





# Etude de l'écologie trophique de la population de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) du golfe normand-breton

Utilisation des isotopes stables du carbone, de l'azote et du soufre



Mémoire de Master « Gestion et Conservation de la Biodiversité » Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest

> Jessica BUSSY Avril-Septembre 2014

Stage réalisé sous la direction d'Eric FEUNTEUN (Directeur du CRESCO et Professeur au MNHN) et de François GALLY (Directeur du GECC).

## Remerciements

En premier lieu, j'aimerais remercier mes deux maîtres de stage pour m'avoir accordé leur confiance et de m'avoir soutenue durant toute la durée de ce stage :

Un grand merci à Eric Feunteun qui m'a appris à identifier et à manipuler les poissons sans jamais perdre patience, malgré l'odeur, et même lorsqu'il devait se salir les mains! Sa bonne humeur quotidienne...

Je tiens à remercier chaleureuseument François Gally de m'avoir permis d'observer des grands dauphins pour la première fois de ma vie. Je salue son sang-froid rare et sa patience à toutes épreuves et je le remercie de m'avoir supporté malgré mes plaintes et mes doutes.

Je remercie également l'Agence de l'Eau Seine Normandie pour avoir financé cette étude ainsi que tous les pêcheurs qui ont permis au GECC de collecter des poissons et sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

J'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide et leur bonne humeur durant tout le déroulement du stage :

- Jézabel Lamoureux et Christophe Boinet qui se sont rendus plus que disponibles pour m'aider à comprendre et à faire fonctionner les appareils et instruments du CRESCO.
- Alexandre Carpentier pour ses conseils, son enseignement et pour m'avoir accordé son temps alors que la situation ne s'y prêtait guère.
- Louiselle Gally dont l'esprit synthétique m'a aidé à structurer mes idées.
- Cyrielle Zanuttini pour son soutien, sa bonne humeur et son aide.

Et merci à toute ma famille qui m'a toujours soutenue!!!!

## Table des Matières

Le ca	dre d	du stage	1	
A.	Les	s structures d'accueil	1	
-	1.	Le CRESCO : Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers	1	
2	2.	Le GECC : Le Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin	2	
В.	Le	contexte de l'étude	2	
-	1.	Présentation de la zone d'étude : le golfe normand-breton	2	
2	2.	La stratégie européenne et les projets pour le golfe normand-breton	3	
La synthèse bibliographique				
A.	Les	s grands dauphins	5	
-	1.	Le statut de conservation du grand dauphin	5	
2	2.	Caractéristiques biologiques et comportementales	5	
	2.1	1 Les écotypes	5	
	2.2	2 La sociabilité et la fidélité	6	
	2.3	3 Comportement alimentaire	6	
3	3.	Les menaces	6	
В.	Les	s notions de l'écologie trophique	7	
-	1.	L'alimentation	7	
2	2.	Les niveaux trophiques	7	
3	3.	Les méthodes d'analyse de l'écologie trophique des prédateurs marins	8	
	3.1	1 L'analyse des contenus stomacaux	8	
	3.2	2 L'analyse des traceurs alimentaires	8	
C.	Les	s isotopes stables	9	
-	1.	Qu'est-ce que c'est ?	9	
2	2.	Le fractionnement isotopique	9	
3	3.	Les isotopes : des outils d'étude trophique	10	
	3.1	1 Les isotopes du carbone	10	
	3.2	2 Les isotopes de l'azote	10	
	3.3	3 Les isotopes du soufre	11	
L'étude réalisée				
A.	Su	ijet de l'étude : les grands dauphins du golfe normand-breton	12	
В.	Ob	bjectifs de l'étude	12	
C	M	atériel et méthodes	13	

1	. La c	ollecte des données	13		
	1.1	Les données concernant les grands dauphins	13		
	1.2	Les données concernant les espèces de poissons et de céphalopodes	14		
2	. Les	mesures isotopiques	15		
	2.1	Le protocole de préparation des échantillons	15		
	2.2	La mesure des ratios isotopiques du carbone, de l'azote et du soufre	16		
3	. Ana	lyses descriptives et statistiques des mesures isotopiques	16		
	3.1	Les analyses en composantes principales	16		
	3.2	Les analyses statistiques	16		
D.	Résult	ats :	19		
1	. Etuc	de des ratios isotopiques des grands dauphins	19		
	1.1	Influence de la zone de vie	19		
	1.2	Les signatures isotopique et la structure sociale de la population du golfe	21		
	1.3	Influence d'autres facteurs : le sexe, l'âge et la saison	23		
2	. Etuc	de des ratios isotopiques des proies potentielles	25		
	2.1	Les signatures isotopiques des espèces de poissons et de céphalopodes du GNB	25		
	2.2	Influence de la zone géographique	26		
	2.3	Influence du mode de vie des espèces de poissons et de céphalopodes	28		
3	. Le r	égime alimentaire des grands dauphins du golfe normand-breton	<b>2</b> 9		
	3.1	Proies potentielles des 96 grands dauphins du golfe normand-breton	29		
	3.2	Les proies potentielles des trois clusters sociaux	31		
E.	Discus	sion	35		
1	. Le r	égime alimentaire des grands dauphins du golfe normand breton	35		
2	. Utili	isation des isotopes stables comme traceurs trophiques	36		
	2.1	Les apports pour l'étude	36		
	2.2	Les avantages et les limites de la méthode	37		
Conclu	ısion et	perspectives	39		
Référe	ences bi	bliographiquesbliographiques	41		
Listes	des figu	res et tableaux			
ANNE	XE I		III		
ANNE	XE II		IV		
ANNE	ANNEXE III				
ANNE	ΧΕ I\/		\/11		

## Le cadre du stage

#### A. Les structures d'accueil

## 1. Le CRESCO : Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers

La première station de biologie marine du Muséum national d'Histoire naturelle a été créée et installée sur l'île de Tatihou en 1882. En 2008, le Muséum s'associe avec Ifremer au sein du Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers à Dinard, nouvelle structure qui remplacera, dès lors, l'ancienne station de biologie marine. Durant plus de 130 ans, la station étudie les relations entre la biodiversité, les écosystèmes et les pressions environnementales. Elle réalise des inventaires floro-faunistiques ainsi que des recherches sur les mécanismes de recolonisation d'un milieu marin suite à une perturbation depuis le milieu du XIV siècle jusqu'aux années 70. Depuis 1970, les études portent sur le fonctionnement de l'ensemble du golfe normand-breton afin d'appréhender le rôle et l'importance d'habitats particuliers (les marais salés ou les récifs d'hermelles) pour les organismes occupant les niveaux trophiques supérieurs, tels que les poissons. Par ailleurs, les effets de diverses perturbations (invasions biologiques, conchyliculture ou pollution) font partie intégrante des objectifs de recherche du CRESCO.

