

Mémoire de 1ère année de Master Sciences de l'Univers, Environnement et Ecologie
(SDUEE)

Spécialité : Environnement Insulaire et Océanien (EIO)

Floriane BROUSTAL

10 juin 2015

Comment sexer les grands dauphins ?

Validation et variations de la condition d'application
d'une méthode de sexage pour les grands dauphins de la mer
de la Manche



Grands dauphins en mer de la Manche

Responsables de stage : GALLY François
SULTAN Emmanuelle

Structure d'accueil : Groupe d'Étude des Cétacés du Cotentin

Date du stage : 31 mars au 22 mai 2015



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux maîtres de stage : François GALLY, directeur du GECC, de m'avoir accueilli au sein de l'association et de m'avoir confié ce projet puis guidé dans sa réalisation ; Emmanuelle SULTAN, pour les conseils délivrés au cours de ce stage.

Je tiens également à remercier Louiselle de RIEMATTEN pour son aide dans la structuration des idées.

Enfin, je remercie toutes les personnes présentes au GECC pour leurs conseils et pour la bonne humeur apportée durant ces huit semaines.

Table des matières

1. Introduction.....	4
1.1. Présentation du Groupe d'Etude des cétacés du Cotentin (GECC).....	4
1.2. Présentation de l'espèce.....	5
1.2.1. Les classes d'âge.....	5
1.2.2. Le dimorphisme sexuel.....	6
1.2.3. La structure sociale.....	6
1.3. La population de la mer de la Manche.....	7
1.3.1. La zone d'étude.....	7
1.3.2. Caractéristiques de la population de la mer de la Manche.....	8
1.4. Les différentes méthodes de sexage des grands dauphins.....	8
2. Matériel et méthodes.....	10
2.1. Données utilisées.....	10
2.2. La méthode de sexage développé par le GECC.....	10
2.2.1. Les indicateurs.....	10
2.2.2. La combinaison des indicateurs.....	13
2.2.3. Les matrices de confusions.....	13
2.2.4. Les résultats.....	15
2.3. Validation et variations de la méthode du GECC.....	15
2.3.1. Validation de la méthode.....	15
2.3.2. Variations de la condition d'application.....	16
2.4. Logiciel utilisé.....	17
3. Résultats.....	17
3.1. Validation.....	17
3.2. Variations des paramètres.....	20
4. Discussion.....	24
Bibliographie.....	28
Annexe I.....	31
Annexe II.....	32

Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Carte de la zone d'étude prospectée par le GECC entre 2004 et 2014. Le cadre délimite le golfe normand-breton.....	8
Figure 2 : Distribution de l'indice du niveau de marquage des mâles et des femelles de la liste de référence.....	12
Figure 3 : Distribution du pourcentage d'association partielle des mâles et des femelles de la liste de référence respectant les conditions d'application.....	13
Figure 4 : Distribution de l'indice du niveau de marquage entre les mâles et les femelles selon la nouvelle échelle.....	18
Figure 5 : Nouvelle distribution du pourcentage d'association partielle en fonction du sexe des individus de la liste de référence.....	19
Figure 6 : Comparaison des taux de succès corrigés obtenus par année selon la condition d'application choisie.....	21
Figure 7 : Évolution des moyennes des taux de succès corrigés en fonction des conditions minimum fixés pour le nombre de jours (numéro des classes en abscisse) et le nombre de photographies et du nombre d'années choisies.....	22
Figure 8 : Écarts types des moyennes des taux de succès corrigés en fonction des conditions minimum fixés pour le nombre de jours (numéro des classes en abscisse) et de photographie et du nombre d'années choisies.....	23
Figure 9 : Par année : Taux de vraies femelles, Taux de vrais mâles et taux de succès corrigé obtenus par la méthode avec les paramètres au minimum, c'est-à-dire 1 jour et 1 photos minimum par individu.....	32
Figure 10 : Par année : Taux de vraies femelles, Taux de vrais mâles et taux de succès corrigé obtenus par la méthode avec les paramètres à 3 jours et 15 photographies minimum par individu.....	32
Tableau 1 : Caractéristiques des quatre niveaux d'encoches et de griffures dans la méthode de sexage développé par le GECC.....	11
Tableau 2 : Principe des matrices de confusion.....	14
Tableau 3 : Résultats obtenus en 2013 par la méthode de sexage du GECC.....	15
Tableau 4 : Description des caractéristiques des nouveaux niveaux d'encoches et de griffures.....	18
Tableau 5 : Résumé des résultats de la méthode de sexage en respectant les conditions minimum de 2 années, 3 jours et 15 photographies en groupe.....	20
Tableau 6 : Récapitulatif des résultats de la méthode de sexage en respectant les paramètres minimum de 2 années, 2 jours et 10 photographies en groupe.....	24
Tableau 7 : Description du nombre de photos nécessaire à chaque niveau des classes du nombre de photos prises en groupe.....	31
Tableau 8 : Description du nombre de jours de présence nécessaire à chaque niveau des classes du nombre de jours où l'individu est vu.....	31

1. Introduction

Le sexe des animaux est une donnée incontournable lorsqu'on étudie une population de mammifères marins. Il permet d'accéder à de nombreux paramètres, tels que le taux de fécondité ou le taux de survie, et aide à l'analyse de la structure sociale de la population.

En 2014, le Groupe d'Étude des Cétacés du Cotentin (GECC) a mis en place, avec l'aide de Pascal Monestiez (INRA), une méthode non invasive de sexage des grands dauphins de la mer de la Manche basée sur l'analyse de photographies d'ailerons.

Cette méthode, au regard de celles déjà existantes (Rowe & Dawson, 2009), présente un taux de succès de 100%, taux particulièrement élevé pour une méthode non invasive. Un tel succès étonne et paraît même suspect.

Dans ce contexte, le travail de M1 présenté ici a pour objectif de reprendre la méthode élaborée par le GECC à partir des données brutes pour la corriger, l'améliorer et expliquer ainsi ce taux de succès particulièrement important.

Par ailleurs, la méthode de sexage du GECC se base sur une condition d'application restrictive et fixée de manière arbitraire. C'est pourquoi, ce travail se propose, dans un second temps, de faire varier les différents paramètres de cette condition, afin d'observer les répercussions sur le taux de réussite. Cette procédure a pour but d'élargir la condition d'application de cette méthode pour permettre éventuellement de sexer plus d'animaux.

1.1. Présentation du Groupe d'Etude des cétacés du Cotentin (GECC)

Le GECC est une association créée en 1997 qui a pour vocation l'étude et la préservation des mammifères marins en mer de la Manche. L'association s'est spécialisée dans le suivi et l'étude de la population des grands dauphins. Elle effectue des sorties en mer fréquentes et régulières pour aider à identifier ces animaux et réalise, en parallèle, des comptes rendus annuels qui décrivent la population. Le GECC initie également des travaux de recherches (Thèse, M1, M2) sur différents thèmes, tels que la démographie, la structure sociale, ou les contaminants qui ont pour but de faire avancer la connaissance scientifique sur les grands dauphins. C'est dans ce contexte que l'association a mis en place une méthode non invasive de sexage.

Enfin, le GECC, par son action pédagogique, contribue à sensibiliser le grand public à la protection des cétacés.

1.2. Présentation de l'espèce

Les grands dauphins de l'espèce *Tursiops truncatus* sont des mammifères marins. Ils appartiennent à l'ordre des cétacés, au sous-ordre des odontocètes et à la famille des delphinidés. C'est une espèce cosmopolite, présente dans la majorité des mers et océans qu'ils soient tempérés ou tropicaux (Urian *et al.*, 1996). À la naissance, ces animaux mesurent de 0,84 m à 1,40 m pour un poids allant de 14 à 20 kg. Les mâles adultes mesurent entre 2,44 m à 3,81 m et peuvent peser jusqu'à 500 kg. Les femelles adultes, plus petites, mesurent entre 2,28 m et 3,66 m pour un poids avoisinant les 250 kg, avec des variations importantes selon les régions (Reynolds, III, *et al.*, 2000 ; Reeves, *et al.*, 2002 ; Reynolds, III & Wells, 2003 ; Jefferson, *et al.*, 2008).

Le grand dauphin est une espèce longévive pouvant vivre jusqu'à 50 ans. Les femelles atteignent leur maturité sexuelle entre 9 et 11 ans, soit deux à trois ans plus tôt que les mâles (Cockcroft & Ross, 1989). La gestation est de 12 mois (Urian *et al.*, 1996), la lactation dure, quant à elle, 18 mois en moyenne (Cockcroft & Ross, 1989).

1.2.1. Les classes d'âge

Quatre classes d'âge sont généralement admises chez le grand dauphin : les nouveau-nés, les juvéniles, les sub-adultes et les adultes (Mann & Smuts, 1999). Chaque classe se rapporte à une période particulière de la vie de l'individu avec des caractéristiques physiques et comportementales.

La classe d'âge des nouveau-nés décrit un individu de sa naissance à ses 10 semaines (McBride & Kritzler, 1951 ; Mann & Smuts, 1999). Les nouveau-nés sont reconnaissables à leur corps pâle marqué par des plis et des lignes fœtales (Mann & Smuts, 1999). Les plis sont présents durant une semaine environ, alors que les lignes sont toujours visibles 10 semaines après la naissance. Les ailerons des nouveau-nés n'ont ni encoches, ni griffures et ils sont très souples. La proximité des nouveau-nés avec leur mère est très forte et les contacts corporels sont nombreux (Mann & Smuts, 1999). Lors de la respiration, les nouveau-nés ont tendance à se projeter hors de l'eau (Mann & Smuts, 1999). Les jeux et les comportements sociaux sont importants durant cette période.

Les individus sont considérés comme juvénile jusqu'à leur 4 ans. Ils vivent associés à leur mère ou aux autres jeunes du groupe (Stanton *et al.*, 2011). Leur couleur de peau est plus pâle que celle des sub-adultes et adultes (Wilson *et al.*, 1999) et leur taille plus petite que celle des adultes (Wilson *et al.*, 1999). Leur comportement se rapproche de celui des nouveau-nés avec beaucoup de jeux et d'activités sociales (Rochelle, 2001 ; Gibson & Mann, 2008b).

Les individus sub-adultes ont entre 4 et 14 ans. Ils sont séparés de leur mère (Stanton *et al.*, 2011) mais restent sexuellement immatures (Gibson & Mann, 2008a). Les sub-adultes ont la peau plus claire que les adultes (Wilson *et al.*, 1999). Leur taille est inférieure ou égale à celle des adultes mais leur corps est moins robuste (Wilson *et al.*, 1999). L'aileron dorsal n'est pas encore marqué ou l'est moins que celui des adultes (Felix, 1997). Les sub-adultes s'associent préférentiellement avec d'autres individus de cette classe d'âge (Felix, 1997).

