'état des organes internes des trois animaux examinés.

- Phase de synthèse
  - Etablir la chronologie de l'échouage ;
  - Interpréter les résultats des analyses ;
  - Réaliser une synthèse des connaissances sur l'espèce ;
  - Proposer des hypothèses sur les causes potentielles ayant pu entraîner l'échouage.

1.2 Limitations

Il est important de noter que les informations n'ont pas pu être collectées sur tous les animaux, notamment sur le premier individu mort le 16 novembre 2013. Aucune nécropsie approfondie n'a pu être effectuée sur les trois individus morts le 17 novembre mais un examen méticuleux des carcasses a été conduit sur place. Les bulles tympaniques n'ont été prélevées sur aucune des baleines mortes.

Les échouages de cétacés, seul ou en masse, sont des événements relativement fréquents dont les causes peuvent être multiples. Il est important de préciser que bien souvent il n'est pas possible de déterminer leur cause malgré une analyse poussée de l'événement.

1.3 Structure du rapport

La première partie de ce rapport a trait aux analyses effectuées. La deuxième présente la chronologie de l'échouage et les résultats obtenus. La troisième partie discute des causes éventuelles ayant pu provoquer l'échouage ; elle est suivi de recommandations. Enfin, dans la quatrième partie, une synthèse des connaissances disponibles sur l'espèce est présentée.

2. COLLECTE DES DONNEES ET ANALYSES EFFECTUEES

2.1 Entretiens

Afin de collecter le maximum d'information sur la chronologie des évènements, sur le comportement des animaux et sur leur échouage, des entretiens téléphoniques et des échanges de courriels ont été réalisés avec les différentes personnes ayant observé les baleines le vendredi. Des rencontres ont été conduites avec les personnes ayant participé à la remise à l'eau des baleines le samedi.

Enfin un rendez-vous a également été obtenu à l'Etat major Inter Armées avec le Commissaire Tanneguy Roche, Chef du bureau Action de la Mer, le 27 novembre 2013 pour documenter les éventuels exercices militaires qui auraient été effectués en mer par la marine nationale au cours de la semaine précédent l'échouage. De même des informations ont été collectées auprès de l'industriel Vale NC afin de renseigner les éventuels travaux en cours dans la zone maritime au moment de l'échouage. Les évènements sismiques éventuellement survenu dans la région ont été recherchés sur le site du gouvernement australien (www.ga.gov.au/earthquakes).

2.2 Observation visuelle extérieure

Lors d'un échouage, des protocoles sont mis en place afin de réaliser un certain nombre de mesures sur les carcasses et de prélever des échantillons pour diverses analyses. Une fiche d'échouage simple permet également de noter des informations concernant le lieu, la date, les conditions de l'évènement (Annexe 1). Une fiche a été remplie pour chacun des trois individus échoués le 17 novembre 2013 et pour ceux échoués mort ou remis à l'eau le 16 novembre 2013.

Une description de chaque animal a été faite en termes d'aspect général, de présences de cicatrices ou de marques particulières. Puis la forme des différentes parties du corps et leur coloration ont été notées. Des photographies permettent de conserver une trace de l'ensemble.

2.3 Biométrie

Les mesures effectuées sur les animaux permettent de rechercher d'éventuelles variations en fonction des populations. Elles ne doivent pas suivre la courbe du corps afin de ne pas surestimer les longueurs mais doivent être réalisées de manière parallèle au corps de l'animal (Figure 1).

La totalité des mesures a été réalisée sur les trois carcasses échouées le 17 novembre 2013 (Animaux A, B et C) tandis que seule une partie des mesures a pu être faite sur les animaux échoués le 16 novembre soit parce que l'animal coulait dans le cas de l'individu mort (Animal 2) soit parce que les animaux vivant ne pouvaient pas être manipulés facilement du fait de leur taille (Animal 1).

Figure 1. Exemple de relevé des mensurations de l'animal 2.

2.4 Examen et prélèvements

Une fois les mesures terminées un prélèvement de peau a été réalisé sur chaque animal. Il s'agit de détacher un petit fragment d'environ 1cm^3 de peau. Conservé dans l'alcool à 90%, il sera utilisé pour les analyses génétiques.

Une découpe est ensuite réalisée de la fente anale vers le thorax afin de pouvoir accéder à la cavité abdominale et aux organes qu'elle contient (Figure

2). Les principaux organes ont été examinés dans la mesure du possible ; il s'agit du cœur, des poumons, du foie, du rein et de l'estomac.

Figure 2. Ouverture pour accès à la cavité abdominale.

Les côtes sont coupées afin d'accéder à la cavité thoracique pour un examen du cœur et des poumons (Figure 3).

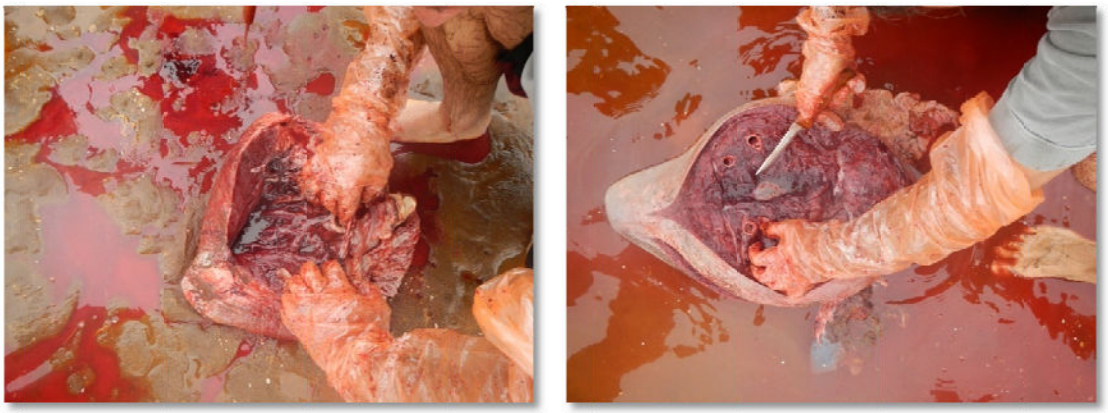


Figure 3. Examen du cœur et des poumons.

Des échantillons de différents tissus et organes ont été prélevés notamment : muscle, foie, rein sur chacune des trois carcasses. Les estomacs ont été extraits et ouverts afin de récupérer le contenu stomacal (Figure 4).

Figure 4. Extraction de l'extomac et des intestins.

2.5 Analyse génétique

Les analyses moléculaires permettent d'identifier l'espèce grâce à un marqueur génétique se situant sur l'ADN mitochondrial (ADNmt), et de connaître le sexe de l'animal. Les séquences d'ADNmt peuvent également permettre d'établir si les individus impliqués dans cet échouage en masse appartiennent ou non à la même lignée matriarcale pouvant fournir des informations préliminaires sur la structure du groupe.

Extraction - Un morceau de peau d'environ 2mm^3 a été coupé avec une lame de scalpel stérilisée à la flamme, puis découpé en petits morceaux pour faciliter la phase de digestion des tissus. L'ADN de tous les échantillons a été extrait au moyen d'un kit d'extraction par colonne silica de type « Qiagen DNeasy Blood and Tissue Kit ». Le protocole standard recommandé par Qiagen a été suivi, à l'exception de la phase initiale de digestion qui a été étendue à cinq heures et en utilisant un volume de 20µL de protéinase K. L'ADN obtenu a été

re-suspendu dans un volume d'eau ultra pure de 100 μL pour les analyses suivantes.

Réaction d'amplification et séquençage - Pour chaque échantillon, un fragment de la région contrôle de l'ADNmt a été amplifié par réaction de polymérase en chaine (PCR). Des amorces spécifiquement développées pour les cétacés ont été utilisées : tPro-whale M13-Dlp-1.5 et Dlp-8G (5'-GGAGTACTATGTCCTGTAACCA-3', Dalebout et al. 2005). Pour chaque réaction, les concentrations suivantes ont été utilisées : Platinum Taq (1U), solution tampon (x1), MgCl2 (0,5mM), amorces (0,4μmol), dNTP (0,2mM), BSA (0,5mg/mL) et DMSO (0,5%). Un cycle de transition de température classique de type : 5' à 94°C ; (30'' à 94°, 45'' à 55°, 60'' à 72°) x 35 ; 10' à 72°, a été réalisé.

La purification des produits PCR s'est effectuée par gel-filtration sur résine Sephadex® G50. Les fragments ont ensuite été analysés avec un séquenceur automatique de type ABI 3100. Tous les échantillons ont été séquencés dans les deux directions (3'-5' et 5'-3').

Confirmation de l'espèce – les séquences de l'ADNmt obtenues ont été analysées grâce au programme « DNA-surveillance » en ligne sur internet (Ross et al. 2003). Ce logiciel permet l'identification de l'espèce pour des spécimens inconnus en alignant les séquences entrées par l'utilisateur avec une base de données constituée de séquences de références représentant toutes les espèces connues de cétacés. Une analyse phylogénétique est menée par le programme qui fournit ensuite les résultats sous forme d'un arbre phylogénétique et d'un tableau résumant les distances évolutives entre la séquence implémentée et les séquences références.

Sexage – Le sexe de chaque individu échantillonné a été confirmé par amplification d'un fragment du gène *sry* situé sur le chromosome Y des mâles, en conjonction avec l'amplification d'un fragment du gène ZFX présent sur les chromosomes X des deux sexes (Gilson et al. 1998). Ce deuxième fragment sert de control positif pour la réaction d'amplification. Ainsi, après avoir fait migrer le produit PCR obtenu sur un gel d'agarose, les mâles apparaitront avec deux bandes (*sry* et ZFX) tandis que les femelles ne présenteront qu'une seule bande (ZFX).

Diversité génétique – Les séquences d'ADNmt ont été alignées avec la méthode MUSCLE (Edgar 2004) telle qu'implémentée dans le programme GENEIOUS (Drummond et al. 2009). Les sites polymorphiques sur le fragment sélectionné ont été cherchés afin de déterminer si différents haplotypes étaient représentés parmi les baleines échouées. Un haplotype fait référence à une version précise d'un fragment d'ADN ou marqueur.

Dans un deuxième temps, les séquences des baleines échouées à Prony ont été comparées avec des haplotypes disponibles identifiés chez des individus de la même espèce. Ces haplotypes ont été récupérés dans la base de données

GenBank ou à partir d'articles publiés dans des revues à comité de lecture. Deux indices standards de la diversité génétique ont été estimés en utilisant l'ensemble des séquences disponibles. Il s'agit de la diversité haplotypique (*h*) et de la diversité nucléotidique (π). *h* est une mesure de l'unicité d'un haplotype particulier dans une population donnée. Ainsi, plus *h* est élevé, plus il y a de chances d'observer des haplotypes différents chez deux individus sélectionnés au hasard. π est également une mesure de la diversité génétique mais elle intègre également le degré réel de différence entre les séquences étudiées. Ainsi, plus les haplotypes présents dans une population sont distants les uns des autres en termes de nombre de sites polymorphiques les différenciant, plus π sera élevé. Cette mesure intègre un caractère évolutif puisque deux séquences présentant une seule paire de base de différence auront un ancêtre commun plus proche que deux séquences avec cinq paires de bases différentes (ce qui n'est pas pris en compte par *h*).

2.6 Analyse de métaux

L'analyse des métaux lourds a été conduite à Nouméa par la société AEL. Pour chacun des trois animaux examinés (A, B et C), la quantification des métaux lourds a été effectuée sur trois tissus : foie, rein, muscle. Des échantillons de quelques dizaines de grammes de tissus congelés ont été fournis à la société. Les échantillons congelés ont été lyophilisés pendant 48h, broyés et minéralisés (environ 0,5 g) dans 4mL de HNO_3 et 1 mL de H2O2 (réactifs de qualité analytique), pendant un cycle de 20 min à 196°C (1500W). Les solutions de digestion ont été diluées dans 20 mL d'eau milli-Q puis mesurées par ICP-OES.

Les métaux suivants ont été analysés : arsenic (As), argent (Ag), cadmium (Cd), chrome (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), vanadium (V), sélénium (Se), et zinc (Zn).

Les limites de quantifications de méthode, validées selon NF T 90-210 (As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn), sont rassemblées dans la Table 1.

Table 1. Limites de quantification de méthode, validées selon NF T 90-210.

µg/g	**As**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**	**Hg**	**Se**	**V**	**Ag**
LQ (µg/g)*	1	0.1	0.2	0.1	0.1	2	0.1	0.2	1	10	0.1	nd	nd	nd

*Pour une masse minéralisée de 0.5 g de matière sèche.

nd : non disponible

2.7 Recherche de morbillivirus

Des échantillons de muscle, foie et rein des trois animaux (A, B, et C) ainsi qu'un morceau de poumon de l'animal C ont été expédiés au CIRAD de Montpellier à l'équipe de Virologie du département Systèmes pour la recherche de morbillivirus.

L'ARN viral a été extrait à partir de 150μL d'échantillon en utilisant un kit d'extraction d'ARN de virus (Macherev Nagel). Afin de tester l'hypothèse d'une infection morbillivirale, une amplification d'ARN a été effectuée par RT-PCR (Reverse Transcritase-Polymerase Chain Reaction). Un set d'amorces morbillivirus universelles localisées sur la partie conservée du gène P codant la phosphoprotéine a été utilisé comme décrit précédemment par Barrett et al. (1993), en conjonction avec le kit QIAGEN « one step RT-PCR ». Ces amorces universelles (UP-P1 et UP-P2) permettent d'amplifier un fragment de 429 paires de base du gène P, entre la position 400 et 828. Un contrôle positif a été mis en œuvre en utilisant de l'ARN isolé à partir de cellules Vero infectées avec des PPRV (Peste de petit ruminants virus) et DMV (Dolphin Morbillivirus). Le mix de la réaction PCR (45μL) a été préparé comme suit : 15μL H_2O, 10μL tampon 5X, 2μL dNTP mix, 10μL solution Q, et 3μL de chaque amorce à une concentration de 10mM. La réaction a été conduite en utilisant 5μL d'extrait d'ARN.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Chronologie de l'échouage

3.1.1 Première observation : vendredi 15 octobre

Nous avons pu recueillir le témoignage de trois personnes différentes qui ont observé les cétacés le vendredi 15 octobre (Table 2). Ces informations permettent de constater que les animaux étaient déjà présents dans le fond de la baie du Prony la veille de l'échouage en masse et qu'ils étaient vivants (Figure 5). En fonction des observateurs le groupe observé comprenait six à huit individus. Les témoignages font état d'animaux calmes qui tournaient en rond à la manière de dauphins, un des individus semblant sensiblement plus gros que les autres. Ils effectuaient un déplacement entre le Carénage, la baie de la Somme et Casy (Figure 5).

Table 2. Liste des personnes ayant observé les animaux vivants le 15 octobre 2013.

Nom	Fonction	Heure	Lieu
Jean Louis Menou	Particulier	12h30-13h	Baie de la Somme
Grégory Lasne	Biocénose	14h19	Au droit de la mise à l'eau baie de la Somme
Kevin Herreman	Particulier	18h20	Aiguille de Prony

Figure 5. Observation des baleines à bec en baie du Prony le 15 novembre 2013 (Photo : G. Lasne).

3.1.2 Déroulement de l'échouage : samedi 16 novembre

Samedi matin vers 8h30 – 9h, un groupe de plongeurs du Pop Club était présent en baie du Prony pour un examen niveau 4 ; ils n'ont rien remarqué. Vers 9h30 – 10h, entre deux exercices de plongée, les plongeurs se trouvaient alors baie de la Somme à 30m à droite du ponton lorsqu'ils ont observé ce qu'ils ont tout d'abord pris pour de « gros dauphins » qui venaient du Carénage et nageaient vers la baie de la Somme.

Vers 11h30-12h, tous les animaux se sont échoués sur la plage. Le nombre cités est généralement de sept mais une personne en a cité six. Il y avait deux animaux plus gros et deux plus petits, les autres étant d'une taille intermédiaire.

Les personnes présentes ont contacté les services de l'environnement de la province Sud, l'Aquarium des Lagons et Opération Cétacés. Ils ont ensuite maintenu les animaux humidifiés en les couvrant de serviettes qu'ils arrosaient régulièrement. Les petits étaient dans assez d'eau pour se maintenir droit tandis que les gros étaient couchés sur le coté et avaient l'évent sous l'eau. Ils ont donc essayé de les remettre « droit ». Au départ les plongeurs s'étaient répartis sur les différents animaux. Ils ont ensuite décidé de se regrouper pour tenter de repousser les cétacés un par un vers des eaux plus profondes. Le premier animal remis à l'eau était un petit qui était pratiquement collé à un plus gros, il est revenu directement poser sa tête sur le plus gros. Ils ont alors décidé de remettre à l'eau l'adulte afin que le jeune ne revienne pas. Un observateur témoigne que « lorsque le premier a été à l'eau ils semblent que les animaux ont communiqué car ils se sont agités ». Néanmoins les sauveteurs nous ont précisé qu'ils n'avaient entendu aucun son.

Les plongeurs ont fait appel à des plaisanciers (cinq bateaux sur zone) et à la navette de Casy pour obtenir de l'aide afin d'être plus nombreux à éloigner les animaux. Ils ont demandé aux bateaux de tenter d'empêcher les animaux de revenir s'échouer une fois qu'ils étaient remis à l'eau. Ainsi à chaque fois qu'un animal était repoussé en eau profonde un bateau tentait de l'empêcher de revenir vers la plage en le maintenant au large. Les bateaux n'allaient pas trop près pour ne pas blesser les animaux. Cette stratégie a fini par marcher bien que certains animaux aient du être remis à l'eau plusieurs fois.

Un animal était couché sur le coté depuis le début. Les plongeurs ont essayé de maintenir son évent hors de l'eau mais quand il le remettait à l'eau il nageait toujours sur le coté. L'animal est finalement mort après s'être mis sur le dos et avoir eu des mouvements spasmodiques (Animal 2).

A 14h30 tous les cétacés étaient remis à l'eau à l'exception de l'animal mort. Quand les plongeurs sont repartis vers l'Aiguille de Prony, ils ont vu quatre baleines se diriger vers le Carénage et deux qui revenaient vers la plage de la baie de la Somme.

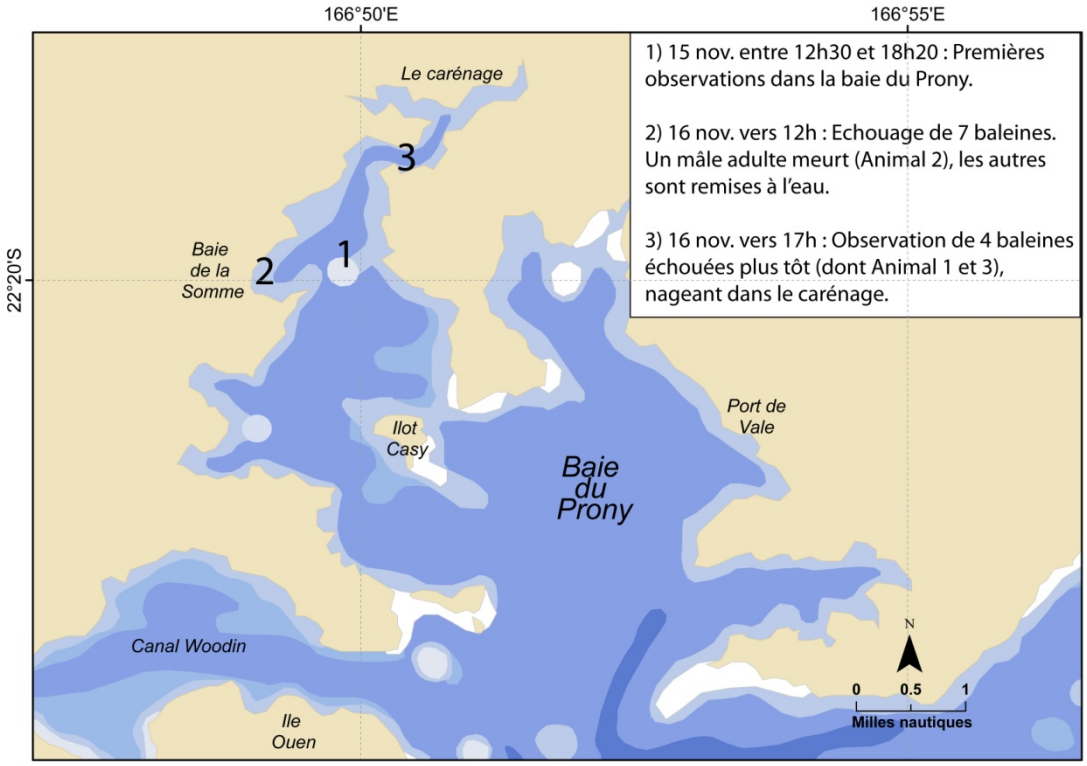


Figure 6. Positions des moments clés de l'échouage durant les périodes du 15-16 novembre 2013.