Depuis les années 2000, la station s'est spécialisée sur les poissons migrateurs et les relations qu'ils entretiennent avec leurs habitats et particulièrement sur les communautés de bars, mulets et lançons qui présentent une dépendance côtière. Les espèces migratrices amphihalines, telles que les anguilles, les aloses et les lamproies sont aussi étudiées en collaboration avec l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Un canal hydrodynamique unique en France, de par sa longueur, a été ainsi installé dans le laboratoire pour permettre de nouvelles recherches sur les déplacements de larves de populations marines en fonction des conditions contrôlées de courant (intensité du débit d'eau).

En parallèle, les équipes du CRESCO contribuent à la mise en œuvre, à l'échelle nationale, de directives cadres européennes. Ainsi, la station et Ifremer travaillent en collaboration pour la coordination régionale des suivis et des analyses relatifs au benthos des masses d'eau côtière pour la Directive Cadre sur l'Eau. De plus, le Muséum est responsable, pour le compte du Ministère de l'Ecologie, de l'élaboration de la surveillance de la biodiversité dans le contexte de la Directive Cadre Stratégie sur le Milieu Marin.

Enfin, le CRESCO participe aux transferts de connaissances et à la sensibilisation du grand public concernant la zone littorale grâce au développement de programme de science participative (BIOLIT) avec l'association Planète mer.

#### 2. Le GECC : Le Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin

Le GECC est une association, créée en 1997, basée à Cherbourg, qui s'est donnée pour mission l'étude et la préservation des mammifères marins en mer de la Manche. Cette association s'est spécialisée dans le suivi de la population des grands dauphins sédentaires du golfe normand-breton par la méthode de photo-identification. Entre 2009 et 2013, environ 70 000 photographies de grands dauphins ont été réalisées lors de sorties en mer. Enfin, le GECC collabore avec différents centres de recherche (notamment le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé : CEBC-CNRS) pour approfondir ses connaissances sur cette population de cétacés. En 2010, un premier compte-rendu concernant les paramètres démographiques de la population résidente dans la Manche a été réalisé.

Le GECC étudie également les impacts des activités offshores sur les populations de mammifères marins en réalisant des rapports de synthèse sur le sujet

Les bilans annuels et la participation du GECC à divers colloques, ainsi qu'à plusieurs expositions et réunions, contribuent à sensibiliser le grand public à la protection des cétacés dans la mer de la Manche.

Enfin, le GECC a mis en place depuis plusieurs années un outil qui fait appel au public bénévole. Il s'agit du Réseau d'Observateurs des mammifères marins en mer de la Manche dont l'objectif est, via les observations, de mieux connaître ces animaux pour mettre en place des programmes de protection ou de réduction d'impacts éventuellement engendrés par les activités. Les observations ainsi collectées, validées et valorisées permettent d'inventorier les espèces présentes dans la Mer de la Manche, ainsi que leur répartition sur cette zone.

#### B. Le contexte de l'étude

#### 1. Présentation de la zone d'étude : le golfe normand-breton

Le golfe normand-breton (GNB) est une profonde indentation de faible profondeur entre l'archipel de Bréhat (Bretagne nord) et la péninsule du Cotentin (Normandie sud) reconnu par Holme en 1966 et délimité par Cabioch en 1968. D'innombrables récifs, îlots et les îles anglo-normandes telles que Jersey, Guernesey, Minquiers, parsèment ce vaste espace d'environ 7000 km² et induisent la présence de gyres (tourbillons) de courant et une très grande variété édaphique des fonds (des fonds sableux aux fonds rocheux).

Le GNB présente une mosaïque d'habitats très diversifiés qui sont particulièrement fragmentés dans la zone benthique entraînant une forte biodiversité sur des surfaces réduites.



Figure 1: Le golfe normand-breton

Cependant, cette entité est le siège de nombreuses activités anthropiques. En effet, les activités de pêche sont essentiellement côtières avec la dominance de la pêche de coquillages et le caseyage qui cible les bulots, les seiches et les gros crustacés. Les pêches par chalutage des espèces de poisson sont relativement moins importantes et les connaissances des stocks de la ressource halieutique sont très variables. Les espèces recherchées par le chalutage côtier sont diverses et plutôt benthiques, voire démersales, telles que les seiches, les soles, les surmulets et les grondins. Par ailleurs, le golfe normand-breton s'avère être un bassin de plaisance et un lieu touristique ou la pêche de loisir et les sports nautiques sont pratiqués. De plus, cette zone constitue un des plus importants gisements d'énergie marémotrice du monde et l'attrait grandissant pour les Energies Marines Renouvelables (EMR) amène la création et le développement de projets d'installation de parcs éoliens ou hydrolien.

Les activités humaines tendent donc à s'intensifier dans les années à venir entraînant avec elles la dégradation éventuelle des habitats et des perturbations affectant les communautés et les écosystèmes du golfe. Des études ont montré, par exemple, que la construction de fermes éoliennes dans les mers du Nord et la Baltique ont impacté la distribution des marsouins communs par les bruits produits par leur installation et leur fonctionnement (CARTENSEN et al. 2006)

#### 2. La stratégie européenne et les projets pour le golfe normandbreton

La Directive Cadre Stratégie sur Milieu Marin DCSMM (2008/56/CE) fixe des objectifs communs pour la protection et la conservation de l'environnement marin d'ici 2020. Les Etats membres, dont la France, doivent élaborer et mettre en œuvre des plans de gestion appropriés dans chaque région et en assurer le suivi, afin d'atteindre les objectifs fixés. Par conséquent, une première évaluation de l'état écologique des eaux françaises et de l'impact des activités humaines a été entreprise. Elle consiste à décrire les caractéristiques principales des masses d'eaux (particularités physiques et chimiques, types d'habitat, populations animales et végétales) et à décrire les facteurs qui influencent ces caractéristiques (présence de contaminants, eutrophisation, introduction d'espèces exotiques). Des analyses complémentaires concernant la santé des stocks, la concentration en contamination ou

le réseau trophique sont alors nécessaires afin que les Etats membres puissent déterminer le « bon état écologique » des eaux.

Concernant le golfe normand-breton, la création d'une aire marine protégée (IUCN catégorie V « paysage marin protégé ») est en cours, afin que cette zone réponde aux objectifs de la Directive Cadre. A savoir, l'obtention et/ou le maintien du bon état écologique des eaux marines, ainsi que la préservation des habitats, des espèces et des fonctionnalités des écosystèmes. L'amélioration et la diffusion des connaissances sur l'état et l'évolution du milieu marin et du patrimoine naturel (activités maritimes, conséquences des changements climatiques) sont aussi requises pour une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes marins. Enfin, les activités anthropiques devront faire l'objet d'une gestion durable.

La population des grands dauphins du golfe normand-breton réside dans une aire en pleine mutation et il est important de réaliser des études sur cette communauté avant le début de la construction des parcs éoliens et hydroliens, afin de collecter des données de référence sur cette population avant toutes manifestations des impacts potentiels.