Les grands dauphins adultes sont sexuellement matures. Leur espérance de vie est comprise entre 40 et 50 ans (Wells & Scott, 1990). Leur peau est de couleur gris foncé (Wilson *et al.*, 1999). L'aileron dorsal des mâles est généralement très marqué par des griffures et des encoches, tandis que celui des femelles l'est beaucoup moins (Felix, 1997).

1.2.2. Le dimorphisme sexuel

Certaines espèces de cétacés montrent un dimorphisme sexuel évident et la détermination du sexe est alors possible visuellement. C'est le cas, par exemple, des orques, *Orcinus orca* (Olesiuk *et al.*, 1990), des baleines à bec commune, *Hyperoodon ampullatus* (Gowans *et al.*, 2000), du dauphin à long bec, *Stenella longirostris orientalis* (Perrin, 1975 ; Perrin *et al.*, 1991), ou encore du globicéphale, *Globicephala melas* (Olson & Reilley, 2002).

Chez les grands dauphins, le dimorphisme sexuel est nettement moins apparent. Certes, les mâles adultes sont plus grands et plus robustes que les femelles pour un poids pouvant être fortement supérieur (Siciliano *et al.*, 2007). Leur aileron dorsal paraît plus large que celui des femelles (Tolley *et al.*, 1995), les contours de ce dernier sont plus entaillés et les griffures, plus nombreuses, couvrent plus de 10% de sa surface (Rowe & Dawson, 2009). En revanche les auteurs s'accordent à dire que les lésions cutanées sont plus nombreuses sur les ailerons des femelles (Rowe & Dawson, 2009 ; Wilson *et al.*, 1997). Enfin, l'analyse de la zone génitale montre, chez les mâles, un écart significativement plus grand entre les fentes uro-génitale et anale (Tolley *et al.*, 1995 ; Diaz Lopez & Shirai, 2008).

Au final, même s'il existe un dimorphisme sexuel chez les grands dauphins, force est de constater que ce dernier est faible et donc difficile, voire impossible, à observer sur le terrain ou sur les photographies.

1.2.3. La structure sociale

Les grands dauphins côtiers constituent une société de fission-fusion. Cela signifie que ces animaux présentent le plus souvent une structure sociale fluide et dynamique, avec la formation de petits groupes dont la taille et la composition varient sur une base horaire ou

journalière. Les associations se forment, se modifient et se reforment dans un laps de temps court (Connor *et al.*, 2000).

Les groupes de grands dauphins sont majoritairement composés d'individus de sexe similaire et comportent, le plus souvent, entre deux et quinze individus (Wells *et al.*, 1987 ;Gibson & Mann, 2008b ; Shane *et al.*, 1986). Il a été constaté que les femelles avec un nouveau-né se trouvent dans des groupes de plus grande taille que lorsque le jeune est plus âgé (Mann *et al.*, 2000). Les mâles adultes ne s'associent pas à ces groupes composés de mères avec leur jeune non sevré car les femelles n'y sont pas fertiles (Gibson & Mann, 2008b), mais forment des groupes de seulement deux ou trois individus pour coopérer et augmenter leur chance de se reproduire (Mann *et al.*, 2000).

Durant la phase de séparation mères-jeunes, les jeunes mâles passent de plus en plus de temps en socialisation avec d'autres individus, tandis que les jeunes femelles sont généralement plus solitaires et occupent ces moments à développer leurs techniques de chasse (Gibson & Mann, 2008b). Chez les sub-adultes, les groupes sont mixtes mais composés uniquement d'individus de cette classe d'âge. Enfin, dans les populations de petite taille, les individus peuvent vivre tous ensemble sans égard pour le sexe ou la classe d'âge (Lusseau *et al.*, 2003).

1.3. La population de la mer de la Manche

Le GECC observe depuis des années les grands dauphins en mer de la Manche. Leur aire de répartition, particulièrement vaste, n'est à ce jour pas totalement délimitée. La zone présentée ici correspond donc à la *zone d'étude* des grands dauphins où se déroulent les prospections en mer du GECC.

1.3.1. La zone d'étude

Ce sont les observations régulières de grands dauphins dans ce secteur qui ont permis de délimiter la zone d'étude. Cette dernière couvre une surface d'environ 7000 km² et s'étend de Courselles-sur-mer, en baie de Seine, au cap Fréhel. Elle comprend une partie des îles anglo-normandes : Aurigny, Jersey, les archipels des Ecréhou et des Minquiers (Figure 1).

En outre, le golfe normand-breton, qui s'étend de Bréhat à la pointe nord-ouest du Cotentin et englobe les îles anglo-normandes (figure 1), connaît une forte pression anthropique sur son littoral, due à la pêche, à la conchyliculture mais également aux projets énergétiques, tels que le barrage de la Rance et de la centrale de Flamanville. De plus, en ce début du XXIe siècle l'attrait que représentent les Energies Marines Renouvelables (EMR) a conduit à initier des projets d'installation d'éoliennes en baie de Saint-Brieuc et en Baie de Seine. Un projet de

fermes hydroliennes est actuellement à l'étude dans le Raz Blanchard.

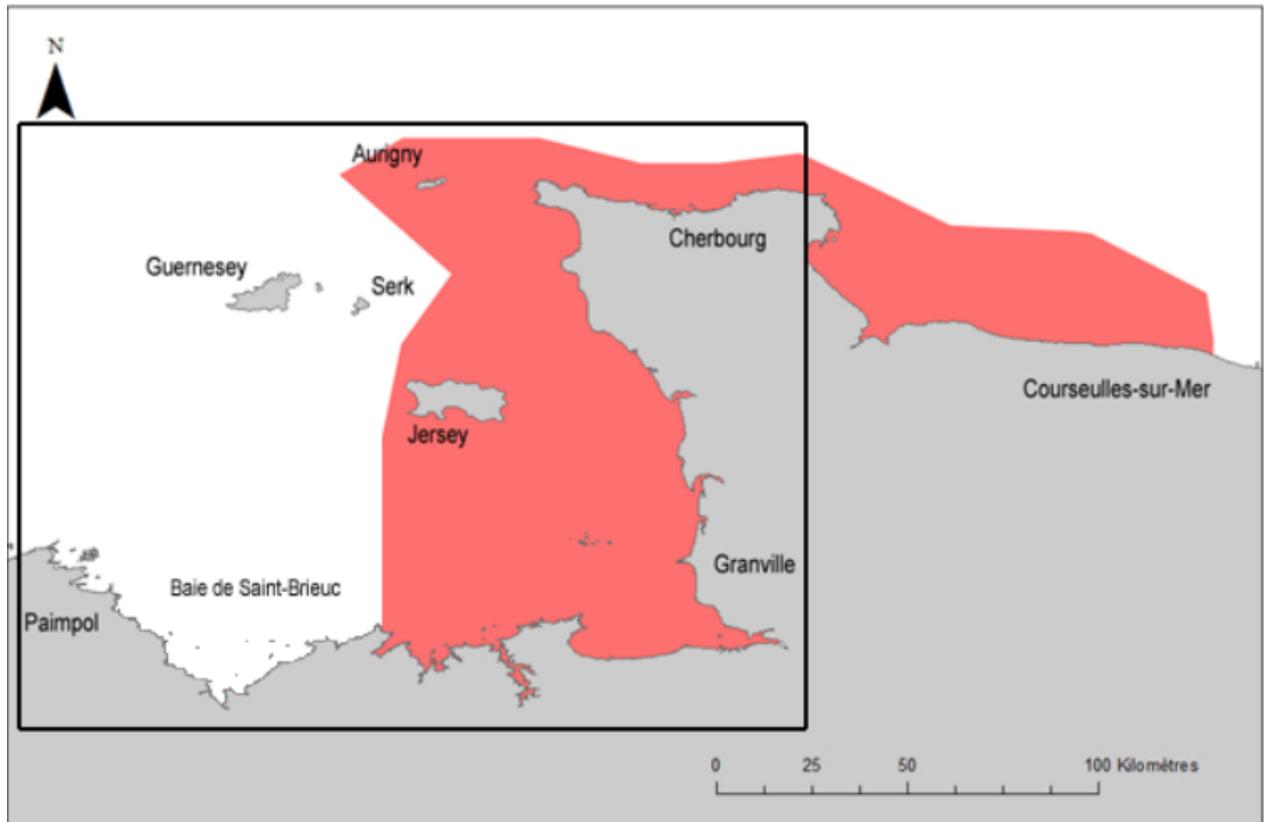


Figure 1: Carte de la zone d'étude prospectée par le GECC entre 2004 et 2014. Le cadre délimite le golfe normand-breton.

Dans ce contexte, il apparaît, en mer de la Manche, que les grands dauphins et les hommes doivent apprendre à cohabiter.

1.3.2. Caractéristiques de la population de la mer de la Manche

Les grands dauphins de la mer de la Manche sont côtiers, c'est-à-dire qu'ils vivent entre le rivage et l'isobathe des 20 mètres, ils sont aussi sédentaires. Entre 2009 et 2013, la taille de la population a été estimée entre 314 (IC 95% : 292-355) et 384 (IC 95% : 348-451) animaux, ce qui en fait l'une des plus grandes populations de grands dauphins sédentaire étudiée d'Europe. Ces individus forment majoritairement des groupes mixtes de petite taille, de 2 à 10 individus, mais il arrive aussi de rencontrer des groupes de très grande taille pouvant aller jusqu'à une centaine d'individus.

1.4. Les différentes méthodes de sexage des grands dauphins

Quatre méthodes sont habituellement utilisées pour déterminer le sexe des cétacés : l'inspection des parties génitales, le sexage moléculaire, l'association mère-jeune et l'observation d'un éventuel dimorphisme sexuel.

L'inspection des parties génitales peut se faire soit par observation visuelle en surface, soit par vidéo sous-marine (Mann *et al.*, 2000). Dans les faits, cette méthode se révèle, difficile et aléatoire. Elle requiert un effort important sur le long terme pour recueillir suffisamment d'observations (Rowe & Dawson, 2009).

Quant au sexage moléculaire, il s'effectue à partir de biopsies, c'est-à-dire de prélèvements de peau et de lard sur le dos du dauphin (Krutzen *et al.*, 2002). Une autre technique consiste à prélever de la peau par grattage. Cette procédure, plus superficielle, s'avère moins intrusive que les biopsies mais nécessite tout de même un contact avec l'animal (Harlin *et al.*, 1999). En raison du dérangement qu'elles impliquent, ces méthodes ne sont pas sans conséquence sur les animaux et, pour des questions de coût et de temps, l'échantillonnage de toute une population reste difficile à mettre en œuvre.

L'association mère-jeune permet de repérer les femelles lorsqu'elles sont associées avec un jeune (Mann *et al.*, 2000). Cette méthode, simple et efficace, n'identifie toutefois que les femelles.

