



RAPPORT DE STAGE SEMESTRE 4 : ÉTUDE ÉTHO-ACOUSTIQUE DES CACHALOTS DE L'ÎLE MAURICE.



Source : Longitude 181

SAUVETRE Marie

Promo Agro 2016/2018 Stage
du 3 avril au 22 juin 2018

Université Paul Sabatier

Maitre de stage : Olivier ADAM

Professeur des Universités – Spécialiste
de l'acoustique des cétacés

Sorbonne Université – Paris VI

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
Matériels et méthodes	5
1- Prélèvements des données	5
2- La base de données	6
3- Définitions	8
4- Analyse des vidéos	9
Résultats	11
Discussion	17
CONCLUSION	19
Remerciements	21
Références bibliographiques	22

INTRODUCTION

Pour tout animal vivant en groupe, la communication est essentielle. En effet, elle permet aux individus de se comprendre et de créer une réelle cohésion sociale (Bradury & Vehrencamp, 1998). Cette communication peut être sous plusieurs formes telles que chimique, vocale, visuelle ou encore touchée. La communication vocale joue un rôle important pour différentes espèces, comme par exemple la majorité des oiseaux et des mammifères. Elle permet un échange d'informations entre les individus sur des distances plus ou moins longues. Elle permet, par exemple, aux éléphants d'Afrique de reconnaître un membre de leur groupe à 2,5 km de distance (McComb & *al.*, 2003). La communication acoustique est également utilisée lorsque les conditions de vie sont défavorables à la transmission d'informations visuelles. C'est le cas par exemple de la vie nocturne des chauves-souris (Melendez & Feng, 2010) et également en milieu marin. En effet, ce milieu possède des conditions de vie différentes que sur terre : le son se propage plus rapidement que dans l'air et la visibilité y est beaucoup plus réduite. Ces caractéristiques ont contraint les mammifères marins, retournés dans les océans il y a 38 millions d'années, à développer un système de communication acoustique adapté à ce milieu (Melendez & Feng, 2010). Leurs émissions sonores sont utilisées dans toutes leurs activités vitales, incluant l'alimentation et la reproduction. Elles sont aussi utilisées dans leurs interactions sociales et, pour les odontocètes (cétacés à dents), elles jouent également un rôle de localisation (pour se repérer et pour chasser) appelé écholocation. Ils perçoivent les échos acoustiques réfléchis par les cibles/obstacles devant eux pour interpréter leur environnement.

Les grands cachalots (*Physeter macrocephalus*) sont les plus grands représentants de la famille des odontocètes. Les femelles accompagnées de juvéniles et des nouveaux-nés vivent en unités sociales stables contrairement aux mâles adultes qui sont solitaires ou en groupes apparemment peu structurés. On les trouve occasionnellement dans les groupes en période de reproduction (Christal & Whitehead, 2001). A l'île Maurice, nous pouvons rencontrer ces grands mâles toute l'année. Leur régime alimentaire est teutophage, c'est-à-dire composé de céphalopodes, dont de calamars géants, qu'ils peuvent aller chercher jusqu'à une profondeur de 3000 mètres.

Les cachalots sont les seuls à communiquer essentiellement avec des clics. Ce sont des émissions sonores correspondant à un bruit sec et bref. Ils sont produits par un conduit nasal ne servant plus à la respiration (anciennement conduit nasal droit). Ce dernier est fermé par une valve musculaire à clapet appelé le « museau du singe ». C'est la contraction de ce conduit nasal qui force l'air à travers le museau du singe provoquant une détonation. Celle-ci traverse une première fois la succession de lentilles cireuses de la partie supérieure du spermaceti, rebondit sur la lentille d'air frontale qui joue un rôle de miroir et traverse, en sens inverse, les lentilles cireuses de la moitié inférieure, appelé « junk ». Cet aller-retour à travers le spermaceti concentre et amplifie la détonation. En sortant du melon, le clic est finalement formé d'une succession de pulses (Mohl & *al.*, 2003 ; Sarano, 2017).

Il y a différentes hypothèses qui permettent de classer les clics en plusieurs catégories : les clics réguliers, les creaks et les codas. Les cachalots émettent des clics réguliers sur plusieurs minutes avec un intervalle inter-clic (ICI, silence entre 2 clics successifs) se situant à plus de 0,5 s ; cette détonation constitue la base de l'écholocation. Les creaks, émis en surface, traduisent une forme de communication qui pourraient être associés à des « touchés-acoustiques ». Ils sont constitués de clics plus courts (0,1 à 5 ms) et plus rapprochés (ICI de 5 à 100 ms) que les clics réguliers. Les codas sont généralement associés aux comportements sociaux et présentent un nombre plus restreint de clics (de 3 à 20 clics pour une durée de 0,2 à 5 s) avec un ICI pouvant varier, ou non, de 0,1 à 0,5 s au sein d'un même coda (Goddard, 2015). Concernant ces dernières, les recherches les plus récentes à ce sujet montrent que pour chaque

population, il y a un dialecte spécifique formant un clan vocal et donc des codas reconnaissables entre individus appartenant à une même population. Par exemple, un groupe de cachalots qui a été étudié dans les Caraïbes entre 2005 et 2010 semble montrer que la production de codas est dominée par le modèle « 1+1+3 » et « 5R » (5 clics réguliers) (Gero & *al.*, 2015 ; Oliveira & *al.*, 2016). Ces résultats suggèrent qu'il y a un apprentissage et une transmission de ces codas entre générations, au sein d'une population, au cours du temps.

Les méthodes d'études utilisées jusqu'à présent consistaient à observer les cétacés à la surface à partir d'un bateau et à récolter les émissions acoustiques à l'aide d'hydrophones. Ces méthodes ne permettent pas une étude complète des cachalots que ce soit du point de vue éthologique ou acoustique. En effet, elles ne permettent ni de voir les comportements dans l'eau (tel que l'allaitement, les différentes interactions entre individus) ni de mettre un nom sur l'individu qui émet les différentes vocalises ou du moins, présent lors de ces émissions. Dans l'analyse que j'ai réalisée, j'ai eu l'occasion de travailler sur une base de données conséquente, comprenant l'audio associé au visuel. Le but de ce stage est de corrélérer les émissions sonores avec les images enregistrées en réalisant une étude étho-acoustique. Cette dernière pourrait nous permettre, d'une part, de voir s'il y a une corrélation entre les émissions de codas et les contacts entre individus et d'autre part, d'étudier les différents types de codas des cachalots de l'île Maurice afin de voir s'il y a une différence avec les émissions sonores des populations provenant d'autre régions.

Matériels et méthodes

1- Prélèvements des données

Cette étude se fait sous l'égide de la MMCO (Marine Magafauna Conservation Organisation) fondée par Hugues Vitry avec l'autorisation exceptionnelle du Gouvernement de l'Île Maurice. MMCO a lancé en 2010 un programme globale Maubydick avec les organisations Magaptera et Teria auxquelles se joint Label Bleu, puis en 2013, Longitude 181. La base de données que nous étudions actuellement nous a été fournie par les observateurs de la MMCO, René Heuzey de Label Bleu ainsi que les observateurs de l'association Longitude 181.

Longitude 181 est une association fondée en 2002 par François Sarano et son épouse Véronique Sarano. Leur principal objectif est la préservation de l'Océan considéré comme « notre dernier grand territoire sauvage ». LONGITUDE 181 diffuse un code éthique : "la charte internationale du plongeur responsable", au travers d'actions de sensibilisation, auprès des plongeurs mais aussi du grand public, afin de les pousser à respecter le milieu marin et toutes les espèces qui l'occupent. Cette association mène également des programmes d'étude et de préservation d'autres grandes espèces d'animaux marins : les requins, les raies Manta et les cachalots.