Pour l'étude de cette population, les travaux du GECC sont financés par différents acteurs soucieux du bon état écologique des eaux. Ainsi, l'Agence de l'Eau Seine Normandie s'est impliquée financièrement, depuis 2013, dans le suivi de ces mammifères marins et dans la réalisation de cette présente étude qui porte sur l'écologie trophique de cette population de grands dauphins.

## La synthèse bibliographique

## A. Les grands dauphins

Le grand dauphin, *Tursiops truncatus* (Montagu 1821), est un Cétacé du sous-ordre des Odontocètes (ou baleines à dents) et appartient à la famille des Delphinidés. C'est une espèce cosmopolite présente dans toutes les mers tempérées et tropicales, aussi bien dans les zones côtières que pélagiques. Dans les eaux européennes, le grand dauphin est observé de l'Islande au détroit de Gibraltar ainsi que dans les mers semi-fermées, telles que la mer Méditerranée et la mer Noire (HAMMOND *et al.* 2012).

#### 1. Le statut de conservation du grand dauphin

En 2014, le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) a été classé dans la liste de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) en tant que « préoccupation mineure », ce qui signifie que l'espèce ne montre aucun signe de déclin malgré les menaces qui pèsent sur celle-ci et sur son milieu. Néanmoins, il reste protégé au niveau international depuis 1973 par la Convention de Washington (Annexe II) qui interdit toute commercialisation d'individu mort ou vivant.

Cet animal est également mentionné dans l'Annexe II de la Convention de Berne (19/09/1979) qui vise la conservation des espèces menacées et de leur milieu. Enfin, la Directive Habitat du 21/05/1992 le classe dans les espèces d'intérêt communautaire dont la protection nécessite la désignation de zones spéciales de conservation (ZSC).

Au niveau national, l'arrêté du 20/10/1970 interdit la capture et la destruction du grand dauphin et l'arrêté ministériel du 27/10/1995 le place parmi les mammifères marins protégés sur le territoire français (http://www.legifrance.gouv.fr).

#### 2. Caractéristiques biologiques et comportementales

De part sa large distribution et sa popularité (il s'agit d'un animal particulièrement charismatique), le grand dauphin fait l'objet de nombreux travaux touchant à des domaines divers et variés, tels que la biologie, la génétique ou l'évolution. (CORNELL & ASPER 1978, SCOTT & WELLS 1999). D'autres travaux s'attachent plus à étudier les comportements de ces animaux (comportement alimentaire, comportement social) (GAZDA et al. 2005, GERO et al. 2005, SARGEANT et al. 2007).

#### 2.1 Les écotypes

Les grands dauphins mesurent en moyenne entre 2.30 et 3.80 mètres avec un léger dimorphisme sexuel (les femelles étant plus petites). Notons que leur taille varie sont les régions où ils vivent (REYNOLDS III et al. 2000, REEVES et al. 2002, JEFFERSON et al. 2008). L'espèce *Tursiops truncatus* présente deux écotypes (SHANE et al. 1986, CONNOR et al. 2000) : un écotype « côtier » et écotype « pélagique » qui se distinguent par leur morphologie, leur composition sanguine et leur génétique

(NATOLI & HOELZEL 2000). Les côtiers sont plus petits et vivent sur de faibles profondeurs dans les baies et dans les estuaires (ROSSBACH & HERZING 1999), tandis que les pélagiques sont plus grands et sont adaptés à la vie dans les eaux profondes (DUFFIELS *et al.* 1983). La vaste distribution de ces animaux à travers le monde est la preuve que les variations de salinité, turbidité et de températures des eaux ne représentent pas des obstacles vitaux pour l'espèce.

#### 2.2 La sociabilité et la fidélité

Le grand dauphin est un animal sociable, il vit en groupe et ses populations présentent des structures sociales de type fission-fusion (CONNOR *et al.* 2000). Cela signifie que la composition des groupes sociaux est flexible : ils se forment et se déforment à l'occasion des activités quotidiennes et les associations entre les individus sont rarement constantes. La taille du domaine vital (zone d'occupation dans laquelle l'animal effectue ses activités quotidiennes, telles que l'alimentation, le repos, la reproduction) est variable selon les groupes et dépend de l'âge, du sexe, de la densité du groupe mais aussi de la disponibilité des ressources (SHANE *et al.* 1986).

Les grands dauphins montrent différents degrés de fidélité à une zone d'occupation. Ils sont catégorisés comme résidents lorsqu'ils restent dans la zone tout au long de l'année ; ils montrent alors un fort degré de fidélité. Les grands dauphins sont définis comme nomades lorsqu'ils sont seulement de passage ; ils présentent dans la plupart des cas une fidélité saisonnière à une zone (TANAKA 1987). Enfin, lorsqu'ils effectuent de grandes migrations, leur degré de fidélité est faible et ils sont nommés migrants.

Trois populations sont présentes des côtes françaises atlantiques et de la Manche : deux sont situées dans la Mer d'Iroise et une population plus importante réside dans le golfe normand-breton (GNB).

#### 2.3 Comportement alimentaire

Le grand dauphin est un prédateur opportuniste dont le régime alimentaire est varié et peut s'accorder en fonction de l'abondance et de la disponibilité des proies (KLINOWSKA 1991). Ainsi en zones côtières, il se nourrit principalement d'espèces benthiques et démersales (LEATHERWOOD & REEVES 1983). Cependant, bien que les grands dauphins soient largement distribués et étudiés à travers le monde, leurs habitudes alimentaires sont encore mal connues (KASTELEIN et al. 2002). En effet, leur évolution dans le milieu marin rend les observations de leurs comportements et de leurs écologies difficiles. Il semblerait que leurs mouvements et le succès de la recherche alimentaire (SARGEANT et al. 2007) soient influencés par les caractéristiques de l'habitat (DEFRAN et al. 1999, SHANE 1987) et la distribution des ressources (BALLANCE 1992).

#### 3. Les menaces

Les prédateurs marins, tels que les grands dauphins, occupent les plus hauts niveaux trophiques de la chaîne alimentaire. Ils sont donc très sensibles aux perturbations qui peuvent se produire tout au long des niveaux trophiques (PACE *et al.* 1999). En effet, s'ajoutent aux perturbations directes liées à la présence de l'homme (pollutions, captures accidentelles, trafic maritime), les effets indirects émanant des activités anthropiques tels que la diminution de la ressource alimentaire causée par la surpêche,

entraînant une prédation accrue pour l'accès à la nourriture (JENNINGS *et al.* 1999, NORTHRIDGE & HOFMAN 1999). Il a été montré par Laiste *et al.* (2001) que les grands dauphins résidents dans les zones côtières étaient les plus exposés aux perturbations anthropiques. Outre les menaces d'origine humaine, ils sont aussi soumis aux modifications de l'habitat et du réseau trophique émanant des changements climatiques (LEARMONTH *et al.* 2006).

