



Analyse de biosonars de *Globicéphale m.* : hypothèse de discrimination des clics de juvéniles vs adultes, mâles vs femelles

Corpus des Missions Souffle de Vie 2023

DELOUSTAL Nicolas¹, PAIEMENT Adeline¹, PARIS Sébastien¹,
VINAJ Jean Charles^{2,1}, GLOTIN Hervé^{1,2}
nicolas.deloustal83@gmail.com, vinaj.jc@gmail.com, sebastien.paris@univ-tln.fr,
adeline.paiement@univ-tln.fr, glotin@univ-tln.fr

(1) CIAN, DYNI, LIS, UMR CNRS, université de Toulon

(2) Live Together, ONG, Monaco

Introduction	2
1. Matériel	2
Antenne	2
Images d'intérêt extraites des vidéo servant de support à ce rapport	4
2. Méthode	5
Calcul des gisements	5
Décomposition temps-fréquence	6
3. Résultats et Discussion	7
Séparation des transitoires de globicéphales jeunes et adultes	7
Séparation des transitoires de globicéphales arrivant et partant	9
4. Conclusion	12
5. Remerciements	12
6. Références	12
7. Annexes	13

Introduction

Au cours de l'été 2023, l'association monégasque Live Together a monté une mission en Méditerranée afin de réaliser un film documentaire doublé d'une étude bio-acoustique sur les globicéphales. Cette étude a été confiée à l'équipe d'Hervé Glotin de l'Université de Toulon. Le choix de cette mission s'est porté sur les globicéphales pour leur caractère grégaire et leur vie en groupe organisée et structurée.

Trois missions de deux semaines (soit 40 jours en mer) se sont succédées de juillet à septembre 2023. Nous naviguions à bord d'un catamaran. Sur ces quarante jours, nous n'avons rencontré les globicéphales que cinq fois. Nous avons pu faire les constatations suivantes.

Pendant ces rencontres, nos équipes, aussi bien en plongée qu'à bord n'ont constaté aucune agressivité de la part des cétacés. Alors que nous naviguions à la voile, ce sont eux qui venaient à notre rencontre et restaient de longs moments à l'étrave ou à côté du bateau. Ils socialisaient et vocalisaient ce qui a permis aux bio-acousticiens de réaliser des enregistrements de haute qualité. Après nous avoir rendu visite, les globicéphales s'éloignaient et restaient immobiles à quelques encablures du bateau ou nageaient à faible allure. Ces visites au bateau se répétaient parfois à plusieurs reprises sans que nous ne cherchions le contact.

Les plongeurs vidéastes ont été les témoins privilégiés des moments de socialisation des groupes de globicéphales rencontrés. Jamais, ils n'ont senti la moindre agressivité de leur part. Eux non plus n'ont jamais cherché à aller au contact. Au contraire, ce sont les cétacés qui venaient à eux et montraient à leur égard de la curiosité (voir photos).

Concernant les analyses acoustiques, l'hypothèse émise à ce jour serait qu'il y aurait des caractéristiques à l'intérieur du signal transitoire (clic) de l'animal reliées à l'âge/sexes de celui-ci.

Il pourrait s'agir d'une différence de forme suivant la fonction des clics, comme cette hypothèse H1 : "un adulte pourrait avoir une forme de clic plus chirpé (signal modulé en fréquence et en amplitude) qu'un juvénile. Une autre hypothèse serait une différence due à la taille de la tête, H2 : "plus l'animal est grand et plus son clic est long support temporel".

1. Matériel

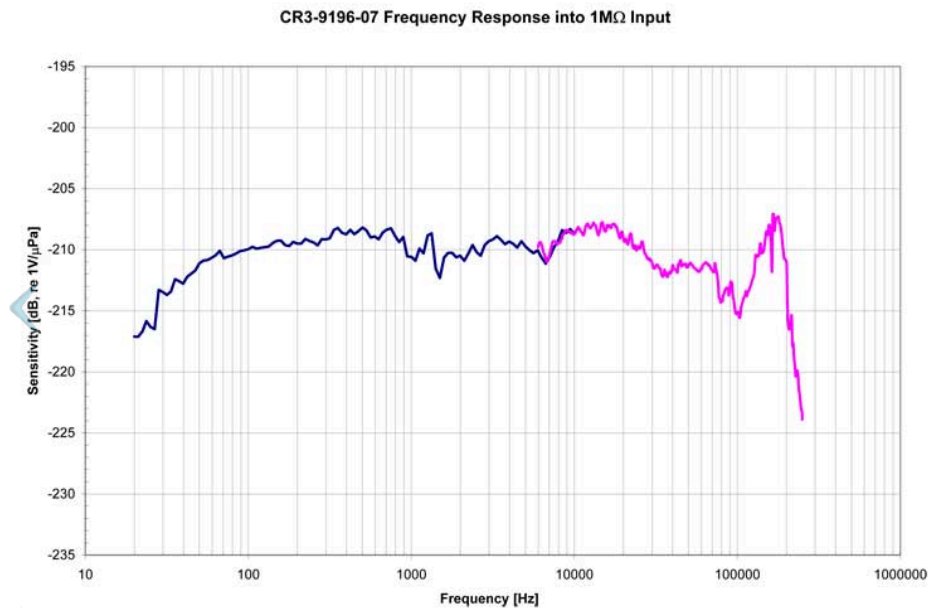
Antenne

La méthode d'acquisition de données a été de réaliser un relevé acoustique synchronisé à un relevé vidéo par un plongeur dédié à cette tâche muni d'une antenne prévue pour (Fig. 1).

Cette antenne a été munie de 2 hydrophones sq26 et de 1 CR3, enregistrant tous à 512 kHz de fréquence d'échantillonnage pour 16 bits. Reliés à une caméra Canon R7. Les enregistrements ont été filtrés et passés dans un détecteur quadratique.



Fig. 1.1. Antenne créée (HG et al.) pour la mission. Le dôme vidéo est au centre du triangle des 3 hydrophones. le CR3 est en haut, les SQ sur les bord en bas. Distance hydrophone SQ1 et SQ2 : 31 cm, SQ1 et CR3 : 22 cm, SQ2 et CR3 : 26 cm.



Plot of CETACEAN RESEARCH™ CR3 hydrophone frequency response - log scale.