L'étude menée auprès des cachalots par la MMCO, dirigée par Hugues Vitry et avec l'autorisation exceptionnelle du Gouvernement de l'île Maurice, a débuté en 2010 sur les côtes sud et ouest de l'Île Maurice. Cette île, d'une superficie de 1 865 km² se situe dans l'Ouest de l'océan Indien, au cœur de l'archipel des Mascareignes, entre La Réunion et l'île Rodrigues. Les eaux Mauriciennes abritent une très grande biodiversité avec plus de 1600 espèces animales marines. Parmi elles, nous y trouvons plusieurs espèces de cétacés tels que dauphins, baleines à bosse et cachalots.


Les observateurs de la MMCO, le caméraman René Heuzey de Label Bleu et l'équipe de Longitude 181 observent et filment les cachalots de l'île Maurice sur une période de 4 à 5 mois, principalement entre février et juillet car c'est la période la plus calme en mer. Durant cette période d'observation, les sorties en mer se font tous les jours excepté le dimanche et les jours où l'océan est trop agité. Elles durent généralement 7h en débutant dès le lever du soleil jusqu'en début d'après-midi. L'équipe d'expédition est composée d'une dizaine de personnes notamment : Hugues Vitry, Axel Preud'homme, Navin Boodhoonee, René Heuzey (directeur / producteur), Véronique Sarano (océanologue / éditeur) et François Sarano (océanologue). L'enregistrement des vidéos, de 2010 à 2014, a été réalisé à l'aide de caméras amateurs de type *Gopro* et d'une caméra professionnelle. Depuis 2015, l'association utilise une caméra haute résolution *Sony EXIR HD* et une caméra *Sony F55 4K* avec un microphone étanche *4K Sony*. Les enregistrements audios ont été réalisés en utilisant les microphones de la caméra ou/et un enregistrement stéréo Jason de 400 kHz. Les enregistrements audios ont été systématiquement enregistrés par le microphone de la caméra *Gopro* qui enregistre les fréquences inférieures à 20 kHz (Figure 1).



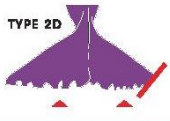
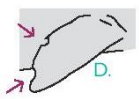
FIGURE 1: DISPOSITIF D'ENREGISTREMENT COMPOSÉ D'UNE GOPRO ET D'UN HYDROPHONE (PHOTOGRAPHIE PRISE PAR LONGITUDE 181)

2- La base de données

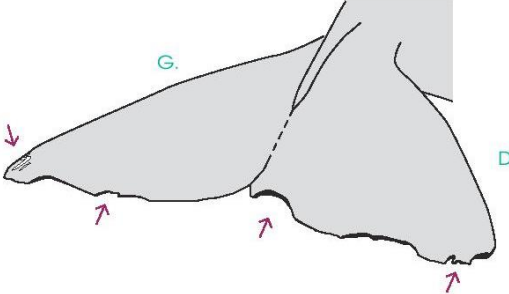
L'équipe de François Sarano (Longitude 181) y ont recensé 55 cachalots répartis en 5 groupes différents. Ils sont essentiellement constitués de plusieurs mères matriarches avec leurs juvéniles et nouveaux-nés. Ainsi, en plus de leurs liens sociaux, nous sommes face également à des liens de parenté. Ces groupes correspondent donc à des clans (Sarano, 2017). Chaque individu observé au cours des expéditions est enregistré dans le dossier d'identification des cachalots de l'Île Maurice (Figure 2) où nous pouvons obtenir le nom de l'individu, la date de sa première observation, son sexe, son « âge » (nouveau-né, juvénile ou adulte) et le descriptif de son physique au travers de dessins et photos.


// FICHES D'IDENTIFICATION DES CACHALOTS DE L'ÎLE MAURICE // 

AÏKO 1^{ÈRE} OBS. : 2012-04-03 // ADULTE // SEXE : ♀

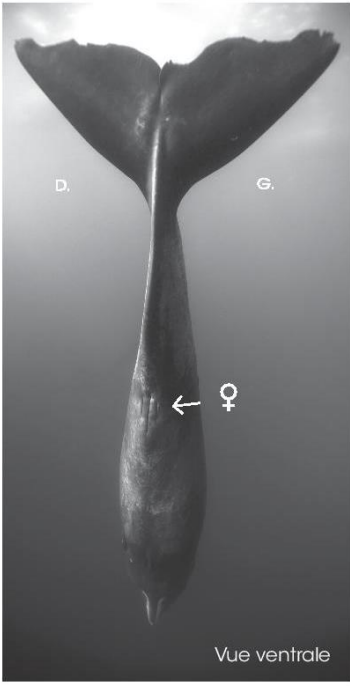
CAUDALE: 2D	PECT. GAUCHE	PECT. DROITE	AUTRES SIGNES DISTINCTIFS
 <p>TYPE 2D</p>		 <p>D.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Grand cachalot avec 3 griffes à l'extrémité gauche de la nageoire caudale. • Large plage blanche sur mâchoire sup. au dessus mandibule côté gauche.

Dessus // 2014 - 04 - 27



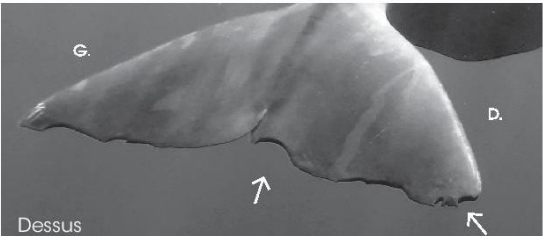


Côté G.

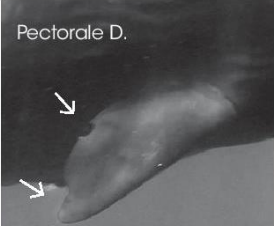


D. G. ♀


Vue ventrale



Dessus



Pectorale D.



Pectorale D.

FIGURE 2: EXEMPLE D'UNE FICHE D'IDENTIFICATION D'UN DES INDIVIDUS DE L'ÎLE MAURICE (AÏKO) RÉALISÉE PAR LONGITUDE 181

La base de données que MMCO, Label Bleu et Longitude 181 nous ont fournie est composée de 5000 vidéos format mp4 (de 2013 à début 2018). Par manque de temps, nous n'avons pu analyser que les données de 2017 et début 2018. Cela correspond à 287 vidéos qui durent en moyenne 1 minute et 2 secondes (minimum : 10 secondes, maximum : 6 minutes et 7 secondes). Au total, nous avons visionné 6 heures d'enregistrement. Ces vidéos permettent de combiner image et son. Cependant, la base de données ne nous permet pas de distinguer qui émet les codas parmi les individus présents lors des enregistrements.

3- Définitions

Cette base de données nous a permis de dresser, dans un premier temps, un répertoire comportemental (Figure 3) que nous avons ensuite exploité lors de l'étude comportementale de chaque individu observé dans les vidéos.

Grandes catégories	Comportements	Descriptions
Contact	Ventre à ventre	Les individus A et B se touchent ventre contre ventre plus de 2 secondes.
	Dos-Ventre	Les individus A et B viennent se toucher, l'un utilisant son dos et l'autre son ventre. Ce contact dure plus de 2 secondes
	Dos-Dos	Les individus A et B se touchent dos contre dos plus de 2 secondes.
	Latéral-latéral	Les individus A et B sont côte à côte et se touchent latéralement, l'un frotte son latéral droit et le deuxième individu réalise un contact avec son latéral gauche. Ce contact dure plus de 2 secondes
	Ventre-Latéral	L'individu A vient toucher avec son ventre le latéral droit ou gauche de l'individu B plus de 2 secondes.
	Tête-Corps	L'individu A vient toucher avec sa tête une partie du corps de l'individu B plus de 2 secondes.
Déplacement	Nage horizontale	Le cachalot nage à une allure régulière, parallèlement à la surface de l'eau, le dos le plus en surface.
	Nage latérale	Le cachalot nage avec le côté latéral droit le plus en surface et le côté latéral gauche le plus en profondeur
	Nage sur le dos	Le cachalot a une nage horizontale, le ventre le plus proche de la surface de l'eau et le dos le plus en profondeur
	Approche	Le cachalot A change sa trajectoire et nage en direction de l'individu B
Vocalise	Coda	Le cachalot émis une série de clics plus ou moins réguliers, parfois répétitif
	Clic	Emission d'un clic isolé par un cachalot
	Buzz	Le cachalot émet une succession de clics très rapprochés les uns des autres qui ne peuvent pas être comptés par un Homme sans l'aide d'un outil informatique. Ce son est comparable à un « touché acoustique »
	« Miaulement »	Son court, émis par un cachalot, ressemblant au miaulement d'un chat
	Coda-buzz	Succession de Buzz et de clics réguliers avec des ICI plus ou moins important
Autres	Repos	Le cachalot est en position verticale, ne nage pas, a les nageoires pectorales collées au corps de l'individu. Il peut être amené à remonter à la surface pour reprendre son souffle et redescend ensuite à une profondeur d'environ 20 mètres
	Frôle	Le cachalot A donne un coup de nageoire à l'individu B le temps d'une seconde (< 2 secondes)
	Chandelle	Le cachalot est en position verticale plus de 3 secondes. Cependant, il ne dort pas car ses nageoires sont actives
	Se retourne	Le cachalot, tout en nageant, passe d'une position horizontale à une position sur le dos ou vis-versa