## B. Les notions de l'écologie trophique

#### 1. L'alimentation

Afin d'appréhender, au mieux, le fonctionnement des communautés et des écosystèmes, il est fondamental de connaître les relations trophiques qui lient les organismes vivants entre eux. Le terme « trophique » se rapporte à ce qui fait référence à la nutrition d'un individu (<u>www.larousse.fr</u>). Ainsi, l'écologie trophique est la science qui étudie les êtres vivants dans leur milieu et les interactions entre eux lors de leur alimentation.

L'alimentation est un mécanisme fondamental par lequel un organisme se procure l'énergie indispensable à sa croissance et à sa reproduction (KERRIGAN 1994). Les ressources alimentaires influencent donc l'ensemble de la vie (la fécondité ou l'espérance de vie par exemple) de l'organisme (GERKING 1994). Par conséquent, connaître l'alimentation d'une espèce est indispensable à la compréhension de sa biologie et de son écologie.

De plus, l'alimentation détermine les relations entre les organismes d'un écosystème et le transfert d'énergie entre les niveaux trophiques.

#### 2. Les niveaux trophiques

Un écosystème comporte un ensemble de chaînes alimentaires dont chacune est une juxtaposition de niveaux trophiques. L'ensemble est appelé le réseau trophique.

Un niveau trophique regroupe tous les organismes dont le mode de nutrition est identique ou très similaire en terme de composition alimentaire (LINDEMAN 1942). Ainsi, sont retrouvés, à la base de la chaîne alimentaire, les organismes qui acquièrent leur énergie par la photosynthèse : les producteurs primaires. Les organismes qui s'alimentent à partir des producteurs primaires constituent le niveau trophique des consommateurs primaires, et ainsi de suite pour les consommateurs secondaires et tertiaire dont l'alimentation repose sur les organismes du niveau trophique immédiatement inférieur. Ces relations trophiques ne sont pas aussi clairement délimitées (le cas des omnivores qui se nourrissent à partir de plusieurs niveaux). Néanmoins ce schéma fourni un système de niveaux trophiques directement utilisable dans les études sur l'écologie trophique des espèces (GERKING 1994).

## 3. Les méthodes d'analyse de l'écologie trophique des prédateurs marins

L'étude de l'écologie alimentaire des animaux n'est pas aisée dans l'environnement marin. La méthode directe consistant à observer l'animal en train de se nourrir est rare et requiert souvent de longues heures de travail de terrain (ACEVEDO-GUTIERREZ & PARKER 2000). Par conséquent, les scientifiques utilisent plus généralement des méthodes indirectes pour leurs études.

#### 3.1 L'analyse des contenus stomacaux

Cette méthode consiste à analyser le contenu de l'estomac de l'animal.

Chez les prédateurs marins, les restes caractéristiques de l'alimentation (exosquelettes des crustacés, becs chitinisés de céphalopodes, otolithes et os de poissons) sont mesurés afin d'estimer la taille et la masse des proies ingérées et, ainsi, de les identifier.

Pour affiner les analyses des contenus stomacaux, des anticorps (PIERCE *et al.* 1990a, 1990b, BOYLE *et al.* 1990) ou des marqueurs génétiques (FARRELL *et al.* 2000, JARMAN *et al.* 2002, JARMAN & WILSON 2004) spécifiques à une espèce sont utilisés pour confirmer sa présence dans les restes digérés.

Ces méthodes, cependant, ont des limites :

- → Les tissus durs de certaines espèces, comme les Otolithes et becs chitinisés, par exemple, ont tendance à rester plusieurs mois dans l'estomac. Lors de l'analyse, ces tissus se retrouveront donc en plus grandes proportions que d'autres. A l'inverse, la fraction des proies facilement digérables seront difficilement détectables. Cela induit des erreurs d'appréciation dans l'étude du régime alimentaire (FURNESS et al. 1984, DUFFY & JACKSON 1986).
- → Les repas étant généralement digérés sous 2-3 jours, les résultats n'offrent qu'une vue à court terme de la composition alimentaire.
- → Ce type d'analyse s'effectue principalement sur des individus morts. Les causes de la mort n'étant pas connues, elles peuvent provenir d'une mauvaise condition physique de l'animal qui a pu influencer son comportement alimentaire (MACLEOD *et al.* 2006).

#### 3.2 L'analyse des traceurs alimentaires

Ces méthodes se basent sur le principe de « we are what we eat » (« nous sommes ce que nous mangeons »). En effet, la composition des tissus des consommateurs est le reflet de façon prédictive de celle de leur alimentation (DE NIRO & EPSTEIN 1977).

Ainsi, les métaux lourds comme le Cadmium ou le Mercure, se retrouvant dans certains organes des prédateurs supérieurs, peuvent être utilisés comme indicateurs de leur régime alimentaire (BUSTAMANTE *et al.* 1998, BOCHER *et al.* 2003).

Au même titre que les métaux lourds, les lipides sont aussi employés comme marqueurs trophiques (FRASER & SARGENT 1989, LEA *et al.* 2002a).

Enfin, les isotopes stables du Carbone, de l'Azote et du Soufre sont de plus en plus utilisés comme traceurs alimentaires.

Contrairement à l'analyse des contenus stomacaux, l'utilisation de ces traceurs alimentaires permet :

- → L'étude sur des individus vivants
- → L'obtention d'une idée du régime alimentaire de l'animal sur une échelle de temps plus importante

## C. Les isotopes stables

#### 1. Qu'est-ce que c'est?

Les isotopes désignent les différentes formes d'un même élément chimique. Ces formes possèdent un nombre de neutrons et des masses atomiques distincts. Ils se divisent donc en deux catégories selon le nombre de leurs neutrons: les isotopes légers et les isotopes lourds.

Dans notre étude, nous considèreront les isotopes suivants :

- → <sup>12</sup>C et <sup>13</sup>C : Respectivement Isotope léger et lourd du carbone
- → <sup>14</sup>N et <sup>15</sup>N : Respectivement Isotope léger et lourd de l'azote
- → <sup>32</sup>S et <sup>34</sup>S : Respectivement Isotope léger et lourd du soufre

Ces isotopes ne se désintègrent pas au cours du temps : ils sont appelés isotopes stables.

Chaque organisme vivant assimile des isotopes tout au long de sa vie.

#### 2. Le fractionnement isotopique

Les masses légèrement différentes des isotopes d'un élément leur confèrent des propriétés physiques et chimiques qui leur sont propres.

Les isotopes légers étant moins stables que les lourds, ils ont tendance à réagir plus vite et sont mobilisés plus rapidement par l'organisme (GASHGHAIE *et al.* 2001). Par conséquent, la proportion d'isotope lourd par rapport au léger va augmenter au sein de l'organisme (PETERSON & FRY 1987) : c'est le fractionnement isotopique.

Le fractionnement isotopique est à l'origine des différences d'abondances naturelles des isotopes stables entre les divers niveaux trophiques présents de la chaîne alimentaire (GASHGHAIE *et al.* 2001). Ce processus sert de base à l'utilisation des isotopes stables comme traceur trophique (OWENS 1987).