C'est vers cette heure que les membres d'Opération Cétacés sont arrivés sur site. Ils ont effectivement constaté que deux baleines s'étaient à nouveau échouées. La présence d'un animal de petite taille laissant penser qu'il ait pu s'agir d'une paire maman/petit (Animaux 1 et 3). Quelques mesures ont été prises sur la plus grande des deux baleines (Animal 1) avant qu'elle soit remise à l'eau avec son petit. D'après les descriptions et les vidéos, cet individu semble correspondre au plus gros animal échoué qui est revenu à plusieurs occasions sur la plage plus tôt dans la journée. Quelques mesures ont également été effectuées sur la baleine morte (Animal 2) avant que la brigade de protection du lagon ne la tracte vers le large pour la déposer sur un récif à l'intérieur de la réserve Merlet.

Vers 17h Marc Negrelo et Rémi Dodemont ont revu plusieurs baleines dans la zone. Une vidéo montre quatre animaux dont la maman et son petit (Animaux 1 et 3) nageant dans le carénage (Figure 6).

3.1.3 Déroulement de l'échouage : dimanche 17 novembre

Le dimanche matin Opération Cétacés a été prévenu de la présence de trois cétacés morts en baie de la Somme. Une équipe composée des personnes citées dans la Table 3 s'est donc rendue sur place afin de procéder à des mesures et des prélèvements sur les carcasses des trois animaux dénommés A,

B et C. Les détails sont présentés dans le chapitre 3. Les interventions ont eu lieu entre 13h et 16h.

Table 3. Personnes ayant participé aux examens réalisés le 17 octobre 2013.

Nom	Fonction
Claire Garrigue	Opération Cétacés
Marc Oremus	Opération Cétacés
Rémi Dodemont	Opération Cétacés (Président)
Morgan Poupon	Opération Cétacés
Elisabeth Miquel.	Volontaire
Claude Haumesser	Volontaire
Jean Jacques Plessis	Volontaire
Marc Négrelo	Volontaire
Patrice Plichon	Volontaire
Hélène Dupont	Volontaire
Jérôme Buteaud	Volontaire
Sandrine Ledoux	Volontaire
Jean Christophe Vivier	Vétérinaire

La gendarmerie du Pont des Français (Adjudant Polvent) a réalisé un survol en hélicoptère en fin d'après-midi. A cette occasion deux baleines ont été observées dans la baie nord à environ 500m à 1km en face du port de ValeNC vers 16h50 (Figure 7). Les animaux semblaient être de même taille. Ils ont réagi à l'hélicoptère et se sont éloignés du port en direction de la pointe de l'Abattoir-Casy.

Enfin, une baleine s'est échouée vers 17h à coté d'un bâtiment de ValeNC vers la capitainerie (communication du responsable sécurité) (Figure 7). Sa taille a été estimée à 2,50m. Elle était toute seule et aucune autre baleine n'a été vue en zone proche ou plus au large. L'animal qui a été repoussé à l'eau par le personnel, est reparti sans difficulté. Il présentait des coupures sur le pédoncule caudal probablement dues aux extrémités des pâles d'une hélice de moteur (Figure 8). D'après les photographies, il semble s'agir du petit ayant été remis à l'eau la veille dans la baie de la Somme (Animal 3).

Aux alentours de 14h30-15h, une baleine a été observée par M. Negrelo entre Casy et Montravel en direction de la sortie de la baie (Figure 7).

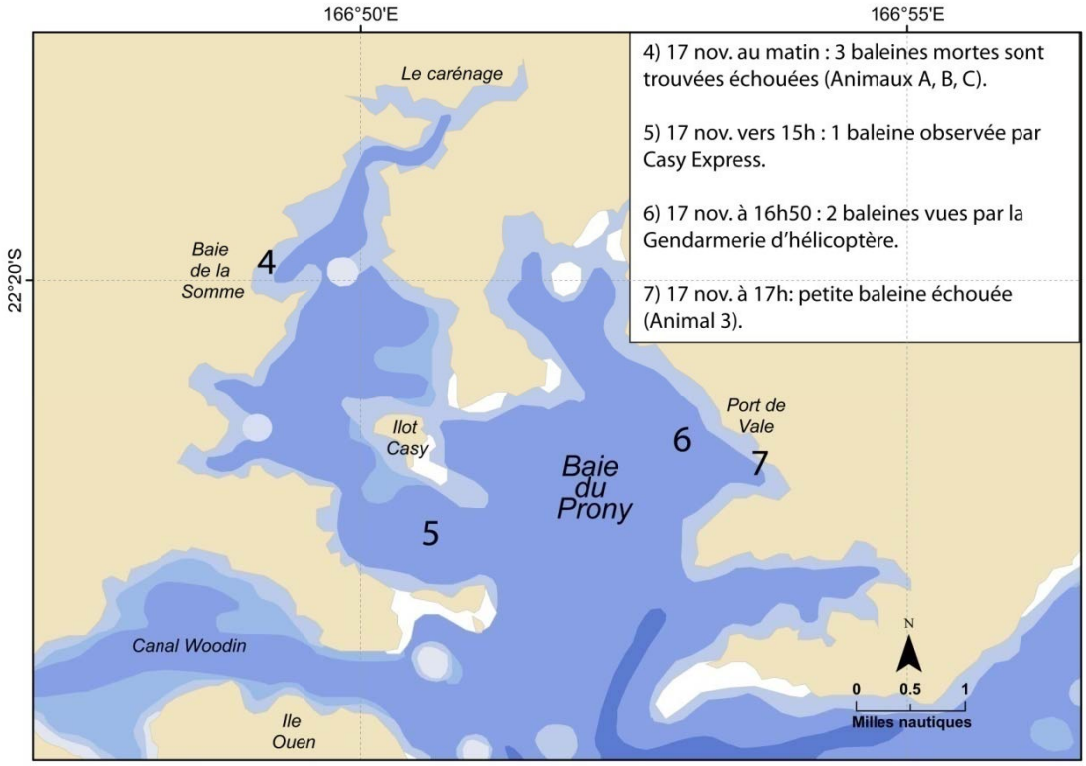


Figure 7. Positions des moments clés de l'échouage le 17 novembre 2013.

Figure 8. Cicatrices au niveau du pédoncule caudal de l'animal 3, 17 novembre 2013 (Photo : Carceller J.).

3.1.4 Déroulement de l'échouage : lundi 18 novembre

Le bateau de la brigade du lagon a tracté les carcasses des trois cétacés examinés la vieille jusqu'à la mise à l'eau de la baie de la Somme où les services techniques de la ville du Mont Dore les ont sorti de l'eau afin de les évacuer (Figure 9). On remarque les morsures de requins qui ont été faites au cours de la nuit. La brigade du lagon a témoigné avoir observé plusieurs requins tigres dont un d'environ 5m autour des carcasses.

Un animal a été enterré à part afin de pouvoir procéder à son exhumation dans le but de recueillir son squelette à des fins scientifiques.

Après l'évacuation des carcasses, nous avons entrepris une navigation à bord du navire Amérée en compagnie de la brigade de Gardes Nature du lagon Sud afin de rechercher d'autres animaux qui seraient encore présents dans la baie du Prony. Nous avons sillonné la baie entre 9h30 et 12h30 suivant tout d'abord la côte de la baie nord, de la baie de l'est, de la baie ouest, de Montravel. Nous sommes allés jusqu'à la baie du Carénage. Et là, à 11h53, nous avons aperçus deux baleines à bec de même taille au centre du Carénage. Aucun petit n'était présent. Nous avons suivi les baleines jusque vers la baie ouest. Le vent s'étant levé nous avons perdu leurs traces à 12h22. Il ne nous a pas été possible d'approcher ces animaux qui nageaient rapidement à une vitesse d'environ six nœuds. Quelques photographies d'ailerons dorsaux ont cependant permis de constater que la mère remise à l'eau avec son petit le 16 novembre (Animal 1) n'était pas parmi ces animaux.

Figure 9. Evacuation des carcasses par les services techniques de la ville du Mont Dore (Photo : Province Sud).

3.1.5 Déroulement de l'échouage : du 19 novembre au 14 décembre

Au cours des semaines qui ont suivi plusieurs signalements nous sont parvenus (Figure 10).

Le 20 novembre des pêcheurs ont observé deux baleines naviguant entre le Carénage, l'Aiguille de Prony, Casy et la pointe de l'Abattoir. Le weekend end du 23 et 24 novembre, Marc Negrelo a observé deux animaux toujours dans la même zone sans arriver à les approcher. Au cours des deux semaines qui ont suivi l'échouage, Monsieur Laurent Pascal a observé à plusieurs reprises deux baleines dans la baie, notamment le matin vers la roche aux îles. Le weekend end du 23 et 24 novembre, il les a vus s'approcher d'un banc de seichard ; il lui semblait qu'elles voulaient s'en nourrir. Le 24 novembre au matin il a également observé plusieurs requins blancs dont un de 6m. Le samedi 30 novembre le voilier Captain Woodin a signalé une baleine à bec devant le village de Prony. Il n'était pas possible de l'approcher à moins de 100m. Aucun signalement n'a été collecté depuis cette date jusqu'au 14 décembre 2013 où Patrice Plichon, garde nature à la brigade du lagon Sud, indique que des pêcheurs ont signalé une carcasse en état de décomposition avancée, échouée en baie du Prony dans la rade du Nord Est (au sud du port de ValeNC). Il est probable qu'il s'agisse d'une des baleines à bec.

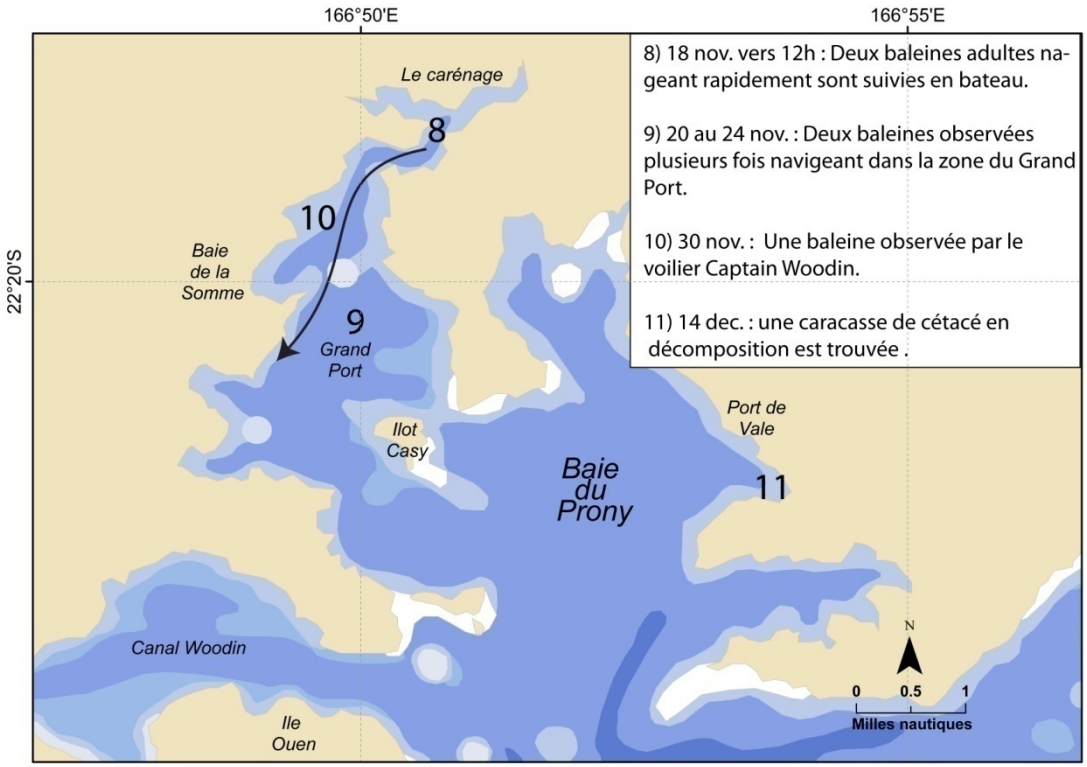


Figure 10. Positions des moments clés de l'échouage durant la période du 18 novembre au 14 décembre 2013.

L'ensemble des informations recueillies permet de conclure qu'un minimum de huit individus est entré dans la baie du Prony.

Il s'agit de : la baleine morte le 16 novembre ; la mère et son petit remis à l'eau le 16 novembre ; les trois baleines mortes et examinées le 17 novembre et les deux animaux observés vivants le 18 novembre. Au moins six d'entre elles se sont donc échouées.

Ce nombre corrobore les premières observations du groupe effectuées le 15 novembre avant l'échouage en masse.

Il est probable qu'au moins cinq de ces baleines soient mortes au cours de cet évènement bien que nous n'ayons pu identifier la carcasse retrouvée le 14 décembre.

3.2 Description morphologique

Des informations générales sont disponibles sur trois baleines qui se sont échouées vivantes le 16 novembre 2013 (Table 4) mais la plupart des mesures n'ont été relevées que sur les trois animaux retrouvés morts le 17 novembre 2013 (Table 10Table 5).

Table 4. Sexe, longueur totale (cm) de six baleines à bec de Longman échouées en baie du Prony, novembre 2013.

Animal	Date du premier échouage	Statut	Date de l'examen	Longueur totale (cm)	Sexe*
1	16/11/2013	Vivante, remise à l'eau	16/11/2013	640	♀
2	16/11/2013	Vivante, morte (16/11)	16/11/2013	590	♂
3	16/11/2013	Vivante, remise à l'eau	16/11/2013	estimée entre 300 et 350	nd
A	16/11/2013	Vivante, morte (17/11)	17/11/2013	564	♀
B	16/11/2013	Vivante, morte (17/11)	17/11/2013	590	♀
C	16/11/2013	Vivante, morte (17/11)	17/11/2013	618	♀

nd : Indisponible

* : confirmé par analyse génétique

3.2.1 Animal 1

C'est la baleine qui s'est échouée à de nombreuses reprises le 16 novembre. Cet animal robuste, de 6.40m, était le plus grand de tous (Table 5). Il présente

une « déformation », sorte de légère protubérance située au niveau du dos entre l'évent et la nageoire dorsale. Sa coloration générale est gris foncé (Figure 11). Aucune démarcation n'est visible entre la tête et le corps. On remarque la présence de nombreuses cicatrices de squalelets féroces (*Isistius brasilensis*). La nageoire dorsale est haute et légèrement falciforme avec une base relativement large. La mâchoire inférieure à l'extrémité du bec est abimée (Figure 11), probablement à cause des tentatives que fait l'animal pour plonger alors que le fond n'atteint pas 2 m de profondeur. Il s'agit probablement d'une femelle car elle est accompagnée par un individu de plus petite taille (animal 3, Table 5). Cette baleine a été remise à l'eau.

Figure 11. Animal 1 : Extrémité du bec abimée et coloration générale gris foncée.

3.2.2 Animal 2

L'animal 2 s'est échoué vivant et est mort par la suite. A l'arrivée de notre équipe l'animal était déjà mort et prêt à être tracté au large par la brigade des Gardes Natures du lagon Sud. Seules quelques rapides mesures ont pu être effectuées. Sa longueur totale est de 5.90m (Table 5).

La face inférieure de la nageoire caudale est claire ; elle présente des stries (Figure 12). La bordure du bord de fuite est gris foncé. Deux dents étaient bien visibles à l'extrémité de la mâchoire inférieure suggérant qu'il ait pu s'agir d'un mâle (Figure 13).

Figure 12. Animal 2 : Coloration de la face inférieure de la nageoire caudale montrant des stries.

Figure 13. Animal 2 : Présence de deux dents à l'extrémité de la mâchoire inférieure.

3.2.3 Animal 3

L'animal 3 est un jeune qui accompagne l'animal 1 qui est probablement sa mère. Sa coloration est d'un gris uniforme ; il ne présente aucune cicatrice. Il a été remis à l'eau avec l'animal 1.

3.2.4 Animal A

C'est l'animal situé le plus près de la plage et la plus à gauche quand on regarde la plage à partir de la mer. C'est également celui qui est le plus hors de l'eau. Echoué sur coté droit, seul le coté gauche est accessible.

L'animal mesure 5.64m (Table 5) ; il présente un corps robuste de forme générale cylindrique (Figure 14). Le dos est gris foncé à noir et de nombreuses marques de squalelets féroces y sont visibles. Les flancs gris pâle à blanc, montrent également de longues cicatrices blanches parallèles (Figure 15). La partie supérieure du melon est gris foncé (Figure 14) et le reste de la tête gris pâle (Figure 14 et Figure 16). L'œil est cerclé de gris foncé (Figure 16). Une bande gris foncé s'étend de la nageoire pectorale au dessus de la tête vers l'évent. Le front est bulbeux et le melon est séparé du bec par un pli prononcé (Figure 16). Deux sillons gulaires sont visibles sous la gorge (Figure 16).

Figure 14. Animal A : Aspect général du corps de l'animal et coloration dorsale.

La région des fentes anale et génitale est gris pâle à blanche et la présence de fentes mammaires situées de part et d'autres de la fente génitale permet de savoir qu'il s'agit d'une femelle (Figure 17). La nageoire dorsale est située environ au ¾ arrière du dos. Les nageoires pectorales en forme de pagaie sont relativement petites et de couleur gris foncé (Figure 18). La petite « poche » servant à « ranger » ces nageoires n'a pas été observée sur ce spécimen. La nageoire caudale ne possède pas de nœud mais une « boursouflure » qui ressort ver l'extérieur. De petites protubérances sont visibles sur l'extrémité de son bord de fuite. Sa coloration est gris foncé sur la face supérieure.

Figure 15. Animal A : Longues cicatrices blanches parallèles sur le flanc.

Figure 16. Animal A : Front bulbeux, melon séparé du bec par un pli prononcé.

Figure 17. Animal A : Fentes mammaires de part et d'autre de la fente génitale.

Figure 18. Animal A : Petites nageoires pectorales.

3.2.5 Animal B

C'est l'animal le plus à droite en regardant la baie à partir de la mer. Il est échoué sur coté droit et seul le coté gauche est encore accessible bien qu'il soit en partie sous l'eau. De nombreuses cicatrices ont été laissées sur la tête et sous la mâchoire de l'animal par le frottement sur le fond au cours de l'échouage (Figure 19).

Figure 19. Animal B : Cicatrices laissées par le frottement sur le fond.

Sa longueur totale atteint 5.90m (Table 5). La forme générale de son corps est semblable à celle de l'animal A. Le dos est gris foncé ; la face ventrale et les flancs sont gris pâle avec une zone plus claire vers la fente génitale. La présence de fentes mammaires indique que l'animal est une femelle. L'œil est cerclé de gris foncé ; une zone plus claire est présente vers le conduit auditif. Une bande gris foncé relie l'évent à la nageoire pectorale. On remarque la présence d'une petite dépression servant à positionner la nageoire pectorale (Figure 20). Des protubérances sont visibles sur les bords d'attaque de la nageoire caudale (Figure 21).

Figure 20. Animal B : Petite dépression pour positionner la nageoire pectorale.

Figure 21. Animal B : Protubérances sur le bord d'attaque de la nageoire caudale.

3.2.6 Animal C

C'est l'animal situé au centre. Echoué sur coté gauche, seul le coté droit est accessible bien que déjà partiellement sous l'eau à notre arrivée.

C'est le plus grand des trois animaux échoués ; il mesure 6.18m (Table 5). Il présente des blessures récentes au niveau de l'extrémité du bec notamment sur la mâchoire inférieure, probablement du au contact avec le fond au cours de l'échouage (Figure 22). Ces blessures laissent apercevoir deux dents inclues dans la gencive. On remarque également la présence de nombreuses cicatrices de squalelets féroces dont certaines ne sont pas cicatrisées. Enfin on note la présence de blessures en avant de la zone génitale probablement dues au frottement avec le sol pendant l'échouage.