FIGURE 3: REPERTOIRE COMPORTEMENTALE DES CACHALOTS DE L'ILE MAURICE

De plus, nous avons créé un répertoire sur les positions relatives aux individus (Figure 4) lors des enregistrements. Ces informations sont essentielles pour étudier le comportement de chaque individu qui est supposé avoir un lien avec les individus qui l'entoure.

Positions relatives de l'individu A par rapport à l'individu B	Abréviations
Face à Face	FF
Côte à côte	CC
En dessous (below)	B
Au-dessus (above)	A
A la droite de l'individu B	D
A la gauche de l'individu B	G

FIGURE 4: POSITIONS RELATIVES AUX INDIVIDUS

Enfin, nous avons réparti tous ces comportements dans 4 phases :

- Avant contact : La distance qui sépare les deux individus diminue. Elle annonce un contact prochainement.
- Contact : Les deux individus se touchent.
- Après contact : La distance entre les deux individus augmente. Le contact est terminé.
- Nage passive : La distance entre les deux individus ne change pas. Il n'y a ni rapprochement ni éloignement ni de contact de prévu.

4- Analyse des vidéos

Les vidéos ont été analysées d'année en année. Elles sont toutes visionnées puis classées en plusieurs catégories :

- Vidéos avec présence de codas et d'un ou plusieurs contacts.
- Vidéos avec présence de codas mais absences de contacts.
- Vidéos avec présence d'un ou plusieurs contacts mais pas d'émission de codas.
- Vidéos interactions avec les plongeurs : Les cachalots viennent buzzer les plongeurs pour avoir plus d'informations sur ces derniers ou pour tenter une communication avec eux. Ces vidéos sont mises de côté car elles sont considérées comme biaisées et donc non exploitables pour l'étude que nous faisons actuellement. Cependant, ces vidéos pourront être très intéressantes et exploitables lors d'une autre étude sur les interactions entre cachalots et plongeurs.

Nous n'avons pas fait l'étude comportementale des vidéos ne comprenant ni émission de codas, ni contact. Cela représente 69% des vidéos de 2017-2018. Ainsi, nous avons réalisé une étude comportementale sur 1h et 28 minutes de vidéos. Cela correspond à 60 séquences de comportements. En effet, certaines vidéos sont considérées comme une seule et même séquence car elles se suivent et filment la même scène.

Chaque enregistrement est converti en format .WAV pour une analyse des différentes vocalises émises, grâce aux logiciels Avisoft et Audacity. Ces logiciels permettent d'observer le spectrogramme des codas pour en déduire leur forme, leur durée, leurs ICI et également de différencier les codas isolés (Figure 5) des codas superposés (Figure 6). Ces derniers sont pour nous le seul moyen de savoir lorsque deux individus ou plus communiquent entre eux. En effet, même si nous pouvons observer des codas d'intensités différentes, cela ne signifie pas qu'il s'agit d'individus différents. Ces différences d'intensités dépendent de nombreux facteurs tels que la taille de l'animal, la distance de celui-ci à l'hydrophone, sa position (tourné vers les plongeurs ou non) qui nous empêchent cette identification.

Une fois les analyses des émissions sonores terminées, nous étudions la partie visuelle des données. Nous relevons le comportement de chaque individu en utilisant les différentes catégories précédemment évoquées. Ce processus d'analyse est ensuite répété sur l'ensemble de la base de données. L'ensemble des données analysées ont été minutieusement répertoriées dans un fichier Excel. Nous utilisons ce fichier pour les statistiques et résultats de ce rapport.

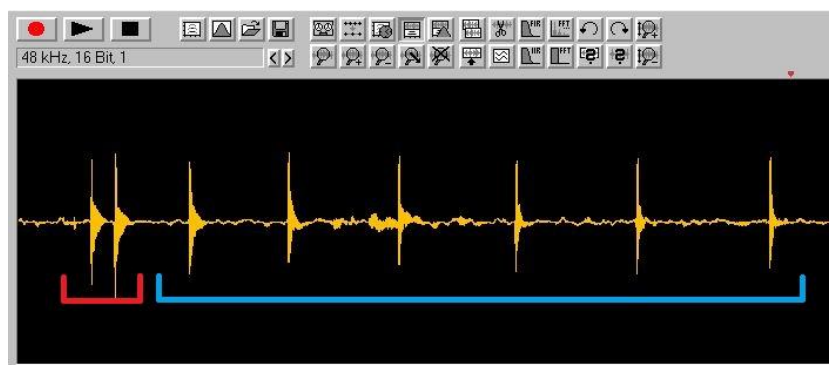


FIGURE 5: SPECTROGRAMME DU CODA 2+1+1+1+1+1+1 AVEC EN ROUGE DEUX CLICS COURTS ET EN BLEU SIX CLICS REGULIERS. (LOGICIEL AVISOFT) – SOURCE PERSONNELLE

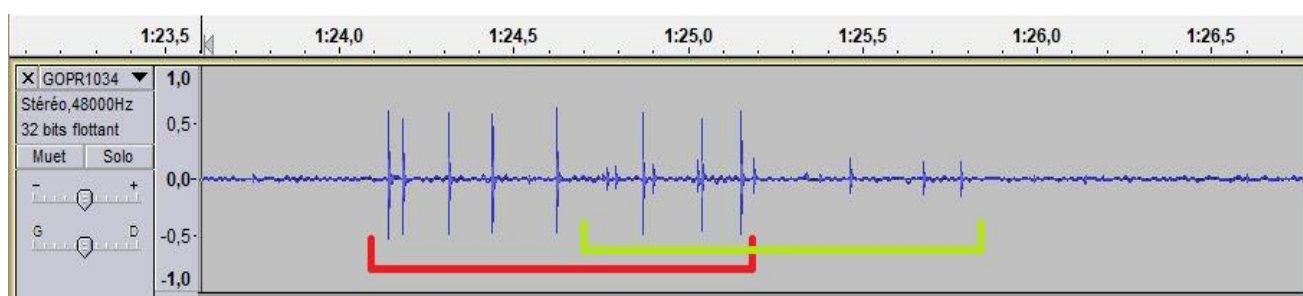


FIGURE 6: SPECTROGRAMME MONTRANT 2 CODAS SUPERPOSÉS (ROUGE ET VERTE) À 8 CLICS CHACUN. CHAQUE TRAIT VERTICAL CORRESPOND À UN CLIC. LA HAUTEUR DU TRAIT EST PROPORTIONNEL A L'INTENSITE DU CLIC. (LOGICIEL AUDACITY) – SOURCE PERSONNELLE

Résultats

Sur 55 individus recensés dans les fiches d'identification, nous avons reconnu 26 cachalots différents au sein des enregistrements étudiés. Il est très probable que nous ayons observé davantage d'individus mais nous n'avons pas toujours réussi à identifier les cachalots qui se trouvaient dans nos vidéos. Cela explique donc notre forte présence d'inconnus (4810 secondes) dans nos résultats. Nous pouvons également observer dans l'histogramme ci-contre (Figure 7) les 5 individus les plus présents, lors de nos études, qui sont Tache Blanche (juvénile), Eliot (juvénile), Delphine (femelle adulte), Zoé (juvénile) et Vanessa (femelle adulte).