Enfin l'observation du dimorphisme sexuel, n'est, comme nous l'avons dit plus haut (1.3.2), pas une méthode toujours satisfaisante pour les grands dauphins. Néanmoins, l'aileron reste la partie du corps du grand dauphin qui présente un dimorphisme évident à l'œil nu. C'est pourquoi, l'étude des différentes marques sur l'aileron peut-être utile pour distinguer les mâles des femelles. Ces marques consistent en des encoches sur les contours de l'aileron (Tolley *et al.*, 1995), des griffures (Scott *et al.*, 2005), ou bien des lésions épidermiques (Wilson *et al.*, 1997). La taille et la surface de l'aileron sont aussi des paramètres mesurables, mais ils nécessitent d'équiper les appareils de prise de vue de lasers (Iwata & Ukai, 2002). En utilisant la taille de l'aileron, sa surface et ses marques, Rowe & Dawson, 2009 ont obtenus de bons résultats, puisqu'ils ont été capables de sexer correctement 93% de la population de Doubtful Sound en Nouvelle-Zélande. Cette méthode basée sur les marques des ailerons ne peut toutefois pas s'appliquer à toutes les populations. Ainsi, à Sarasota, en Floride, les niveaux de marquage étaient trop variables pour permettre de déterminer le sexe des individus (Tolley *et al.*, 1995). Cela prouve que le marquage de l'aileron reste une donnée à prendre avec précaution.

En résumé, les méthodes de sexage utilisant l'analyse moléculaire, l'observation visuelle et l'association mère-jeune sont fiables et s'adaptent à toutes les populations de grands dauphins. En revanche, l'utilisation des marques de l'aileron pour différencier les sexes

nécessite d'adapter la méthode à la population étudiée, car cette dernière ne peut être transposable d'une population à l'autre (Rowe & Dawson, 2009).

2. Matériel et méthodes

De septembre 2010 à août 2012, le GECC a réalisé des biopsies sur un échantillon de la population de grands dauphins de la mer de la Manche, qui ont permis le sexage moléculaire de 77 individus. Pour des questions de temps et de coût en analyses et matériel mais également à cause du dérangement qu'elle occasionne pour les animaux, cette démarche n'a pas été appliquée à l'ensemble de la population. C'est pourquoi, le GECC a décidé en 2013 de développer une méthode de sexage non invasive, simple et peu coûteuse à mettre en place, qui puisse être pratiquée au fur et à mesure de l'analyse des données.

2.1. Données utilisées

Les données sur lesquelles reposent la méthode de sexage mise en place par le GECC consistent en un échantillon de 77 grands dauphins de la population de la mer de la Manche qui ont été biopsiés et sexés selon le protocole de Rosel (2003).

Pour ces 77 grands dauphins, le GECC a récolté entre 2004 et 2014 et au cours de 289 sorties en mer, 15 741 photographies. Pour chaque année et pour chaque individu les informations suivantes ont été notés : le nombre de jours où il a été vu, le nombre de photos où il apparaît en groupe, le nombre de photos où il apparaît avec un jeune, s'il est associé avec un nouveau-né ainsi que les niveaux de griffures et d'encoques.

Les 77 grands dauphins de l'échantillon, se décomposent en 16 femelles et 61 mâles, dont 62 adultes et 15 sub-adultes. Ces individus constituent la liste de référence grâce à laquelle il est possible d'évaluer la réussite de la méthode de sexage. Le sexe identifié par cette méthode sera noté "sexe vrai" dans la suite de l'étude.

2.2. La méthode de sexage développé par le GECC

À partir des caractéristiques de la population et des données disponibles, le GECC a établi trois indicateurs pour sexer les grands dauphins de la mer de la Manche qui sont : l'association réelle avec un nouveau-né, l'indice du niveau de marquage et le pourcentage d'association partielle.

2.2.1. Les indicateurs

Un indicateur est une caractéristique observée dans la population qui est liée au sexe de l'animal et déterminée par l'aspect physique ou le comportement. L'indicateur permet d'observer, au moyen de boîte à moustache, comment se distribue la population.

- **Association réelle avec un nouveau-né ou un juvénile**

Ce premier indicateur se base sur la proximité qui existe entre une mère et son nouveau-né ou un juvénile. Il ne permet donc de sexer que les femelles. Pour être considérés comme associés, deux individus doivent se toucher ou être distant de moins d'une demi-longueur et nager dans la même direction. Si un individu adulte est associé au moins à deux reprises (sur deux photos ne se suivant pas) à un nouveau-né ou à un juvénile, il sera alors identifié comme étant une femelle.

- **Indice du niveau de marquage**

Ce second indicateur permet de caractériser les niveaux d'encoches et de griffures sur les ailerons. Pour ces deux niveaux (encoches et griffures), quatre niveaux ont été définis selon l'importance des marques (Tableau 1). Chaque aileron a reçu une note pour chacun des critères et leur moyenne constitue l'indice du niveau de marquage. Cet indicateur n'a pas de condition d'application, il permet donc de sexer tous les individus.

Tableau 1: Caractéristiques des quatre niveaux d'encoches et de griffures dans la méthode de sexage développé par le GECC.

	Niveau d'encoches	Niveau de griffures
1	Une ou deux encoches.	Moins de deux griffures.
2	Quelques encoches bien visibles.	Quelques griffures bien visibles.
3	Beaucoup d'encoches mais pas sur toute la longueur de l'aileron.	Beaucoup de griffures mais l'aileron n'a pas encore perdu sa pigmentation pour devenir blanc.
4	Beaucoup d'encoches sur l'ensemble de l'aileron.	Beaucoup de griffures, le haut de l'aileron a perdu sa pigmentation. Il est devenu blanc.

La boîte à moustache en figure 2 montre la distribution de l'indice de marquage entre les 61 mâles et les 16 femelles de la liste de référence. La médiane pour les mâles est de 3,

tandis que pour les femelles elle est de 1.5. Le graphique montre que 75% des mâles ont un indice de niveau de marquage supérieur à 2 alors que pour 75% des femelles, cet indice est inférieur à 2. Cette valeur a donc été choisie pour différencier les mâles des femelles.

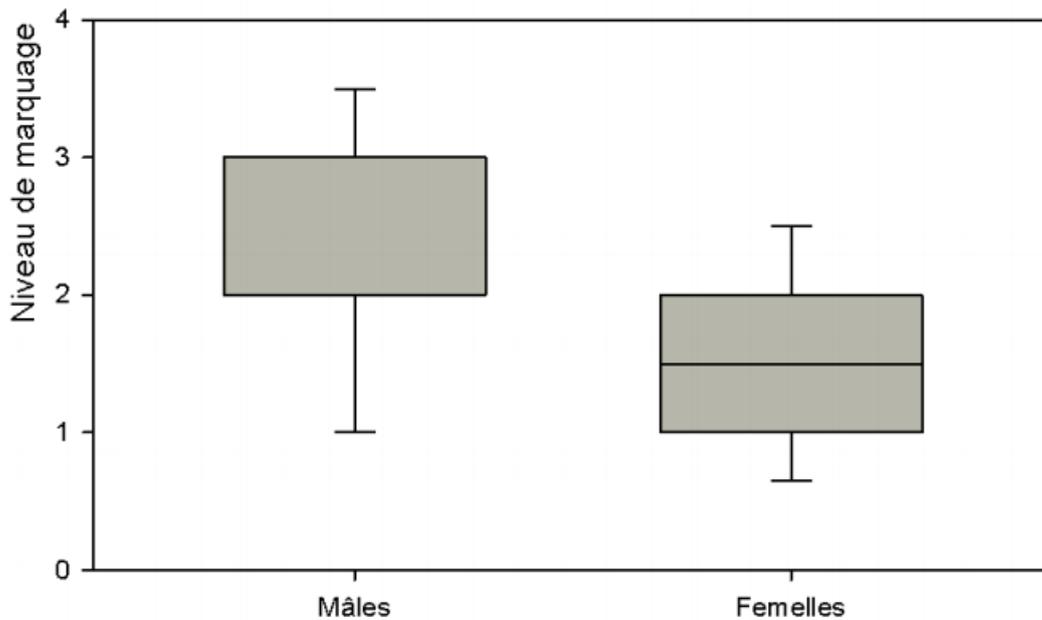


Figure 2 : Distribution de l'indice du niveau de marquage des mâles et des femelles de la liste de référence.

- **Pourcentage d'association partielle**

Ce pourcentage s'obtient en calculant le rapport du nombre de photos où l'individu apparaît avec un nouveau-né ou un juvénile sur le nombre de photos où il apparaît accompagné d'au minimum un autre dauphin. Afin d'augmenter l'exactitude des résultats, il a été décidé d'imposer de manière arbitraire les trois conditions suivantes :

1. l'individu que l'on cherche à sexer doit être identifié sur un minimum de deux années différentes ;
2. ce même individu doit être identifié lors de trois sorties différentes ;
3. le nombre de photographies sur lesquelles apparaît l'individu doit être supérieur à 15.

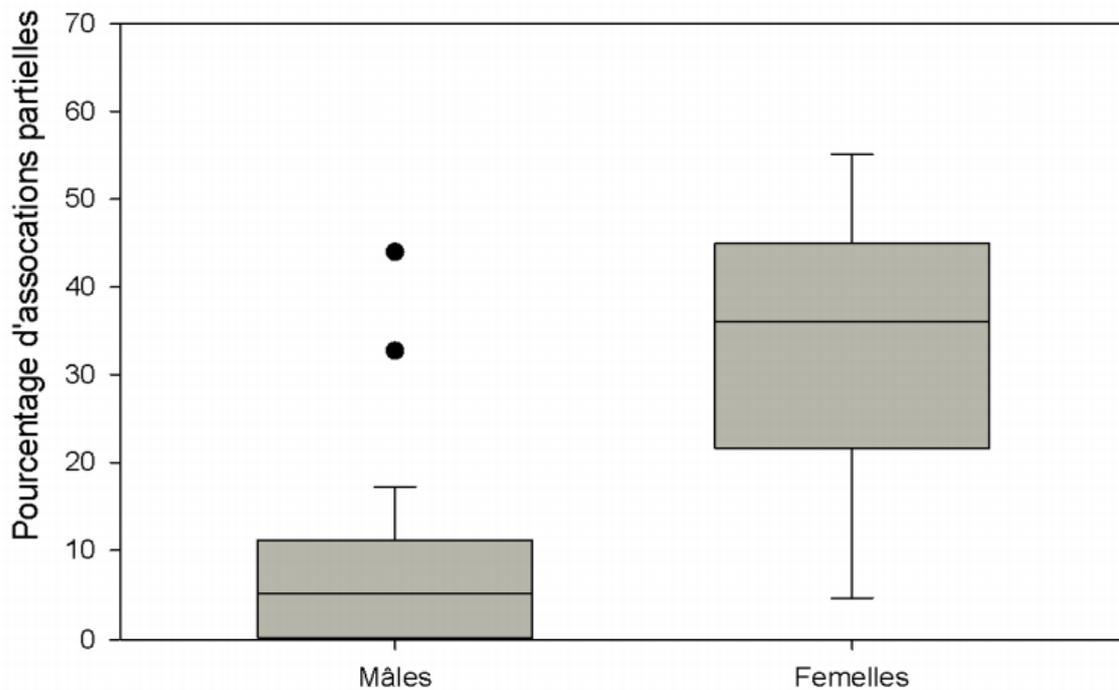


Figure 3: Distribution du pourcentage d'association partielle des mâles et des femelles de la liste de référence respectant les conditions d'application.