L'aspect général du corps de l'animal est semblable à celui de l'animal A mais la coloration générale est plus foncée. La tête est gris foncée et ne montre pas de différence marquée avec le reste du corps. La région ano-génitale est blanche. Là encore, la présence de fentes mammaires indique que l'animal est une femelle.

Figure 22. Animal C : Blessures à l'extrémité du bec.

Table 5. Mesures effectuées sur les baleines à bec échouées en baie du Prony les 16 et 17 novembre 2013 (en cm).

Sexe	Animal 1 F adulte	%LT	Animal 2 M adulte	%LT	Animal 3 F veau	Animal A F adulte	%LT	Animal B F adulte	%LT	Animal C F adulte	%LT
1. Longueur totale (LT)	640		590		≈300	564		590		618	
2. Pointe du bec à l'œil	nd		nd		nd	92	16	99	17	99	16
3. Pointe du bec à l'évent	nd		nd		nd	90	16	95	16	93	15
4. Pointe du bec à l'angle de la bouche	nd		64	11	nd	60	11	63	11	57	9
5. Pointe du bec à l'insertion antérieure de la nageoire pectorale	nd		nd		nd	137	24	140	24	145	23
6. Pointe du bec à l'insertion antérieure de la nageoire dorsale	nd		358	61	nd						
7. Pointe du bec au haut de la nageoire dorsale	nd		402	68	nd	350	62	320	54	436	71
8. Pointe du bec au centre de la fente génitale	nd		nd		nd	410	73	427	72	436	71
9. Longueur de la fente génitale	nd		nd		nd	44	8	53	9	53	9
10. Nageoire pectorale, insertion antérieure à la pointe	nd		50	8	nd	50	9	57	10	60	10
11. Longueur des fentes mammaires	nd		nd		nd	10	2	9.5	2	13	2
12. Projection de la mâchoire inférieure au-delà de la pointe du rostre	nd		4	1	nd	7	1	4	1	2	0.3
13. Largeur de l'évent	nd		nd		nd	16	3	16.5	3	16	3
14. Nageoire pectorale, largeur max	nd		nd		nd	15	3	16	3	17	3
15. Hauteur de la nageoire dorsale	34	5	31	5	nd	27	5	31	5	35	6
16. Largeur de la nageoire caudale, de la pointe à la pointe**	nd		150	25	nd	130	23	128	22	142	23
17. Profondeur de la nageoire caudale	nd		nd		nd	44	8	43	7	43	7
18. Epaisseur gras sur flancs	nd		nd		nd	3.1	1	3.8	1	2.3	0.4
19. Longueur de la base de la dorsale	52	8	44	7	nd						
20. Circonférence avant la dorsale	nd		300	51	nd	260	46	266	45	266	43

nd : non disponible

Certaines mesures effectuées sur les cinq animaux augmentent avec la longueur totale de l'animal (Table 5 : 5, 8, 9, 14, 15) alors que d'autres restent stables (Table 5 : 13, 17).

La projection de la mâchoire inférieure au-delà de la pointe du rostre varie énormément en fonction des individus (Table 5 : 12).

La femelle B et le mâle 2, sont de même taille (5,90m) or la circonférence du mâle et la largeur de sa nageoire caudale sont sensiblement plus grandes que celle de la femelle laissant supposer que les mâles sont plus robustes que les femelles.

La comparaison des valeurs mesurées sur les animaux échouées en baie du Prony avec celles relevées sur les deux individus adultes mesurés aux Maldives et à Taiwan (Table 10) (Dalebout et al., 2003 et Yao et al., 2012) ne montrent pas de différence notable à l'exception de la mesure numéro 12 (Projection de la mâchoire inférieure au-delà de la pointe du rostre). Il est probable que la mesure n'a pas été réalisée de la même manière et qu'aux Maldives la longueur mesurée s'étendait de la base du melon à la pointe de la mâchoire inférieure. Les autres individus pour lesquels des mesures sont disponibles étant des juvéniles, il ne nous est pas possible d'effectuer de comparaison car nous ne disposons d'aucune mesure sur le petit animal échoué avec sa mère le 16 novembre 2013 (Animal 3).

3.3 Rapport vétérinaire

3.3.1 Animal A

L'animal était en bon état d'entretien et son décès est récent. Aucun signe de décomposition n'est visible.

Cœur – Le poids total du cœur est de 7.0 kg. Aucune lésion n'est apparente au niveau des ventricules droit et gauche (Figure 23). Le rapport entre les ventricules gauche et droit est de 5/1. Le trabeculum est extrêmement développé.

Poumons – Seul le demi-poumon droit a été extrait de la cavité thoracique. Il ne présente pas de lobation ; les poumons sont d'un seul tenant. Le diamètre de la bronche souche est de 7 à 8 cm. Un nœud lymphatique qui semble réactionnel se situe au niveau de l'attache des poumons sur le diaphragme. Il n'y a pas de liquide spumeux à la bifurcation, des bronches. Il y a des lésions de stase sanguine post mortem sur la partie médiale du poumon. Aucune lésion pulmonaire n'a été décelée.

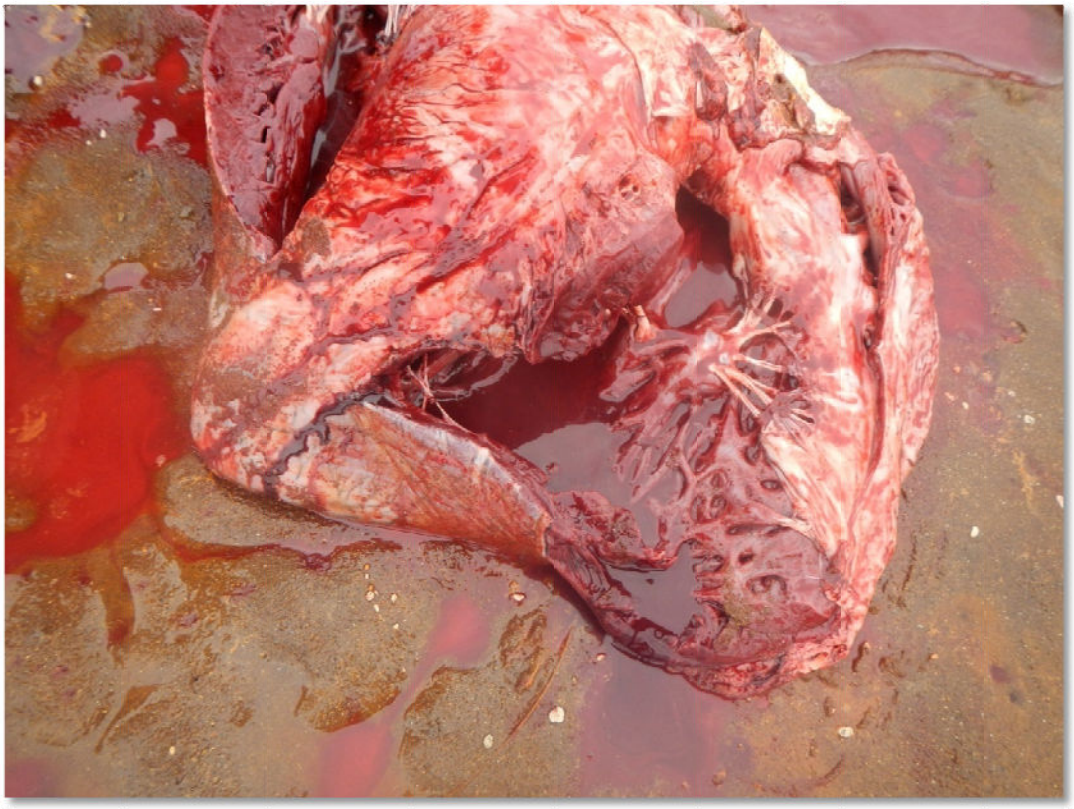


Figure 23. Cœur de l'animal A.

Aucune lésion particulière n'a été observée au niveau du cœur et du poumon de cet animal.

Estomac – Vide.

3.3.2 Animal B

Aucun signe de décomposition n'est visible sur la partie de l'animal qui émerge de l'eau.

Poumons – Ils n'ont pas été extraits car la marée montait rapidement et n'ont donc pas été examinés par le vétérinaire.

Estomac – Il semble n'être constitué que de deux poches. Le pré-estomac est long (60-70 cm) et présente de multiples rhagades inflammatoires longitudinales à divers stades d'évolution, de cicatricielles à très actives (Figure 24).

Un sac plastique de supermarché avec écrit en français « Ré-utilisez-moi, protégez la nature, ne pas jeter dans la nature » est présent dans l'estomac principal. Celui-ci montre une gastrite hémorragique importante qui ne peut pas être simplement reliée à la présence de ce sac (Figure 24). Les multiples poches stomacales normalement observées chez les Ziphiidés n'ont pas été retrouvées. On note de nombreux parasites.

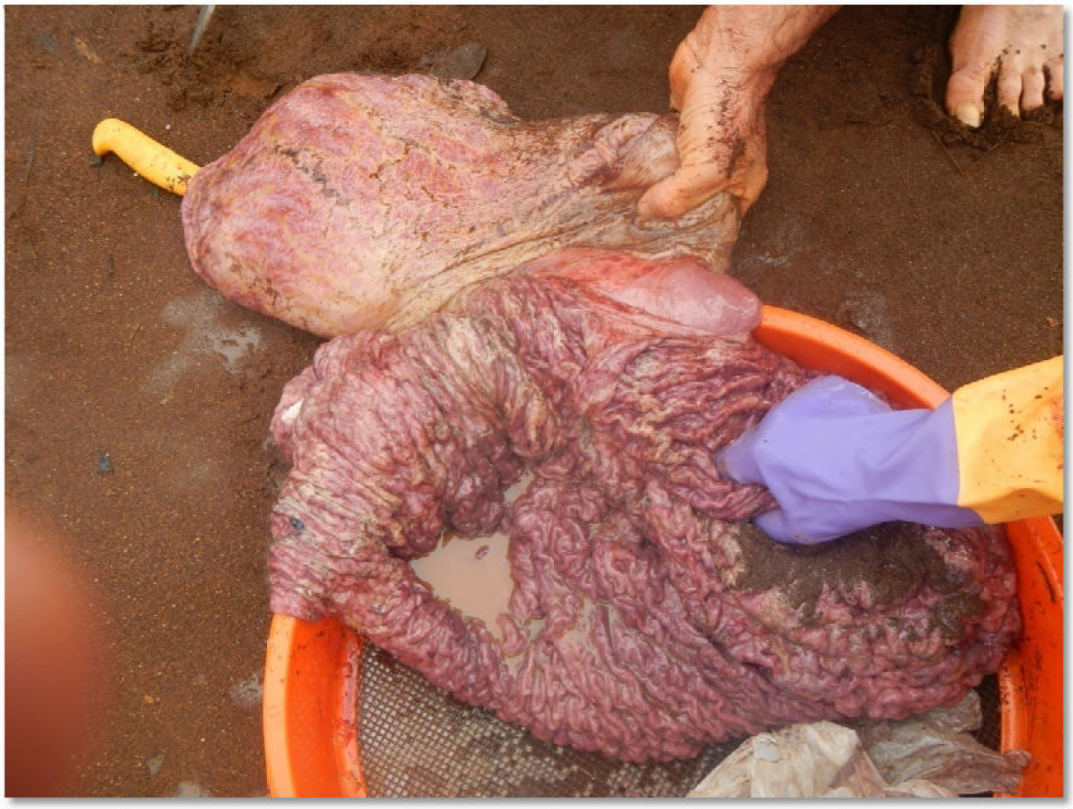


Figure 24. Estomacs de l'animal B.

3.3.3 Animal C

L'animal est en bon état d'entretien et son décès est récent. Aucun signe de décomposition n'est observé. L'animal présente de nombreuses lésions de morsures squalelets féroces dont la plupart sont cicatrisées. Une d'entre elles, en cours d'épidermisation, est forcément récente (même si la plaie a pu être réactivée par frottement sur le sol), ce qui indique que l'animal fréquentait les eaux du large peu de temps avant.

Cœur – Le poids total du cœur est de 10.5 kg. Les ventricules droit et gauche sont sains.

Poumon et cage thoracique – Dans la cage thoracique le feuillet viscéral de la plèvre est très congestionné (beaucoup plus que l'animal A) (Figure 25). On remarque des pétéchies hémorragiques sur la figure 25 en bas à droite. On note la présence de liquide spumeux dans les trachées mais pas d'œdème pulmonaire (Figure 26).

Pylore - Un morceau de plastique dur d'environ 6 à 7 cm est présent au niveau du pylore.

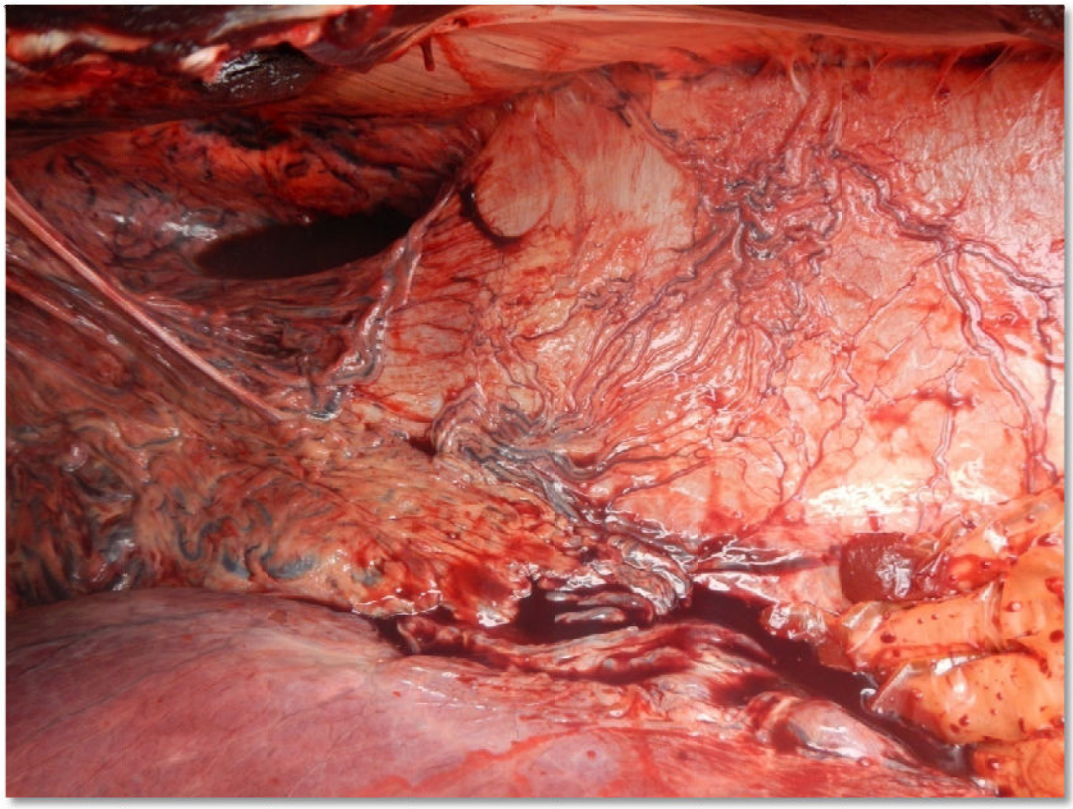


Figure 25. Congestions de la cage thoracique de l'animal C.

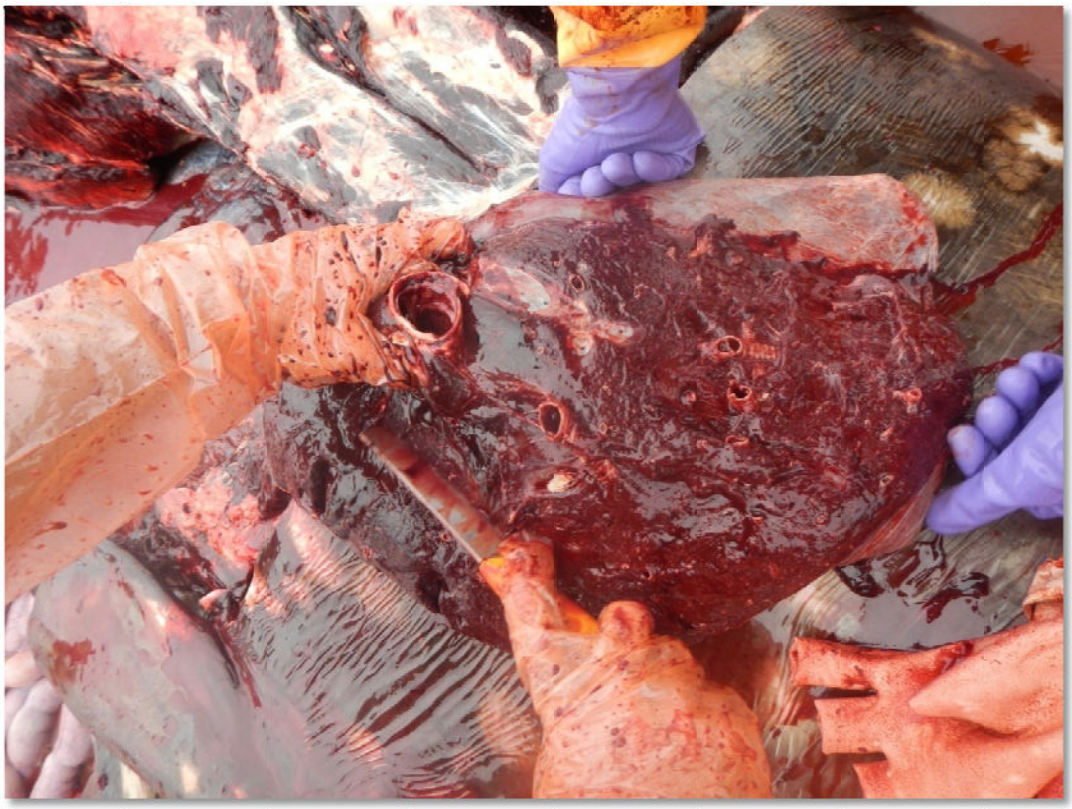


Figure 26. Examen des poumons de l'animal C.

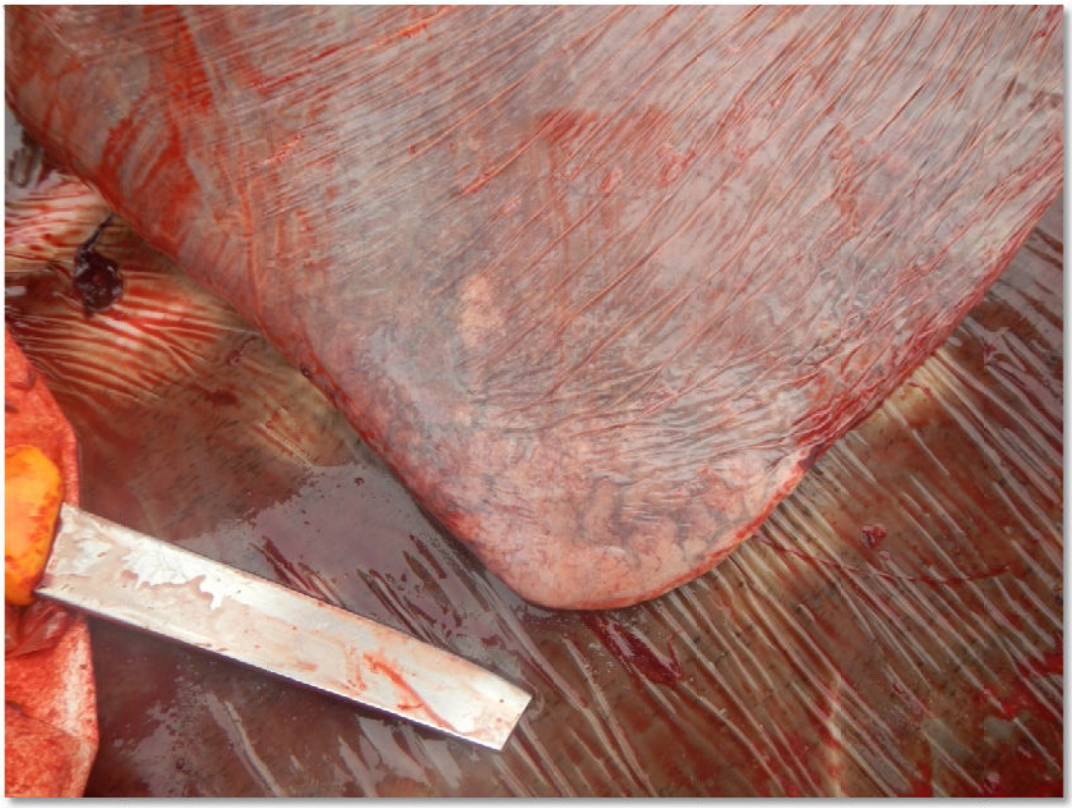


Figure 27. Lésion d'aspect emphysème pulmonaire sur l'animal C.