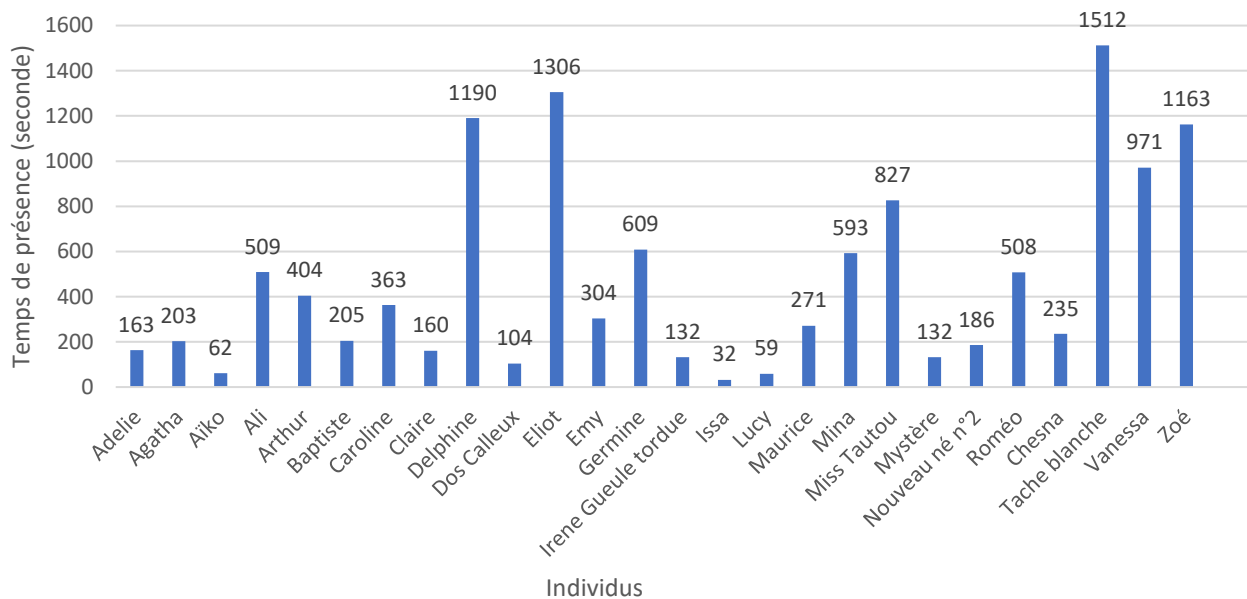


FIGURE 7: HISTOGRAMME REPRESENTANT LE TEMPS DE PRESENCE DES INDIVIDUS OBSERVES AU COURS DES VIDEOS DE 2017-2018

La présence de ces individus au sein des vidéos ne signifie pas forcément qu'ils ont été à l'origine d'un contact avec un autre individu. En effet, comme vous pouvez le voir sur le sociogramme (Figure 8) ci-dessous, seuls 19 individus ont réalisé au moins un contact avec un autre individu sur les 26 observés au cours des analyses.

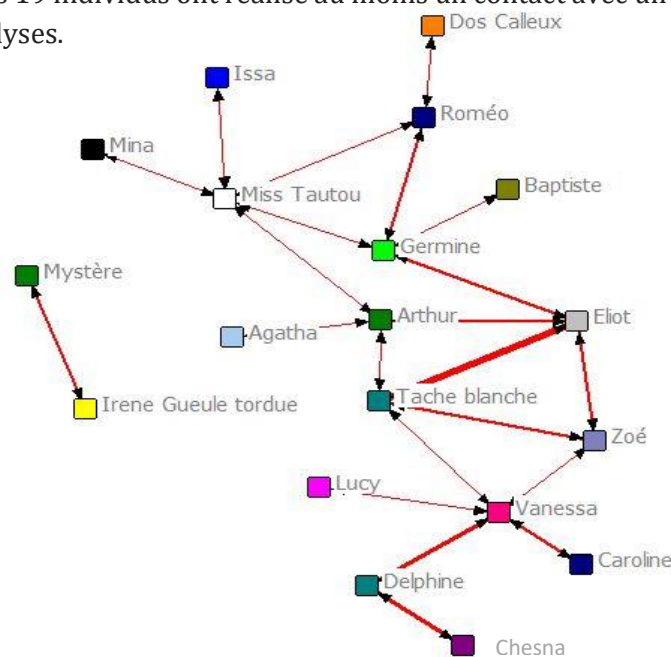


FIGURE 8: SOCIOGRAMME DE 19 CACHALOTS REALISÉ À PARTIR DU NOMBRE DE CONTACT ENTRE CHACUN

Nous pouvons alors observer grâce à ce sociogramme, que plus les flèches sont épaisses, plus il y a eu de contacts entre les individus. Nous pouvons ainsi remarquer un trio de cachalots qui ont réalisé plus d'un contact entre eux (car flèches plus épaisses). Il s'agit des trois juvéniles Eliot, Tache Blanche et Zoé. En effet, ces juvéniles sont très souvent ensemble au sein des vidéos que nous avons étudiées. Nous remarquons aussi que le duo Delphine et Vanessa (mères matriarches) possède trois contacts entre elles ce qui montre peut-être un attachement entre ces deux cachalots. Enfin, les individus qui ont le plus de contacts avec des cachalots différents sont Miss Tautou (Nouveau-né) et Vanessa (Femelle adulte).

Dans l'objectif de trouver un lien entre le contact et les codas émis, nous avons réalisé ce diagramme (Figure 9) représentant le pourcentage de codas présent lors des phases avant, pendant, après contact et nage passive.

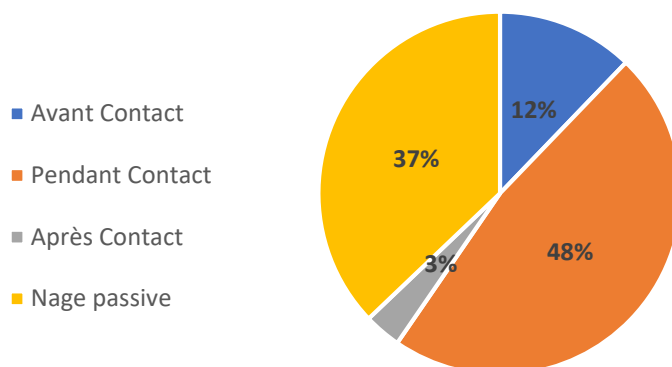


FIGURE 9: DIAGRAMME DU POURCENTAGE DE CODAS EMIS AVANT, PENDANT, APRES CONTACT ET EN NAGE LIBRE

Nous pouvons observer un fort taux d'émission de codas pendant et avant le contact (60% des codas) contre seulement 3% de codas émis après le contact. Nous pouvons également observer un taux élevé de codas émis lors d'une nage passive.

Nous avons ensuite tenté d'observer les différents types de codas émis lors de ces phases (avant, pendant, après contact et nage passive) que nous pouvons voir ci-dessous (Figure 10). De plus, sur 80 types de codas obtenus, nous avons dénombré 17 types de codas présents à la fois dans la phase « avant + pendant contact » et dans la phase « nage passive ». Cela revient à dire que la nage passive possède 11 types de codas jamais rencontrés dans la phase « avant + pendant contact ».

Phases	Nombre de types de codas émis
Avant + Pendant Contact	52
Nage Passive	28

FIGURE 10: TABLEAU DU NOMBRE DE TYPES DE CODAS REPARTI DANS PLUSIEURS PHASES

Les statistiques suivantes (Figure 12) correspondent au nombre moyen de codas émis par vidéo en fonction du nombre d'individus présents dans les séquences étudiées.