#### Le ratio isotopique

Le ratio isotopique (noté  $\delta$ ) peut être calculé pour chaque individu. Il désigne la mesure relative de la composition isotopique d'un échantillon par rapport à une référence internationale selon la formule suivante (MCKINNEY et al. 1950) :

$$\delta X \text{ (\%0)} = \left(\frac{R \text{ \'e}chantillon}{R \text{ \'r\'ef\'e}renc\'e} - 1\right) \times 1000$$

Où : X correspond à l'isotope lourd (<sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N ou <sup>34</sup>S) et R représente le ratio isotope lourd/ isotope léger (<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C, <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N, <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S).

#### 3. Les isotopes : des outils d'étude trophique

Les isotopes stables du carbone et de l'azote se sont révélés être des outils appropriés pour l'identification des sources de matière des réseaux trophiques et des relations trophiques dans les écosystèmes (FRY & SHERR 1984, OWENS 1987, PETERSON & FRY 1987).

L'utilisation des isotopes stables comme traceurs trophiques repose sur le principe de base : le ratio isotopique d'un organisme est directement lié à la composition isotopique de son alimentation (FRY & ARNOLD 1982, LACROIX & MOSORA 1975, TIESZEN *et al.* 1983). Un consommateur présentera donc un enrichissement plus important en isotope lourd que les organismes dont il se nourrit.

Les isotopes utilisés comme traceurs sont majoritairement ceux du carbone et de l'azote. Le soufre est moins utilisé mais tend à se démocratiser dans les études trophiques.

Selon la vitesse de régénération des tissus sur lesquels les mesures isotopiques sont effectuées, les ratios isotopiques apportent des informations à court terme (le plasma : une semaine) (BROWNING et al. 2014) ou à plus long terme (collagène des os : des années) (MENDES et al. 2007, KERNALEGUEN et al. 2012).

#### 3.1 Les isotopes du carbone

Cet élément chimique est présent dans l'air, l'eau et la terre. Il est absorbé par les plantes pendant la photosynthèse. Lors de ce processus, le fractionnement isotopique diffère en fonction des caractéristiques spécifiques de la plante et celles du milieu dans lequel elle vit. Par conséquent, le carbone, et notamment son ratio isotopique ( $\delta^{13}$ C) peut être utilisé pour déterminer le type d'environnement dans lequel un organisme a vécu (MENDES *et al.* 2007).

Dans les milieux marins, cet indicateur permet de mettre en évidence les préférences alimentaires caractéristiques de la zone néritique (côtière) et celles caractéristiques de la zone pélagique (HOBSON et~al.~1994). En effet, le  $\delta^{13}$ C présente des valeurs plus importantes en milieu côtier qu'en milieu pélagique (HOBSON & WELCH 1992a, HOBSON et~al.~1994, FRANCE 1995a). En moyenne, le  $\delta^{13}$ C augmente de 1 ‰ entre chaque niveau trophique. Cet enrichissement est cependant considéré comme relativement faible par rapport à celui que présente l'azote (de NIRO & EPSTEIN 1978, MICHENER & SCHELL 1994).

#### 3.2 Les isotopes de l'azote

L'azote est présent dans l'atmosphère. Il est absorbé par les plantes par le processus de fixation.

Comparativement à celui du carbone, le ratio isotopique entre les niveaux trophiques de l'azote augmente d'environ 3‰ à chaque niveau trophique (DE NIRO & EPSTEIN 1978, MICHENER & SCHELL 1994). Cette augmentation entre niveaux est due à une élimination de l'isotope léger (¹⁴N) par l'organisme (PETERSON & FRY 1987).

Ce ratio isotopique est utile pour déterminer le niveau trophique d'un organisme dans la chaîne alimentaire (OWENS 1987, VANDER ZANDEN *et al.* 1997).

#### 3.3 Les isotopes du soufre

L'utilisation du soufre en tant qu'indicateur trophique est moins fréquente. La variation de son ratio isotopique ( $\delta^{34}$ S) est indépendante des différents niveaux trophiques (MEKHTIYEVA *et al.* 1976, PETERSON *et al.* 1986) mais est liée à plusieurs paramètres (MCCUTCHAN *et al.* 2003) :

- $\rightarrow$  L'alimentation de l'organisme ( $\delta^{34}$ S plus fort lorsque l'alimentation est riche en protéine comparé à un  $\delta^{34}$ S issu d'une alimentation composée de végétaux).
- → Le mode d'excrétion de l'organisme.
- → L'environnement dans lequel évolue l'organisme. Le ratio isotopique du soufre est plus important chez les organismes vivant dans les zones pélagiques (REES et al. 1978).

## L'étude réalisée

## A. Sujet de l'étude : les grands dauphins du golfe normand-breton

En 2010, le nombre de grands dauphins dans golfe normand-breton a été estimé à environ 372 (IC 95% : 347-405) individus, ce qui en fait une des plus importantes populations d'Europe (GALLY 2013).

Au sein du golfe, cette population présente une distribution dite agrégée c'est-à-dire qu'il existe des zones de forte abondance et d'autres zones où les individus sont moins présents. Les travaux de Chambault, en 2013, ont révélé que les grands dauphins se concentraient autour des Minquiers en hiver et se dispersaient au printemps et en été vers des zones d'occupations diverses et notamment dans la Baie du Mont Saint Michel. Dans cette même étude, il a été montré que la population réside entre le rivage et l'isobathe de 20-30 mètres ; il s'agit donc une population côtière.

Le fait d'observer globalement les mêmes individus d'une année sur l'autre met en évidence la fidélité de cette population à la zone. Elle est donc qualifiée de sédentaire.

Cette population présente une structure sociale dans laquelle aucun groupe ou individu n'est isolé, bien qu'il soit constitué d'associations préférentielles. En effet, au sein de cette population, trois groupes sociaux (clusters) se distinguent et occupent le golfe normand-breton différemment : le premier occupe préférentiellement le sud, le second est observé sur toute la zone et le troisième est principalement présent au nord. Néanmoins, les aires de répartition de ces trois clusters se chevauchent et des groupes de dauphins appartenant à des clusters différents sont très souvent observés dans une même zone. Ainsi, le facteur géographique n'est pas l'unique explication de la structure sociale de la population (GALLY 2013, LOUIS 2014).

## B. Objectifs de l'étude

Cette étude s'ajoute aux travaux réalisés par le GECC depuis 2009 dont le but principal est d'acquérir des données sur la population de grands dauphins pour une meilleure compréhension de son écologie et, ainsi assurer son maintien et sa préservation dans le golfe normand-breton. Une plus grande connaissance d'une espèce ou d'une population permet de prédire, de façon plus sûre, les réponses comportementales ou dynamiques de survie à une éventuelle perturbation de son habitat, telle que la construction d'un parc éolien ou une modification des ressources trophiques.