> *Ces trois animaux étaient en bon état d'entretien. Il ne s'agit pas d'animaux amaigris ou cachectiques.*
>
> *L'animal B présente des lésions gastriques importantes relativement chroniques, puisque coexistent des lésions très inflammatoires, longitudinale et profonde et d'autres avec un pattern identique mais cicatrisées. L'aspect général de l'estomac de cet animal est tout de même franchement inflammatoire, sans que l'on puisse attribuer ces lésions au sac plastique.*
>
> *L'animal C montre une pleurésie aigue. L'hypothèse d'une réaction physiologique du rete mirabilis à l'élévation de température consécutive à l'échouage ne me semble pas pouvoir être retenue (entre autres raisons, elle n'est pas présente chez les autres animaux).*

3.4 Analyse génétique

3.4.1 Identification de l'espèce

Un fragment de 680 pb de l'ADN mitochondrial a été séquencé pour chacune des cinq baleines échantillonnées. L'implémentation de ces séquences dans le programme DNA-surveillance montre qu'elles se regroupent avec les autres séquences de l'espèce *Indopacetus pacificus* et se détachent des 20 autres espèces de baleines à bec connues à ce jour (Figure 29). Ce résultat est appuyé par une forte valeur de bootstrap (100% de soutien au groupe d'*I. pacificus* comprenant les séquences de Prony, Figure 29). De plus, les distances évolutives entre les échantillons de Prony et les autres *I. pacificus* représentés dans le programme DNA-surveillance varient de 0 à 0,0148. En revanche, la séquence la plus proche des baleines de Prony mais issue d'une autre espèce de baleine à bec présente une distance évolutive beaucoup plus importante de 0,0818. Celle-ci provient d'une baleine à bec de Sowerby (*Mesoplodon bidens*).

> *Les résultats indiquent très clairement que les baleines à bec échouées à Prony appartenaient à l'espèce Indopacetus pacificus, corroborant ainsi l'identification réalisée à partir des caractéristiques morphologiques extérieures.*
>
> *Il s'agit du premier échouage en masse d'Indopacetus pacificus enregistré dans le monde.*

3.4.2 Sexage moléculaire

Le sexage par amplification de fragments des chromosomes X et Y a permis de découvrir et/ou de confirmer le sexe des individus échoués tel que déterminé sur le terrain (Figure 28). Ainsi, parmi les cinq individus échantillonnés, quatre étaient des femelles et une était un individu mâle adulte.

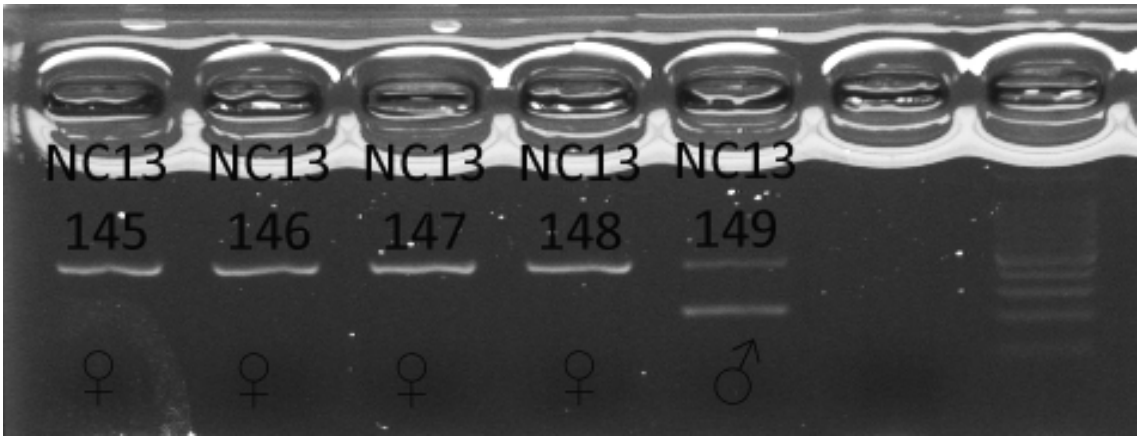


Figure 28. Résultats sur gel d'agarose des sexages moléculaires pour les baleines à bec échouées à Prony. Les individus présentant une seule bande sont des femelles tandis que l'individu présentant deux bandes est un mâle.

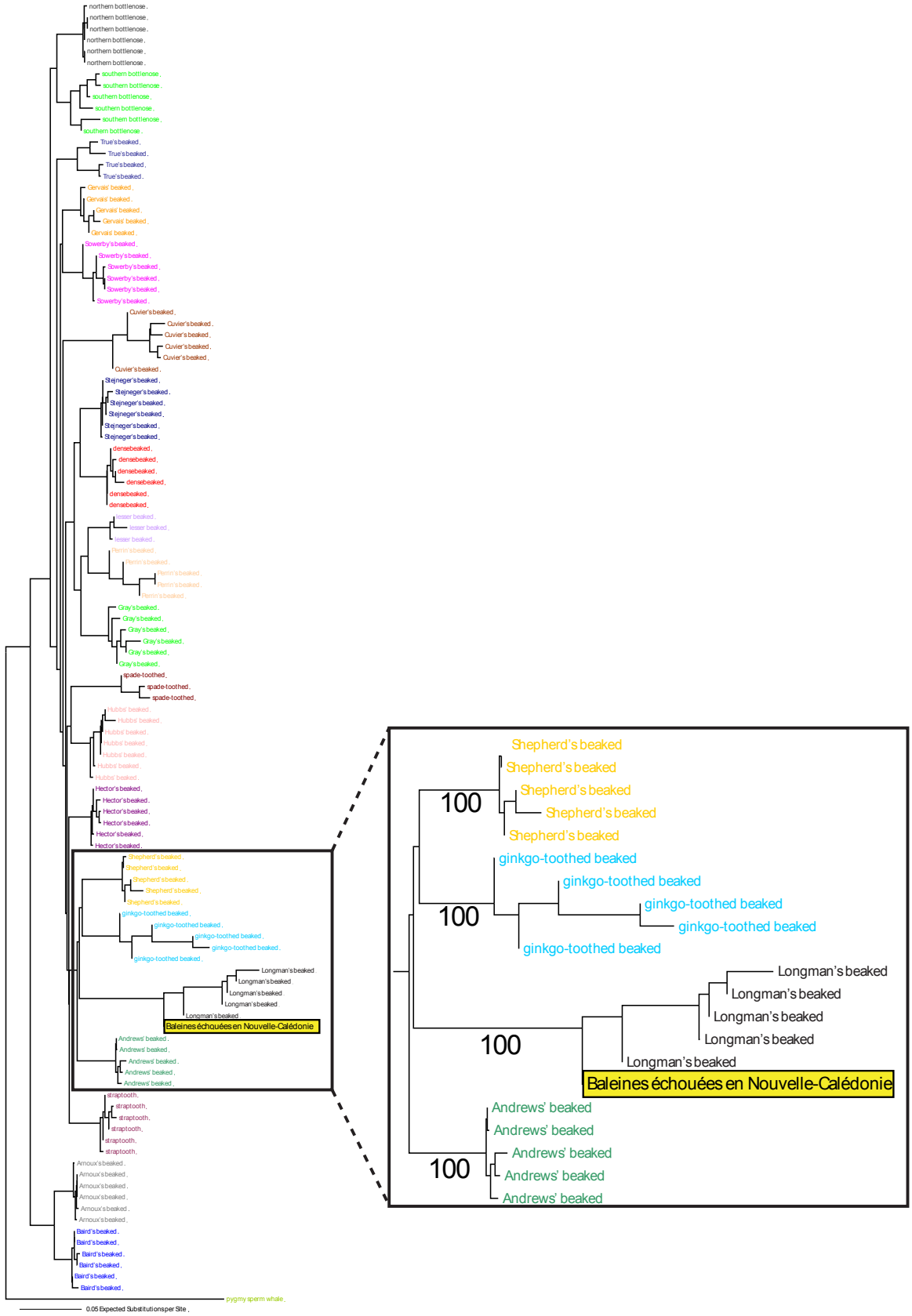


Figure 29. Arbre phylogénétique obtenu avec le programme DNA-surveillance après implémentation des séquences d'ADNmt provenant des baleines à bec échouées dans la baie du Prony.

3.4.3 Diversité génétique

La comparaison des séquences de 680 pb obtenues pour chacune des cinq baleines échantillonnées n'a révélé la présence d'aucun site polymorphique sur ce fragment. Autrement dit, les cinq individus partagent le même haplotype pour cette région de l'ADNmt.

Ce résultat peut s'expliquer de deux façons : 1) soit les cinq baleines faisaient partie d'un même groupe matriarcal ; 2) soit la diversité génétique au niveau de l'ADNmt est très faible chez cette espèce.

Scenario 1 : un groupe matriarcal s'articule autour d'une matriarche, laquelle est entourée de sa descendance (mâle et/ou femelle) ainsi que de la descendance des femelles de deuxième, voir troisième générations. Comme l'ADNmt est uniquement transmis par les femelles, tous les individus du groupe, qu'ils soient mâle ou femelle, partagent le même haplotype. Ce scénario pourrait expliquer la détection d'un haplotype unique dans cet échouage en masse. Ce type de structure sociale a déjà été décrit chez d'autres espèces d'odontocètes comme l'orque (*Orcinus orca*) et le cachalot (*Physeter macrocephalus*) mais n'a pour l'instant pas été confirmé chez les baleines à bec.

Scenario 2 : certaines espèces se caractérisent par une très faible diversité génétique de leur ADNmt comme par exemple le dauphin d'Hector (*Cephalorhynchus hectori*) (Hamner et al. 2012). Dans un tel cas, il est possible que l'échantillonnage d'un petit nombre d'individus, comme lors de cet échouage en masse, ne permette pas d'identifier plusieurs haplotypes différents sans pour autant que les individus présents n'aient de lien de parenté.

Pour approfondir cette hypothèse, l'haplotype des baleines de Prony a été comparé à sept séquences d'ADNmt d'*Indopacetus pacificus* obtenues dans d'autres études (Dalebout et al. 2003, Kitamura et al. 2013, West et al. 2013) et pour lesquelles la longueur des fragments disponibles varie de 226 à 460 pb (Table 6). Une de ces séquences provenant d'une baleine échouée aux Maldives en 2000 (Dalebout et al. 2003) s'est révélée identique à l'haplotype des baleines de Prony sur la longueur du fragment pouvant être comparé, soit 226 pb. Les baleines de Prony et cette baleine des Maldives partage donc le même haplotype pour ce fragment de 226 pb. Les six autres séquences présentent toutes des haplotypes différents de l'haplotype de Prony. Le nombre de sites polymorphiques entre l'haplotype de Prony et ces séquences provenant d'autres régions varie de 1 à 5.

Afin d'obtenir une estimation préliminaire de la diversité génétique de la région contrôle de l'ADNmt pour cette espèce, l'ensemble des séquences disponibles a été utilisé (Table 6). Les diversités haplotypique et nucléotidique ont ensuite été calculées sur la base du fragment le plus long pouvant être comparé entre toutes les séquences, c'est à dire 226 pb. Seul un des individus de Prony a été considéré pour ces calculs car il n'est pas possible de rejeter

l'hypothèse d'un lien maternel direct entre ces baleines. Or l'inclusion d'individu de la même famille dans ces calculs entrainerait un biais.

Table 6. Liste des séquences *d'Indopacetus pacificus* disponibles pour la comparaison avec les échantillons des baleines échouées à Prony, Nouvelle-Calédonie.

Code	# GenBank	Longueur max. (pb)	Origine	Source
M33006	AB572012	460	Japon	(Kitamura et al. 2013)
QM-J2016	AY162435	240	Australie	(Dalebout et al. 2003)
MZUF1956	AY162436	408	Somalie	(Dalebout et al. 2003)
PEM292	AY162437	295	Afrique du Sud	(Dalebout et al. 2003)
PEM1960	AY162438	295	Afrique du Sud	(Dalebout et al. 2003)
-	AY162439	226	Maldives	(Dalebout et al. 2003)
-	-	400	Hawaii	(West et al. 2013)

Ainsi, huit séquences représentant cinq haplotypes ont pu être utilisées (Table 6). Les valeurs de diversité haplotypique et nucléotidique obtenues sont les suivantes :

- Diversité haplotypique: h = 0,821 +/- 0,101,
- Diversité nucléotidique: π = 0,595% +/- 0,117%.

Ces valeurs suggèrent une diversité génétique faible chez *I. pacetus* par rapport à d'autres espèces de baleines à bec (Dalebout et al., 2003), mais similaire à celle observée chez le dauphin d'Hector (Hamner et al., 2012). Il est donc possible que la présence d'un haplotype unique parmi les individus échantillonnés lors de l'échouage massif s'explique par la faible diversité génétique de cette espèce plutôt que par des liens de parenté proches entre les cinq individus.

Les deux scénarios restent néanmoins possibles et il est encore trop tôt pour conclure sur cette question. D'autres analyses pourront permettre de clarifier ces hypothèses. Il faudrait notamment retracer les liens de parenté entre les cinq individus échantillonnés au moyen du génotypage d'un nombre suffisant de microsatellites. La comparaison avec d'autres échantillons de la même espèce pourrait également permettre une meilleure description de la diversité génétique et donc déterminer si la présence de cinq haplotypes similaires peut s'expliquer ou pas par un simple effet d'échantillonnage.

3.5 Concentrations en éléments métalliques

On remarque que la concentration en éléments métalliques varie en fonction des tissus et des organes mais également en fonction des métaux (Table 7). Cette différence d'accumulation selon les tissus suggère des organes préférentiels pour l'accumulation et le stockage de chaque élément selon leurs affinités chimiques et la fonction des tissus. Le foie est généralement l'organe qui accumule les plus fortes quantités de métaux ; c'est le cas ici pour le Hg, le Fe, le Zn et le Se et dans une moindre mesure pour le Mn, Cu et As à l'exception de l'animal C dont les reins contenaient plus de Cu et de Se que le foie. On remarque également que la concentration de certains éléments augmente en fonction de la taille des individus. C'est notamment le cas du Cd, Se, Hg et Mn dans le foie et le muscle des trois animaux.

Nous allons tenter de comparer les concentrations mesurées sur les animaux échouées en baie du Prony avec les données disponibles dans la littérature sachant que la plupart des informations disponibles concernent le Hg, le Se et le Cd qui sont le plus souvent mesurés (Table 8 et Table 9).

3.5.1 Le cobalt (Co), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le vanadium (V), l'argent (Ag) et le plomb (Pb)

Les concentrations en Pb, V, Co, Cr, Ni mesurées dans les tissus et organes collectés sur les animaux échoués en baie du Prony sont en deçà des limites de détection de la méthode analytique employée ou proche de celles-ci (Table 7). Il en est de même pour Ag à l'exception de l'échantillon de rein de l'animal C.

Il existe peu de données concernant le Co, Cr, Ni ou V car bien que potentiellement toxique (Table 8), il semble que ceux-ci ne soient pas bio accumulables en grande quantité dans les tissus des mammifères (Thompson, 1990).

3.5.2 Le fer (Fe)

Les concentrations en Fe comprises entre 924 et 1525 µg/g ps[1] sont importantes pour les trois animaux. Ces niveaux de concentration sont couramment relevés dans d'autres études (Table 8 et Table 9) car le fer est présent dans l'hémoglobine.

.

[1] g ps : gramme de poids sec

Table 7. Concentrations des différents éléments métalliques dans les organes et les tissus en µg/g ps.

	As µg/g	Cd µg/g	Co µg/g	Cr µg/g	Cu µg/g	Fe µg/g	Mn µg/g	Ni µg/g	Pb µg/g	Zn µg/g	Se µg/g	V µg/g	Ag µg/g	Hg µg/g
A-Muscle	2.5	0.22	<0.20	0.20	2.2	761	0.3	<0.2	<1	33	2.1	<0.5	<0.5	10.5
B-muscle	2.6	0.30	<0.20	0.20	2.3	764	0.31	<0.2	<1	30	3.2	<0.5	<0.5	13.9
C-muscle	3.8	0.84	<0.20	0.34	2.3	919	0.47	<0.2	<1	41	22.9	<0.5	<0.5	57.3
Moyenne	3.0	0.5		0.2	2.3	814.7	0.4			34.7	9.4			27.2
± σ	±0.7	±0.3		±0.1	±0.1	±90.4	±0.1			±5.7	±11.7			±26.1
A-Foie	18.2	97.3	0.34	0.13	10.1	1525	5.3	<0.2	<1	161	57.7	<0.5	1.57	131
B-Foie	24.3	142.0	0.37	0.20	12.7	1422	6.0	<0.2	<1	168	102.6	<0.5	2.25	180
C-Foie	23.2	168.5	0.24	0.15	9.9	924	8.3	<0.2	<1	181	278.3	<0.5	2.51	800
Moyenne	21.9	135.9	0.3	0.2	10.9	1290.3	6.5			370.3	146.2		2.1	370.3
± σ	±3.3	±36	±0.1	±0.04	±1.6	±321.4	±1.6			±372.9	±116.6		±0.5	±372.9
A-Rein	2.3	215.5	0.27	1.34	7.7	941	1.8	1.59	<1	102	15.3	<0.5	<0.5	128
B-Rein	3.0	223.4	<0.20	0.20	6.8	637	1.1	<0.2	<1	81	10.0	<0.5	1.89	12
C-Rein	19.3	145.5	0.23	0.13	11.4	764	8.3	0.43	<1	169	346.0	<0.5	6.92	620
Moyenne	8.2	194.8	0.3	0.6	8.6	780.7	3.7			117.3	123.8		4.4	253.3
± σ	±9.6	±42.9	±0.03	±0.7	±2.4	±152.7	±4.0			±46.0	±192.5		±3.6	±322.8

Table 8. Concentrations en éléments traces (en µg/g ps et nombre d'échantillons) dans le foie et les reins de quatre petits cétacés extraits de Aubail et al. (2013) (Données originales Lahaye et al., 2005, 2006, 2007a et b et Mendez-Fernandez et al., 2013).

Espèce	**Dauphin commun** *Delphinus delphis*		**Marsouin commun** *Phocoena phocoena*		**Dauphin bleu et blanc** *Stenella coeruloealba*		**Grand dauphin commun** *Tursiops truncatus*	
Elément/Tissu	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**
Hg moy±σ	43.5 ± 134	8.3 ± 11.8	60.4 ± 90.3	7.8 ± 3.9	99.5 ± 167	13.7 ± 12	129 ± 189	35.9 ± 38.9
min-max	0.8–1173	0.8–102	4.2–345	2.7–16.6	3.32–644	1.7–42.3	3.4–779	4.9–156
	n = 79	n = 79	n = 17	n = 17	n = 19	n = 19	n = 16	n = 16
Fe moy±σ	704.2 ± 267	570 ± 551	1237 ± 508	639 ± 152	1162 ± 590	597 ± 219	822 ± 421	509 ± 122
min-max	190–1779	225–4782	619–2476	458–990	510–2906	273–1006	432–1407	377–703
	n = 79	n = 78	n = 10	n = 11	n = 15	n = 14	n = 6	n = 6
Cu moy±σ	18.06 ± 5.6	12 ± 2.5	31.2 ± 19	14.3 ± 4.6	25 ± 5.7	15 ± 6.2	17.4 ± 7.6	15.1 ± 7.8
min-max	2.3–34.7	5.4–20.04	11.9–81.7	9.1–26.8	16.05–37.2	3.5–27.4	5.2–38 7	.2–39
n	n = 79	n = 78	n = 16	n = 17	n = 19	n = 18	n = 16	n = 16
Ni moy±σ	2 ± 0.06	3.6 ± 3.5	0.03 ± 0.03	0.65 ± 1.7	0.3 ± 0.8	0.8 ± 1.7	0.5 ± 1.04	0.7 ± 0.7
min-max	0.02–9.5	0.02–15 0	.02–0.09	0.02–5.9	0.02–3.2	0.02–5.4	0.02–2.6	0.1–1.8
	n = 79	n = 78	n = 10	n = 11	n = 15	n = 14	n = 6	n = 6
Zn moy±σ	144 ± 53.6	84.2–43.3	129 ± 55	88.4 ± 13.3	180 ± 77.5	108.1 ± 34.3	171 ± 108	83.6 ± 19.6
min-max	58.1–398	30.07–436	75.6–287	68.7–121.1	96.4–442	66.5–184	90.2–530	57.5–133
	n = 79	n = 78	n = 16	n = 17	n = 19	n = 18	n = 16	n = 16
Mn moy±σ	9.2 ± 3.6	3 ± 1.9	8.1 ± 7.3	2.8 ± 0.4	9.1 ± 6	2.6 ± 0.7	3.01 ± 4.1	2.5 ± 0.5
min-max	0.5–23.3	1.2–19.1	0.3–20.4	2.2–3.6	0.3–20.1	1.7–4.3	0.2–11.2	1.8–3.06
	n = 79	n = 78	n = 10	n = 11	n = 15	n = 14	n = 6	n = 6

Table 9. Concentrations en éléments traces (en µg/g ps et nombre d'échantillons) dans le foie et les reins de quatre cétacés de Méditerranée extraits de Capelli et al. (2008).