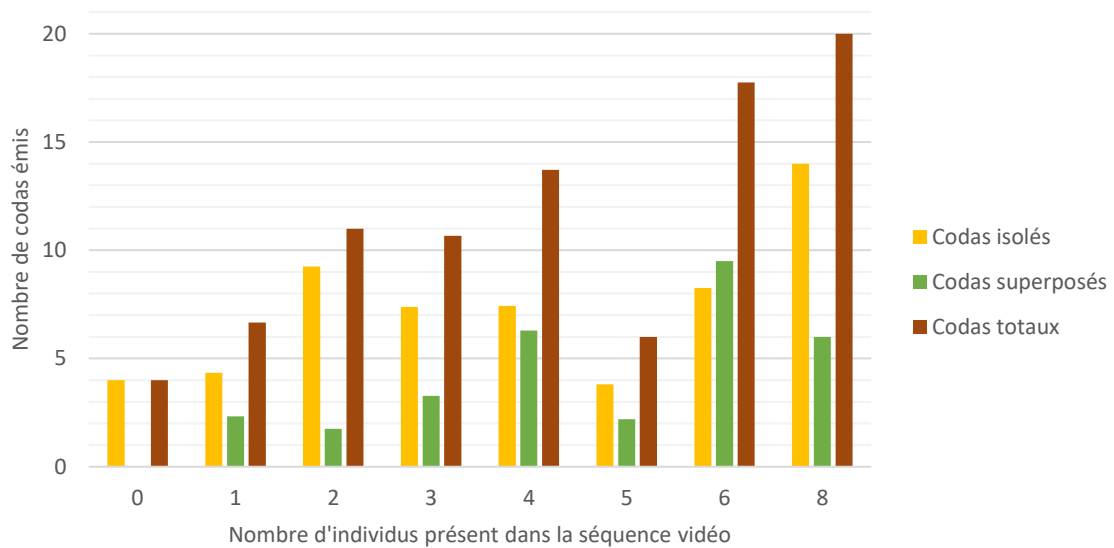


FIGURE 12: NOMBRE MOYEN DE CODAS EMIS PAR CONTACT EN FONCTION DU NOMBRE D'INDIVIDUS PRESENTS DANS LES VIDEOS

D'après cet histogramme ci-dessus, nous obtenons une émission de codas plus importante lorsqu'il y a 8 individus au sein de la séquence (en moyenne 20 codas émis). Les deuxièmes séquences ayant le plus de codas émis sont celles à 6 individus (moyenne de 18 codas par séquence). Enfin, les séquences avec quatre individus sont en troisième position (11 codas émis/ séquence).

De plus, nous avons analysé plus en détail tous ces types de codas. Ayant un nombre important de types de codas différents (81 au total), nous les avons triés tout d'abord en fonction du nombre de clics qui les composent (Figure 13) puis en fonction de leur amorce (Figure 14)

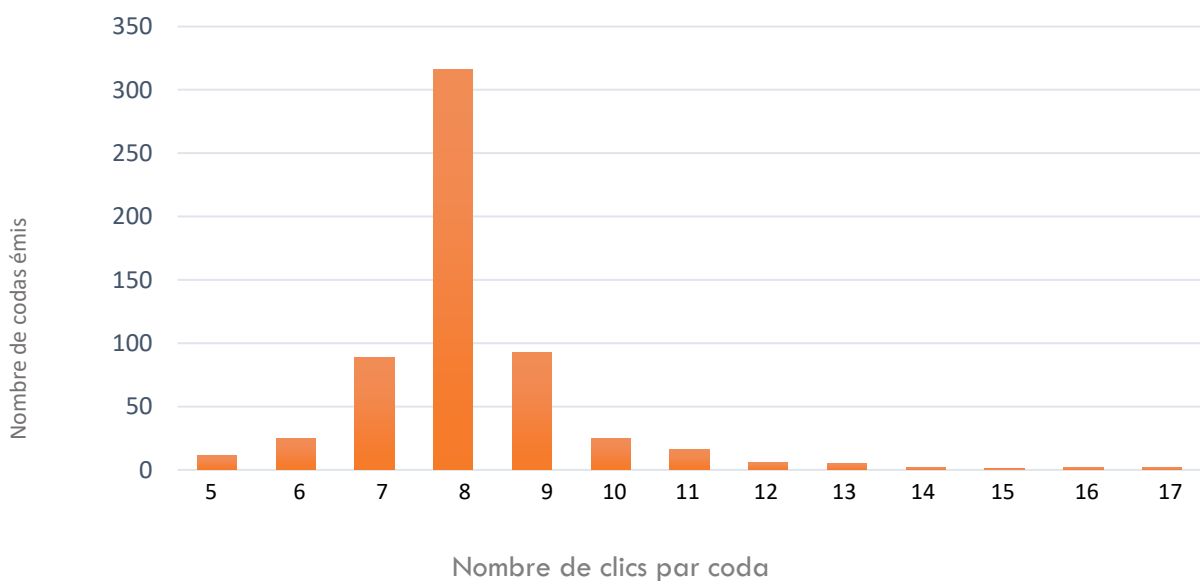


FIGURE 13: RECENSEMENT DES CODAS EN FONCTION DU NOMBRE DE CLICS QUI LES COMPOSENT

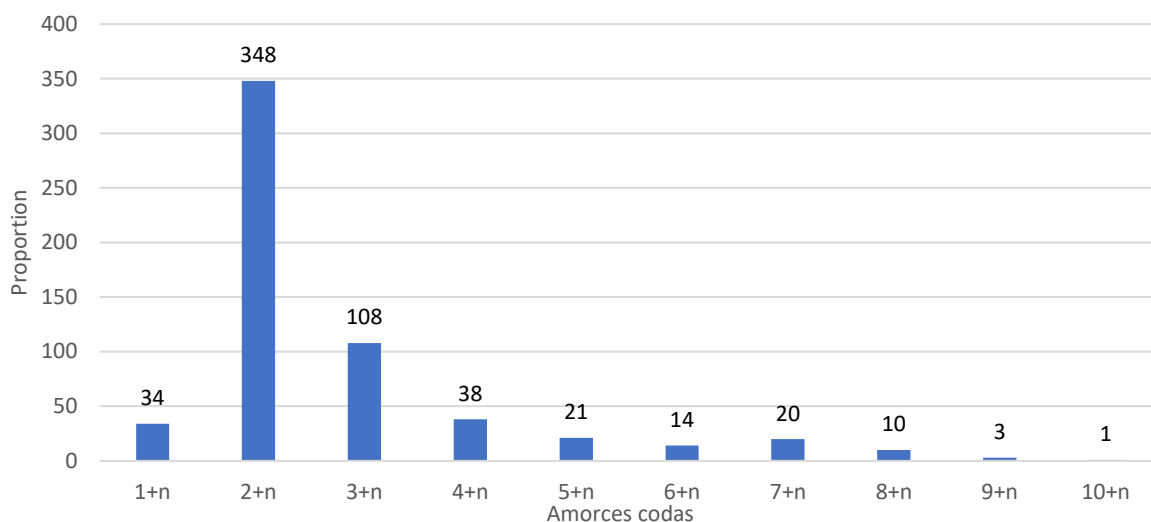


FIGURE 14: RECENSEMENT DES CODAS EN FONCTION DE LEUR AMORCE

Selon ces statistiques, nous avons une majorité de codas émis en 8 clics et 58% des codas sont du type 2+n. Cela correspond à 348 codas qui possèdent la même amorce. Egalement, 108 codas sont émis avec, comme même début, 3 clics rapprochés (3+n). Ils représentent 18% de la totalité des codas étudiés.