Fig.1.2. Réponse en fréquence de l'hydrophone CR3.

Images d'intérêt extraites des vidéo servant de support à ce rapport



Fig 1.3. Groupe d'adulte mâle (bleu), femelles (rouge), juvénile (vert). (Fichier 5E4A7833.MP4, 28/09/2023, à partir de 4'30")



Fig. 1.4. Globicéphales utilisés pour les labels sur les figures 5 à 8. A gauche; le juvénile, à droite; l'adulte. Le reste des individus utilisés pour les annotations sont regroupés en annexe.

2. Méthode

Calcul des gisements

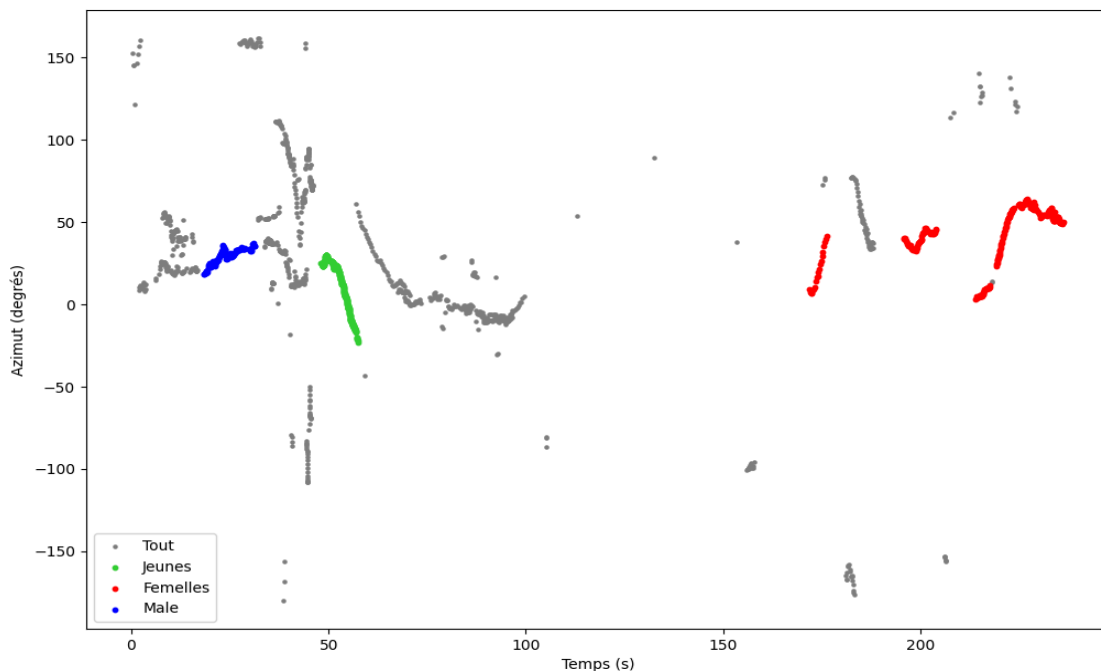


Fig. 2.1. Position des labels créés par rapport aux azimuts estimés en fonction du temps sur l'enregistrement vidéo : 5E4A7833.MP4 de 00:00:00 à 00:03:80, audio : 20230928_183327UTC_V12.wav et 20230928_183525UTC_V12.wav. Les annotations correspondantes sont regroupées en annexe.

Décomposition temps-fréquence

Dans un objectif d'étudier les propriétés modulées en fréquence sur des fenêtres temporelles très courtes. La méthodologie de représentations temps fréquence la plus utilisée, le spectrogramme résultant de la STFT (Allen, 1977) ne permet pas d'observer ces variations précisément (Heisenberg, 1989). Une façon d'éviter cela est d'utiliser une distribution temps-fréquence conjointe telle que la distribution de Wigner-Ville (WVD) (Ville, 1948 et Wigner, 1932). Contrairement à la STFT qui transforme linéairement le signal à travers un banc de filtres donné, la WVD est bilinéaire dans le signal. La transformation combine la transformée de Fourier (Bracewell, 1986) et les autocorrélations du signal (Sandsten, 2016). Malheureusement, la WVD crée des artefacts du signal d'origine, pour palier à ce problème c'est la Pseudo Distribution de Wigner Ville (PWVD)(eq. 1)(Claasen, 1980) qui a été utilisée afin d'analyser finement le signal.

Un autre aspect du signal discriminationnaire en temps-fréquence a été étudié à l'aide de la transformée duale de Wigner-Ville appelé Fonction d'ambiguïté (FA) (Nachtigall et Moore 1988; Jiang et al., 2019)(eq.2) afin de mesurer la tolérance sur la vitesse (doppler) ou la distance (retard) d'un signal (Woodward, 1980).

La position de chaque clic d'animal est calculée à l'aide d'un détecteur quadratique avec un seuil fixé au préalable empiriquement. Les clics une fois détectés ont donc été décomposés par la PWVD et la fonction d'ambiguïté (FA) sur différentes tailles de fenêtres et aspects ratio. (Eq1)

$$PWVD_z(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h^2\left(\frac{\tau}{2}\right) z\left(t + \frac{\tau}{2}\right) z^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-i2\pi f\tau} d\tau$$

avec

z : signal analytique

h : fenêtre

t : temps

f : fréquence

τ : délai

(Eq2)

$$\chi(\tau, \eta) = \sqrt{\eta} \int_{-\infty}^{+\infty} z(t) z^*(\eta t - \tau) dt$$

$$\eta = \frac{c + v}{c - v}$$

$$\tau = 2\frac{d}{c}$$

avec

$z(\eta t - \tau)$: écho réfléchi par les cibles,

τ : délai,

η : décalage Doppler.

d : distance entre le globicéphale et sa cible,

v : vitesse relative entre le globicéphale et sa cible,

c : vitesse de propagation du son.

La matrice résultante des représentations temps échelles a été aplati et réduite par une UMAP (McInnes et al., 2018) en 2 dimensions pour pouvoir afficher un point sur des coordonnées d'un espace latent. UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection for Dimension Reduction) fonctionne par optimisation d'une distribution uniforme des données sur un collecteur et approximation géodésique. L'UMAP est plus rapide, plus reproductible et offre une organisation des clusters qui permet de discriminer les valeurs aberrantes et de préserver les continuums (Jolliffe et al., 2016) que ses rivaux, telles que t-SNE ou PCA.