Espèce	*Baleine à bec de Cuvier* *Ziphius cavirostris*		Dauphin de Risso *Grampus griseus*		Cachalot *Physeter macrocephalus*		Grand dauphin commun *Tursiops truncatus*		Dauphin bleu et blanc *Stenella coeruloealba*	
Elément/Tissu	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**	**Foie**	**Reins**
Hg moy±σ	258	25.6±	1632 ± 1430	48.28±33.25	4.24	1.33	1875±2633	147±199	316±162	37.39±11.36
min-max			19.25 – 2746	9.89-67.57			13.55-3737	5.85-288	137-452	25.2-47.67
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=2	n=2	n=3	n=3
Fe moy±σ	797	830	7396±5591	552±181	1124	449	2407±1514	580±389	908±121	593±303
min-max			1337-12356	376-737			1337-3478	305-855	815-1044	255-840
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=2	n=2	n=3	n=3
Cu moy±σ	26.4	10.2	10.33±0.72	8.80±3.05	12.4	10.3	58.45±51.83	26.20±17.96	34.77±13.18	13.03±2.45
min-max			9.5-10.8	6.7-12-3			21.8-95.1	13.5-38.9	19.6-43.4	10.6-15.5
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=2	n=2	n=3	n=3
Cd moy±σ	10.34	60	17.66±18.35	35.49±30.84	<ld	0.04	3.02	4.93±6.93	3.50±1.90	25.85±14.12
min-max			2.35-38	15.74-71			<ld	0.03-9.83	1.6-5.39	9.54-34
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=1	n=2	n=3	n=3
Zn moy±σ	130	96	124±17.78	90±6	142	77	266±31.82	113±38.18	216±120	112±18.04
min-max			104-138	84-96			288-243	86-140	89-327	93-129
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=2	n=2	n=3	n=3
Mn moy±σ	6.11	2.53	11.56±4.77	2.87±0.70	2.49	1.66	12.82±2.698	2.58±0.24	11.55±5.31	2.68±0.51
min-max			6.90-16.43	2.07-3.35			10.71-14.93	2.41-2.75	6.42-17.03	2.31-3.26
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=2	n=2	n=3	n=3
Se moy±σ	142	21.25	871±747	32.90±18.75	4.59	4.48	858±1202	54.43±65.87	151±106	25.54±6.31
min-max			18.34-1408	11.3-45.04			8.73-1708	7.85-101	63.75-269	18.25-29.24
	n=1	n=1	n=3	n=3	n=1	n=1	n=2	n=2	n=3	n=3

3.5.3 Le cadmium (Cd)

La concentration moyenne de cadmium (Cd) contenue dans le foie des baleines à bec échouées à Prony est de 135.9 ± 36.0 µg/g ps et de 194.8 ± 42.9 µg/g ps dans les reins. Des concentrations de Cd particulièrement élevées ont été relevées dans les reins des mammifères marins (Wagemann et Muir 1984, Dietz et al 1998). C'est le cas ici à l'exception de l'animal C pour lequel la concentration en Cd était plus importante dans le foie que dans les reins. Ces valeurs mesurées ici semblent élevées par rapport aux valeurs disponibles dans la littérature. Néanmoins une concentration de 344 µg/g ps a été mesurée chez un globicéphale noir des îles Féroé (Caurant et al, 1994) et la valeur maximale de 2324 µg/g ps a été trouvée chez un phoque annelé du Groenland (Diez et al 1998).

Bustamante et al. (1998 et 2002) suggèrent qu'une alimentation à base de céphalopodes constitue probablement une source majeure de Cd pour les cétacés, ces proies présentant de fort niveau de Cd sous une forme facilement bio-disponible. Le Cd étant naturellement présent dans la croute terrestre il peut refléter la signature des conditions géochimiques particulières qui existent en milieu océanique. Il est également produit par les activités anthropiques.

Le Cd est un des métaux les plus toxiques mais en dépit des fort taux mesurés chez les mammifères marins, aucun effet n'a été mis en évidence chez ces animaux suggérant une efficacité des mécanismes de détoxification (Dietz et al., 1998).

3.5.4 Le Zinc (Zn)

La concentration moyenne de Zn contenue dans le foie des baleines à bec échouées est de 170.0 ± 10.1 µg/g ps. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celles trouvées dans la littérature notamment pour une baleine à bec de Cuvier dont le foie contenait 130 µg/g ps de Zn (Table 9).

Le Zn est essentiel à l'intégrité du système immunitaire chez les mammifères. Lahaye et al. (2007) ont montré que de fortes quantités de Zn pouvaient être liées à de mauvaises conditions de santé (fort parasitisme, pneumonie, émaciation, bronchopneumonie). L'augmentation des concentrations de Zn dans le foie peut être attribuée à une redistribution générale de ce métal dans les organes (muscle et gras vers le foie) résultant du catabolisme des protéines et des lipides. Nous n'avons observé aucune trace d'émaciation, ni mesuré une épaisseur de gras particulièrement faible chez les animaux examinés suggérant que cette forte concentration de Zn dans le foie pourrait être liée une pathologie. Chez l'humain il est établi qu'une telle augmentation est associée à une redistribution du Zn et que les concentrations augmentent dans le foie en résultat d'une phase aigue de synthèse des protéines (Scott, 1985 ; Hambridge et al., 1986 ; Amdur et al., 1991). Le fait que le Zn ne s'accumule pas avec l'âge confirme que les fortes teneurs observées puissent probablement être des réponses à une infection.

3.5.5 Le cuivre (Cu)

La concentration moyenne de Cu contenue dans le foie et les reins des animaux échoués est relativement faible (Table 7). Les valeurs disponibles pour une baleine à bec de Cuvier de Méditerranée étant de 26.4 et 10.2 µg/g ps respectivement pour le foie et les reins (Capelli et al., 2008).

3.5.6 Le sélénium (Se)

La concentration moyenne en Se mesurée dans le foie des baleines à bec échouées est de 146.2 ± 116.6 µg/g ps. Elle diffère pour chacune des trois baleines allant de 57.7 à 278.3 µg/ g ps respectivement pour l'animal A et C. Chez ce dernier la plus forte concentration se trouve dans les reins avec 346 µg/g ps alors qu'elle est seulement de 10.0 et 15.3 µg /g ps pour les deux autres animaux. Elle était de 142 µg/g ps chez la baleine à bec de Cuvier citée précédemment (Table 9).

3.5.7 Le mercure (Hg)

La concentration moyenne de Hg contenue dans le foie des baleines à bec échouées est de 370.3 ± 372.9 µg/g ps. Ces importantes variations sont dues aux valeurs mesurées chez l'animal C qui présente des concentrations beaucoup plus élevées que les deux autres. La moyenne des concentrations mesurées pour les seuls animaux A et B est de 155.5 ± 34.6 µg/g ps. Ces valeurs sont proches de celle mesurée en Méditerranée sur la baleine à bec de Cuvier qui était de 258 µg/g ps.

Les concentrations en éléments métalliques peuvent montrer une importante variation chez les mammifères marins, particulièrement pour le Cd et le Hg (Table 8 et Table 9). Il est important de noter les très fortes valeurs mesurées chez l'animal C : 800 µg/g ps pour le foie et 620 µg/g ps pour les reins. Une valeur de 13156 µg/g ps a été obtenue pour un grand dauphin commun en Méditerranée (Das et al., 2003).

Le Hg n'est pas sujet à l'homéostasie et c'est l'un des éléments traces le plus inquiétant du fait de sa forte toxicité et de son comportement dans l'environnement marin. Il est toxique pour le système nerveux central entrainant des déficiences moteur, sensorielle et comportementale. Le Hg se bio-magnifie le long de la chaine alimentaire lorsqu'il est disponible sous forme de méthyl mercure ce qui est généralement le cas. Les mammifères marins en présentent de fortes concentrations. Néanmoins, les effets toxiques du Hg vont, en quelque sorte, être annihilés par la présence de Se. En effet, ces deux métaux se combinent dans le foie pour former du HgSe qui est un produit d'accumulation terminal conduisant à des concentrations fortes mais non toxiques de métaux.

3.6 Recherche de morbillivirus

Du fait de la décomposition avancée des tissus résultant d'une perturbation de la chaine du froid lors du transport vers l'Europe des échantillons, la recherche de morbillivirus n'a pu être réalisée que sur les tissus de poumon de l'Animal C échoué le 17 novembre. Cette analyse s'est avérée positive.

La souche de morbillivirus identifiée se rapproche génétiquement de souches identifiées en Espagne (Méditerranée et Iles canaries) (Figure 30). Les amorces utilisées mettent en évidence le gène P du virus qui varie peu dans la zone ciblée.

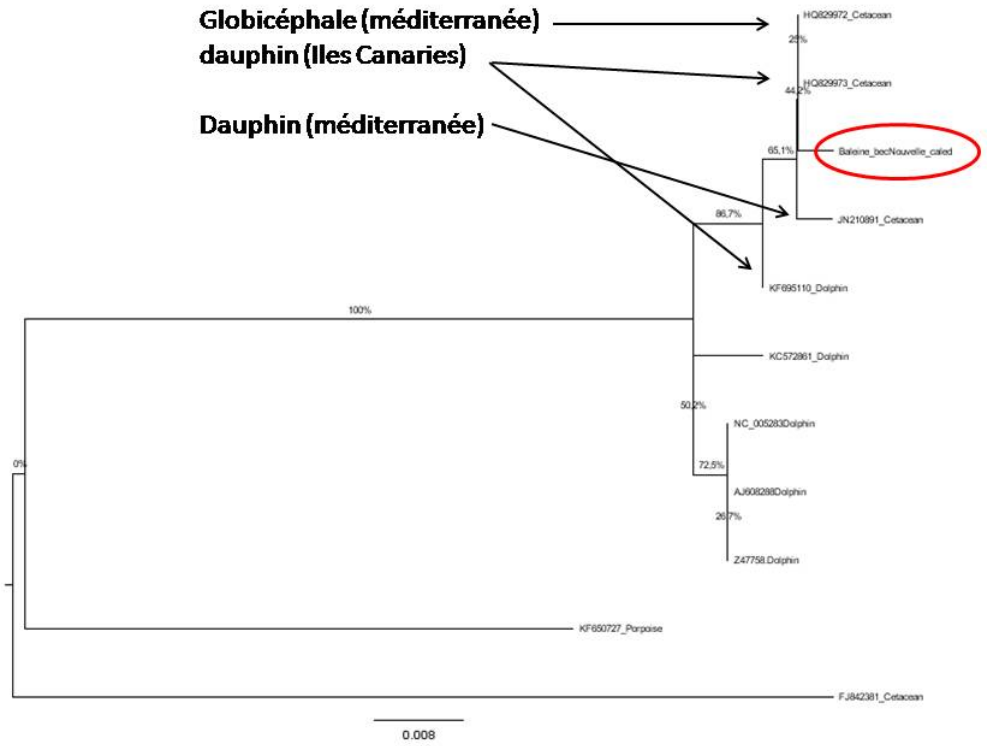


Figure 30. Arbre phylogénétique montrant la position du morbillivirus détecté chez les baleines à bec échouées dans la baie du Prony par rapport aux autres souches de ce virus (G.Libeau).

Découvert en 1987 ce virus appartient à la même famille que le virus de la rougeole. Il atteint aussi bien les pinnipèdes que les cétacés. Les symptômes sont similaires à ceux de la maladie de carré du jeune chien. Les signes cliniques comprennent lésions cutanées, pneumonie, infections du cerveau et infections secondaires. Les organes les plus souvent affectés sont les poumons et le cerveau. Les animaux malades présentent des difficultés respiratoires dues à la pneumonie ainsi qu'un comportement anormal mais ces signes qui sont présents dans d'autres types de maladie ne sont pas spécifiques aux morbillivirus. Lorsqu'ils sont exposés au virus, certains individus fabriquent des anticorps qui les protégeront d'une

infection future. En revanche, d'autres individus n'acquièrent pas d'anticorps et peuvent succomber à cette maladie ou bien à une infection, secondaire résultant de l'immuno dépression provoquée par l'infection.

Depuis 1987 ce virus est responsable de nombreuses épidémies aussi bien chez les populations de pinnipèdes (phoque gris, veau marin, phoque du lac Baikal) que de cétacés. Chez ces derniers plusieurs grosses épidémies ont été notées comme celle qui a touché les dauphins bleu et blanc de Méditerranée en 1990-1992 (, http://www.science.gouv.fr/fr/actualites/bdd/res/2834/morbillivirus-un-virus-mortel-pour-les-dauphins/) ou celles dont ont été victimes les grands dauphins communs sur les côtes américaines en 1987-1988, 1993-1994, 2013 (http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/midatlantic2013/morbillivirus_factsheet2013.pdf) responsables de plusieurs centaines de dauphins morts. L'infection se propage par inhalation ou par contact direct entre les animaux ce qui est grandement facilité chez les espèces de cétacés au comportement social développé. Il est probable que la présence de ce virus altère la résistance à une épidémie. Les facteurs environnementaux comme la pollution métallique ou les changements de températures de surface ont été évoqués comme pouvant jouer un rôle dans ces épidémies.

Dans le Pacifique nord ce virus a été mis en évidence en Californie chez des dauphins communs (*Delphinus delphis*) échoués (Reidarson et al., 1998), au Japon sur un dauphin à flanc blanc du Pacifique (*Lagenorhynchus obliquidens*) (Uchida et al., 1999) et à Taiwan sur un cachalot pygmée (*Kogia breviceps*) (Yang et al., 2006). Il a également été signalé chez le globicéphale noir (Tautenberger et al., 2000). Il vient récemment d'être détecté chez une baleine à bec de Longman juvénile à Hawaii (West et al., 2013).

Dans l'est du Pacifique sud, ce virus a été détecté chez des dauphins capturés dans des pêcheries du Pérou : dauphins sombres (*Lagenorhynchus obscurus*), des dauphins communs à long bec (*Delphinus capensis*), des marsouins de Burmeister (Van Bressem et al., 1998). A l'ouest, l'infection a été signalée chez un groupe de globicéphales noirs de Nouvelle-Zélande sans qu'aucun signe d'épidémie sévère ne soit révélé (Tautenberg et al., 2006) indiquant que ce virus est endémique chez cette population comme cela avait déjà été montré dans l'Atlantique nord-ouest. Le premier cas d'échouage pour lequel une infection à morbillivirus a été signalée dans le Pacifique sud ouest est récent ; il concerne un grand dauphin commun en Australie en 2011 (Stone et al., 2011). Depuis des études témoignent de sa présence en Australie depuis 1985, notamment chez le grand dauphin de l'Indo-Pacifique (*T.aduncus*), le grand dauphin commun (*T.truncatus*), le dauphin d'Electre (*Peponocephala electra*), le dauphin de Fraser (*Lagenodelphis hosei)*, l'orque pygmée (*Feresa attenuata)*, le dauphin à bosse de l'Indo-Pacifique (*Sousa chinensis*), la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae)*, le rorqual tropical (*Balaenoptera edeni*) sans que de grandes mortalités n'aient été observées (Stone et al., 2012).

Le virus semble finalement avoir une distribution mondiale (Van Bressem et al., 1998 et 2001). Il est endémique chez plusieurs espèces de cétacés ce qui signifie qu'il y est présent de manière permanente (Van Bressem et al., 2001 ; Duignan et al., 1995). C'est notamment le cas chez les globicéphales or ces animaux grégaires, s'associent avec d'autres cétacés, et peuvent ainsi servir de vecteur et de réservoir d'infection pour ces autres espèces (Stone et al., 2011).

3.7 Perturbations sismiques et usage d'appareils acoustiques

3.7.1 Perturbations sismiques

Le seul évènement sismique survenu entre le 9 et le 16 novembre a eu lieu le 9 novembre 2013 à 14h45 dans la ZEE des iles Salomon (-12.007°S – 167.411°E). Il s'agit d'un tremblement de terre atteignant 5.1 sur l'échelle de Richter situé à une profondeur de 94km. La position et la magnitude de cet évènement laisse supposer qu'il n'a pas joué de rôle dans l'échouage.

3.7.2 Entretien avec la Marine Nationale

Une recherche des avurnavs en vigueur sur le site du MRCC nous a permis de constater que la marine nationale avait prévu des exercices de tirs dans les eaux océaniques entourant la Nouvelle-Calédonie dans les semaines précédant l'échouage (Figure 31).

AVURNAV NOUMEA 041/13 NOUVELLE CALEDONIE
1. EXERCICES DE TIRS LE **15 NOVEMBRE** 2013 DANS LES ZONES CIRCULAIRES SUIVANTES:
- 20 NAUTIQUES DE RAYONS CENTREE SUR 23-00S 165-58E ACTIVEE DU 151100L AU 151800L (11h à 18h)
- 10 NAUTIQUES DE RAYONS CENTREE SUR 22-42S 166-00E ACTIVEE DU 151100L AU 151800L (11h a 18h)

2. ANNULER CE MESSAGE LE 152000L NOVEMBRE 13.

AVURNAV NOUMEA 040/13 NOUVELLE CALEDONIE

1. EXERCICES DE TIRS DU 06 AU 09 NOVEMBRE DANS LES ZONES CIRCULAIRES SUIVANTES:
- 20 NAUTIQUES DE RAYONS CENTREE SUR 19-45S 164-35E ACTIVEE DU 061500L AU 062000L ET DU 092000L AU 100000L (le 6 nov 20h à minuit)
- 20 NAUTIQUES DE RAYONS CENTREE SUR 23-00S 165-58E ACTIVEE DU 070900L AU 071800L ET DU 080900L AU 081800L (le 7 nov de 9h a 18h)
- 10 NAUTIQUES DE RAYONS CENTREE SUR 22-42S 166-00E ACTIVEE DU 070900L AU 071800L ET DU 080900L AU 081800L (le 7 nov de 9h à 18h)

2. ANNULER CE MESSAGE LE 100200L NOVEMBRE 13.

Un entretien avec le Commissaire Tanneguy Roche, chef du bureau Action de la Mer à l'Etat major Inter Armées nous a permis d'obtenir des informations sur ces exercices. Des tirs ont bien été réalisés le 18 novembre 2013. Ils ont été effectués à partir de patrouilleur. Ce sont des tirs dits « de petits calibres » 40mm, 20mm,

mitrailleuse. Ils tirent sur une cible posée sur l'eau. Le Commissaire Roche a également déclaré qu'il n'y a pas d'activité d'exploration, pas de torpille en Nouvelle-Calédonie, et pas de déminage cette année. Contrairement aux sous marins qui possèdent des sonars, les patrouilleurs n'en ont pas. De plus il n'y a pas de sous-marin en Nouvelle-Calédonie ni de frégates anti sous marine. Seul le Vendémiaire peut réaliser des tirs plus conséquents. La zone de mine « de Prony » dont parlait le journal Les Nouvelles Calédoniennes faisait référence au récif du Prony et non pas à la baie du Prony.