Nous avons décidé d'observer plus en détails le coda le plus utilisé au sein de la base de données. Il s'agit du 2+1+1+1+1+1+1. Il est présent 211 fois dans nos analyses et c'est ce coda qui est à l'origine d'un pic plus important au 2+n (Figure 14) ainsi qu'à la colonne des 8 clics (Figure 13). Nous avons relevé 59 codas isolés de type 2+1+1+1+1+1+1 (tous les individus confondus) dont les ICI étaient bien visibles sur le logiciel Avisoft. Nous avons fait deux Anova à un facteur pour voir si les ICI des deux premiers clics courts étaient similaires et si les ICI des six clics réguliers à la fin l'étaient également. Nous avons obtenu, dans les deux cas, des valeurs homogènes au risque de 1/1000 (☆☆☆).

Dans un dernier temps, nous nous sommes attardés sur les contacts. L'histogramme ci-dessous (Figure 15) nous montre le nombre de codas émis en fonction des différentes positions de contact.

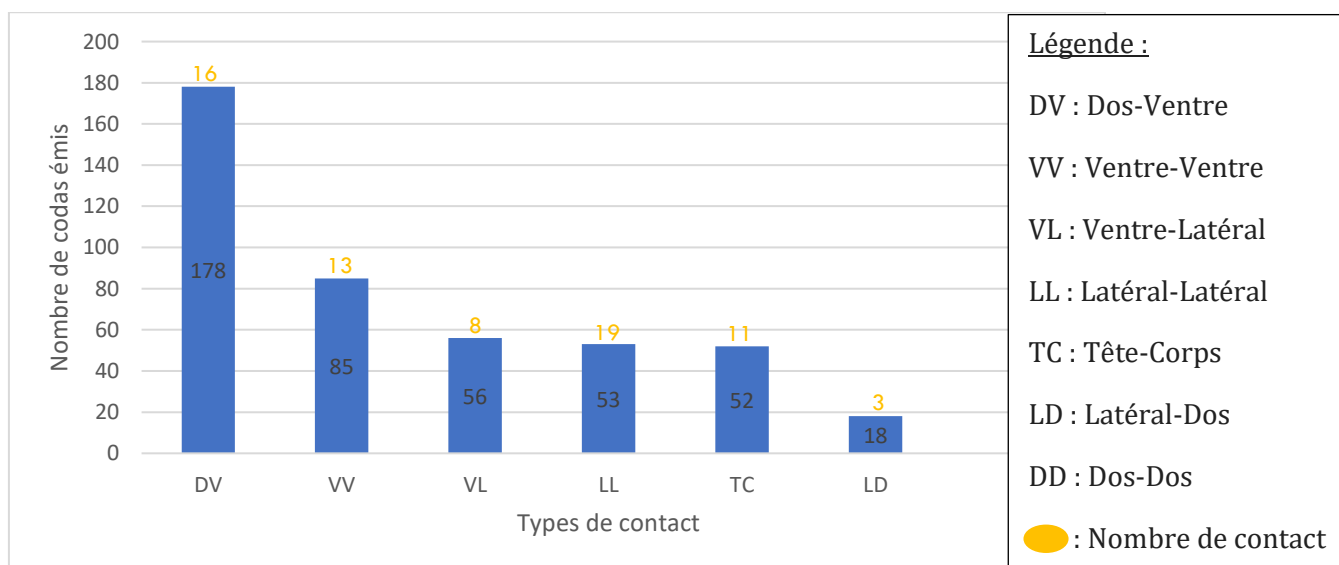


FIGURE 15: HISTOGRAMME DU NOMBRE DE CODAS EMIS EN FONCTION DES DIFFERENTS TYPES DE CONTACT

Nous pouvons observer que le type de contact qui engendre le plus de codas est le Dos-Ventre avec en moyenne 11 codas par contact (178/16). C'est le deuxième contact le plus utilisé derrière le Latéral-Latéral. Le deuxième type de contact qui émet le plus de codas est le ventre à ventre avec presque 7 codas émis par contact. C'est le troisième contact le plus utilisé.

Enfin, nous nous sommes attardés sur les positions de quatre femelles : Delphine, Vanessa, Irène Gueule Tordue et Germine, les trois premières considérées comme les mères matriarches du groupe et Germine jouant le rôle de « nounou » au sein du clan, lors des contacts avec les autres individus du groupe (nouveaux nés exclus) et également entre elles.

Vanessa est la femelle adulte qui a réalisé le plus de contact. Nous avons donc réalisé un histogramme sur les positions qu'elle utilise lors de ses contacts avec les autres cachalots (Figure 16). On peut voir qu'elle a été au-dessus lors de 5 contacts. Cela implique Delphine, Caroline, Adélie et un autre cachalot non identifié. Il s'agit de trois autres femelles adultes dont Delphine, une des matriarches. Lorsque nous nous attardons sur les trois contacts durant lesquels Vanessa est dessous, il s'agit de nouveau d'un contact avec Caroline mais également d'un juvénile Zoé (et d'un inconnu). Delphine est le cachalot avec qui Vanessa a réalisé le plus de contact. Nous nous sommes donc penchés sur les 6 contacts observés entre ces deux mères et nous pouvons observer que Vanessa se positionne au-dessus à deux reprises et le reste des contacts côte à côte mais jamais en-dessous. Quant à Delphine, nous avons 7 contacts qui la concerne : 6 avec Vanessa et 1 avec un inconnu durant lequel elle se trouve au-dessus. Pour Irène Gueule Tordue, nous n'avons pu observer qu'un seul contact de cette femelle avec Mystère, une autre femelle adulte et durant lequel Irène Gueule Tordue se situe dessous. Enfin, nous avons recensé 4 contacts avec Germine, réalisé avec deux juvéniles : Roméo et Eliot. Durant les deux contacts avec Eliot, Germine se trouve au-dessus et pour les deux autres contacts avec Roméo, ils sont côte à côte. Nous n'avons donc actuellement jamais vu Germine lors d'un contact où elle se trouve dessous.

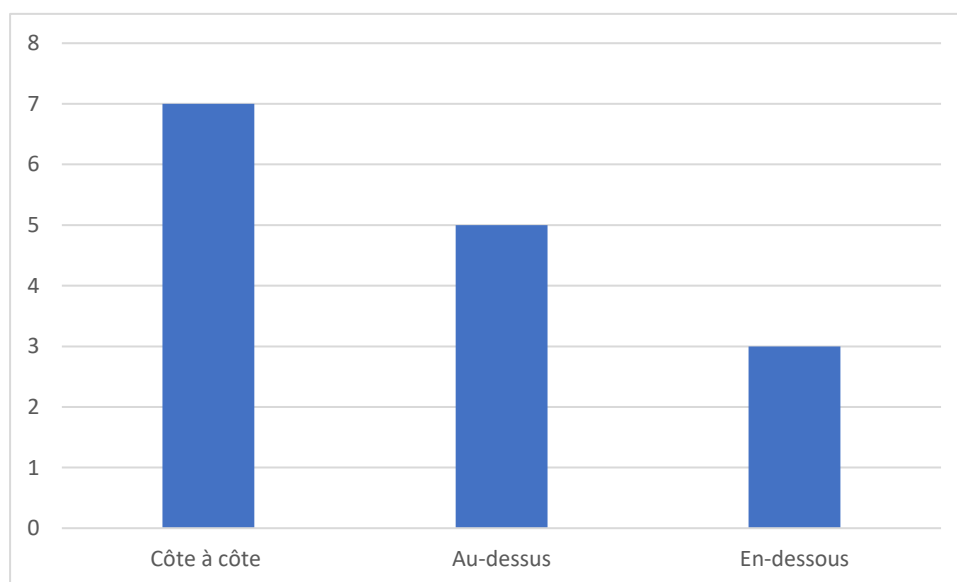


FIGURE 16 : QUANTITE DES DIFFERENTES POSITIONS RELATIVES DE VANESSA LORS DE CONTACTS AVEC D'AUTRES CACHALOTS

Discussion

Avant toutes analyses, il est primordial d'évoquer les limites que nous avons rencontrées lors de l'analyse des vidéos.