Dans ce contexte, nous avons souhaité étudier l'écologie alimentaire des grands dauphins du golfe normand-breton. Pour ce faire nous avons comparé les ratios isotopiques stables du  $\delta^{13}$ C, du  $\delta^{15}$ N et du  $\delta^{34}$ S des grands dauphins avec ceux de 38 espèces de proies potentielles échantillonnées dans l'ensemble du golfe normand-breton. Les profils ainsi obtenus nous ont permis d'explorer les hypothèses suivantes :

- L'existence de groupes comportementaux de dauphins se traduit par des habitudes alimentaires différentes

#### - Les régimes alimentaires des dauphins varient au cours des saisons

Ces deux hypothèses impliquent que les dauphins s'alimentent avec des proies différentes appartenant à des espèces ou à des groupes de taille particulière et/ou que les proies sont localisées dans des habitats différents. L'existence d'une variation saisonnière des signatures des dauphins pourrait s'interpréter, là encore, par un changement de proies, dû à un shift des proies principales sans changement d'habitat, et/ou à un changement saisonnier des habitats de chasse.

Afin de tester ces hypothèses, nous avons tout d'abord étudié la composition isotopique des dauphins à partir d'une base de données existante. Puis nous avons analysé les compositions isotopiques du S, du N et du C de 306 proies échantillonnées dans trois zones du nord du centre et du sud du GNB correspondant aux zones d'occupation préférentielle des trois groupes de dauphins. Le  $\partial^{15}N$  est un indicateur fiable du niveau trophique, le  $\partial^{13}C$  est un bon indicateur de l'origine des sources primaires du réseau, avec une distinction des végétaux d'origine continentale ou pélagique. Le  $\partial^{34}S$ , quant à lui, est généralement utilisé pour distinguer les sources pélagiques des sources benthiques. Cela nous a permis de vérifier les caractéristiques isotopiques de chaque espèce, d'en tester les différences, et de rechercher l'existence de variations spatiales entre ces trois zones. Enfin, nous avons comparé les spectres isotopiques des prédateurs avec ceux des proies potentielles. En appliquant des règles de fractionnement simple, nous avons identifié les proies potentielles et comparé les spectres alimentaires potentiels des trois groupes de dauphins.

#### C. Matériel et méthodes

#### 1. La collecte des données

#### 1.1 Les données concernant les grands dauphins

Muni d'une dérogation (09/115/DEROG), le GECC a mené des campagnes en mer, de septembre 2010 à août 2012 afin de réaliser des biopsies sur les grands dauphins présents dans le golfe normand-breton. Une biopsie est un prélèvement de fragment de tissu ou d'organe qui sera l'objet d'analyses diverses.

Au cours de ces deux années, 98 biopsies ont été réalisées à l'aide d'une arbalète (Panzer Barnett 5) et de flèches crées par Finn Larsen et dont les embouts font 30mm de diamètre (Danish Institute for Fisheries Research). Les grands dauphins ciblés sont des individus adultes ou sub-adultes (individus séparés de leur mère mais n'ayant pas atteints leur maturité sexuelle [Santon *et al.* 2011]). Les femelles en compagnie d'un jeune âgé de moins de deux ans n'ont pas été biopsiées.

A chaque biopsie correspond un numéro d'échantillon auquel est associé la date du prélèvement, l'identité du grand dauphin si possible (grâce à la photo-identification), l'endroit où a été faite la biopsie, le statut de l'individu (adulte, sub-adulte), les noms du tireur et du collecteur des données, la distance de tir, ainsi que ses coordonnées géographiques (cf carte 1 annexe I).

Les échantillons prélevés contiennent à la fois de la peau et du lard et sont en général de 6 mm de diamètre et 15 mm de long (caractéristiques variables selon l'angle et la distance de tir). Ils sont ensuite stockés à -20°C dans l'attente d'être analysés.

Des biopsies ont aussi été réalisées sur des individus retrouvés échoués sur le rivage de la mer de la Manche et de l'océan Atlantique. Ainsi 45 biopsies ont été effectuées de 1997 à 2012. Chacune d'elle représente un individu mort dont l'écotype a été déterminé par des études génétiques. Les signatures isotopiques ont ensuite été mesurées suivant le même protocole que celui des biopsies des individus du golfe.

#### 1.2 Les données concernant les espèces de poissons et de céphalopodes

Parallèlement aux biopsies, le GECC a entrepris la collecte d'espèces de poissons et de céphalopodes présentes dans le golfe normand-breton et susceptibles de faire partie du régime alimentaire des grands dauphins.

#### a. Le prélèvement des individus du golfe normand-breton

Afin d'obtenir un échantillon représentatif de la zone d'étude, le golfe normand-breton a été divisé en trois grandes zones : le Nord, le Milieu et le Sud. Dans la même idée, le GECC a tenté de maximiser le nombre d'espèces. La collecte totale d'environ 640 proies potentielles s'est déroulée durant plus de 2 ans : de juin 2011 à août 2013.

La majorité des individus-proies a été obtenue lors de sorties en mer, en compagnie des pêcheurs professionnels (les chalutiers Black Pearl, Pescadore et le Monaco du Nord). La position GPS médiane de chaque trait de chalut et le nombre d'individus prélevés par espèce ont été reportés dans des fiches d'informations comportant le nom du bateau et celui de l'observateur du GECC, la date de la pêche et le numéro du trait de chalut (I à XIV).

Des individus-proies ont été collectés dans différents ports du golfe et sont associés à la date de la pêche, au nom du pêcheur et à une localisation GPS moyenne déterminée pour chaque port (Dielette, Vivier sur Mer, Saint Pair sur Mer) (cf carte 2 Annexe II).

Le stock est donc constitué de 38 espèces. 10 % du nombre d'individus sont des céphalopodes (seiches et calmar) et 90% appartiennent à des espèces de poissons.

#### b. Sélection et préparation des poissons et céphalopodes

L'ensemble des proies potentielles prélevées a été stocké dans des sacs en plastique et mis dans un congélateur (-20°C). Un travail préliminaire de vérification et d'identification des espèces a été réalisé grâce à différents guides de détermination (LOUISY 2002).

Lorsqu'une espèce était représentée par un nombre d'individus suffisant, il a été décidé de sélectionner 5 individus par grandes zones du golfe normand-breton (Nord, Milieu, Sud) selon leur date de prélèvement et leur taille. Les individus sélectionnés présentent une taille avoisinant la taille habituelle des proies des grands dauphins, soit environ 200 mm (SPITZ et al. 2006). Pour avoir un échantillon le plus aléatoire possible, les individus sélectionnés pour les mesures isotopiques ont été prélevés par différents chalutiers ou à différentes dates. Le nombre de 5 individus par zone et par espèce a été déterminé afin que l'échantillon soit représentatif de l'espèce et que les résultats obtenus par les analyses statistiques soient significatifs. Ce choix est un compromis entre les manipulations statistiques des résultats et le temps imparti pour la préparation des échantillons destinés aux mesures isotopiques. Lorsqu'une espèce n'était représentée que par un ou quelques individus, tous les individus sans sélection de la taille/zone/date de prélèvement ont été disséqués.