Grâce à la synchronisation vidéo-acoustique, des labels ont pu être créés pour pouvoir mettre en évidence des différences entre individus (les individus utilisés pour les labels ont été regroupés en annexe). Les labels ont été représentés sur la fig. 2.1 en fonction de leurs gisements par rapport à l'antenne.

3. Résultats et Discussion

Séparation des transitoires de globicéphales jeunes et adultes

Les résultats préliminaires semblent aller dans le sens de l'hypothèse principale, avec une possible séparation entre les clics des adultes et des juvéniles. Comme représenté dans les figures 3.1 à 3.4, parmi tous les clics analysés, il est possible de mettre en évidence une séparation sur l'espace latent des clics de juvéniles et d'adultes.

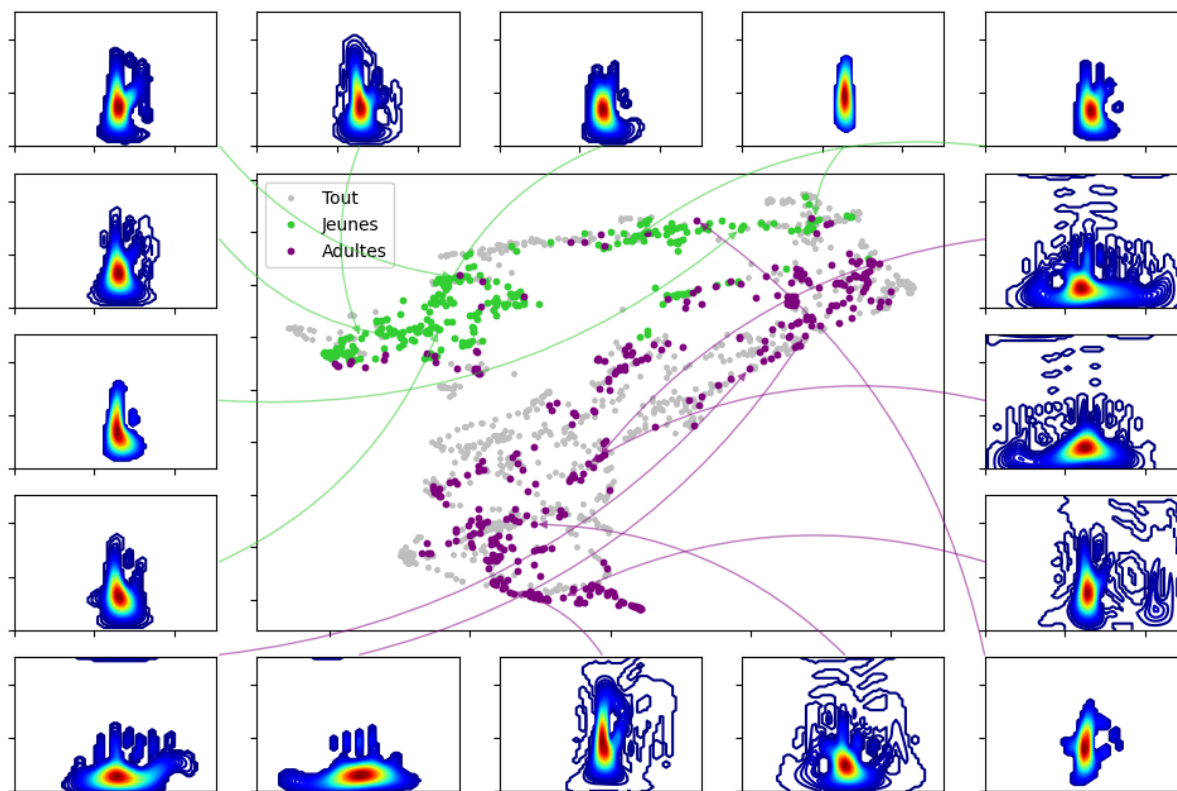


Fig. 3.1. (Au centre) UMAP(aspectratio80(PWVD(win32(clics))))). Chaque point représente un clic de globicéphale. (Sur les contours) Représentations temps-fréquence après PWVD sur les clics pointés par les flèches. Ce graphique représente le résultat de 4 minutes d'enregistrement acoustique.