Premièrement, les vidéos ont été produites sur des critères esthétiques, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas été réalisées dans un but purement scientifique mais plutôt à des fins documentaires et cinéastes. Ainsi, aucun protocole n'avait été mis au point avant la collecte des données. Pour cette raison, nous nous retrouvons parfois avec des vidéos tronquées (limite dans le temps) ou qui changent d'angle de vue avant même que la scène qui nous intéresse se termine.

De plus, nous avons une limite dans l'espace. La caméra ne pouvant filmer à 360 degrés, nous avons donc une partie angle mort. Ainsi, n'étant pas présents lors de la collecte de données, rien ne nous certifie l'absence d'individus derrière le plongeur susceptibles d'émettre des codas ou autres émissions sonores.

Troisièmement, les plongeurs ne possédant qu'un seul hydrophone par caméra, nous n'avons pas la capacité de dire quels individus émettent les codas. Nous pouvons seulement entendre, à l'oreille, des codas qui n'ont pas la même sonorité mais nous n'avons aucune évidence dans ces moments-là qu'il s'agit d'individus différents qui communiquent. Seule la présence de codas superposés lors des enregistrements nous garantit la présence de plusieurs individus. La fabrication et la conception d'hydrophones pouvant discriminer les individus est en cours de réalisation. Ce qui annonce pour les années à venir, des données audios plus faciles à exploiter.

Enfin, nous avons rencontré un problème de temps ne nous permettant pas d'exploiter l'ensemble de la base de données comprenant des vidéos de 2013 à 2018. Ce problème a été dû à la longue durée d'analyse de certaines vidéos particulièrement compliquées à décrypter et à la conception d'un tableau Excel performant permettant d'analyser et d'obtenir les résultats souhaités.

Concernant l'analyse des résultats, la figure 7 permet de confirmer que les cachalots vivent en clans sociaux et matriarcales. En effet, les individus les plus rencontrés appartiennent majoritairement à deux clans bien connus des scientifiques les observant sur le terrain. Le premier clan comprenant : Delphine, Vanessa, Tache Blanche, Eliot, Zoé, Caroline, Emy, Adélie et Chesna la nouvelle née de Delphine, sœur de Tache blanche ; et le deuxième clan, celui de Irène Gueule Tordue, comprenant notamment : Irène Gueule Tordue, Mina avec son nouveau-né mâle Ali, ainsi que Lucy, son fils Daren (frère de Roméo), Arthur, Dos Calleux, Mystère, Germinie, Issa et sa fille Miss Tautou, Yukimi, Aïko, Deline et Swastee. Un autre clan qui n'est pas recensé dans les fiches d'identification a été détecté dans certaines vidéos (mars 2018). Il a été repéré par le groupe de chercheurs travaillant sur le terrain et est reconnaissable notamment par leur signature acoustique différente de celles des autres clans étudiés. De plus, ce résultat sur le temps de présence de chaque individu était indispensable pour s'assurer de l'absence de biais. Globalement, aucun cachalot n'a été filmé beaucoup plus que les autres.

Nous avons donc observé les affinités entre chacun en observant, grâce à la figure 8, le nombre de contacts entre les cachalots. Nous pouvons constater que certains cachalots ont des préférences pour certains individus comme par exemple le trio Tache Blanche, Zoé et Eliot qui sont trois juvéniles très souvent ensemble car ils ont à peu-près le même âge : Tache Blanche et Eliot ont 7 ans (nés en 2011) et Zoé a 5 ans (naissance autour de décembre 2013). Il faut noter que ces deux groupes ont été scindés différemment cette dernière année et ne sont pas les mêmes groupes que les années antérieures. Par exemple, Vanessa et Caroline qui ont réalisé plusieurs contacts (observables grâce à notre figure) n'étaient auparavant pas dans le même groupe. Il en est de même pour Irène Gueule Tordue et Mystère qui sont à présent dans le même groupe. Cela nous permet donc de dire que, au-delà de l'appartenance à un groupe ou à une même

fratrie, certains individus ont sûrement de réelles affinités avec d'autres ce qui peut entraîner un changement de groupes dans lesquels ils sont.

La figure 9 nous permet de répondre à la première question énoncée dans l'introduction. En effet, la majorité des codas se faisant avant et pendant le contact et très peu après (seulement 3%) montrent qu'ils ont un rôle dans l'amorce et le déroulement de celui-ci. Nous pouvons émettre l'hypothèse que les codas servent dans un premier temps à appeler au contact puis lorsque celui-ci est effectué les codas expriment la satisfaction de se toucher ou une réponse positive. Nous avons observé que ce phénomène se produisait lors de moments de socialisations mais aussi lors de moments femelles/juvéniles. Les cachalots peuvent peut-être utiliser ces contacts pour montrer leur signe d'appartenance à leur clan et aussi témoigner de leur affection pour les matriarches de leur groupe. Nous pouvons également observer un fort pourcentage de codas émis lors de la période « nage passive » qui n'est pas négligeable. Plusieurs hypothèses sont émises pour justifier ce fort pourcentage de codas en absence de contact. La première hypothèse est que la vidéo est tronquée et non empêche de voir la suite du comportement tel qu'un rapprochement qui pourrait se faire plus tardif. La deuxième hypothèse est que les individus filmés ne sont pas les cachalots qui émettent les codas et ce serait pour cette raison qu'il n'y pas d'approche ni de contact. Il pourrait s'agir en réalité des individus qui sont derrière le plongeur par exemple, ou encore ceux qui sont plus en profondeur. Nous avons donc, à la suite de ces hypothèses, observé de plus près les différents types de codas émis lors de cette nage passive et lors de la période « Approche + contact » (Figure 10). Nous avons dénombré, sur 80 types de codas recensées lors de ces phases, 28 types de codas qui n'ont été émis qu'en nage passive et jamais lors des contacts. Ainsi, les hypothèses que nous avons émises au début sont rejetées. Cela nous laisse donc penser qu'il y a des codas spécifiques au contact et d'autres qui ont un rôle dans un autre comportement que nous n'avons pas encore déterminé.

Nous avons par la suite essayé de voir s'il y avait des codas différents en fonction des types d'individus (figure 11). Comme nous ne pouvons pas différencier les codas émis par les individus présents dans les vidéos, il n'était pas pertinent de réaliser l'histogramme des codas émis par individu. Nous avons donc observé les types de codas en fonction de l'âge des individus. Nous avons réalisé deux groupes : les femelles adultes et les juvéniles. Notons que nous avons exclu les nouveaux nés car nous estimons qu'ils risquent de fausser nos résultats par manque d'expérience. Nous avons constaté qu'il y a une ressemblance de 77% entre le répertoire acoustique des juvéniles et des adultes. Cela signifie donc que les juvéniles émettent soit moins de codas que les adultes, soit qu'ils ont leur propre répertoire. D'après nos résultats, la deuxième hypothèse serait correcte. En effet, les juvéniles émettent 7 types de codas jamais rencontrés chez les adultes. Donc, il existe des codas spécifiques à des groupes d'individus et peut-être même par individu. C'est une question que nous pourrions nous poser dans l'avenir lorsque nous serons en mesure de différencier les codas émis par les différents individus.

La figure 12 montre les nombres moyens de codas émis dans une séquence en fonction du nombre d'individus dans celle-ci. Nous pouvons constater que le nombre de codas a tendance à augmenter lorsque le nombre d'individus dans les vidéos augmente aussi. Également, les vidéos ayant le plus de codas émis sont (dans l'ordre croissant) les vidéos à 2, 4, 6 et 8 individus. A chaque fois, il s'agit d'un nombre pair. Cela pourrait donc nous laisser penser que les contacts et l'appel de ces derniers se fait à chaque fois entre deux individus. Si le nombre de codas est plus important dans une vidéo à 6 individus qu'à 4 c'est parce qu'il y a trois binômes contre seulement deux lorsqu'il y a quatre individus. Mais nous avons également un nombre de codas assez important lorsque nous avons 3 individus. En effet, la majorité des cas que nous avons rencontré pourraient expliquer ce nombre de 10 codas par vidéo avec trois cachalots. En effet, lorsque nous observons une vidéo avec trois de ces mammifères, un premier contact se fait entre deux individus et le troisième vient rejoindre ce contact comme s'il avait été tenté en les voyant se toucher ou

alors comme si il voulait s'opposer à ce contact entre les deux premiers individus. Il faut noter également que les contacts se font quasiment tout le temps entre deux individus. Ainsi, lorsque le troisième individu réalise une approche, le contact entre les deux premiers cachalots se rompt. Donc cette figure nous laisse penser que lorsque des codas sont émis pour réaliser un contact, il s'agit d'un appel précis pour un deuxième individu et non pour un groupe d'individus.