La figure 3 représente le pourcentage d'association partielle des 49 mâles et des 14 femelles de la liste de référence respectant les conditions d'application fixées pour cet indicateur. La médiane pour les mâles est de 5%, celle des femelles est de 36%. Pour les mâles, le troisième quartile est à 12%. Le premier quartile pour les femelles est à 22%. Malgré les deux valeurs atypiques pour les mâles (44% et 33%), le seuil choisi pour différencier les mâles des femelles est fixé à 20%.

2.2.2. La combinaison des indicateurs

Lorsque les trois indicateurs, à savoir l'association réelle avec un nouveau-né ou un juvénile, l'indice du niveau de marquage et le pourcentage d'association partielle, sont combinés, le résultat choisi est le résultat dominant. C'est-à-dire que si un individu est identifié comme étant un mâle par deux indicateurs et une femelle par un indicateur, le « sexe prédit » par la méthode sera le sexe mâle. Ainsi les individus doivent donc être identifiés dans un sexe similaire par au moins deux des trois indicateurs.

2.2.3. Les matrices de confusions

Les matrices de confusion permettent de mesurer la qualité des résultats obtenus par chacun des indicateurs et par leur combinaison. Elles comparent le « vrai sexe » des individus, obtenu par analyse moléculaire, au « sexe prédit » par la méthode, puis comptabilisent pour chaque sexe les bonnes et les mauvaises prédictions. En plus de nous donner le taux de succès

de la méthode, les matrices de confusions rendent compte des sources d'erreur dans le sexage.

Tableau 2 : Principe des matrices de confusion.

“a” : individus classés mâles et qui le sont réellement ; “b” : individus classés mâles alors qu'ils sont en réalité femelles ; “c” : individus classés femelles qui sont en réalité des mâles ; “d” : individus classés femelle et qui le sont réellement.

valeurs vraies \ valeurs prédites	Mâles	Femelles	Total
Mâles	a	b	a + b
Femelles	c	d	c + d
Total	a + c	b + d	n = a + b + c + d

A partir de cette matrice (Tableau 2), les valeurs de quatre paramètres sont calculées. Elles renseignent sur l'adéquation des valeurs prédites avec les valeurs réelles.

1. Le taux de succès, ou *accuracy*, est la probabilité que la méthode utilisée détermine correctement le sexe des individus.

$$\theta = \frac{a + d}{n}$$

2. Le taux de “vrais mâles”, ou taux de vrais négatifs, ou *specificity*, indique la capacité de la méthode à classer les mâles.

$$Tvm = \frac{a}{a + c}$$

3. Le taux de “vraies femelles”, ou taux de vrais positifs, ou *sensitivity*, indique la capacité de la méthode à classer les femelles.

$$Tvf = \frac{d}{d + b}$$

4. Le taux de succès corrigé, ou *balanced accuracy*, correspond à la moyenne des taux de “vraies femelles” et de “vrais mâles”. La liste de référence comporte 61 mâles pour seulement 16 femelles, ce paramètre est donc important car il apporte une correction lorsque les deux classes ont des effectifs déséquilibrés.

2.2.4. Les résultats

Les résultats obtenus par les différentes matrices de confusion sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3: Résultats obtenus en 2013 par la méthode de sexage du GECC.

	Taux de succès	Taux de “vrais mâles”	Taux de “vraies femelles”	Taux de succès corrigé
Association réelle avec un nouveau-né	1	NA	1	(1)
Niveau de marquage	0.721	0.684	0.818	0.751
Pourcentage d’association partielle	0.936	0.96	0.857	0.908
Combinaison des 3 indicateurs	1	1	1	1

L’utilisation des trois indicateurs combinés donne un taux de succès corrigé de 1, c’est à dire que tous les individus respectant les conditions fixés par les indicateurs ont été sexés correctement. Cela correspond à 55 individus, soit 70% de l’échantillon des individus biopsiés.

2.3. Validation et variations de la méthode du GECC

La méthode de sexage du GECC, bien que novatrice et non invasive, pose quelques problèmes, comme le taux de succès trop élevé et la condition d’application très restrictive, déjà mentionnés plus haut.

Pour valider cette méthode, il convient donc de reprendre et de vérifier chaque indicateur et de redéfinir des seuils correspondant aux nouvelles distributions observées.

Pour assouplir cette méthode, il convient de faire varier la condition d’application pour permettre de sexer un plus grand nombre d’individus.

2.3.1. Validation de la méthode

Pour compléter et valider la méthode de sexage du GECC, il a fallu repartir des données brutes et y intégrer les données de 2014. À partir de ces données (détaillées partie 2.1), la méthode a donc été revue.

L’identification par l’association réelle avec un nouveau-né ou un juvénile a été limitée à l’association avec un nouveau-né car les juvéniles ne sont pas constamment à côté de leur mère et peuvent avoir des associations temporaires avec d’autres individus (Stanton et al.,

2011).

En s'intéressant à l'indice du niveau de marquage, il est apparu que des erreurs existaient dans les calculs effectués par le GECC en 2013. En effet, l'échelle utilisée pour les indices du niveau de marquage allait de 1 à 4. Or, pour certains individus, les valeurs étaient inférieures à 1. Pour corriger ces erreurs, l'indice du niveau de marquage a été repris à la base. Il est alors apparu que des individus de niveau 0, à savoir sans encoche ni griffures, avaient été inclus par erreur dans les données, d'où l'apparition de valeurs inférieures à 1. En conséquence, pour intégrer ces animaux dans la méthode, il a été décidé de modifier les caractéristiques des quatre niveaux d'encoches. La nouvelle échelle a permis d'obtenir une autre distribution de l'indice du niveau de marquage. A partir de cette distribution, les seuils permettant la détermination du sexe ont été redéfinis afin de correspondre aux nouvelles données.

Concernant le pourcentage d'association partielle, les données 2014 ont été intégrées à la méthode. Cette mise à jour a permis de calculer une nouvelle distribution et de vérifier les seuils de différenciation.

Enfin, il a été décidé, pour sexer les grands dauphins, de ne pas toujours utiliser la combinaison des trois indicateurs. Certains individus ayant des valeurs extrêmes pour l'un ou l'autre des indicateurs, la combinaison paraît, dans ces cas-là, inutile. Cette procédure simplifie et accélère le sexage de l'ensemble de la population.

2.3.2. Variations de la condition d'application

Pour élargir et faciliter l'accès des individus à cette méthode de sexage, il est nécessaire de faire varier les paramètres de la condition d'application de cette méthode.

En effet, la condition d'application pour le calcul du pourcentage d'association partielle repose sur les paramètres suivants : être vu au minimum 2 années, être vu au minimum 3 jours et être présents sur au moins 15 photographies en groupe. Dans un premier temps, il a été décidé de faire varier le nombre de jours et de photographies. Dans un second temps, la variation en simultanée des trois paramètres a été étudiée.

Premièrement, pour chaque année, soit 11 années entre 2004 et 2014, les taux de réussite de la méthode de sexage ont été étudiés individuellement. Cette procédure a été faite en suivant les paramètres imposés par la méthode du GECC, soit un minimum de trois jours et de 15 photographies en groupe. Puis, elle a été répétée en assouplissant les paramètres, c'est-à-dire en les fixant à seulement un jour et une photographie en groupe, ce qui permet de sexer tous les individus.

Deuxièmement, pour fixer le paramètre de l'année, c'est-à-dire pour savoir à partir de

combien d'années un individu peut être correctement sexé, la technique développée se base sur un sous-échantillonnage des individus par tirage aléatoire. Les tirages aléatoires ont été effectués pour un choix d'années 'n' allant de 2 à 6. Au-delà de 6 ans, il n'y a plus de tirage aléatoire possible car les effectifs deviennent trop faibles. Concrètement, pour tous les individus vus plus de 'n' années, seulement 'n' de ces années ont été tirées au sort afin d'obtenir un sous échantillon où tous les individus auront été vus le même nombre d'années. Pour chaque individu, on a alors calculé, en fonction des années définies par le tirage, la somme du nombre total de jours vus et du nombre total de photographies en groupe. Le processus est répété dix fois de manière à constituer un échantillon de taille suffisante.

Ensuite, les variables nombres de jours vus et nombres de photographies en groupe ont été découpées en classes de respectivement six et dix niveaux. Le découpage a été effectué de manière à garder des effectifs équivalents entre chaque niveau, il est détaillé dans l'annexe 1. Pour un choix d'année fixée à 1, les individus n'ont pas pu être vu beaucoup de jours et seulement quatre classes ont pu être faites pour la variable : nombre de jours vus. Pour chaque combinaison différente possible de ces variables nombres d'années, classe du nombre de jours et classe du nombre de photographies, les matrices de confusions sont calculées. Elles permettent d'évaluer pour chaque combinaison les différents taux de réussite définis en partie 2.2.3.

Pour les choix du nombre d'années allant 2 à 6, les résultats obtenus reposent sur des tirages aléatoires. Il a donc fallu, afin de réduire les risques d'erreurs, effectuer l'ensemble de l'analyse 10 fois pour chaque nombre d'années afin d'obtenir pour chaque combinaison possible des moyennes et des écarts types.

2.4. Logiciel utilisé

Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R version 3.1.3. Pour les matrices de confusion c'est le package SDMTools qui a été utilisé.

3. Résultats

3.1. Validation

Pour la mise en place de l'indice du niveau de marquage, les nouvelles échelles des niveaux d'encoches et de griffures contiennent toujours quatre échelons chacune mais pour le niveau d'encoches les caractéristiques ont été modifiées. L'échelle du niveau de griffure n'a pas été modifiée car la différence entre ne pas avoir de griffure et en avoir une ou deux n'a pas réel

sens biologique ou statistique. L'ensemble de la description de ces échelles est disponible dans le tableau 4.

Tableau 4 : Description des caractéristiques des nouveaux niveaux d'encoches et de griffures.