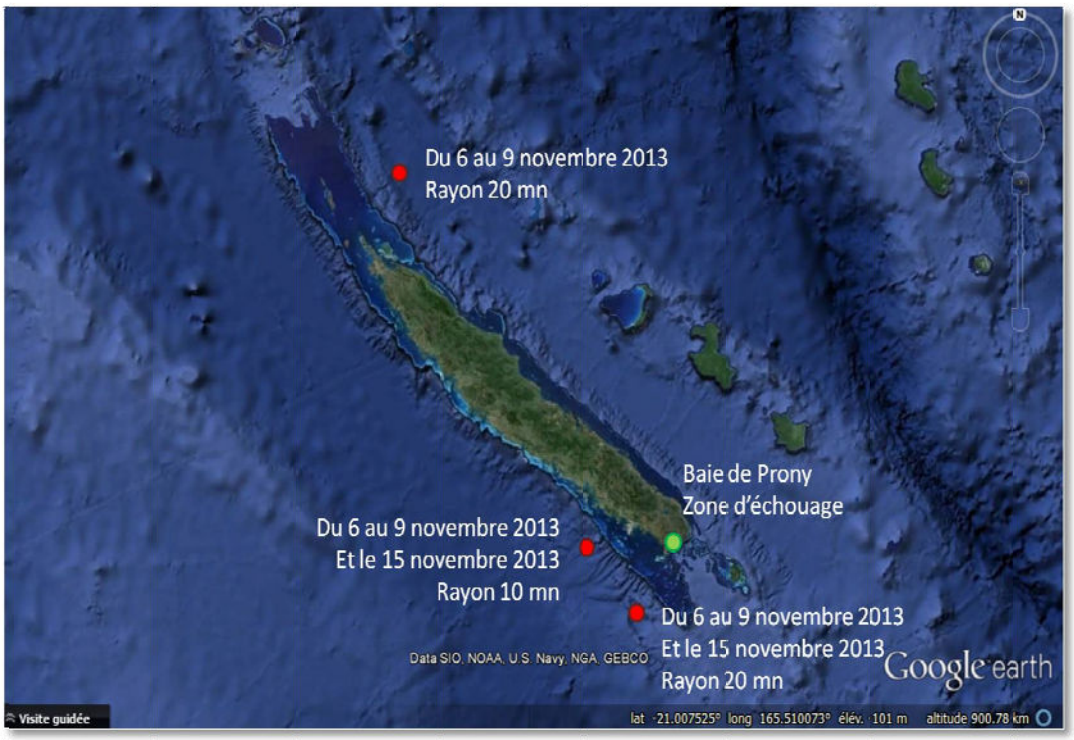


Figure 31. Localisation des exercices de tirs prévus par la Marine Nationale d'après les Avurnav 40 et 41/13.

3.7.3 Entretien avec Vale NC

Les informations obtenues par Adrien Bertaud de l' OEIL auprès du responsable environnement et relations communautaires de Vale NC ont permis de savoir que suite à la rupture de l'émissaire un sondeur à faisceau latéral a été utilisé dans la nuit du 15 au 16 novembre 8h du matin. Sa fréquence est de 400 kHz, soit une portée maximale de 100 m dans une eau limpide et calme. Vale NC a précisé qu'aucune activité marine et sous-marine à part les plongées sur l'émissaire n'avait eu lieu les semaines précédant l'échouage.

4. CAUSES POTENTIELLES DE L'ECHOUAGE

4.1 Généralités sur les échouages en masse

Il existe de nombreuses raisons pouvant expliquer l'échouage de cétacés mais les causes précises sont souvent difficiles à établir. Néanmoins, certaines caractéristiques permettent de réduire le champ d'investigation afin d'établir les causes les plus probables d'un événement particulier.

Dans le cas de l'échouage qui nous intéresse ici, la première caractéristique est qu'il s'agisse d'un échouage en masse. Plusieurs individus sont impliqués en même temps dans ce type d'échouage ; notons que l'échouage d'une femelle seule avec son petit n'est pas considéré comme un échouage en masse. Les échouages en masse concernent généralement des individus vivants ; ce qui est le cas de l'échouage survenu dans la baie du Prony. En général, tout ou partie des animaux ne montrent aucun signe manifeste de problèmes de santé, ce qui, encore une fois, était *a priori* le cas des individus examinés lors de cet échouage. Cependant, une fois échoué, une série de changements physiologiques entraînent généralement un choc puis la mort.

Les espèces sujettes aux échouages massifs sont généralement des espèces présentant des liens sociaux très stables, notamment entre individus de la même famille, comme les globicéphales, les cachalots ou les fausses orques (Perrin and Geraci 2009). Les liens unissant le groupe semblent être assez forts pour supplanter l'instinct de survie individuel. Bien que n'ayant aucune certitude sur ce qui entraîne les échouages en masse, nous constatons que lorsque les animaux ont commencé à s'échouer il est extrêmement difficile de stopper le processus qui continue et s'intensifie, telle une réaction en chaine (Robson 1984). Les individus vont implacablement se suivre les uns les autres même lorsqu'il y a un accès évident vers le large. La cohésion sociale, qui est généralement le seul facteur commun à tous ces événements, semble donc jouer un rôle prédominant mais elle n'explique pas la cause initiale de l'échouage du groupe (Perrin and Geraci 2009).

Les raisons pour lesquelles, le ou les premiers animaux s'échouent, bientôt suivis par le reste du groupe, peuvent être multiples. Les principales causes communément évoquées sont : des conditions météorologiques extrêmes (Evans et al. 2005) ; des conditions océanographiques particulières comme c'est le cas dans le nord ouest de l'île du Sud de Nouvelle-Zélande (Brabyn and McLean 1992) ; des perturbations du champ magnétique terrestre (Klinowska 1986) ; des maladies/épizootie (Geraci and Lounsbury 1993) ; et des pollutions acoustiques (Fernandez et al., 2005, DeRuiter et al., 2013). Certaines de ces explications semblent plus probables que d'autres dans le cas de l'échouage qui nous intéresse.

Afin d'évoquer les causes possibles de cet échouage nous allons tout d'abord discuter du rôle potentiel des perturbations acoustiques sachant que les baleines à

bec paraissent y être particulièrement sensibles (Cox et al., 2006). Ensuite, nous adresserons la possibilité d'une pollution par les métaux lourds, laquelle a notamment été évoquée dans les médias du fait de la proximité du tuyau de rejet d'effluents de Vale NC et de sa rupture peu de temps avant l'échouage. Puis dans la dernière partie de cette discussion nous nous attacherons à retracer le(s) scénario(s) nous paraissant le plus à même d'expliquer cet événement rare.

4.2 L'hypothèse d'une perturbation acoustique

L'impact des perturbations acoustiques sur les cétacés, qui parait de plus en plus important dans tous les océans du globe, a fait l'objet de nombreuses études (Simmonds et al. 2003). Des traumatismes peuvent affecter l'ensemble des individus d'un groupe, notamment en cas d'exposition à de fortes perturbations acoustiques. Plusieurs systèmes utilisés dans le cas de prospections, d'études ou d'activités militaires produisent des sons pouvant avoir des effets néfastes sur les cétacés qui rappelons-le utilisent le son pour communiquer, se déplacer et se nourrir. Les baleines à bec semblent y être particulièrement sensibles et plusieurs échouages massifs impliquant des espèces de cette famille ont déjà été reliés à ce type de perturbations (Cox et al., 2006). C'est pourquoi il était important de bien considérer cette hypothèse dans le cas de l'échouage survenu en baie du Prony.

L'usage de canons à air au cours des surveillances sismiques ne semblent pas présenter de risque important pour les cétacés qui en général quittent la zone où sont réalisées ces études. Pour les baleines à bosse il a, par exemple, été montré que les animaux changeaient la durée de leurs apnées (Noad, pers. com.). Néanmoins une surveillance visuelle et acoustique est généralement prévue au cours de tels projets afin de repérer les espèces présentes. Si des animaux sont repérés à une distance de 2km, la puissance des canons à air est diminuée et lorsqu'ils se trouvent à 1km les tests sont arrêtés car ils peuvent entraîner des traumatismes auditifs.

Les sonars militaires à moyenne fréquence, dont les pics d'énergie sont compris entre 2 et 20 kHz, sont plus dangereux notamment pour les baleines à bec qui quittent rapidement la zone où de tels équipements sont utilisés (DeRuiter et al., 2013). Depuis les années 80 un nombre important d'échouage en masse, intéressant des baleines à bec, coïncident avec l'utilisation de tels sonars. Les animaux échoués dans ces conditions présentes souvent des hémorragies au niveau des oreilles, et leur estomac n'est pas vide (Franzis 1998). Le mécanisme exact de ces échouages reste incertain mais des micros hémorragies aigues et/ou des embolies gazeuses et graisseuses ont été observées chez 10 baleines à bec qui se sont échouées en masse pendant un exercice naval dans les eaux des Canaries en 2002 (Jepson et al 2003 et Fernandez et al 2005). Une réponse comportementale à l'exposition au bruit ou un effet physique direct de l'énergie sonore sur les précurseurs des bulles de gaz

dans le corps des animaux ont été considérés comme des mécanismes possibles pouvant générer des bulles de gaz chez les mammifères marins.

Récemment un groupe d'experts indépendants a retenu l'action d'un système échosondeur multi faisceaux (Multi Beam Echosounder System - MBES) d'une puissance de 12kHz comme étant la cause la plus plausible ayant incité les cétacés à pénétrer dans un premier temps dans le système lagunaire entraînant ainsi la mort de plus de 70 dauphins d'Electre à Madagascar en 2008 (Southall et al., 2013). Ce type de sondeur est largement utilisé la cartographie des fonds marins dans le cadre d'études pétrolière ou gazière. Ce cas constitue le premier échouage massif de mammifères marins qui puisse être étroitement associé à des levés cartographiques avec des sonars à haute fréquence soulignant que ce type d'appareil présente le potentiel de causer des réactions préjudiciables aux mammifères marins. Il semble néanmoins que cette expertise ne fasse pas l'unanimité.

- ***Dans le cas des baleines à bec de Longman échouées en baie du Prony, nous n'avons pas trouvé d'activités sismiques dans la ZEE de Nouvelle-Calédonie avant ou pendant l'échouage.***
- ***L'entretien conduit avec le Chef du bureau Action de la Mer à l'Etat major Inter Armées élimine l'usage de sonars militaires à moyenne fréquence qui ne semblent pas disponibles en Nouvelle-Calédonie.***
- ***Enfin dans le cadre des travaux de ValeNC sur l'émissaire, l'usage de sondeur multi faisceaux est confirmé mais la fréquence utilisée limite sa portée à une zone extrêmement restreinte et jusqu'à la récente expertise présentée ci-dessus, ce type de sondeur a toujours été considéré comme ayant un effet bénin. De plus les baleines avaient déjà été observées dans la baie du Prony la veille de l'utilisation du sondeur et donc les éventuelles perturbations liées à l'utilisation de ce matériel ne peuvent pas expliquer la raison pour laquelle les animaux sont entrés dans le lagon.***
- ***En conclusion, il semble donc très peu probable qu'une perturbation acoustique d'origine anthropique soit à l'origine de l'échouage.***

4.3 L'hypothèse d'une pollution aux métaux lourds

Le complexe industriel de ValeNC est équipé d'un tuyau transportant l'effluent liquide de l'usine. Long d'une vingtaine de kilomètres, il débouche au large de la baie Kué dans le canal de La Havanah au niveau d'un diffuseur situé à une profondeur de 46 mètres. L'effluent contient des éléments métalliques en concentrations diverses et notamment du Mn (le plus concentré en théorie), Al, Co, Cr, Fe, Ni, Si, Zn, Ar, Cd, Cu et Pb. Le 11 novembre 2013 une partie du tuyau a été observé en surface par le

navire Betico qui effectue des rotations entre la Grande Terre et les îles Loyauté. L'usine a donc diminué puis arrêté le rejet de l'effluent afin de permettre une inspection du tuyau qui s'est révélé fracturé en plusieurs endroits. Une fracture était récente alors qu'une autre daterait de plusieurs mois (www.oeil.nc/fr/page/incident-sur-l-emissaire-marin-de-vale-nouvelle-cal-donie).

Cet accident est susceptible d'engendrer des risques environnementaux liés à un changement de la diffusion de l'effluent et de sa dilution dans l'eau de mer. Plusieurs études ont été conduites, ou sont en cours, pour évaluer ces risques. C'est ainsi qu'il nous a été demandé de considérer l'effet de cet incident sur l'échouage en masse survenu en baie du Prony.

Certains éléments métalliques (Cu, Cr, Se, Ni, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Co) sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Leurs concentrations sont généralement contrôlées par homéostasie, incluant l'absorption intestinale et/ou l'excrétion biliaire et urinaire ce qui a pour conséquence qu'ils ne sont pas sujet à une bioaccumulation liée à l'âge. Le Se a pour particularité d'être sujet à d'importantes variations liées aux concentrations en Hg (voir paragraphe 3.5.7). En revanche d'autres éléments (Cd, Hg, Pb, Ag) ne sont pas indispensables et varient dans une large gamme de concentrations qui reflète l'exposition à différents environnements ainsi que le comportement alimentaire des espèces (Das et al, 2003).

De part leur position élevée dans le réseau trophique et leur durée de vie longue, les carnivores marins accumulent via l'alimentation des quantités particulièrement élevées de certains métaux comme par exemple le Hg et le Cd. La bioaccumulation varie selon les espèces, les éléments et les tissus. Le foie et les reins sont les organes où s'accumulent les plus fortes quantités d'éléments métalliques car ces organes sont les organes cibles de ces métaux et réalisent leur détoxication. La présence de ces éléments traces dans l'eau de mer a entraîné l'adaptation des organismes marins à la présence de métaux toxiques dans leur environnement. C'est ainsi que les mammifères marins ont développé des capacités efficaces de détoxification pour supporter leur forte exposition à ces métaux (Das et al., 2000).

Cependant, l'érosion naturelle ainsi que l'intense activité minière provoquent un enrichissement des eaux côtières de Nouvelle-Calédonie en certains métaux comme le Co, Cr, Fe, Ni et le Mn qui peuvent ensuite se retrouver dans certains organismes benthiques ou pélagiques (Monniot et al., 1994 ; Bustamante et al., 2000). Ces éléments peuvent servir de traceurs de contamination dans des environnements où un enrichissement lié aux activités anthropiques existe comme c'est le cas en Nouvelle-Calédonie.

- ***Les faibles concentrations en Co, Cr, Ni et V, mesurées dans les tissus des trois baleines à bec échouées en baie du Prony suggèrent que les activités d'extraction minière de Nouvelle-Calédonie ne***

constituent pas une source significative de contamination. Ceci est en accord avec les mesures réalisées par Bustamante et al. (2003) sur des carcasses d'autres espèces pélagiques de cétacés en Nouvelle-Calédonie suggérant que ces métaux ne sont pas facilement transférés à travers la chaine alimentaire de ces animaux pélagiques.

- ***Enfin, les plus importantes concentrations métalliques mesurées dans les organes des animaux échoués en baie du Prony (Cd, Fe, Zn, Se, Hg) ne correspondent pas aux éléments rejetés par le tuyau de ValeNC. Un lien entre les rejets et/ou la rupture du tuyau et l'échouage en masse des baleines à bec de Longman semble donc improbable.***

4.4 Scénario le plus probable pour expliquer l'échouage

Les hypothèses d'une perturbation acoustique ou d'une pollution aux métaux lourds paraissant improbables, nous allons nous attacher, dans cette dernière partie, à élaborer le scénario le plus vraisemblable pouvant expliquer l'échouage en masse survenu en baie du Prony.

La première question à laquelle nous tenterons de répondre est : pourquoi ce groupe est-il entré dans le lagon ? Il parait en effet peu probable que ces animaux inféodés au milieu pélagique y aient pénétré délibérément, sans raison particulière. Un événement inhabituel a donc dû provoquer l'entrée des baleines dans le lagon. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour l'expliquer.

1- Un ou plusieurs individus du groupe étaient malades ou blessés, se laissant dériver ou étant désorientés au point de finir par pénétrer dans le lagon par accident. Les autres membres du groupe auraient alors suivi par cohésion sociale, tel que décrit au paragraphe 4.1. Bien qu'il n'ait pas été possible d'examiner l'état de santé de l'ensemble des baleines impliquées dans l'échouage, cette hypothèse parait tout à fait plausible. En effet, l'examen nécropsique pratiqué sur trois des baleines impliquées dans l'échouage, indique que l'état de santé d'un des individus était précaire (Animal C). C'est également chez cet animal qu'une infection aux morbillivirus a été détectée.

2- La présence de prédateurs, comme par exemple un groupe d'orques, a pu provoquer un comportement de fuite chez les baleines à bec les amenant alors à pénétrer dans le lagon. Cela a déjà été observé chez d'autres espèces de cétacés (Curé et al. 2013). Aucun signalement sur la présence de ce type de prédateur n'a été reporté dans la zone au cours des jours précédant l'échouage. Néanmoins leur présence n'est pas toujours détectée. Cette hypothèse parait donc possible bien que rien ne nous permette de l'étayer.

3- L'hypothèse selon laquelle les baleines se seraient retrouvées dans le lagon en poursuivant des proies dont elles cherchaient à se nourrir parait peu probable, bien qu'elle ait été évoquée comme cause de l'échouage en masse chez d'autres espèces (Cordes 1982, Geraci and Lounsbury 1993). Leur régime alimentaire peu documenté (cf. Partie 8 - Synthèse sur *Indopacetus pacificus*) ne nous permet pas d'exclure cette possibilité. Néanmoins il semble vraisemblable que ces animaux se nourrissent exclusivement de proies vivant en eaux profondes comme le font les autres espèces de baleines à bec. Notons que l'examen des estomacs des trois animaux échoués, retrouvés vides, ne semble pas corroborer ce scénario.

4- Plusieurs études récentes ont mis en évidence un lien entre les échouages de cétacés et des variations climatiques périodiques (Evans et al. 2005) ou des événements météorologiques extrêmes, comme lors de l'échouage en masse d'orques pygmées, *Feresa attenuata*, survenu en 2006 suite à un épisode cyclonique (Clua et al., 2014). Ainsi certains individus, les plus faibles notamment, peuvent se retrouver poussés près des côtes contre leur gré. Cependant, la semaine précédant l'échouage survenu en baie du Prony, aucun événement météorologique notable n'a été enregistré dans la zone (Figure 32). Par conséquent, il semble que nous puissions rejeter l'éventualité d'un échouage lié à un événement climatique extrême.

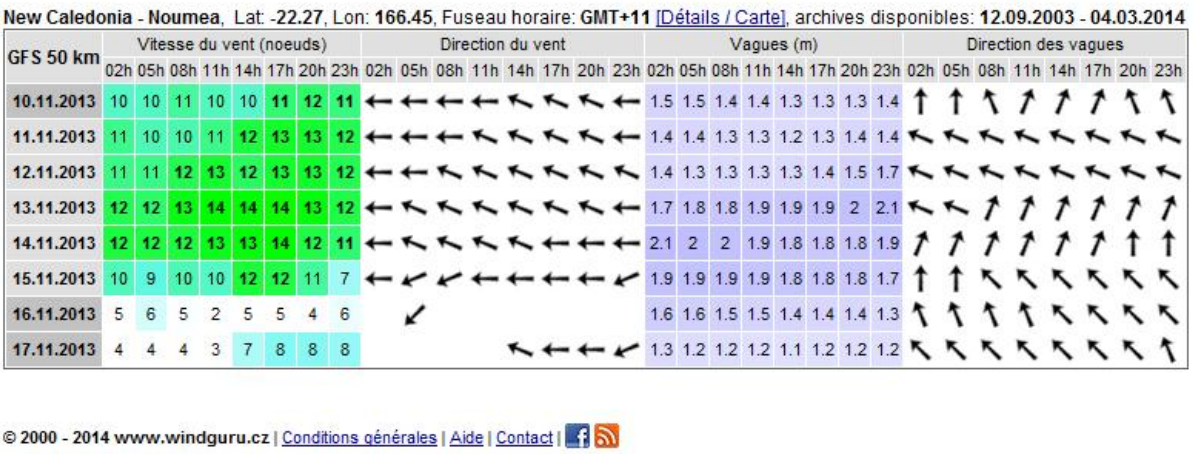


Figure 32. Conditions météorologiques dans la zone de Nouméa entre le 10 et 17 novembre 2013 telles qu'enregistrées par le site de Windguru.