Au total, 330 individus appartenant aux 37 espèces ont été disséqués (cf tableau 1, Annexe III). Chaque individu a été mesuré (taille totale = bout de la nageoire caudale à l'extrémité de la tête en millimètre) et pesé (en grammes) avant l'étape de dissection.

Le choix du tissu à prélever s'est porté sur le muscle latéral (ou muscle blanc) plus couramment appelé le filet du poisson. Ce tissu présente des ratios isotopiques du carbone et de l'azote qui ne sont influencés que par le régime alimentaire et/ou la zone d'alimentation (PINNEGAR & POLUNIN 1999). De plus, les muscles blancs sont des tissus à taux de renouvellement intermédiaire et permettent donc « l'enregistrement » des ratios isotopiques à l'échelle de quelques mois (BROWNING *et al.* 2014, THOMAS & CAHOON 1993, TIESZEN *et al.* 1983).

#### 2. Les mesures isotopiques

#### 2.1 Le protocole de préparation des échantillons

#### a. Préparation des échantillons issus des biopsies

Les fragments de peau (issus des biopsies) ont été séchés à 45° dans un incubateur pendant 48 h. Ces fragments ont ensuite été délipidés pour les mesures des ratios de carbone et d'azote. En effet, les lipides sont des molécules très appauvries en <sup>13</sup>C par rapport aux autres composants tissulaires et leur présence induit une sous-estimation de la mesure isotopique du carbone (DE NIRO & EPSTEIN 1977). Leur extraction n'entraîne aucun effet sur les valeurs des ratios de soufre. Ainsi, les échantillons sous forme de poudre ont été mélangés avec 2mL de cyclohexane pendant 1 heure et centrifugés pendant 10 minutes à 3500 tours/min. Le surnageant contenant les lipides a été supprimé du tube et l'opération a été renouvelée jusqu'à ce que celui-ci soit devenu transparent. Les échantillons ont été ensuite placés dans un incubateur pendant 48 heures. Suite à la phase de déshydratation, des sous échantillons ont été pesés grâce à une microbalance (300 à 400 µg pour le carbone et l'azote et 1000 à 1300 µg pour le soufre) et conditionnés dans des capsules en étain (LOUIS 2014). Les ratios isotopiques ont alors été déterminés par un spectromètre de masse à flux continu (Thermo Scientific, Delta V Advantage) couplé d'un analyseur élémentaire (Thermo Scientific, Flash EA 1112).

#### b. Préparation des échantillons issus des poissons et des céphalopodes

10 g de muscle blanc ont été prélevés sur chaque individu sélectionné, placés dans des sachets en plastiques et identifiés par un code individuel. Entre chaque dissection, le matériel (table, scalpel, balance) était rincé à l'eau et séché avec du papier essuie-tout. Puis les sachets ont été stockés dans un congélateur à -80°C. Cette faible température facilite l'étape de lyophilisation. Le lyophilisateur effectue alors une dessiccation primaire de 6 heures constituant la phase de sublimation (passage de l'eau de l'état solide à l'état gazeux), puis une dessiccation secondaire de 18 heures qui est une phase de désorption des molécules d'eau restantes dans l'échantillon. A la fin de ces 24 heures, les échantillons ont été transférés dans des tubes solides hermétiques dans lesquels deux billes (3 mm et 4 mm) en acier inoxydable avaient été insérées. Ces tubes ont ensuite été placés dans un broyeur à billes pendant 5 minutes à 25 Hz. Si la poudre obtenue n'était pas homogène, un second cycle de broyage (5 minutes, 25 Hz) était alors été relancé. L'hermétisme des tubes et leur stockage dans des déshumidificateurs ont permis de garder l'échantillon sec.

800 à 1000 μg d'échantillon ont été pesés grâce à une microbalance (Sartorius) et placés dans une capsule en étain. Cette capsule a ensuite été fermée et pressée sous forme de boulette dont le

diamètre ne dépassait pas les 3 mm. Entre chaque boulette, le matériel était nettoyé afin d'éviter toute contamination. Une fois cette opération achevée, les boulettes ont été disposées dans des plateaux stériles contenant 96 puits référencés. Ces plateaux ont pour rôle d'assurer l'identification des boulettes (et donc des individus) et leur protection lors du transport jusqu'au Spectromètre de Masse à flux continu qui calcule les ratios isotopiques.

#### 2.2 La mesure des ratios isotopiques du carbone, de l'azote et du soufre

Les mesures isotopiques ont été effectuées à l'Université de Caen dont l'UMR INRA EVA 950 et la SFR ICORE possède une plateforme (PLATIN') qui réunit des équipements de spectrométrie de masse et qui rend ainsi possible l'analyse des échantillons pour leurs contenus en isotopes stables de l'azote (15N/14N), du carbone (13C/12C) et du soufre (34S/32S). Ce système comprend un analyseur élémentaire (EA 3000, Euro Vector) couplé à un spectromètre de masse (Horizon, NU Instruments) permettant de mesurer les trois ratios isotopiques.

Les abondances isotopiques ont été estimées à partir des standards IAEA (International Atomic Energy Agency) selon la référence internationale, pour l'azote, qui est l'air atmosphérique ( $^{15}$ N/ $^{14}$ N= 0.0036735); pour le carbone, la référence internationale est V-PDB (Pee Dee Belenite , $^{13}$ C/ $^{12}$ C= 0.0112372) et le soufre dont la référence internationale est V-CDT (Viena Canyon Diablo Troilite,  $^{34}$ S/ $^{32}$ S= 0.0112372).

#### 3. Analyses descriptives et statistiques des mesures isotopiques

Les analyses ont été réalisées sous le logiciel R (version 3.1.1) avec le package FactomineR (développé par Husson, Josse, Lê et Mazet).

#### 3.1 Les analyses en composantes principales

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées afin de représenter les individus (les grands dauphins ou les poissons) et mettre en évidence d'éventuelles structures au sein des signatures isotopiques. Un individu est caractérisé par trois ratios isotopiques : le  $\delta^{15}$ N, le  $\delta^{13}$ C et le  $\delta^{34}$ S et aucune représentation graphique simple ne permet de visualiser correctement l'ensemble des données.

Ainsi 4 ACP ont été réalisées et traitées dans les résultats. Afin de faciliter la lecture de ces projections, le cercle de corrélation dans lequel sont projetées les variables (ici les trois variables : azote, carbone et soufre) a été intégré au plan de projection des individus.

#### 3.2 Les analyses statistiques

La normalité des données a été systématiquement vérifiée par le test de Shapiro, tout comme l'homoscédasticité des variances l'a été par le test de Levene au seuil de significativité de 5%.

Lorsque les deux conditions étaient vérifiées, des ANOVA à un facteur ont été réalisées. Elles permettent de comparer les moyennes de plus de deux groupements de données («populations») et de révéler si les moyennes entre ces groupes sont significativement différentes. Un test post-hoc de

TukeyHSD a été réalisé à la suite, afin de déterminer les différences significatives entre les paires de moyennes. Le seuil de significativité a été établi à 5%.