	Niveau d'encoches	Niveau de griffures
1	Pas d'encoches.	Moins de deux griffures.
2	Une ou deux encoches.	Quelques griffures bien visibles.
3	Quelques encoches bien visibles.	Beaucoup de griffures mais l'aileron n'a pas encore perdu sa pigmentation pour devenir blanc
4	Beaucoup d'encoches.	Beaucoup de griffures, le haut de l'aileron a perdu sa pigmentation. Il est devenu blanc.

Cette nouvelle échelle a permis une correction de la distribution de l'indice du niveau de marquage (Figure 4).

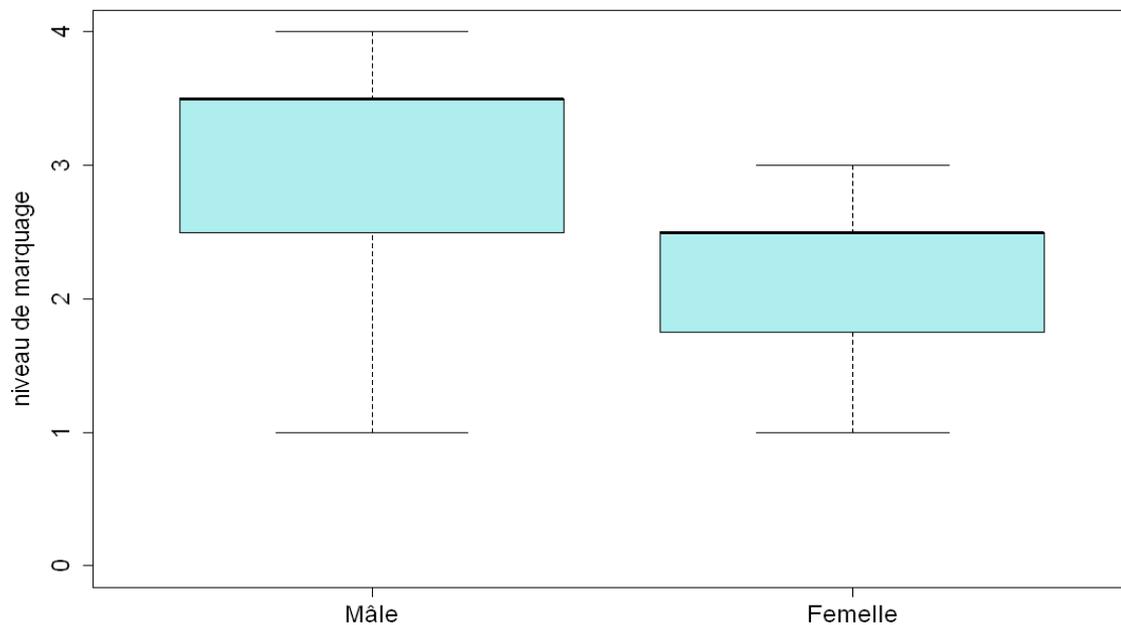


Figure 4 : Distribution de l'indice du niveau de marquage entre les mâles et les femelles selon la nouvelle échelle.

La figure 4 met en évidence une différenciation de niveau de marquage entre les mâles et les femelles. La médiane pour les mâles est de 3,5 alors qu'elle est de 2,5 pour les femelles. Le maximum des femelles est de 3. Seulement 25% des femelles ont un indice du niveau de marquage supérieur à 2,5 et 25% des mâles en sont inférieurs. Le seuil choisi pour différencier les mâles des femelles est donc de 2,5.

L'indice du niveau de marquage permet de sexer tous les individus avec 71% de l'échantillon identifié correctement et un taux de succès corrigé de 0,75.

La mise à jour des données a eu un effet sur la distribution du pourcentage d'association partielle entre les mâles et les femelles (Figure 5). La médiane des mâles se situe à 6% et celle des femelles à 33,29 %, avec, pour ces dernières, un minimum à 17%. Hormis une valeur à 38%, les mâles ne dépassent pas un pourcentage d'association partielle de 20%, alors que seulement deux femelles ont un pourcentage inférieur à cette valeur. C'est donc cette valeur de 20% qui a été retenue pour différencier les mâles des femelles.

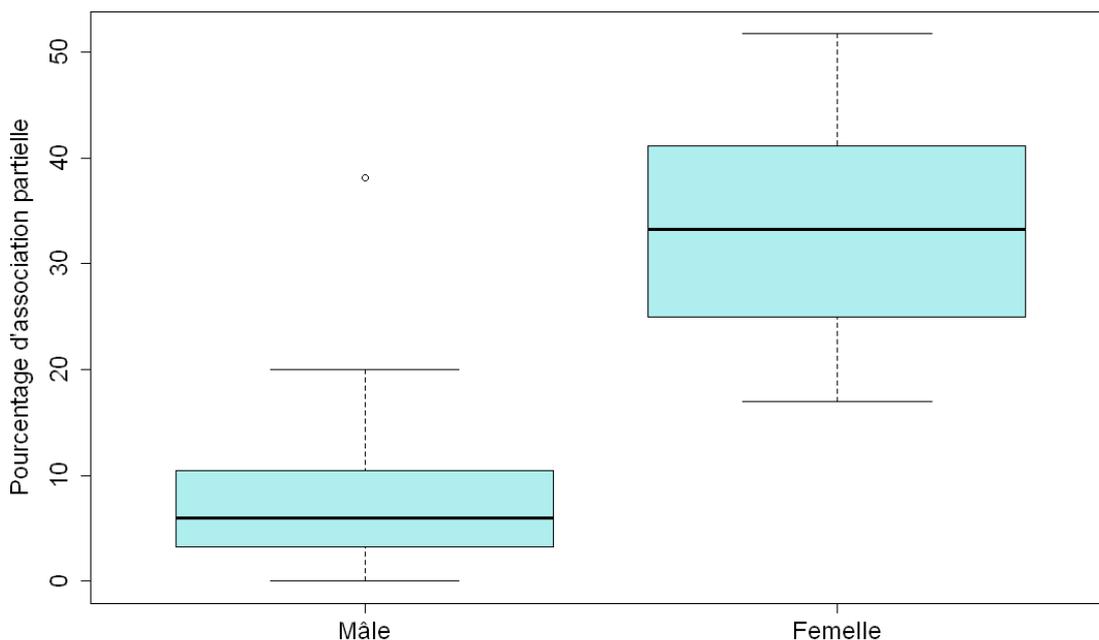


Figure 5 : Nouvelle distribution du pourcentage d'association partielle en fonction du sexe des individus de la liste de référence.

Le pourcentage d'association partielle permet de classer 69 individus, soit 90% de l'échantillon. 84% des 77 individus sont sexés correctement avec un taux de succès corrigé de 0,90.

L'indicateur de l'association réelle avec un nouveau-né permet de sexer 11 femelles de manière certaine, c'est à dire 14% de l'échantillon des 77 individus.

Notons que, pour certains individus, seul un indicateur suffit à les classer. Si le grand dauphin en question est associé avec un nouveau-né alors il sera classé comme étant femelle. Les individus peuvent aussi être sexés comme étant des mâles si l'indice du niveau de marquage

est supérieur à 3 ou si le pourcentage d'association partielle est inférieur à 15%. Pour les individus qui ne sont classés par aucun de ces paramètres, ils doivent être identifiés dans un sexe similaire par au moins deux des indicateurs.

Le sexage final par la combinaison des méthodes identifie 67 individus avec un taux de succès de 0,98, ce qui représente 86% des 77 individus qui sont correctement sexés. Le taux de succès corrigé est de 0.99.

Le tableau 5 montre le détail des résultats obtenus par chacun des indicateurs et par leur combinaison selon les conditions : être vu au minimum deux années, 3 jours et sur 15 photographies en groupe.

Tableau 5 : Résumé des résultats de la méthode de sexage en respectant les conditions minimum de 2 années, 3 jours et 15 photographies en groupe.

	Taux de succès	Taux de “vrais mâles”	Taux de “vraies femelles”	Taux de succès corrigé
Association réelle avec un nouveau-né	1	NA	1	(1)
Niveau de marquage	0.714	0.689	0.813	0.751
Pourcentage d'association partielle	0.943	0.965	0.843	0.899
Combinaison des 3 indicateurs	0.985	0.982	1	0.991

L'indice du niveau de marquage est l'indicateur donnant les résultats les plus faibles avec un taux de succès corrigé de 0,75. Le taux de “vrais mâles” obtenu n'est que de 0,68. Le pourcentage d'association partielle donne, lui, de bons résultats tout en permettant de sexer beaucoup d'individus. En effet le taux de succès corrigé obtenu en utilisant ce seul indicateur est de 0,9. L'association réelle avec un nouveau-né est tout de même l'indicateur le plus fiable mais son utilisation reste limitée à une faible proportion de l'échantillon (14%). La combinaison de ces trois indicateurs semble pouvoir combler les manques de leur emploi de manière individuel.

3.2. Variations des paramètres

Selon les valeurs des paramètres choisies pour le nombre de jours où l'individu est vu

et le nombre de photographies où il apparaît en groupe, les taux de succès corrigé se retrouvent modifiés. La plus grande différence est observée en 2011 avec un taux de succès qui augmente de 0.11 avec les conditions plus restrictives.

Cela dit, il faut noter que, les différences les plus importantes ne sont pas observées en modifiant les paramètres du nombre de jours et de photographies mais entre les années elles-mêmes. Ainsi, avec les paramètres à leurs valeurs minimum, les taux de succès corrigés varient entre 0,49 (en 2014) et 0,86 (en 2008) ; avec les paramètres aux valeurs de 3 jours et 15 photographies en groupe minimum, les taux de succès corrigés se situent entre 0,48 (en 2014) et 0,89 (en 2011) (Figure 5).