- ***Au vu des éléments disponibles, nous considérons que seules les deux premières hypothèses peuvent raisonnablement être retenues pour expliquer l'entrée des baleines à bec de Longman dans le lagon.***
- ***Ces deux hypothèses ne sont pas exclusives sachant que la faiblesse d'un individu malade peut rapidement attirer les prédateurs présents aux alentours tels que les grands requins.***

Une fois dans le lagon, les baleines ont facilement pu se diriger vers la baie du Prony, notamment si elles sont entrées par la passe de la Havanah qui est le passage le plus proche vers les eaux profondes du large. La baie du Prony atteignant une quarantaine de mètres de profondeur, est constituée de nombreuses petites baies formant autant d'impasses pour des cétacés peu habitués à cet environnement. Après avoir atteint la zone du Grand Port située au fond de la baie, les baleines ont probablement été incapables de trouver la sortie. En effet, le seul passage suffisamment profond pour se diriger vers l'extérieur de la baie, se trouve à l'ouest de l'ilot Casy et ne mesure pas plus de 1km de large, ce qui est peu étant donné l'étendue de la zone. L'hypothèse selon laquelle les baleines se sont retrouvées emprisonnées dans la baie est largement supportée par le fait qu'au moins deux d'entre elles ont été observées à plusieurs reprises pendant les semaines ayant suivi les échouages du 16 et 17 novembre.

Dans cette situation, l'échouage était alors quasiment inéluctable. Certaines études montrent en effet, que les sonars des odontocètes fonctionnent mal dans un environnement présentant une pente douce (Sundaram et al. 2006), comme c'est le cas de la baie de la Somme où les animaux sont revenus à plusieurs occasions. Les conditions étaient alors réunies pour que les baleines finissent par « faire une erreur de navigation ». Ces espèces sont généralement capables d'estimer la profondeur à laquelle se situe le fond grâce à leur système d'écholocation. Cependant lorsqu'elles se trouvent en eaux peu profondes et notamment sur des fonds peu pentus, les baleines ne reçoivent pas d'écho car le son qui se réfléchi sur la pente ne revient pas vers l'animal mais part vers la surface de l'eau. Les baleines pensent qu'elles se trouvent en eaux profondes alors qu'en fait elles s'approchent du rivage. Plusieurs observations supportent cette hypothèse et notamment des vidéos du 16 novembre où l'on voit les animaux tenter de sonder alors qu'ils se trouvent dans des fonds d'une profondeur inférieure à deux mètres au droit de la baie de la Somme. Deux individus, dont l'animal C, présentaient d'ailleurs des lésions importantes au niveau du bec, résultant probablement de ces tentatives de plongée en eaux peu profondes (Figure 22).

Il reste également possible que l'état de santé de certaines baleines ait favorisé l'échouage. En effet, un animal malade est plus susceptible de venir s'échouer qu'un autre, de par une erreur de navigation ou par simple épuisement. Lorsqu'ils s'échouent, les mammifères marins infectés par les morbillivirus sont généralement dans un état moribond et meurent rapidement (Reidarson et al., 1998). Ils présentent aussi des troubles neurologiques et comportementaux (Di Guardo et al., 2005). Aucun des animaux impliqués dans l'échouage en masse ne semblait moribond mais l'animal 2, mort le 16 novembre, présentait un comportement particulier. Il semblait incapable de nager correctement se trouvant régulièrement sur le coté l'évent submergé et retournant dans cette position dès que les sauveteurs tentaient de le remettre en position correcte. Bien qu'aucun diagnostic n'ait pu être effectué sur cet individu, il est possible qu'il ait été infecté par le morbillivirus. Trois baleines sont revenues s'échouer et mourir sur cette même plage de la baie de la Somme au cours

de la nuit du 16 au 17 novembre. Cela peut sans doute s'expliquer par l'état de santé précaire d'une de ces baleines infectée par le morbillivirus ainsi que les particularités bathymétriques de cette baie.

Quoiqu'il en soit, et comme indiqué plus haut, les échouages en masse impliquent souvent des individus en bonne santé et un seul animal peut mener tout un groupe à sa perte de par la force des liens sociaux. La meilleure illustration de cette cohésion sociale reste le fait que les animaux reviennent immédiatement s'échouer tant que certains membres de leur groupe demeurent sur le rivage. Il semble cependant que ce comportement s'estompe, une fois que seuls des animaux morts demeurent échoués (Robson 1984). Ceci peut sans doute expliquer que toutes les baleines aient pu être remises à l'eau le 16 novembre après le décès d'une d'entre elles..

- ***Une fois coincées dans la baie du Prony, ces baleines se sont retrouvées largement exposées à un risque d'erreur de navigation qui a dû provoquer l'échouage initial, potentiellement favorisé par la présence d'au moins un individu malade dans le groupe. La cohésion sociale a alors joué un rôle majeur dans cet événement, entrainant l'échouage et le ré-échouage de plusieurs animaux.***
- ***Il est probable que sans la présence des sauveteurs, toutes les baleines échouées le 16 novembre seraient mortes dans la baie de la Somme.***

5. RECOMMANDATIONS

Cet échouage en masse dans la baie du Prony a permis la première découverte d'une infection morbillivirale en Nouvelle-Calédonie. La présence de ce virus sur les rivages de l'archipel doit être prise avec sérieux car il représente un risque sanitaire réel (Rubio-Guerri, et al., 2013) de part son potentiel à décimer des populations fragiles. En Nouvelle-Calédonie les populations de grands dauphins de l'Indo-Pacifique ou de dugongs, au statut de conservation précaire, possèdent une très faible diversité génétique et leurs petites tailles les rendent extrêmement vulnérables à ce type de menaces. Il est donc recommandé que des analyses soient systématiquement mises en œuvre sur les carcasses de cétacés échoués dans le futur afin d'identifier d'éventuelles infections. Il est également recommandé qu'une attention particulière soit portée à l'évacuation des carcasses, lesquelles sont susceptibles d'être porteuse du virus.

De part le caractère exceptionnel de l'échouage en masse de cette espèce, des moyens matériel et humain importants ont été mis en œuvre pour gérer au mieux cet événement. Dans l'ensemble, cette opération fut un succès grâce à l'intervention de différents acteurs mais aussi grâce à de nombreux volontaires. Néanmoins, certaines failles dans la chaine de communication et dans la gestion de l'échouage ont pu être mises en évidence. Par conséquent, il est recommandé qu'un travail soit effectué pour la mise en place d'un réseau d'échouage en Nouvelle-Calédonie afin de permettre une meilleure gestion de ce type d'événement dans le futur.

6. SYNTHESE SUR INDOPACETUS PACIFICUS

6.1 Taxonomie

Décrit en 1926 comme *Mesoplodon pacificus* à partir d'un crâne trouvé sur une plage du Queensland, Australie, en 1882 (Longman, 1926). L'étude d'un second crâne suffisamment différent du genre *Mesoplodon* amène Moore (1968) à proposer un nouveau genre pour ces spécimens « *Indopacetus* ». Dalebout et al. (2003) confirme la validité du genre sur la base de critères morphologiques et génétiques. L'holotype est détenu au Musée du Queensland à Brisbane sous la référence : QM-J2016 (Moore 1968).

6.2 Morphologie

Son identification en mer reste difficile. Les témoignages font état d'un gigantesque grand dauphin commun, ce qui regroupe l'essentiel des caractères clés pouvant conduire à l'identification de l'espèce. C'est-à-dire :

- un animal robuste de grande taille présentant une nageoire dorsale proéminente ;
- de coloration générale variée allant du marron clair au gris brun ou gris sur le dos. Le melon est généralement gris pâle, se démarquant ainsi du dos mais certains individus présentent un melon plus foncé comme c'était le cas de l'animal C échoué en baie du Prony ;
- présentant de nombreuses cicatrices de squalelets féroces ;
- montrant une séparation entre le melon et le bec bien marquée et bien que la démarcation soit moins marquée que chez la plupart des delphinidés elle reste un des caractères permettant l'identification.

La morphologie extérieure de l'espèce reste mal connue ; c'est pourquoi les informations apportées par le présent échouage sont importantes. Le souffle bas et buissonnant est assez visible. Les descriptions font état d'une nageoire dorsale haute et pointue en forme de faucille. Elle possède une base assez large et se situe en arrière du dos. En général la coloration claire du melon s'étend jusqu'à l'évent. Derrière l'évent, une bande foncée descend jusqu'aux nageoires pectorales et entoure les yeux. Elle est parfois indistincte. Une zone blanche entoure les trous auditifs. Les flancs sont clairs ainsi que la partie ventrale. La région ano-génitale est blanche. Présentes surtout chez les mâles, des cicatrices blanches et parallèles sont infligées par les dents des congénères au cours des interactions entre individus.

Les nageoires pectorales sont petites et peuvent se positionner dans de petites dépressions situées sur les flancs. Elles sont de couleur noire extérieurement et blanche intérieurement. La nageoire caudale ne possède pas de nœud central. Elle est noire sur sa surface dorsale. La face inférieure bordée de noire présente une coloration plus claire et montre une série de trainées plus claire. On note sur les bordures extérieures du bord d'attaque une série de petites protubérances.

Le melon qui peut être plus ou moins bulbeux forme un angle de 75° à 90° avec le bec. L'évent présente une forme de croissant dont l'ouverture est tournée vers l'avant du corps. Le bec est bien visible. La mâchoire inférieure est légèrement plus longue que la mâchoire supérieure. Il existe une seule paire de dents de forme ovale. Elles sont positionnées à l'extrémité de la mâchoire inférieure et dirigées vers l'avant. Elles sont invisibles car inclues dans la gencive sauf chez le mâle adulte où elles percent comme nous avons pu l'observer sur l'animal 2 échoué en baie du Prony.

6.3 Paramètres biologiques

Ils sont difficiles à estimer du fait du peu d'informations disponibles. Les valeurs obtenues au cours du présent échouage ajoutent 50% d'informations supplémentaires pour l'espèce. Les longueurs totales disponibles dans Yamada et al., (2012) et présentées sous la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, ainsi que les valeurs collectées lors du présent échouage ont été utilisées pour calculer l'étendue de la taille des femelles et des mâles ainsi que leur moyenne. La taille des femelles adultes est comprise entre 5.64 et 6.50 m et la moyenne est de 6.13 ± 0.33 m (n=8). La taille des mâles adultes n'est connue à ce jour que par un spécimen mesuré en Chine de 6.08m. Celui échoué en baie du Prony mesurait 5.90m et semblait adulte mais aucune nécropsie n'a été réalisée et par conséquent, il n'est pas possible de déterminer s'il s'agissait d'un individu mature. Celui mesuré par Acebes et al., (2005) atteignait 5.73 m mais était décrit comme sub-adulte. La taille des nouveau-nés serait inférieure à 3 m (Yamada et al., 2012).

6.4 Comportement

L'espèce semble constituer des groupes compacts. La taille des groupes est estimée en moyenne à 18.5 individus pour l'Indo-Pacifique (Anderson et al., 2006). Elle varie selon les régions avec 29.2 individus (N=15) dans l'ouest du Pacifique (Pitman et al 1999), 8.6 individus (N=17) dans le Pacifique est et 7.2 individus dans l'océan Indien (Anderson et al., 2006).

La durée moyenne d'une plongée a été établie à 23 minutes (11 à 33 minutes, N=24) dans l'océan Indien (Anderson et al 2006). Ces auteurs considèrent que deux types de plongées peuvent être distingués : des plongées courtes et des plongées longues.

Table 10. Mesures effectuées sur les baleines à bec échouées à Hawaii (West et al., 2013), en Afrique du Sud et aux Maldives (Dalebout et al., 2003) et à Taiwan (Yao et al., 2012).

	Hawaii		**Afrique du Sud**		**Afrique du Sud**		**Maldives**		**Taiwan**		**Taiwan**	
	Juvénile, ♂	**%LT**	**Neonate, ♂**	**%LT**	**Juvénile, ♂**	**%LT**	**Adulte, ♀**	**%LT**	**Mature, ♀**	**%LT**	**Juvénile, ♂**	**%LT**
Longueur totale	370.8		291		363		596		565		420	
Pointe du bec à l'œil	45.7	12	43	15	54.5	15	100	17	80	14	63	15
Pointe du bec à l'évent	45.7	12	41	14	50	14	-		75	13	58	14
Pointe du bec à l'angle de la bouche	25.4	7	26	9	34	9	-		52	9	41	10
Pointe du bec à l'insertion antérieure de la nageoire pectorale*	76.2	21	71	24	-		-		131	23	109	26
Pointe du bec à l'insertion antérieure de la nageoire dorsale	223.5	60	182	63	224	62	385	65				
Pointe du bec au haut de la nageoire dorsale	172.7	47	202	69	249	69	-		380	67	287	68
Pointe du bec au centre de la fente génitale	218.4	59	178	61	220	61	-		351	62	246	59
Longueur de la fente génitale			17	6	15	4	-				31	7
Nageoire pectorale, insertion antérieure à la pointe **	11.4	3	29	10	26	7	55	9	55	10	44	10
Longueur des fentes mammaires			3.5	1	-		-		15	3	6	1
Projection de la mâchoire inférieure au-delà de la pointe du rostre			1.2	0	-		-		27	5	16	4
Largeur de l'évent			8.5	3	-		-					
Nageoire pectorale, largeur max	35.6	10	8	3	9	2	-		15	3	12.5	3
Hauteur de la nageoire dorsale	17.8	5	13	4	18	5			31	5	20	5
Largeur de la nageoire caudale, de la pointe à la pointe**	74.9	20	62	21	78	21	-		136	24	92.5	22
Profondeur de la nageoire caudale	20.5	6	20.5	7	-							
Epaisseur gras sur flancs	3.8	1										
Longueur de la base de la dorsale			21	7	24	7			58	10	36	9
Circonférence avant la dorsale	182.9	49	132						244	43	200	48

Japon : LT = 6.50 F (Yamada et al., 2004)
Chine LT = 608 M (Peng et al., 2009)
Philippines LT = 573 M subadulte (Acebes et al., 2005)
Japon LT = 630 (Yamada et al., 2012)

Les premières durent 11 à 18 minutes et sont réalisées par des groupes de 3 à 20 individus socialisant et présentant un comportement actif en surface. Les dernières durent 20 à 33 minutes est sont généralement effectuées par des individus solitaires ou des groupes de deux ou trois individus. Ce serait des plongées d'alimentation. Gallo-Reynoso et Figueroa-Carranza (1995) ont mesuré des plongées de 18 à 25 minutes au Mexique.

Le bec et le melon sortent hors de l'eau lorsque les animaux nagent en groupe compact. Les baleines à bec de Longman ont été observées en association avec d'autres espèces de cétacés comme globicéphale tropical, le grand dauphin commun, le dauphin à long bec (Pitman et al 1999, Anderson et al., 2006)

Le régime alimentaire n'est connu que par le contenu stomacal de deux spécimens. Il se compose de calmars vivants en profondeur ; pour la liste des espèces identifiées voir Yatabe et al., (2010). Comme les autres baleines à bec, les baleines à bec de Longman semblent se nourrir dans les eaux épipélagiques et méso pélagiques. Des débris plastiques ont été trouvés à plusieurs occasions dans l'estomac de ces animaux.

6.5 Distribution, habitat et déplacement

L'espèce semble présente dans les eaux tropicales et tempérées chaudes des océans Indien et Pacifique. Le spécimen le plus sud et ouest a été trouvé en Afrique du Sud à Natal (29°39'S 31°36'E) (Dalebout et al., 2003) et le plus nord s'est échoué à Hakodate, sur l'île d'Hokkaido au Japon (41°45°N, 140°53'E) (Yamada et al., 2012). L'échouage situé le plus à l'est est survenu à Maui, Hawaii (22°43'N, 155°59'W) (West et al, 2013) mais les campagnes d'observations effectuées par le South West Fisheries Center indiquent que la distribution de l'espèce s'étendrait plus loin vers l'est (Pitman et al., 1999).

L'espèce est présente sur des fonds profonds dont la topographie est accidentée. Elle a été observée sur la pente externe des atolls et des îles aux Maldives, à Mayotte et au Sri Lanka (Anderson et al., 2010). Des suivis conduits aux Maldives ont montré qu'elle semble suivre une parallèle à la pente externe de l'atoll, maintenant une position au dessus d'une profondeur particulière (Anderson et al., 2006).

Elle semble apprécier une température de surface comprise entre 21 et 31°C avec une préférence pour une température supérieure à 26°C (Pitman 1999).

Il n'existe aucune information quant aux déplacements éventuels de l'espèce.

6.6 Organisation sociale et structure des populations

Aucune information n'est disponible sur l'organisation sociale et la structure des populations du fait du faible nombre de données disponibles. Néanmoins l'échouage survenu en baie du Prony permet de poser la question quant à l'existence d'une structure matrilinéaire chez cette espèce.

6.7 Abondance relative

Il n'existe pas de donnée sur l'abondance de l'espèce à l'exception des eaux environnant Hawaii où elle est estimée à 760 individus. L'espèce est classée de ce fait « Data Deficient » dans la liste rouge de l'UICN.

Anderson et al. (2006) discutent de son abondance relative entre les océans Indien et Pacifique. Ils concluent que l'espèce semble plus fréquente dans l'océan Indien que dans l'océan Pacifique avec un taux d'observation six fois supérieur. Ils évoquent les différentes méthodes de suivis employées dans les deux océans et notamment l'effort plus soutenu réalisé sur les pentes des îles océaniques de l'océan Indien alors que ce sont les eaux océaniques qui ont été le plus échantillonnées dans l'océan Pacifique.

6.8 Menaces potentielles

Les menaces potentielles incluent la pollution acoustique, le harcèlement, le trafic maritime, les équipements acoustiques utilisés pour les fermes aquacoles, les pingers, les activités militaires, les recherches gazières et pétrolières incluant les surveillances sismiques, les activités récréationnelles, les sonars actifs. L'impact possible de ces menaces potentielles peut être grave.

La pollution chimique est possible mais aucune évidence n'a été montrée. Les débris d'origine variée peuvent également poser de sérieux problèmes. Des débris plastiques de petit volume retrouvés dans l'estomac d'animaux échoués peuvent être fatals (Yamada et al., 2012).

Il a été prouvé que l'utilisation de sonars militaires actifs avait déjà entrainé l'échouage de baleines à bec (DeRuiter et al., 2013, Tang et al 2008). Les menaces sismiques peuvent également provenir d'activités industrielles ou de construction. La possibilité d'infection par les morbillivirus a été récemment mise en évidence dans le Pacifique nord (West et al., 2013). Elle est confirmée par l'infection relevée sur l'une des baleines échouées en baie du Prony.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Acebes, J.M.V., Bautista, A.L., Yamada, T.K., Dolar, L. and Perrin, W. 2005. Stranding of *Indopacerus pacificus* in Davao, Philippines. 16th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, san Diegop, USA, p.8.

Amdur, M.O., Doull, J., Klaassen, C.D., 1991. Toxicology: The Basic Science of Poisons. McGraw-Hill, New York.

Anderson, R.C., Clark, R., Madsen, P.T., Johnson, C., Kiszka, J. and Breysse, O. 2006. Observations of Longman's beaked whales (*Indopacetus pacificus*) in the western Indian Ocean. Aquatic Mammals 32 (2): 223-231. DOI 10.1578/AM.32.3.2006.223

Aubail, A., Méndez-Fernandez, P., Bustamante, P., Churlaud, C., Ferreira, M., Vingada, J.V., Caurant, F. 2013. Use of skin and blubber tissues of small cetaceans to assess the trace element content of internal organs. Mar Plo Bull 76 : 158-169.

Barrett, T., Visser, I.K., Mamaev, L. et al. 1993.. Dolphin and porpoise morbilliviruses are genetically distinct from phocine distemper virus. Virol. ;193:1010–1012.

Brabyn, M.W., McLean, I.G. 1992. Oceanography and coastal topography of herd-stranding sites for whales in New Zealand. Journal of Mammalogy 73, 469-476.

Bustamante, P., Caurant, F., Fowler, S.W., Miramand, P. 1998. Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. Science of The Total Environment 220(1): 71-80.