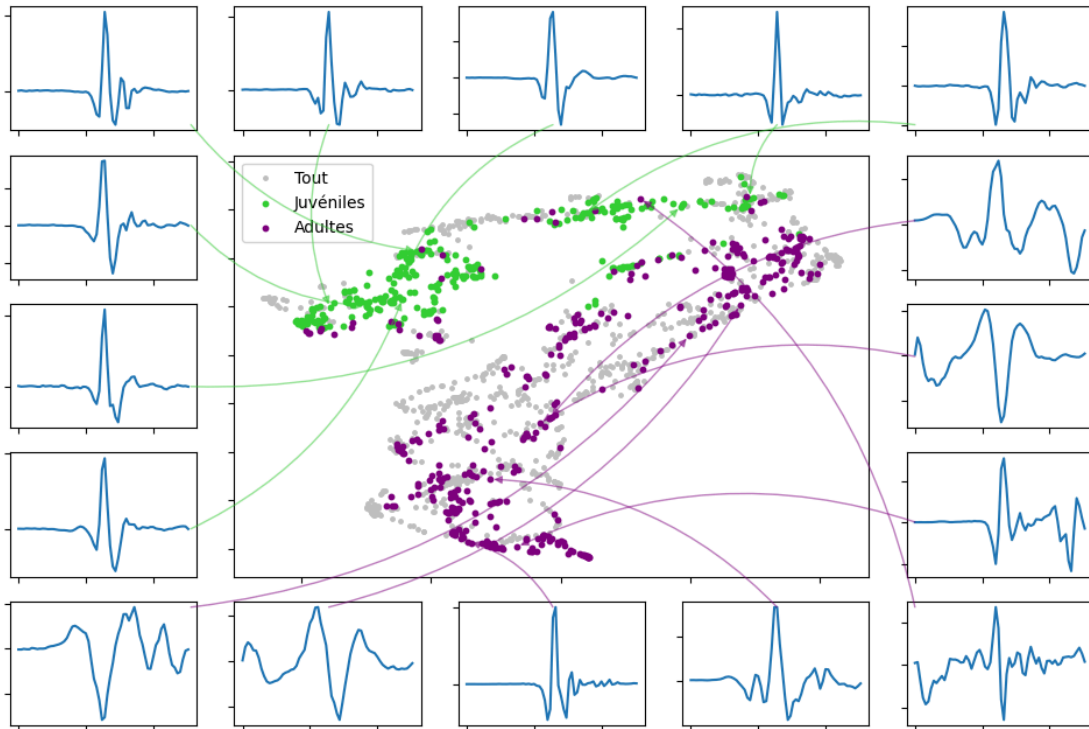


Fig. 3.2. (Au centre) $UMAP(aspectratio80(PWVD(win32(clics))))$. (Sur les contours) Représentation temporelle des clics pointés par les flèches. Réalisé sur les mêmes données que pour la figure 3.1.

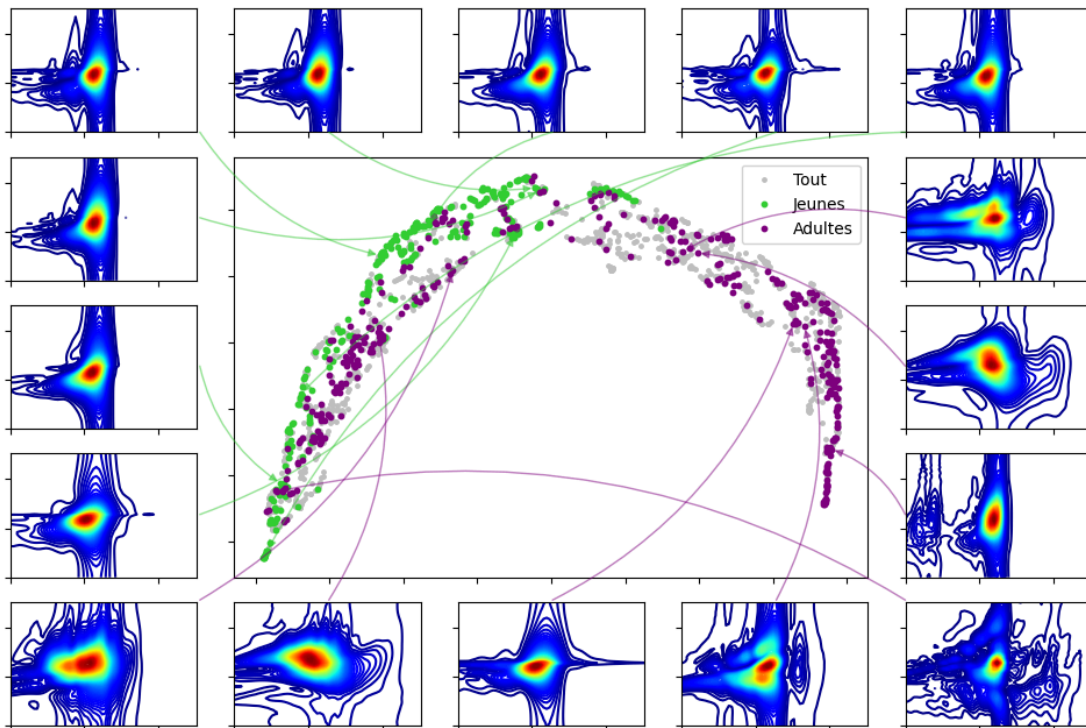


Fig. 3.3. (Au centre) $UMAP(FA(win32(clics)))$. (Sur les contours) Représentation temps fréquence après FA sur les clics pointés par les flèches. Réalisé sur les mêmes données que pour la figure 3.1.

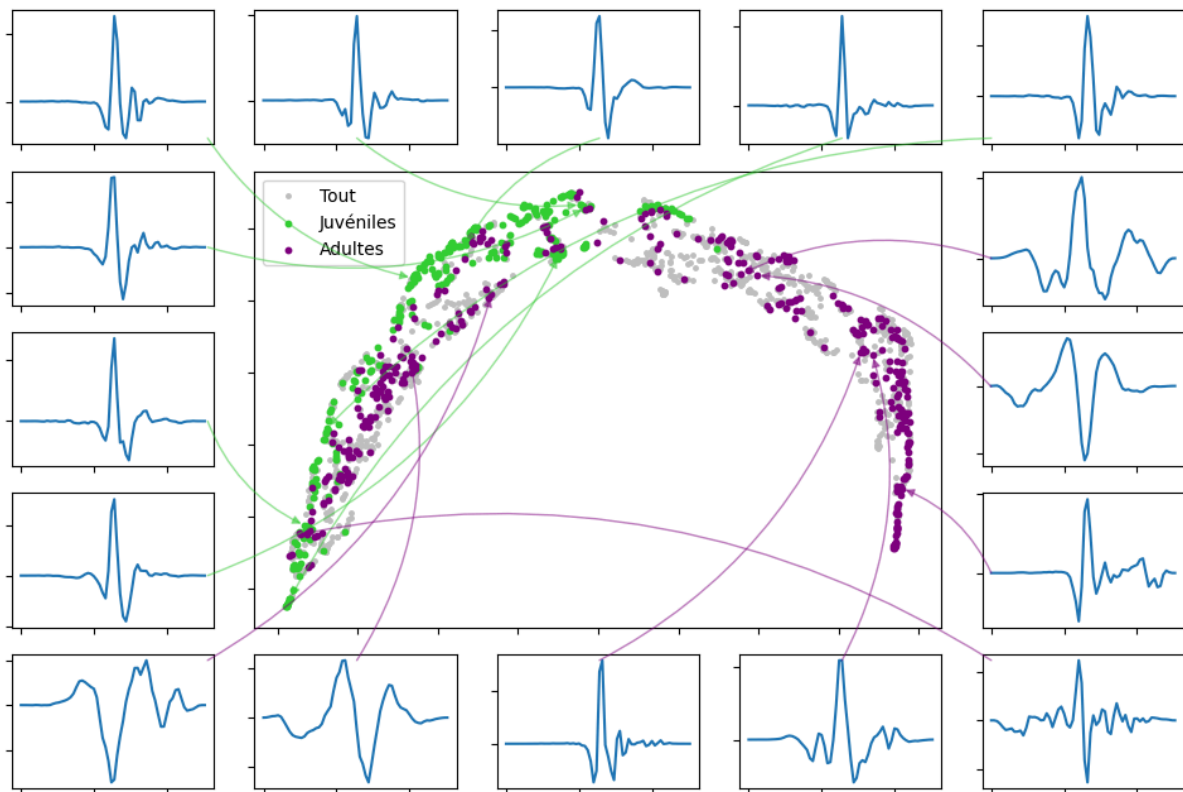


Fig. 3.4: (Au centre) UMAP($FA(win32(clics))$). (Sur les contours) Représentation temporelle des clics pointés par les flèches. Réalisé sur les mêmes données que pour la figure. 3.1.