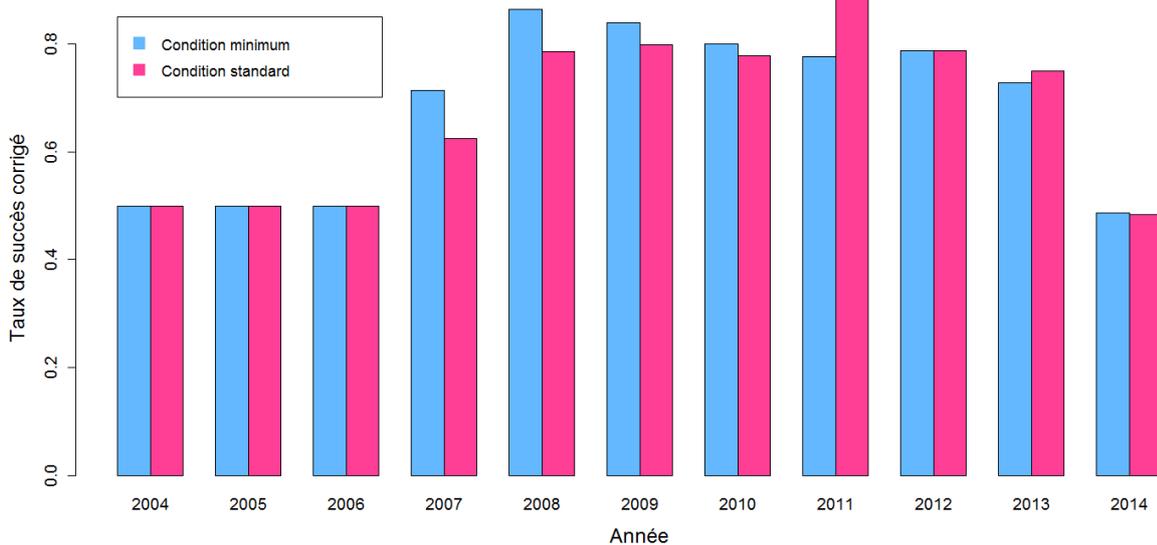


Figure 6 : Comparaison des taux de succès corrigés obtenus par année selon la condition d’application choisie. “Condition minimum” : 1 jour et 1 photographie suffisent pour le calcul de l’association partielle. “Condition standard” : les paramètres minimums d’application sont fixés à 3 jours et 15 photographies.

On observe sur certaines années, des taux de succès corrigés plus élevés avec les paramètres au minimum qu’avec les paramètres plus restrictifs. Ces résultats sont surtout influencés par les taux de “vraies femelles” qui ont de fortes variations selon les paramètres choisies (Annexe 2). Les femelles étant peu nombreuses dans le jeu de données, si l’une d’elles est mal classée elle aura une grande influence sur le taux de “vraies femelles”. L’abaissement des conditions permet pour certaines années, notamment 2007 et 2008, de sexer correctement plus de femelles et donc de réduire l’effet d’un sexage incorrect. L’inverse c’est produit pour l’année 2011 où les conditions plus restrictive ont permis d’éliminer une femelle mal classée avec les paramètres minimum.

Les sorties en mer réalisées par le GECC sont fortement dépendantes de la météo.

Certaines années où les conditions météorologiques étaient favorables, plus de photos ont été traitées et plus d'individus ont donc pu être identifiés. Il semblerait que ce soit les années où la prospection a été plus importante qui présentent les taux de succès les plus élevés.

Ensuite, pour chacun des choix du nombre d'années, les moyennes des taux de succès corrigés ont été calculées en fonction des paramètres minimum fixés pour le nombre de jours et le nombre de photographies en groupe (Figure 7).

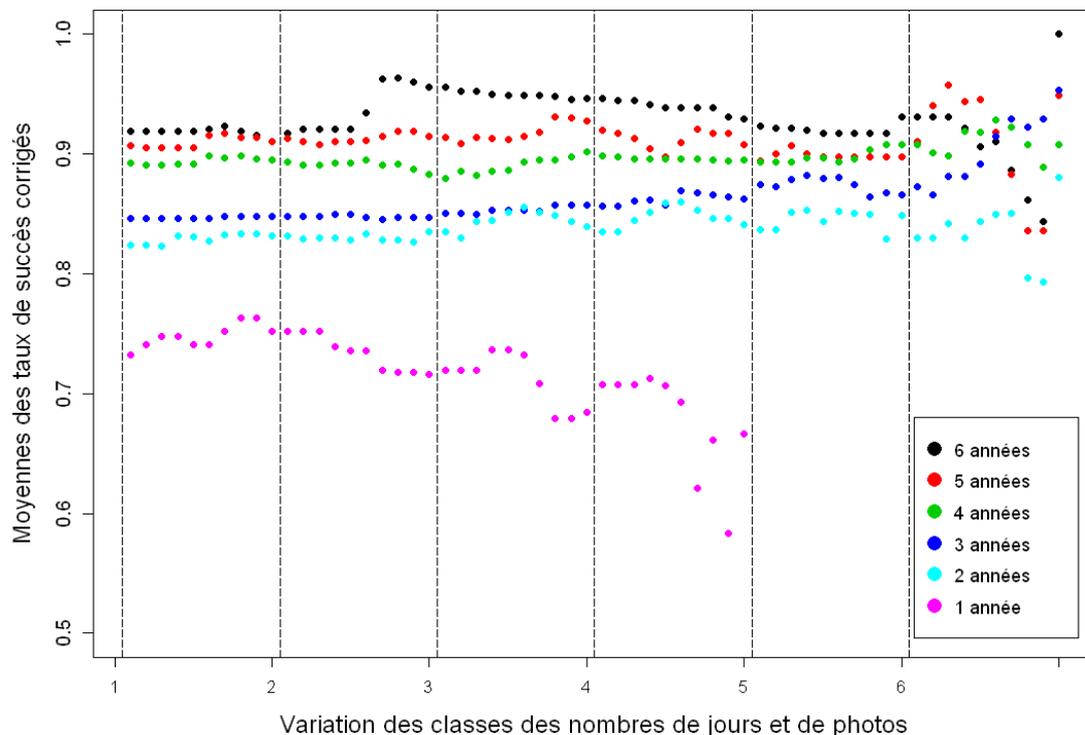


Figure 7 : Évolution des moyennes des taux de succès corrigés en fonction des conditions minimum fixés pour le nombre de jours (numéro des classes en abscisse) et le nombre de photographies et du nombre d'années choisies.

On observe, une fois encore, que les variations les plus importantes du taux de succès ne se font pas en modifiant les conditions sur le nombre de jour vu et le nombre de photographies en groupe. L'augmentation du taux de succès se fait essentiellement en fonction du nombre d'année où l'individu est vu. La forte variabilité observée pour la classe 6 du nombre des jours vus, tant dans les calculs des moyennes que des écarts types (Figure 8), semble due aux faibles effectifs disponibles pour cette classe. Lorsque les individus sont vus une seule année, les taux de réussite ne dépassent pas les 0,8. Les choix de deux et trois années ont des profils similaires, les taux de succès corrigés sont voisins de 0,85 avec une légère tendance à l'augmentation quand les nombres de jours et de photographies minimum augmentent. Les écarts types se situent, quant à eux, aux alentours de 0,19 pour les classes une et deux du nombre

de jours, ils semblent ensuite diminuer jusqu'à atteindre, à la classe 5, la valeur de 0,16 pour deux années et 0,14 pour trois années. Pour un nombre d'années fixé à 4, les taux de succès corrigés sont relativement stables aux alentours de 0,89 pour un écart type de 0,16. Quand les individus sont vus 5 années, le taux de réussite se situe autour de 0,91. Les écarts types sont stables pour les classes 1 et 2 du nombre de jours (0,15). Pour les classes suivantes, il y a une plus grande variation. Enfin, les individus vus six années sont ceux qui permettent les meilleurs taux de succès corrigés de la méthode avec une moyenne de 0,93 et un maximum à 0,96. Malgré tout, les valeurs obtenues pour ce choix du nombre d'années semblent présenter moins de continuité que pour les autres années et cela tant au niveau des moyennes que des écarts types.

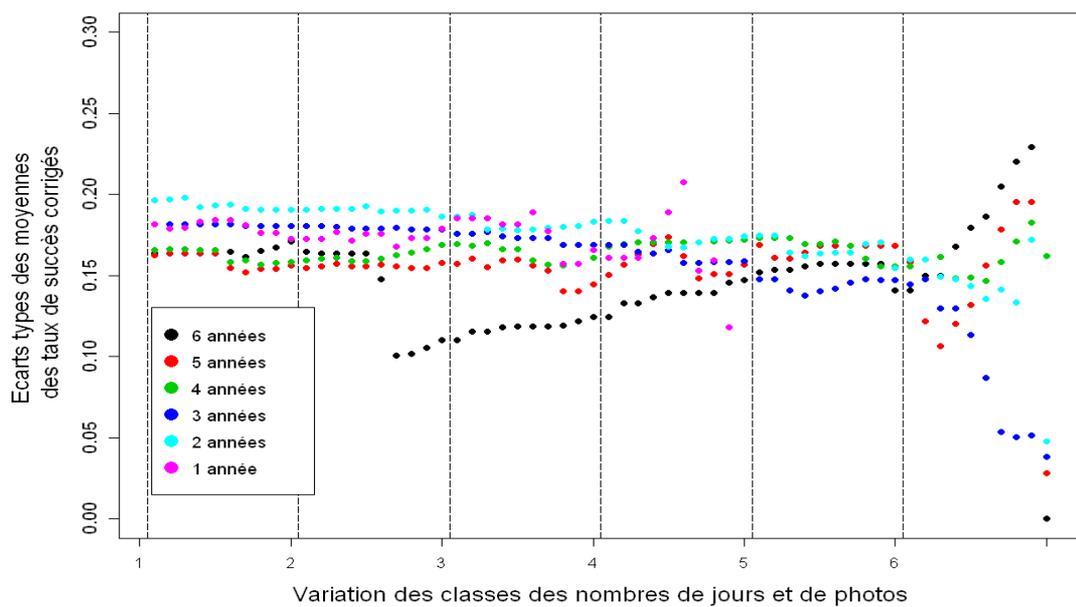


Figure 8 : Écarts types des moyennes des taux de succès corrigés en fonction des conditions minimum fixés pour le nombre de jours (numéro des classes en abscisse) et de photographie et du nombre d'années choisies.

Au vu de ces résultats, le choix a donc été fait d'assouplir les paramètres de la condition d'application :

- le nombre d'années minimum où l'individu doit être vu n'a pas été modifié et reste à 2 années minimum ;
- le nombre de jours a été abaissé à un minimum de 2 jours ;
- le nombre de photographies sur lesquelles l'individu doit être vu en groupe a, lui, pu être réduit à 10.

Le nombre d'année minimum est conservé à 2 car les taux de réussite, lorsque les individus ne sont vus qu'une seule année, présentent une forte variabilité et des taux de réussite dépassant rarement les 0,8. Le nombre de jours minimum est descendu à 2, qui au vu du nombre d'années choisi est le minimum possible, car c'est une condition qui n'influe pas sur les taux de succès corrigé. Enfin le nombre de photographies en groupe minimum, a lui aussi, été abaissé car son influence n'est pas non plus démontré. Le choix a donc été fait de fixer un minimum de 10. Le tableau 6 montre les résultats obtenus avec cette nouvelle condition.

Tableau 6 : Récapitulatif des résultats de la méthode de sexage en respectant les paramètres minimums de 2 années, 2 jours et 10 photographies en groupe.