Bustamante, P., Grigioni, S., Boucher-Rodoni, R., Caurant, F., Miramand, P., 2000. Bioaccumulation of 12 trace elements in the tissues of the nautilus *Nautilus macromphalus* from New-Caledonia. Marine Pollution Bulletin 40 (8), 688–696

Bustamante, P., Cosson, R.P., Gallien, I., Caurant, F., Miramand, P. 2002. Cadmium detoxification processes in the digestive gland of cephalopods in relation to accumulated cadmium concentrations. Marine Environmental Research 53(3): 227-241.

Bustamante, P., Garrigue, C., Breau, L., Caurant, F. Dabin, W., Greaves, J., Dodemont, R. 2003. Trace elements in two odontocete species (*Kogia breviceps* and *Globicephala macrorhynchus*) stranded in New Caledonia (South Pacific). Environmental pollution 124: 263-271.

Capelli, R. Das, K., Pellegrini, R. DeDrava, G., Lepoint, G., Miglio, C., Minganti, V., Poggi, R.2008. Distribution of trace elements in organs of six species of cetaceans from the Ligurian Sea (Mediterranean), and the relationship with stable carbon and nitrogen ratios. Science of The Total Environment 390(2–3): 569-578.

Caurant, F., Amiard, J.C., Amiard-Triquet, C., Sauriau, P.G. 1994. Ecological and biological factors controlling the concentrations of trace elements (As, Cd, Cu, Hg, Se, Zn) in delphinids *Globicephala melas* from the North Atlantic Ocean. Marine Ecology Progress Series, 103: 207-219.

Clua, E., Manire, C.A., Garrigue, C. 2014. Biological data of pygmy killer whale (*Feresa attenuata*) from a mass stranding in New Caledonia (South Pacific) associated with 2006 Hurricane Jim. Aquatic Mammals (sous presse).

Cordes, D.O., 1982. The causes of mass strandings. New Zealand Veterinary Journal 30, 21-24.

Cox, T.M., Ragen, T.J., Read, A.J., Vos, E., Baird, R.W., Balcomb, K. Barlow, J, Caldwell, J., Cranford, T., Crum, L., D'Amico, A., D'Spain, G., Fernandez, A., Finneran, J., Gentry, R., Gerth, W., Gulland, F., Hildebrand, J., Houserp, D., Hullar, T., Jepson, P.D., Ketten, D., MAacleod, C.D., Miller, P., Moore, S., Mountain, D.C., Palka, D.,. Ponganis, P., Rommel, S., Rowles, T., Taylor, B., Tyack, P., Wartzok, D., Gisiner, R., Meads, J., Benner, L. 2006. Understanding the impacts of anthropogenic sound on beaked whales. J. Cet Res. Mang. 7(3): 177-187.

Curé, C., Antunes, R., Alves, A.C., Visser, F., Kvadsheim, P.H., Miller, P.J.O., 2013. Responses of male sperm whales (*Physeter macrocephalus*) to killer whale sounds: implications for anti-predator strategies. Scientific Reports 3.

Dalebout, M.L., Robertson, K.M., Frantzis, A., Engelhaupt, D., Mignucci-Giannoni, A.A., Rosario-Delestre, R.J., Baker, C.S., 2005. Worldwide structure of mtDNA diversity among Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*): implications for threatened populations. Molecular Ecology 14, 3353-3371.

Dalebout, M., Ross, M.L., Baker, C.S., Anderson, R.C., Best, P.B., Cockroft, V.G., Hinsz, H.L., Peddemors, V. and Pitman, R.L. 2003 Appearance, distribution, and genetic distinctiveness of Longman's beaked whale, *Indopacetus pacificus*. Marine Mammal Science 19, 421-461

Das, K., Debacker, V., Pillet, S., Bouquegneau, J.M. 2003. Heavy metals in marine mammals. In: Toxicology of Marine Mammals (eds: Vos, J.V., Bossart, G.D., Fournier, M., O'Shea, T.) Taylor and Francis Publishers Washington D.C (2003), pp. 135-167

Das K., Debacker V., Bouquegneau J.M. 2000. Metallothioneins in marine mammals. Cell. Mol. Biol. 46: 283-294

DeRuiter S.L., Southall B.L., Calambokidis J., Zimmer W.M.X., Sadykova D., Falcone E.A., Friedlaender A.S., Joseph J.E., Moretti D., Schorr G.S., Thomas L., Tyack P.L. 2013 First direct measurements of behavioural responses by Cuvier's beaked whales to mid-frequency active sonar. Biol Lett 9: 20130223. http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2013.0223

Dietz R., Nørgaard J., Hansen J.C. 1998. Have arctic mammals adapted to high cadmium levels? Mar. Pollut. Bull. 36 (6): 490-492.

Di Guardo, G., Marruchella, G., Agrimi, U., Kennedy; S. 2005. Morbillivirus infections in aquatic mammals: a brief overview. J Vet Med A, 52:88–93.

Drummond, A.J., Ashton, B., Cheung, M., Heled, J., Kearse, M., Moir, R., Stones-Havas, S., Thierer, T., Wilson, A., 2009. Geneious v4.8, Available from http://www.geneious.com/.

Duignan, P.J., House, C., Geraci, J.R. et al. 1995. Morbillivirus infection in two species of pilot whale (*Globicephala* sp.) from the western Atlantic. Mar Mammal Sci 11:150–162.

Edgar, R.C., 2004. MUSCLE: a multiple sequence alignment method with reduced time and space complexity. BMC Bioinformatics 5, 113.

Evans, K., Thresher, R., Warneke, R.M., Bradshaw, C.J.A., Pook, M., Thiele, D., Hindell, M.A., 2005. Periodic variability in cetacean strandings: links to large-scale climate events. Biology letters 1, 147-150.

Fernández, A., Edwards, J.F., Rodríguez, F., Espinosa de los Monteros, A., Herráez, P., Castro, P., Jaber, J.R., Martín V., Arbelo, M. 2005. Gas and Fat Embolic Syndrome" Involving a Mass Stranding of Beaked Whales (Family Ziphiidae) Exposed to Anthropogenic Sonar Signals." Vet Pathol 42: 446-457.

Frantzis, A. 1998. Does acoustic testing strand whales? Nature 392, 29

Gallo-Reynoso, J.P., & Figueroa-Carranza, A.L. 1995. Occurrence of bottlenose whales in the waters of Isla Guadalupe, Mexico. Marine Mammal Science, 11, 573-575.

Geraci, J.R., Lounsbury, V.J., 1993. Marine mammals ashore: a field guide for strandings. Texas A&M Sea Grant Publication.

Gilson, A., Syvanen, M., Levine, K., Banks, J., 1998. Deer gender determination by polymerase chain reaction: validation study and application to tissues, bloodstains, and hair forensic samples from California. California Fish and Game 84, 159-169.

Hambridge, K.M., Casey, C.E., Krebs, N.F., 1986. Zinc. In: Mertz, W. (Ed.), Trace Metals in Human and Animal Nutrition, vol. 2. Academic Press, Orlando, pp. 53–57.

Hamner, R.M., Pichler, F.B., Heimeier, D., Constantine, R., Baker, C.S., 2012. Genetic differentiation and limited gene flow among fragmented populations of New Zealand endemic Hector's and Maui's dolphins. Conservation Genetics.

Jepson, P.D., Arbelo, M., Deaville, R., Patterson, I.A., Castro, P., Baker, J.R., Degollada, E., Ross, H.M., Herraez, P., Pocknell, A.M., Rodriguez, F., Howie, F.E., Espinosa, A., Reid, R.J., Jaber, J.R., Martin, V., Cunningham, A.A. and Fernandez, A. 2003. Gasbubble lesions in stranded cetaceans. Nature 425, 575-576

Kitamura, S., Matsuishi, T., Yamada, T.K., Tajima, Y., Ishikawa, H., Tanabe, S., Nakagawa, H., Uni, Y., Abe, S., 2013. Two genetically distinct stocks in Baird's beaked whale (Cetacea: Ziphiidae). Marine Mammal Science 29, 755–766.

Klinowska, M. 1986. Cetacean live stranding dates related to geomagnetic disturbances. Aquatic Mammals 11, 109-119.

Lahaye, V., Bustamante, P., Law, R.J., Learmonth, J.A., Santos, M.P., Boon, J.P. 2007a. Biological and ecological factors related to trace element levels in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) from European waters. Mar Environ Res 64 : 247-266

Lahaye, V., Bustamante, P., Dabin, W., Churlaud, C., Caurant, F. 2007b. Trace element levels in foetus–mother pairs of short-beaked common dolphins (*Delphinus delphis*) stranded along the French coasts. Environment International 33 : 1021–1028

Lahaye, V., Bustamante, P., Dabin, W., Van Canneyt, O., Dhermain, F., Cesarini, C., Pierce, G.J., Caurant, F. 2006. New insights from age determination on toxic element accumulation in striped and bottlenose dolphins from Atlantic and Mediterranean waters. Marine Pollution Bulletin 52 : 1219–1230

Lahaye, V., Bustamante, P., Spitz, J., Dabin, W., Das, K., Pierce, G.J., Caurant, F. 2005 Long-term dietary segregation of common dolphins *Delphinus delphis* in the Bay of Biscay, determined using cadmium as an ecological tracer. Mar Ecol Prog Ser 305 : 275-285

Longman, H.A. 1926. New records of Cetacea, with a, list of Queensland species. Memoirs of the Queensland Museum 8:226-278.

Mendez-Fernandez, P., Pierce, G.J., Bustamante, P., Chouvelon, T., Ferreira, M., Gonzalez, A.F., Lopez, A., Read, F.L., Santos, M.B, Spitz, J., Vingada, J.V., Caurant, F. 2013 ; Ecological niche segregation among five toothed whale species off the NW Iberian Peninsula using ecological tracers as multi-approach. Mar Biol 160 : 2825-2840.

Monniot, F., Martoja, R., Monniot, C., 1994. Cellular sites of iron and nickel accumulation in ascidians related to the naturally and anthropic enriched New Caledonian environment. Annales de l'Institut Océanographique 70 (2), 205–216

Moore, J.C. 1968. Relationships among the living genera of beaked whales. Fieldiana Zology, 53:209-298.

Perrin, W.F., Geraci, J.R., 2009. Stranding, In Encyclopedia of marine mammals, 2nd Edition. eds W.F. Perrin, B. Würsig, J.G.M. Thewissen, pp. 1118-1123. Academy Press, San Diego, CA.

Pitman, R. L., Palacios, D.M., Brennan, P.L.R., Balcomb III, K.C. and Miyashita., T. 1999. Sightings and possible identity of a bottlenose whale in the tropical Indo-Pacific: *Indopacetus pacificus*? Marine Mammal Science 15: 531-549.

Reidarson, T.H., McBain, J., House, C. et al. 1998. Morbillivirus infection in stranded common dolphins from the Pacific Ocean. Journal of Wildlife Diseases 34:771–776.

Robson, F.D., 1984. Strandings: ways to save whales. The Science Press (PTY) LTD.

Ross, H.A., Lento, G.M., Dalebout, M.L., Goode, M., Ewing, G., McLaren, P., Rodrigo, A.G., Lavery, S., Baker, C.S., 2003. DNA Surveillance: Web-based molecular identification of whales, dolphins and porpoises. Journal of Heredity 94, 111-114.

Rubio-Guerri, C., M. Melero, F. Esperon, E. Belliere, M. Arbelo, J. Crespo, E. Sierra, D. Garcia-Parraga, and J. Sanchez-Vizcaino. 2013. Unusual striped dolphin mass mortality episode related to cetacean morbillivirus in the Spanish Mediterranean sea. BMC Veterinary Research 9:106.

Simmonds, S., Dolman, S., Weilgart, L., 2003. Oceans of noise, In A WDCS Science Report. p. 164.

Scott, M.L., 1985. Nutrition of Humans and Selected Animal Species. John Wiley, New York.

Southall, B.L., Rowles, T., Gulland, F. Baird, R.W., Jepson, P.D. 2013. Rapport final du Comité d'experts scientifiques indépendants après enquête sur les facteurs ayant pu contribuer à l'échouage massif de dauphins d'Electre *(Peponocephala electra*) à Antsohihy, Madagascar, en 2008.

Stone, B. M., Blyde, D.J., Saliki, J.T., Uriel Blas-Machado, Bingham, J., Hyatt, A.,. Wang, J., Payne, J. and Crameri, S. 2011. Fatal cetacean morbillivirus infection in an Australian offshore bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). Australian Veterinary Journal 89(11), 452-457.

Stone, B. M., Blyde, D. J., Saliki, J. T., & Morton, J. M. 2012. Morbillivirus infection in live stranded, injured, trapped, and captive cetaceans in southeastern Queensland and northern New South Wales, Australia. Journal of Wildlife Diseases 48(1), 47-55.

Sundaram, B., Poje, A.C., Veit, R.R., Nganguia, H., 2006. Acoustical dead zone and the spatial aggregation of whale strandings. Journal of Theoretical Biology 238, 764-770.

Tang, W-C., Chou, L-S., Jepson, P.D., Brownell, R.L. Jr., Cowan, D., Chang, P-H., Chiou, H-I., Yao, C-J, Yamada, T.K., Chiu, J-T., Wang, P-J., Fernandez, A. 2008. Unusual cetacean mortality event in Taiwan, possibly linked to naval activities. Veterinary Record 162, 184-186.

Taubenberger, J.K., Tsai, M.M., Atkin, J. et al. 2000. Molecular genetic evidence of a novel morbillivirus in a long-finned pilot whale (*Globicephalus melas*). Emerg Infect Dis 6:42–45.

Thompson D.R. (1990). Metal levels in marine vertebrates. In: (Furness R.W. and Rainbow P.S., eds). Heavy metals in the marine environment. CRC Press: 143-182

Uchida, K., M. Muranaka, Y. Horii, N. Murakami, R. Yamaguchi and S. Tateyama. 1999. Non-purulent meningoencephalomyelitis of a Pacific striped dolphin

(*Lagenorhynchus obliquidens*). The first evidence of morbillivirus infection in a dolphin at the Pacific Ocean around Japan. Journal of Veterinary Medical Science 61:159–162.

Van Bressem, M.F., Van Waerebeek, K., Fleming, M., Barrett, T. 1998. Serological evidence of morbillivirus infection in small cetaceans from the Southeast Pacific. Veterinary microbiology, 59 (2-3): 89-98.

Van Bressem, M.F., Van Waerebeek, K., Jepson, P.D. et al. 2001. An insight into the epidemiology of dolphin morbillivirus worldwide. Vet Microbiol 81:287–304.

Wagemann, R., Muir, D.C.G., 1984. Concentrations of heavy metals and organochlorines in marine mammals of northern waters: overview and evaluation. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 1279, 97p.

West, K.L., Rotstein, D., Robertson, K.M., Dennison, S., Levine, G., Davis, N., Schofield, D., Potter, C.W., Jensen, B. 2012. A Longman's beaked whale (Indopacetus pacificus) strands in Mauai, hawaii, with the first case of morbiiloviris in the central Pacific. Marine Mammal Science 29 (4) 767-776. DOI : 10.1111/j.1748-7692.2012.00616.x

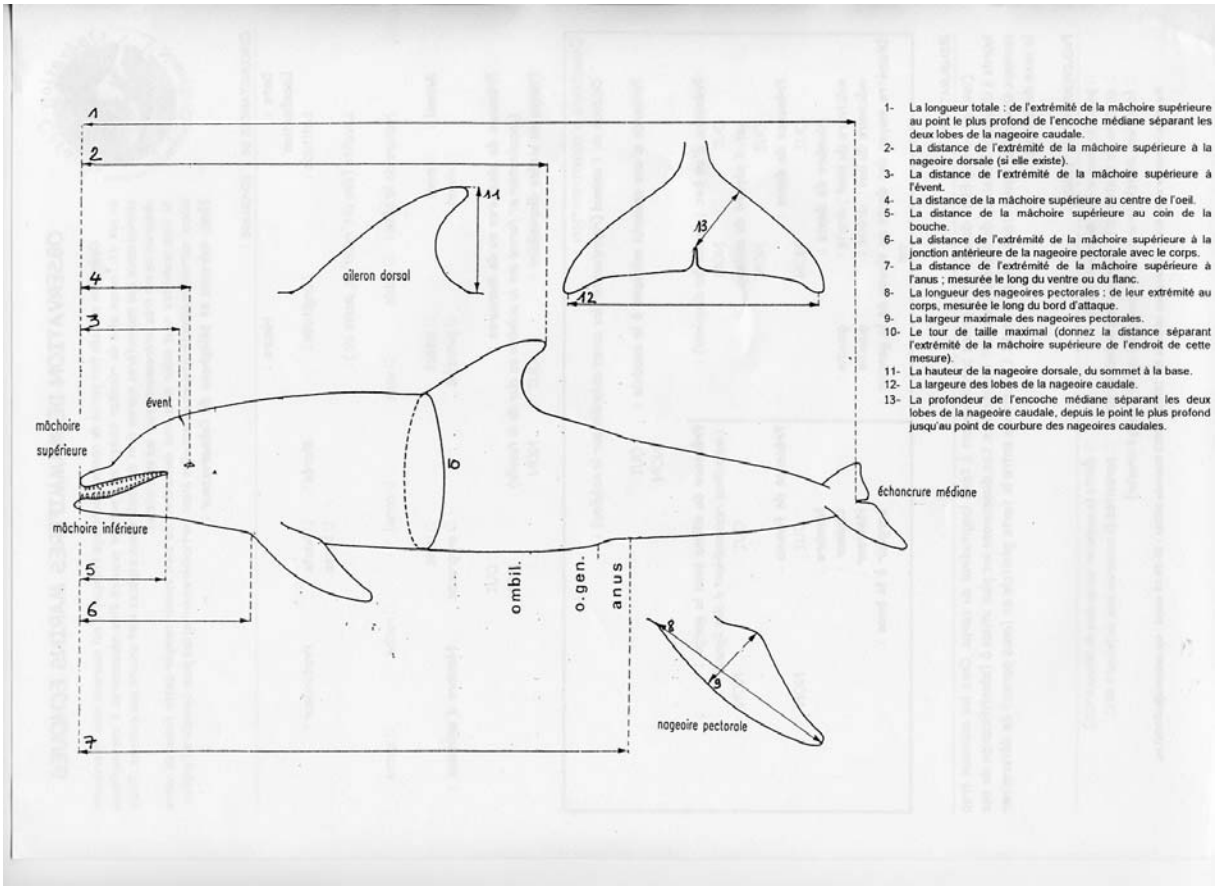
Yao, C.J., Yang, W.C., Chen, Y.J., Lin, J.T., Brownell, R.L. Jr., Chou, L.S. 2012. Two longman's beaked whales (*Indopacetus pacificus*) friom Taiwan. Report to the Scientific Comitte of the International Whaling Commission, SC/64/SM/32.

Yamada, T.K., Tajima, Y., Yatabe, A., Pitman, R. and Brownell, R.L. Jr. 2012. Review of current knowledge on *Indopacetus pacificus* including identification of knowledge gaps and suggestions for future research. Report to the Scientific Comitte of the International Whaling Commission, SC/64/SM/26.

Yamada, T.K., Kakuda, T., Kubo, N. and Dalebout, M. 2004. Kagoshima specimen of Longman's beaked whale. In P.G.H. Evans, L. Buckinghma and M. Amundin eds. 18th Annual Conference of the European Cetacean Society. Kolmarden, Sweden. p.2256

Yang, W. C., V. F. Pang, C. R. Jeng, L. S. Chou and L. L. Chueh. 2006. Morbilliviral infection in a pygmy sperm whale (*Kogia breviceps*) from Taiwanese waters. Veterinary Microbiology 116:69–76.

Yang, W.C., Chou, L.S., Jepson, P.D., Brownell, R.L. Jr, Cowan, D., Chang, P.H., Chiou, H.I., Yao, C.J., Yamada, T.K., Chiu, J.T., Wang, P.J., Fernández, A. 2008. Unusual cetacean mortality event in Taiwan, possibly linked to naval activities. Vet Rec. 162(6): 184-186.

Yatabe, A., Kubo, N., Otsuka, M., Shima, S., Kubodera, T. and Yamada, T.K. 2010. Stomaxch contents and structure of a Longman's beaked whale (*Indopacetus pacific*) stranded in Kyushu, Japan. Aquatic Mammals 36: 172-177.

8. ANNEXE : FICHE ECHOUAGE