Séparation des transitoires de globicéphales arrivant et partant

Il est aussi possible d'observer sur les figures 3.5 à 3.8 une séparation sur l'espace latent des signaux transitoires de globicéphale qui arrivent vers l'antenne et ceux qui s'éloignent de celle-ci. Les raisons de cette séparation peuvent être multiples, mais à ce jour, il est le plus probable que cela soit dû à une modification de la forme du signal et à son intensité due à la position de l'animal par rapport à l'hydrophone. En effet, lorsque le cétacé est face à l'antenne le signal reçu très directif est perçu dans sa forme originelle avec peu d'atténuations. En revanche, lorsque l'animal s'éloigne et que l'antenne n'est plus qu'à un angle de 90° de l'animal le signal reçu par les hydrophones est déformé et moins intense (Nachtigall et Moore 1988).

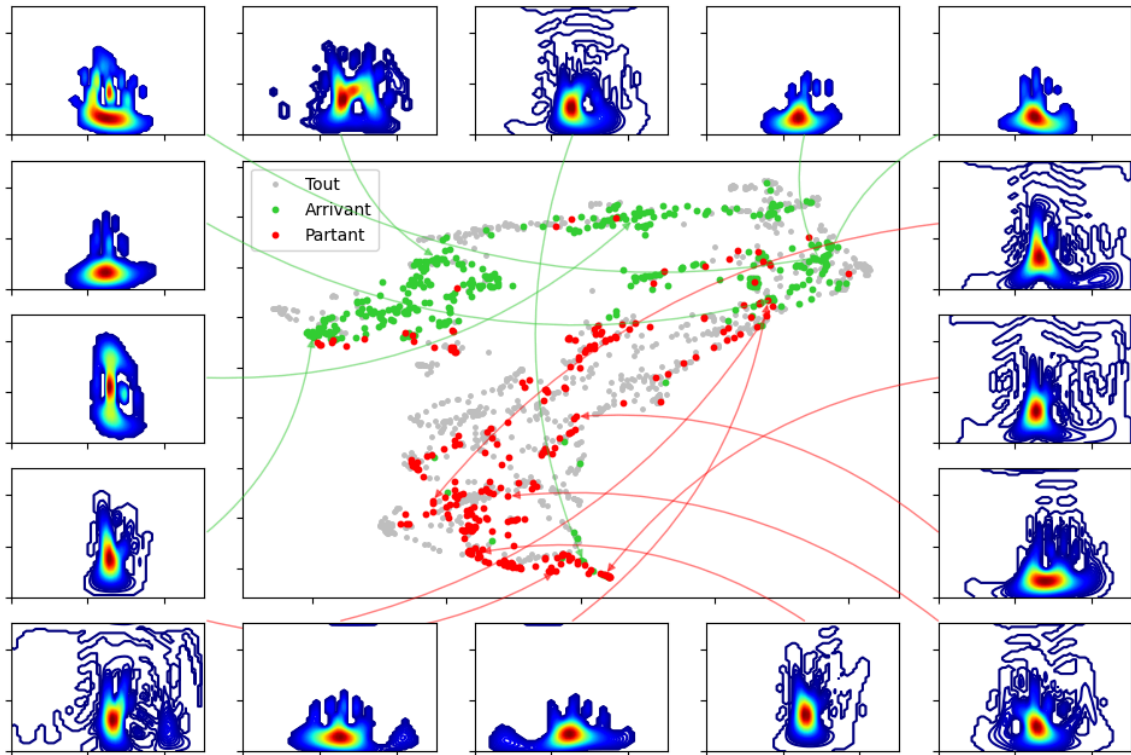
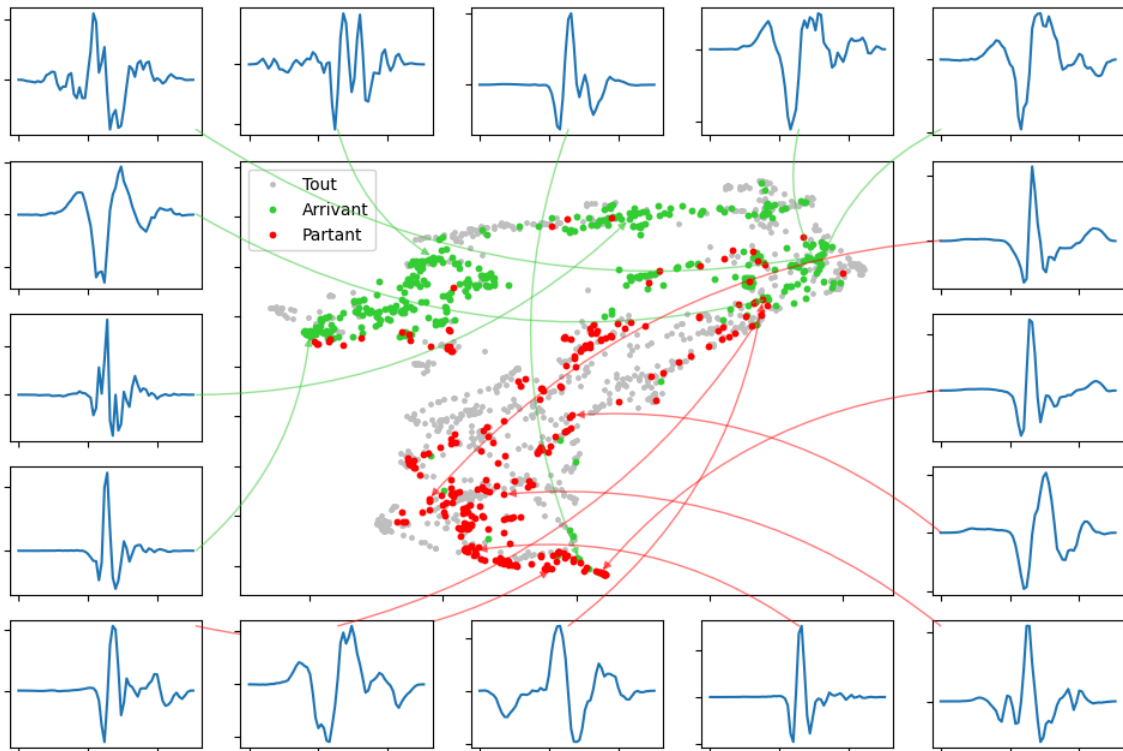
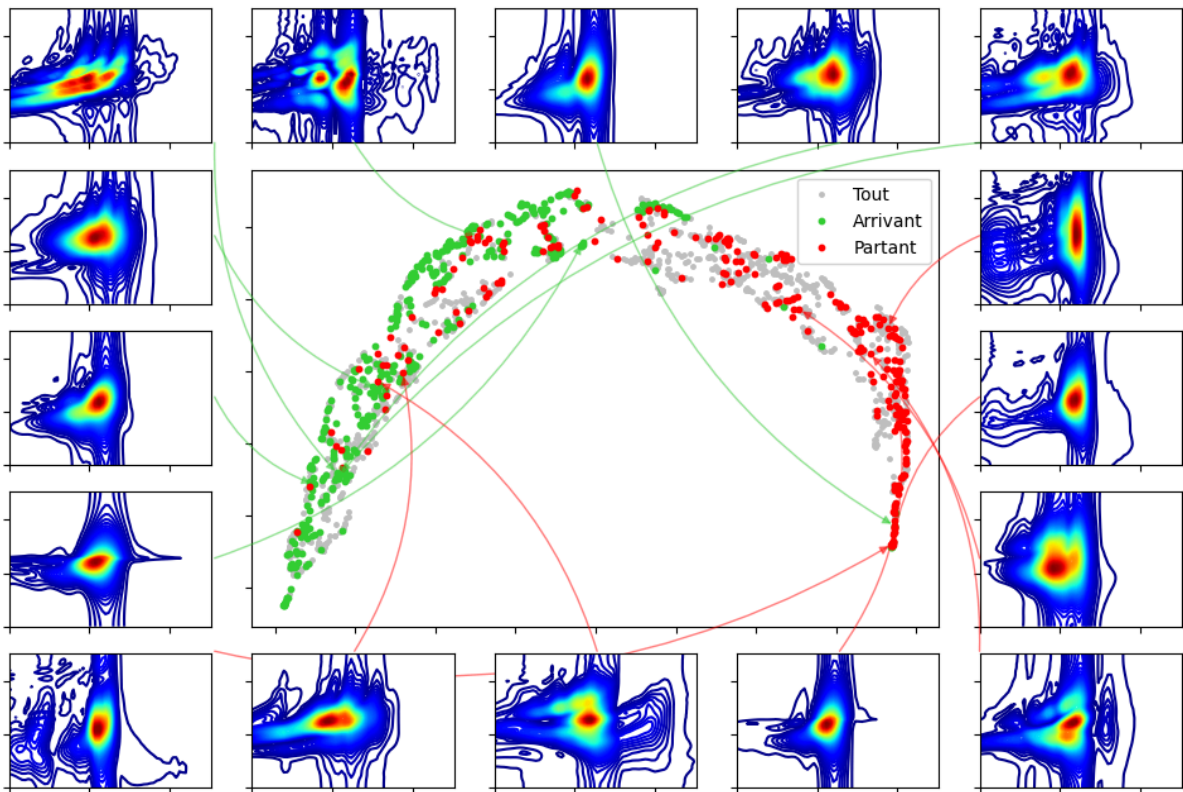