	Taux de succès	Taux de vrais mâles	Taux de vraies femelles	Taux de succès corrigé
Association réelle avec un nouveau-né	1	NA	1	(1)
Niveau de marquage	0.714	0.689	0.813	0.751
Pourcentage d'association partielle	0.944	0.966	0.846	0.906
Combinaison des 3 indicateurs	0.986	0.982	1	0.991

4. Discussion

La validation de la méthode a permis d'obtenir un taux de succès de 0,99. Ce résultat, comparé à celui de 100% obtenu en 2014, semble plus en accord avec une méthode qui n'exclue

pas d'elle-même les cas particuliers. C'est d'ailleurs le cas dans notre échantillon, l'individu mâle ayant un pourcentage d'association partielle de 38% a également un indice du niveau de marquage de 1,5 ce qui le classe comme femelle par cette méthode. Malgré tout, la complémentarité des trois indicateurs permet, par leur combinaison, de classer des individus n'ayant pas pu être sexés en utilisant qu'un seul indicateur et d'obtenir des résultats très élevés pour une méthode non invasive.

Un des biais ayant été introduit par la répétition des tirages aléatoires est pour certains individus de le sur-représenter certaines années. Pour chaque choix du nombre d'années n , tous les individus ayant été vu au moins $n+1$ années sont sélectionnés pour les tirages aléatoires. Même si la sur-représentation a été limitée par le fait de ne pas sélectionner les individus vus seulement n années, ceux vus $n+1$ ou $n+2$ années disposent de moins de combinaisons possibles dans le choix des années où ils sont vus et les mêmes arrangements vont revenir plus souvent.

Lorsqu'on augmente les paramètres, le nombre de données disponibles diminue au fur et à mesure. À partir des classes 6 pour le nombre de jours vus, les effectifs ne sont plus assez importants et les résultats obtenus présentent donc une forte variabilité.

En faisant varier les paramètres, on remarque rapidement que de rendre les paramètres du nombre de jours et du nombre de photographies plus restrictifs, n'influencent que très peu les taux de succès. C'est pourquoi il a été décidé de modifier ces paramètres. Le nombre de jours minimum où l'individu que l'on cherche à sexer doit être vu, est passé de 3 à 2. Le nombre de photographies minimum où l'individu doit être vu en groupe est passé de 15 à 10. Ce choix de ne pas abaisser davantage s'explique aussi au regard de l'échantillon sur lequel est testé la méthode. Les biopsies n'ayant pas été faite de manière aléatoire, ce sont principalement les individus marqués qui ont été choisis (sans savoir qu'un dimorphisme sexuel existait dans la population). Or ces individus marqués sont les plus faciles à reconnaître, ils apparaissent donc plus souvent dans la base de données et plus de photos sont disponibles. Afin que l'indicateur du pourcentage d'association partielle conserve sa significativité quand peu de photographies sont disponibles, les conditions du nombre de photos en groupe n'a pas été choisi en dessous de 10. Cependant le nombre d'années minimum où l'individu que l'on cherche à identifier doit être vu n'a pas pu être diminué. Les résultats obtenus sur les individus vus une seule année présentant des taux de réussite moyen et une forte variabilité, cette condition a été maintenue à 2 années minimum.

En résumé, la nouvelle méthode de sexage repose sur trois indicateurs. Le premier, l'association réelle avec un nouveau-né, classe tous les individus vus associés avec un nouveau-

né comme étant des femelles. Le second, l'indice du niveau de marquage différencie le sexe selon un seuil de 2,5, au-dessus l'animal est classé comme étant un mâle, au-dessous ou égale il sera une femelle. Le troisième, le pourcentage d'association partielle, nécessite une condition d'application. Celle-ci inclue trois paramètres :

- être vu au moins 2 années ;
- être vu au moins 2 jours ;
- être vu sur au moins 10 photographies en groupe.

Le seuil utilisé pour différencier les mâles des femelles est de 20%.

Le sexage définitif requiert :

- Pour être identifié comme femelle :
 - être vu associé avec un nouveau-né ;
 - être classé en tant que femelle par les deux autres indicateurs.
- Pour être identifié comme mâle
 - avoir un niveau de marquage supérieur à 3 ;
 - avoir un pourcentage d'association partielle inférieur à 15% ;
 - être classé en tant que mâle par deux des indicateurs.

La méthode étant basée sur des indicateurs utilisant plusieurs caractéristiques de l'espèce, cela peut en faire une méthode utilisable dans d'autres populations. Ceci dit, avant d'être mise en place pour le sexage de grands dauphins hors de la population de la mer de la Manche, il convient de procéder à quelques vérifications. L'indice du niveau de marquage étant très dépendant de la population étudiée il faudra, pour reprendre la méthode, adapter cet indicateur à chaque population. Les différents seuils utilisés dans les indicateurs du pourcentage d'association partielle et de l'indice du niveau de marquage doivent aussi être ajustés afin de correspondre aux caractéristiques de la population étudiée.

Avant la mise en place de cette méthode de sexage, le dimorphisme sexuel, au niveau des ailerons, n'était pas démontré dans cette population. Le taux de réussite de l'indice du niveau de marquage, permet de dire qu'un dimorphisme existe bien aux niveaux des marques présentes sur les ailerons dorsaux. Les résultats, pouvant paraître faibles au niveau du taux de vrais mâles, sont en fait dus à des individus sub-adultes mâles qui n'ont pas encore de marques sur l'aileron et que l'indicateur classe donc comme étant des femelles.

Les études antérieures réalisées sur la population de la mer de la Manche ont montré que les groupes sont pour la majorité mixte. De par son pourcentage de réussite à 90%,

l'indicateur du pourcentage d'association partielle a permis de mettre en évidence une structure sociale à l'intérieur de ces groupes avec une séparation des mâles et des femelles.

La méthode de sexage des grands dauphins, redéfinie dans cette étude, doit maintenant être appliquée à l'ensemble des individus disponibles dans le catalogue du GECC. Bien qu'assouplie dans sa condition d'application pour le calcul du pourcentage d'association partielle, elle ne permettra pas de sexer tous les individus. Le travail de terrain et l'identification des animaux restent donc les clés pour que chaque année un peu plus de grands dauphins puissent être sexés.

D'un point de vue personnel, ce stage m'a permis de découvrir la mammalogie marine et les différents aspects mathématiques et d'identification utilisés dans ce domaine. J'ai également appris de nouvelles techniques statistiques qui me seront utiles pour la suite. Ces 8 semaines de stage m'ont conforté dans mon désir d'étudier les mammifères marins dans leur environnement.

Bibliographie

- COCKCROFT, V. G. & ROSS, G. J. B., 1989. Observations on the early development of a captive bottlenose dolphin calf. In « The bottlenose dolphin », LEATHERWOOD, S., REEVES, R. R. (eds). Academic Press, San Diego, CA, 461-478.
- CONNOR, R. C., WELLS, R., MANN, J. & READ, A., 2000. The bottlenose dolphin : social relationships in a fission–fusion society. In « Cetacean Societies : Field Studies of Dolphins and Whales », MANN, J., CONNOR, R. C., TYACK, P. L., WHITEHEAD, H. (eds). University of Chicago Press, Chicago, 91–126.
- DIAZ LOPEZ, B. & SHIRAI, J. A. B., 2008. Marine aquaculture and bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) social structure. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62 : 887–894.
- FELIX, F., 1997. Organization and social structure of the coastal bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* in the Gulf de Guayaquil, Ecuador. *Aquatic Mammals*, 23(1) : 1-16.
- GIBSON, Q. A. & MANN, J., 2008a. Early social development in wild bottlenose dolphins : Sex differences, individual variation and maternal influence. *Animal Behaviour*, 76 : 375-387.
- GIBSON, Q. A. & MANN, J., 2008b. The size, composition and function of wild bottlenose dolphin (*Tursiops* sp.) mother-calf groups in Shark Bay, Australia. *Animal Behaviour*, 76 : 389-405.
- GOWANS, S., DALEBOUT, M. L., HOOKER, S. K., WHITEHEAD, H., 2000. Reliability of photographic and molecular techniques for sexing northern bottlenose whales (*Hyperoodon ampullatus*). *Canadian Journal of Zoology*, 81 : 1421-1427.
- HARLIN, A. D., WURSIG, B., BAKER, C. S. & MARKOWITZ, T. M., 1999. Skin swabbing for genetic analysis : Application to dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*). *Marine Mammal Science*, 15 : 409–425.
- IWATA, H. & UKAI, Y., 2002. A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*, 93 : 384–385.
- JEFFERSON, T. A., WEBBER, M. A. & PITMAN, R. L., 2008. Marine mammals of the world : a comprehensive guide to their identification. Academic Press, London, 592 p.
- KRUTZEN, M., BARRE, L. M., MOLLER, M. L., HEITHAUS, M. R. & SHERWIN, W. B., 2002. A biopsy system of small cetaceans : Darting success and wound healing in *Tursiops* spp. *Marine Mammal Science*, 18 : 863–878.
- LUSSEAU, D., SCHNEIDER, K., BOISSEAU, O. J., HAASE, P., SLOOTEN, E. & DAWSON, S. M., 2003. The bottlenose dolphin community of Doubtful Sound features a large proportion of long- lasting associations. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 54(4) : 396-405.
- MANN, J. & SMUTS, B., 1999. Behavioral development in wild bottlenose dolphin newborns (*Tursiops* sp.). *Behaviour*, 136 : 529-566.
- MANN, J., CONNOR, R. C., BARRE, L. M. & HEITHAUS, M. R., 2000. Female reproductive success in bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.) : life history, habitat, provisioning, and group-size effects. *Behavioral Ecology*, 11(2) : 210–219.
- MCBRIDE, A. F. & KRITZLER, H., 1951. Observations on pregnancy, parturition, and postnatal behavior in the bottlenose dolphin. *Journal of Mammalogy*, 32(3) : 251-266.