En ce qui concerne les figures 13 et 14, nous avons séparé les types de codas en deux histogrammes pour une meilleure observation car ils sont très nombreux (81 types de codas différents). Les résultats obtenus montrent que les structures 2+n sont les plus abondantes ainsi que les codas en 8 clics. Ces résultats sont dûs aux codas de type 2+1+1+1+1+1+1 qui sont entendus 219 fois pour 572 codas recensés. Nous avons également constaté qu'ils avaient des valeurs homogènes (☆☆☆) au niveau de leur ICI. Donc cela signifie que ce coda est émis de la même manière quelque soit l'individu qui l'émet. Il s'agirait donc d'une signature acoustique des deux clans qui l'utilisent. Nous ne pouvons associer ce coda à l'ensemble des cachalots de l'Île Maurice car nous avons enregistré un autre groupe de cachalot de l'Île Maurice jamais identifié par nos plongeurs en mars 2018. Nous avons pu observer des codas du type 1+1+2+1 et 5R (codas en 5 clics). Ces codas ont été très peu rencontrés dans notre échantillon global que nous avons étudié.

Ces résultats concernant ces clans de cachalots du sud et de l'ouest de l'Île Maurice ne sont pas similaires aux résultats recensés par l'équipe de Shane Gero et Luke Rendell qui étudient les populations de cachalots de l'Atlantique Ouest dans les Caraïbes. En effet, selon leurs résultats parus en 2015 (Gero et al. 2015) les codas les plus répandus dans ce secteur sont de type 5R et 1+1+3 représentant tous deux 65% des codas recensés. Les 2 clans particulièrement étudiés ont une signature acoustique qui leur est propre et confirme l'hypothèse selon laquelle certaines populations de cachalots de l'Île Maurice ont leurs propres codas qu'ils transmettent par l'imprégnation, l'apprentissage et le mimétisme. Cela peut donc signifier que le coda 2+1+1+1+1+1+1 est spécifique aux clans de Vanessa et de Irène Gueule Tordue.

Enfin, d'après la figure 14, pour ce qui est des contacts, la position « Dos-Ventre » semble être, bien qu'elle ne soit pas la plus utilisée, la position qui suscite une plus grande attention pour les cachalots car c'est cette dernière qui engendre le plus de codas durant ce comportement. Nous n'avons actuellement pas encore assez de données pour confirmer si cette position est la plus appréciée par certains cachalots en particulier. Cette étude sur les positions lors des contacts est à approfondir.

Il en est de même pour les différentes positions entre individus notamment lorsqu'il s'agit des mères matriarches. D'après nos premiers résultats, elles ne semblent pas imposer une hiérarchie par rapport aux contacts (au-dessus les aînées et dessous les plus jeunes) car nous faisons face à des contacts où les juvéniles se positionnent au-dessus de ces femelles adultes. Cependant, nous n'avons pas assez de contacts par mère matriarche pour pouvoir valider cette hypothèse.

CONCLUSION

Pour conclure ce rapport, je voudrais rappeler que ces résultats sont le fruit d'une étude étho-acoustique qui n'avait encore jamais été conduite. Les résultats obtenus sont donc les premiers concernant cette thématique chez les cachalots. De nombreuses découvertes sont encore à faire sur ce sujet. L'avancement de cette étude va se faire d'une part à travers l'amélioration des technologies tel que la qualité et la quantité des hydrophones utilisés et d'autre part, de réaliser les prochaines vidéos basées sur un protocole précis.

Nous pouvons retenir de cette étude que les cachalots de l'île Maurice semblent posséder un répertoire acoustique qui leur est propre car certains codas, notamment le 2+1+1+1+1+1+1, n'ont jamais été entendu en aussi grande quantité autre part qu'à Maurice. Ces cachalots font également partis de ceux qui réalisent le plus de clics dans leurs codas.

Enfin, nos résultats, concernant le lien contact-coda, semblent être très prometteur et ont suscité l'intérêt de nombreux scientifiques lors de la conférence internationale sur l'acoustique des cétacés (DCLDE) en juin 2018. Il est tout de même important que nous finissions l'étude de la base de données pour envisager, dans les prochains mois, de sortir un article scientifique sur ces dernières découvertes.



Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier l'équipe de la MMCO, Label bleu, toute l'équipe de Longitude 181, qui grâce à elles, nous ont permis de travailler sur une base de données très complète composée de magnifiques vidéos. Cette étude se fait avec l'autorisation du gouvernement de l'île Maurice que je remercie également très vivement.

Merci également à l'association Gualiba, sans qui ce stage n'aurait pas eu lieu.

Je remercie vivement mon Maître de stage Olivier ADAM pour la confiance qu'il m'a accordée, pour ses conseils avisés et l'aide qu'il m'a apporté tout au long de ce stage : c'était énorme.

Merci à Justine et Aurélie, mes binômes, pour leur soutien et leur bonne humeur tout au long de ces trois mois.

Enfin, je remercie Nadège pour m'avoir permis de réaliser ce rêve d'enfant.

Références bibliographiques

- Christal, Jenny, et Hal Whitehead. « Social Affiliations within Sperm Whale (*Physeter Macrocephalus*) Groups ». *Ethology* 107, n° 4 (2001): 323-40. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2001.00666.x>.
- Gero, Shane, Hal Whitehead, et Luke Rendell. « Individual, unit and vocal clan level identity cues in sperm whale codas ». *Royal Society Open Science* 3, n° 1 (20 janvier 2016). <https://doi.org/10.1098/rsos.150372>.
- Goddard, Nicolas. « Données récentes sur le comportement du grand cachalot (*Physeter macrocephalus*) », (2015). <http://oatao.univ-toulouse.fr/14195/>.
- Sarano « Le retour de Moby Dick », (2017).
- McComb, K., Reby, D., Baker, L., Moss, C., et Sayialel, « Long-distance communication of acoustic cues to social identity in African elephants - ScienceDirect ». *Animal Behaviour*, (2003): 317–329. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003347203920471?via%3Dihub>.
- Melendez, Karla V., et Albert S. Feng. « Communication calls of little brown bats display individual-specific characteristics ». *The Journal of the Acoustical Society of America* 128, n° 2 (août 2010): 919-23. <https://doi.org/10.1121/1.3455835>.
- Møhl, Bertel, Magnus Wahlberg, Peter T. Madsen, Anders Heerfordt, et Anders Lund. « The monopulsed nature of sperm whale clicks ». *The Journal of the Acoustical Society of America* 114, n° 2 (30 juillet 2003): 1143-54. <https://doi.org/10.1121/1.1586258>.
- Møhl, Wahlberg, Madsen « The monopulsed nature of sperm whale clicks ». *The Journal of the Acoustical Society of America* 114, n° 2 (30 juillet 2003): 1143-54. <https://doi.org/10.1121/1.1586258>.
- Oliveira, Cláudia, Magnus Wahlberg, Mónica A. Silva, Mark Johnson, Ricardo Antunes, Danuta M. Wisniewska, Andrea Fais, João Gonçalves, et Peter T. Madsen. « Sperm Whale Codas May Encode Individuality as Well as Clan Identity », (mai 2016). <http://dx.doi.org/10.1121/1.4949478>.