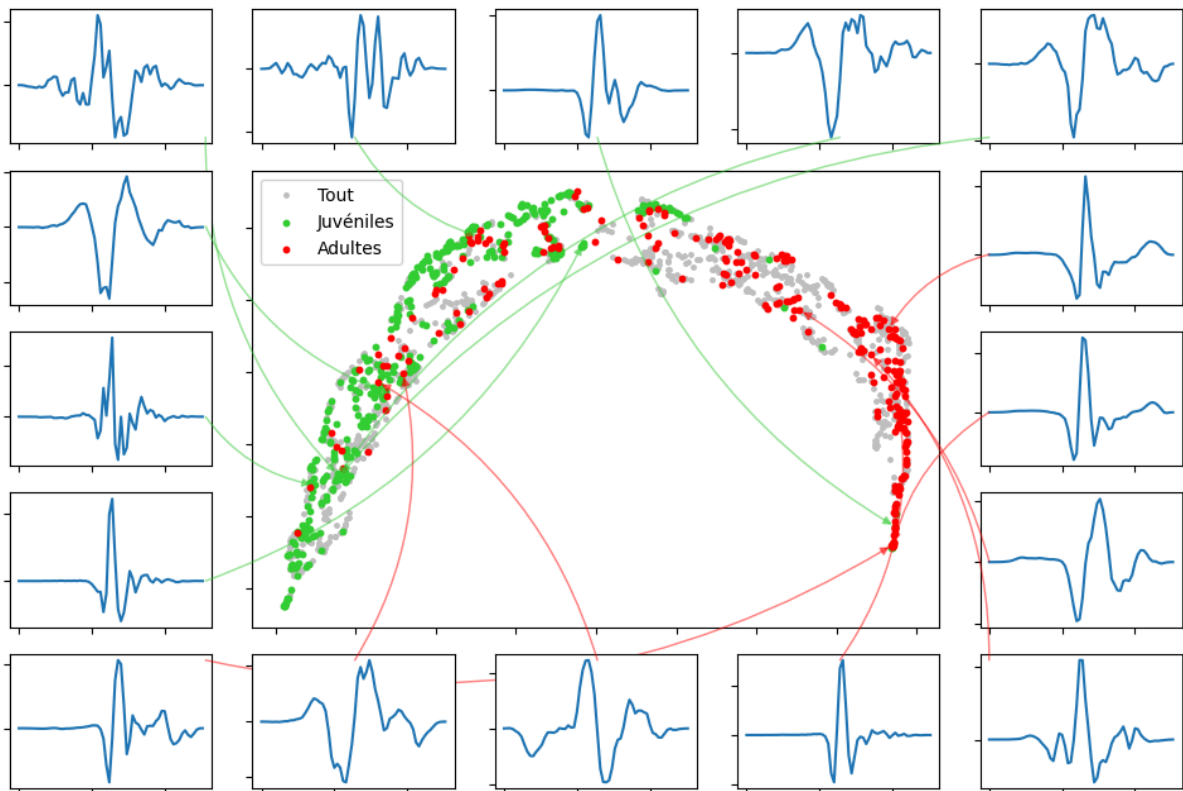
Fig. 3.5. (Au centre) $UMAP(aspectratio80(PWVD(win32(clics))))$. Chaque point représente un clic de globicéphale. (Sur les contours) Représentations temps-fréquence après PWVD sur les clics pointés par les flèches. Ce graphique représente le résultat de 4 minutes d'enregistrement acoustique.