- OLESIUK, P. F., BIGG M. A. & ELLIS, G. M., 1990. Life history and population dynamics of resident killer whales (*Orcinus orca*) in the coastal waters of British Columbia and Washington State. Report of the International Whaling Commission, Special Issue 12 : 209–242.
- OLSON, P. A. & REILLY, S. B., 2002. Pilot whales. In « Encyclopedia of marine mammals », PERRIN, W. F., WURSIG, B. & THEWISSEN, J. G. M. (eds). Academic Press, San Diego, CA, 898–903.
- PERRIN, W. F., 1975. Variation of spotted and spinner porpoise (genus *Stenella*) in the eastern Pacific and Hawaii. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 21 : 1–206.
- PERRIN, W. F., AKIN P. A., KASHIWADA J. V., 1991. Geographic variation in external morphology of the spinner dolphin *Stenella longirostris* in the eastern Pacific and implications for conservation. *Fishery Bulletin*, 89 : 411–428.
- REEVES, R. R., STEWART, B. S., CLAPHAM, P. J. & POWELL, J. A., 2002. Guide to Marine Mammals of the World. National Audobon Society/Alfred A. Knopf, Inc., New York, 528 p.
- REYNOLDS, III, J., WELLS, R. & EIDE, S., 2000. The Bottlenose Dolphin. University Press of Florida, Gainesville, 328 p.
- REYNOLDS, III, J. & R. WELLS, R., 2003. Dolphins, Whales, and Manatees of Floricda. University Press of Florida, Gainesville, 148 p.
- ROCHELLE, C., 2001. Increased avoidance of swimmers by wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) due to long-term exposure to swim-with-dolphin tourism. *Marine Mammal Science*, 17(4) : 689-702.
- ROSEL, P. E., 2003. PCR-based sex determination in Odontocete cetaceans. *Conservation Genetics*, 4 : 647-649.
- ROWE, L. E. & DAWSON, S. M., 2009. Determining the sex of bottlenose dolphins from Doubtful Sound using dorsal fin photographs. *Marine Mammal Science*, 25 : 19–34.
- SCOTT, E. M., MANN, J., WATSON-CAPPS, J. J., SARGEANT, B. L. & CONNOR, R. C., 2005. Aggression in bottlenose dolphins : Evidence for sexual coercion, male-male competition, and female tolerance through analysis of tooth-rake marks and behaviour. *Behaviour*, 142 : 21–44.
- SICILIANO, S., RAMOS, R. M. A., DI BENEDITTO, A. P. M., SANTOS, M. C O., FRAGOSO, A. B., BRITO Jr., J. L., AZEVEDO, A. F., VICENTE, A. F. C., ZAMPIROLI, E., ALVARENGA, F. S., BARBOSA, L. & LIMA, N. R. W., 2007. Age and growth of some delphinids in south-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87 : 293-303.
- SHANE, S. H., WELLS, R. S. & WÜRSIG, B., 1986. Ecology, behavior, and social organization of the bottlenose dolphin. *Marine Mammal Science*, 2(1) : 34-63.
- STANTON, M. A., GIBSON, Q. A. & MANN, J., 2011. When mum’s away : a study of mother and calf ego networks during separations in wild bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.). *Animal Behaviour*, 82 : 405-412.
- TOLLEY, K. A., READ, A. J., WELLS, R. S., URIAN, K. W., SCOTT, M. D., IRVINE, A. B. & HOHN, A. A., 1995. Sexual dimorphism in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from Sarasota, Florida. *Journal of Mammalogy* 76 : 1190-1198.
- URIAN, K. W., DUFFIELD, D. A., READ, A. J., WELLS, R. S. & SHELL, E. D., 1996. Seasonality of reproduction in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Journal of Mammalogy*, 77 (2) : 394-403.

WELLS, R. S., SCOTT, M. D. & IRVINE, A. B., 1987. The social structure of free-ranging bottlenose dolphins. *Current mammalogy*, 1 : 247-305.

WELLS, R. S. & SCOTT, M. D., 1990. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. *Science*, 4(2) : 154-162.

WILSON, B., THOMPSON, P. M. & HAMMOND, P. S., 1997. Skin lesions and physical deformities in bottlenose dolphins in the Moray Firth : Population prevalence and age-sex differences. *Ambio*, 26 : 243-247.

WILSON, B., HAMMOND, P. S. & THOMPSON, P. M., 1999. Estimating size and assessing trends in a coastal bottlenose dolphin population. *Ecological Applications*, 9(1) : 288-300.

Annexe I

Tableau 7 : description du nombre de photos nécessaire à chaque niveau des classes du nombre de photos prises en groupe

classe Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0-1	2	3-4	5-7	8-10	11-15	16-20	21-29	30-44	45-max
2	min-6	7-11	12-16	17-21	22-27	28-35	36-45	46-57	58-82	82-max
3	min-15	16-22	23-28	29-35	36-43	44-52	53-67	68-87	88-109	110-max
4	min-28	29-36	37-44	45-52	53-63	64-74	75-89	90-110	111-151	152-max
5	min-36	37-47	48-58	59-71	72-86	87-100	101-117	118-133	134-162	163-max
6	min-46	47-61	62-71	72-83	84-98	99-120	121-138	139-161	162-194	195-max

Tableau 8 : Description du nombre de jours de présence nécessaire à chaque niveau des classes du nombre de jours où l'individu est vu.

classe Années	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4-max		
2	min-3	4	5	6	7-8	9-max
3	3	4	5	6	7-8	9-max
4	min-7	8-10	11	12-13	14-16	17-max
5	min-10	11-13	14-15	16-17	18-21	21-max
6	min-13	14-16	17-19	20-21	22-25	26-max

Annexe II

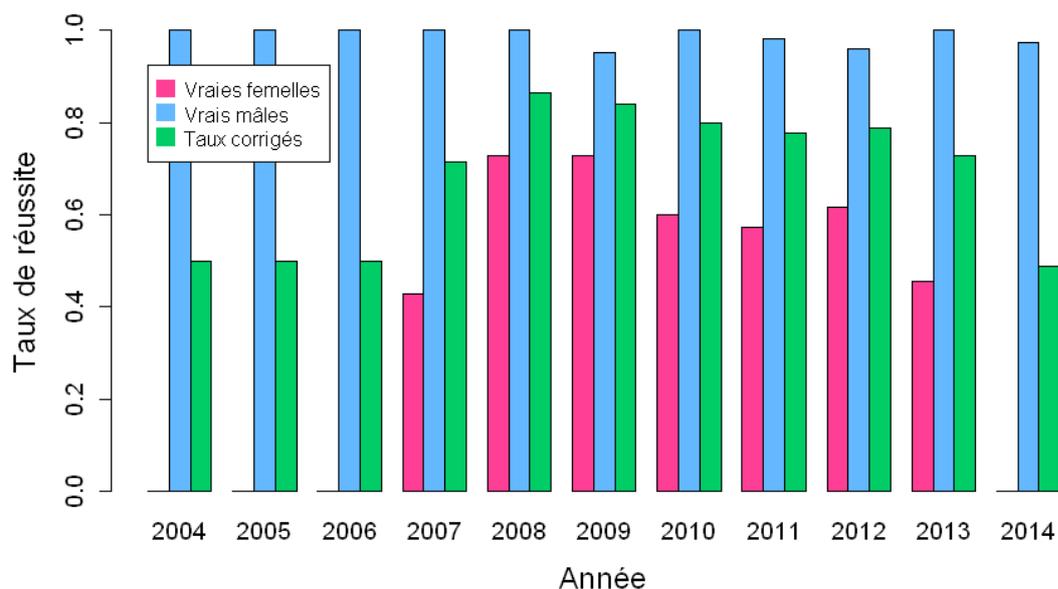


Figure 9: Par année : Taux de vraies femelles, Taux de vrais mâles et taux de succès corrigé obtenus par la méthode avec les paramètres au minimum, c'est-à-dire 1 jour et 1 photos minimum par individu.

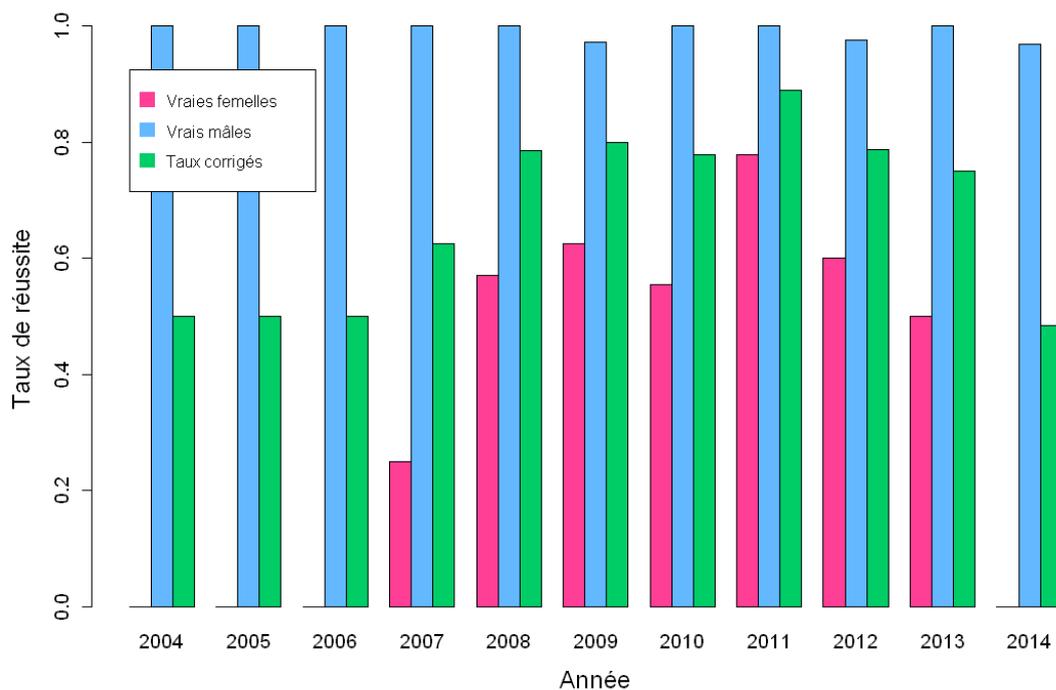


Figure 10 : Par année : Taux de vraies femelles, Taux de vrais mâles et taux de succès corrigé obtenus par la méthode avec les paramètres à 3 jours et 15 photographies minimum par individu.

Résumé

Le grand dauphin, *Tursiops truncatus*, est une espèce cosmopolite. Ces animaux sont des prédateurs supérieurs. Ils ont, dans certains écosystèmes, un rôle important dans le maintien des communautés écologiques. Connaître le sexe des individus des différentes populations a donc un rôle majeur pour l'étude de la démographie et de la structure sociale des grands dauphins. Chez cette espèce, le dimorphisme sexuel n'est pas facilement visible sur le terrain, c'est pourquoi, le GECC a mis en place en 2013, une méthode permettant le sexage des grands dauphins de la mer de la Manche. L'étude présentée ici a permis de corriger la méthode existante. De plus, les paramètres de la condition d'application ont pu être assouplis afin de permettre le sexage de plus d'individus de la population.

Les taux de réussite obtenus pour certains indicateurs ont également permis de mettre en évidence l'existence d'un dimorphisme sexuel ainsi qu'une structure sociale particulière à cette population.

Abstract

The bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, is a cosmopolitan species. These animals are top-predator. They have, in some ecosystems, an important role in ecological communities. The knowledge of the sexe of individuals in different populations has a major role for demography and social structure studies. In this species, sexual dimorphism is nearly invisible, that is why, association GECC has, in 2013, developed a method to allow the identification of the sexe of bottlenose dolphins of the Channel. The study introduce here has allowed corrections in the existing method. Moreover, parameters of the application condition may have been relaxed in order to sort more dolphins of the population.

Success rate obtained for some indicators have also allowed to highlight the existence of a sexual dimorphism as well as a special social structure in this population.