3.6. (Au centre) $UMAP(aspectratio80(PWVD(win32(clics))))$. (Sur les contours) Représentation temporelle des clics pointés par les flèches. Réalisé sur les mêmes données que pour la figure 3.5.



3.7. (Au centre) UMAP($FA(win32(clics))$). (Sur les contours) Représentation temps fréquence après FA sur les clics pointés par les flèches. Réalisé sur les mêmes données que pour la figure 3.5.



3.8. (Au centre) UMAP($FA(win32(clics))$). (Sur les contours) Représentation temporelle des clics pointés par les flèches. Réalisé sur les mêmes données que pour la figure 3.5.

4. Conclusion

Les premiers résultats semblent aller dans le sens d'une possible différenciation des impulsions sonores (clics) émis par différents globicéphales en fonction de leurs sexes et/ou envergures.

Les clics de globicéphales peuvent aussi avoir une forme différente sur les représentations temps échelles en fonction de leurs angles d'enregistrement acoustique. Il est donc important de connaître celui - ci lorsque la distinction jeune-adulte se fait car cela pourrait être une source d'erreur à l'échelle du dixième de milliseconde.

Lorsque l'hypothèse de la différence de clics entre jeunes et adultes sera confirmée, cette méthode sera un outil efficace pour pouvoir réaliser un suivi des populations distinguant les juvéniles, les mâles et les femelles, enrichissant ainsi les connaissances sur ces cétacés, encore peu connues du grand public.

5. Remerciements

Nous remercions la DREAL pour son autorisation de notre permis scientifique.

Nous remercions Live together et ses partenaires pour avoir subventionné cette mission.

Nous remercions l'ED548 pour le financement de thèse de N.D.

6. Références

Allen, J. (1977). Short term spectral analysis, synthesis, and modification by discrete Fourier transform. *IEEE transactions on acoustics, speech, and signal processing*, 25(3), 235-238.

Bracewell, R. N. (1986). *The Fourier transform and its applications*, volume 31999. McGraw-Hill New York.

Claasen, T. (1980). The wigner distribution - a tool for time-frequency signal analysis. *Philips J. Res.*, 35:217–250.

Heisenberg, W. (1989). *Encounters with Einstein: And other essays on people, places, and particles* (Vol. 4). Princeton University Press.

Jiang, J., Wang, X., Duan, F., Liu, W., Bu, L., Li, F., Li, C., Sun, Z., Ma, S., and Deng, C. (2019). Study of the relationship between pilot whale (*Globicephala melas*) behaviour and the ambiguity function of its sounds. *Applied Acoustics*, 146:31–37.

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical transactions of the royal society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202.

McInnes, L., Healy, J., and Melville, J. (2018). UMAP: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction. arXiv preprint arXiv:1802.03426.

Nachtigall, Paul E & Moore, Patrick W. B & North Atlantic Treaty Organization. Scientific Affairs Division, NATO Advanced Study Institute on Animal Sonar Systems, (1986) & (1988). *Animal sonar : processes and performance*, New York : Plenum Press

Sandsten, M. (2016). Time-frequency analysis of time-varying signals and non-stationary processes. Lund University.

Ville, J. (1948). Théorie et application de la notion de signal analysis. Câbles et transmissions, 2(1):61–74

Wigner, E. (1932). On the quantum correction for thermodynamic equilibrium. Phys. Rev, 40:749.

Woodward P.M. (1980). Probability and Information Theory with Applications to Radar, Norwood, MA: Artech House,

7. Annexes

Suivent les images extraites du corpus, positions de début et fin des séquences traitées en UMAP pour suivi de leurs positions / déplacements.



Male, début



fin



Jeune, début



fin



femelle 1, début



fin



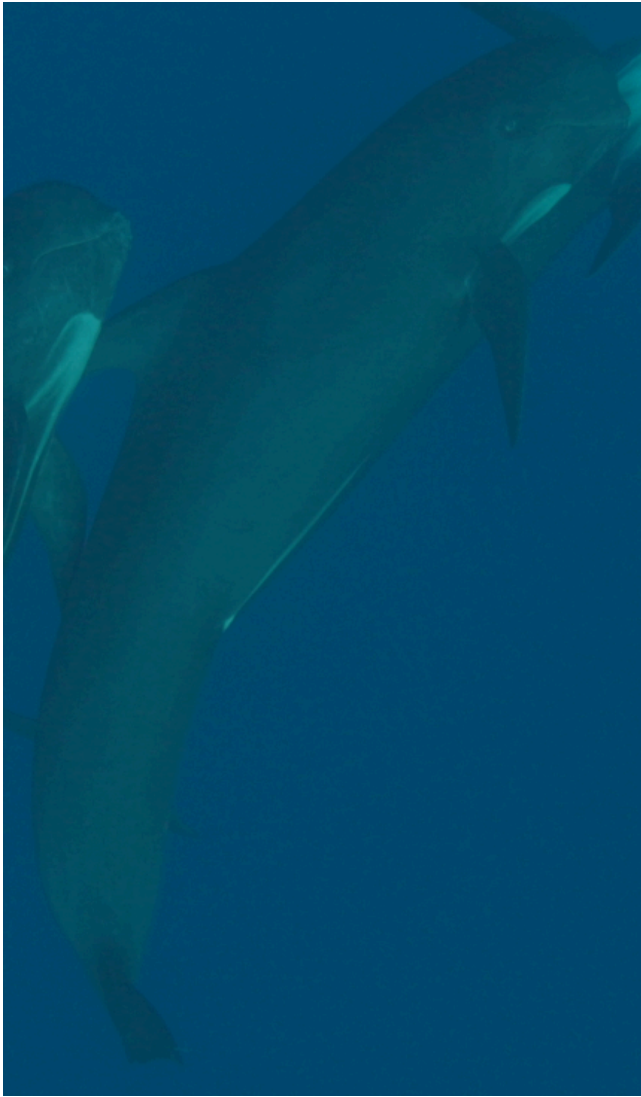
femelle 2, début



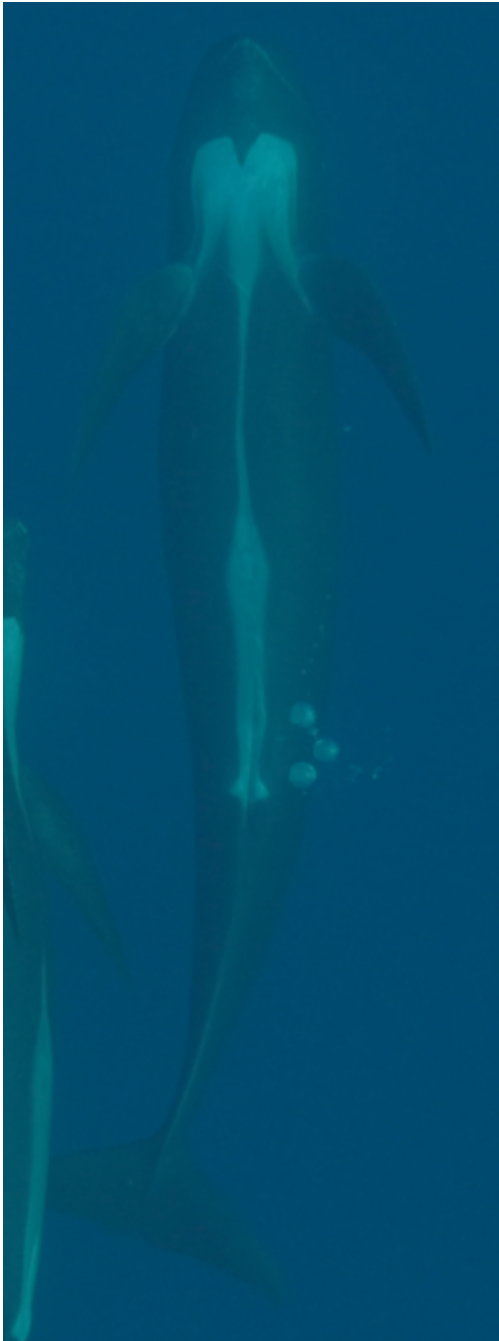
fin



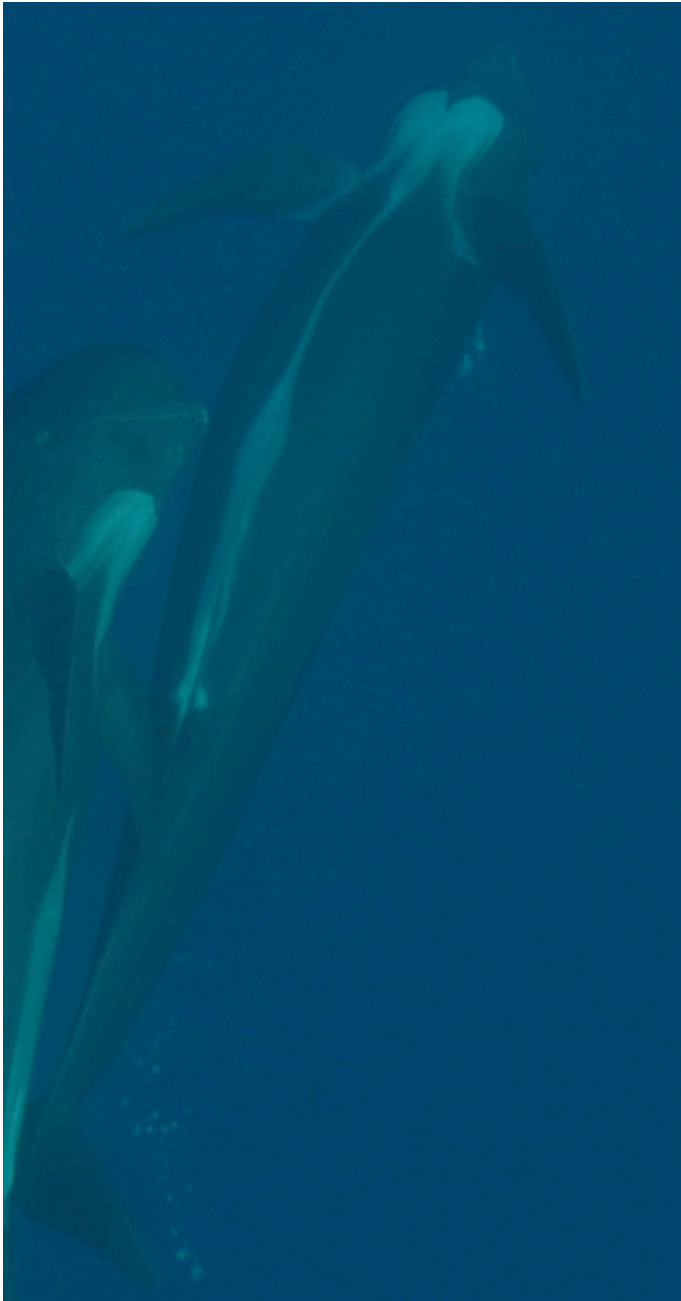
femelle 3 début



femelle 3, fin



femelle 4, fin



femelle 4 début



femelle 5, debut



femelle 5, fin