Lorsque les variances n'étaient pas homogènes entre les groupements de données, le test non paramétrique de Kruskall-Wallis a été employé.

#### a. Etude des ratios isotopiques des grands dauphins

Influence de la zone de vie : L'espèce des grands dauphins (*Tursiops truncatus*) présente deux écotypes qui n'occupent et ne s'alimentent pas dans les mêmes milieux. Afin d'observer si ces différents milieux influencent les signatures isotopiques des individus, les biopsies effectuées sur les individus morts ou vivants et dont l'écotype est connu ont été utilisées. Une analyse en composantes principales a été réalisée (<u>ACP1</u> cf figure 2). Les ratios isotopiques moyens de l'azote, du carbone et du soufre ont été ensuite comparés entre les deux groupes et testés par des tests non paramétriques de Kruskall-Wallis.

Etant donné que cette étude vise à déterminer le régime alimentaire des grands dauphins du golfe normand-breton, les influences de la structure sociale, du sexe et de la saison ont été vérifiées seulement sur les mesures isotopiques issues des biopsies réalisées sur la population du golfe (96 biopsies).

Influence de la structure sociale : 61 biopsies ont été faites sur des individus dont l'appartenance à un cluster social est connue : cluster Baie = 7 grands dauphins / cluster Minquiers : 27 individus / cluster Nord : 24 individus et 35 sur des individus non identifiés. Une analyse en composantes principales a été effectuée (ACP2 cf figure 4). La comparaison des ratios isotopiques présentés par les trois clusters a été faite par une ANOVA à un facteur.

Influence du sexe: 23 biopsies ont été réalisées sur des grands dauphins femelles et 61 sur des mâles adultes. Neuf individus sont des sub-adultes et ont été isolés malgré leur sexe connu car ils pourraient ne pas montrer le même type de régime alimentaire que les adultes (des techniques de chasses non acquises par exemple [SARGEANT et al. 2007, SARGEANT & MANN 2009]). Une ANOVA a permis de comparer les moyennes de ces trois groupes.

Influence de la saison: L'année a été divisée en quatre saisons: l'été (du 22 juin au 21 septembre), l'automne (du 22 septembre au 21 décembre), l'hiver (du 22 décembre au 21 mars) et le printemps (du 22 mars au 21 juin): 10 biopsies ont été faites pendant l'hiver, 23 au printemps, 30 en été et 33 pendant l'automne. Trois ANOVA ont été effectuées afin de révéler des différences significatives des ratios isotopiques entre les saisons.

#### b. Etude des ratios isotopiques des poissons et céphalopodes

Les études se sont basées sur les mesures isotopiques issues de 306 individus prélevés dans le golfe normand-breton. Ces 306 individus appartiennent à 37 espèces. Une analyse en composantes principales a été réalisée (<u>l'ACP 3</u> cf figure 7).

*Influence de la zone géographique :* L'étude se base sur les coordonnées GPS des prélèvements (traits de chalut et point GPS moyen des différentes zones de pêches) des individus. Selon où se trouve le point GPS, l'individu est associé à une des trois zones définies précédemment (Nord, Milieu et Sud).

Les espèces sur lesquelles l'influence de la zone a été testée, présentent au minimum 4 individus issus de chaque zone. 11 espèces sont dans ce cas : la Barbue /le Calmar/le Chinchard / la Dorade/ le Dragonnet/ le Grondin camard/le Maquereau/ la Plie/ la Roussette/ la Sole et le Rouget barbet.

Pour chaque espèce, la normalité des données et l'homogénéité des variances ont été testées pour les trois isotopes. Lorsque l'homogénéité des variances n'a pu être vérifiée, l'influence de la zone géographique a été mise en évidence par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

Lorsque la normalité et l'homoscédasticité des variances sont vérifiées, une ANOVA à un facteur a été réalisée.

Les espèces dont les signatures isotopiques varient selon la zone géographique ont été exposées à l'aide d'histogrammes.

*Influence du mode de vie* : Les espèces sont regroupées selon leur mode de vie (dires d'experts : Alexandre Carpentier & Eric Feunteun). A savoir :

- <u>Les espèces pélagiques</u>: elles vivent dans les eaux proches de la surface ou entre la surface et le sol. La plupart sont grégaires et vivent donc en bancs. Ici sont catégorisées comme pélagiques, les 11 espèces suivantes : l'Alose, le Calmar, le Chinchard, le Hareng, les 3 espèces de lançons (At, Hi et HI), le Maquereau, l'Orphie, le Prêtre et la Sardine.
- <u>Les espèces démersales</u>: elles vivent juste au-dessus du fond. Ce sont des espèces souvent très mobiles et dépendantes du fond d'où elles tirent leur nourriture. 12 espèces de l'étude entrent dans cette catégorie : le Bar, le Crénilabre de baillon, la Dorade, le Lieu, le Merlan, les Mulets lippu, doré et porc, le Saint pierre, la Seiche, la Vieille et le Tacaud.
- <u>Les espèces benthiques:</u> elles vivent fixées au sol ou rasant le fond. Elles trouvent leur nourriture dans les sédiments. Beaucoup de poissons benthiques sont plats et s'enfouissent dans le sédiment afin de se protéger de leurs prédateurs. Les 14 espèces benthiques sont: le Baliste, la Barbue, le Dragonnet, le Flet, les Grondins camard et perlon, la Petite vive, la Plie, la Roussette, la Sole, le Rouget de barbet, le Syngnathe aiguille, la Torpille marbrée et le Turbot.

Une analyse en composantes principales a été réalisée (<u>ACP4</u> cf figure 11) sur laquelle les espèces qui ne sont représentées que par un individu sont éliminées. Ainsi ont été exclues : le Baliste et l'Alose. Des tests de Kruskall-Wallis ont été utilisés pour la comparaison des moyennes isotopiques de ces trois groupes.

#### c. Etude du régime alimentaire des grands dauphins du golfe normand-breton

Afin d'identifier quelles espèces pouvaient être des proies potentielles des grands dauphins, les individus ont été projetés sur un graphe (cf figure 12) selon leur  $\delta^{15}N$  en fonction de leur  $\delta^{13}C$ . Rappelons que le  $\delta^{15}N$  et le  $\delta^{13}C$  présentent des augmentations respectivement d'environ 3‰ et 1‰ entre une proie et son prédateur et le carbone. Ainsi ces fractionnements ont été soustraits des signatures isotopiques de chaque grand dauphin biopsié pour délimiter une fenêtre d'alimentation globale puis pour chaque cluster social.

Par exemple, les signatures isotopiques de l'azote des grands dauphins du cluster Baie sont comprises entre 14.22 et 15.25. Leurs proies possèdent donc des signatures isotopiques de l'azote comprises entre 11.22 et 12.25. Toujours pour le cluster de la Baie, les ratios isotopiques du carbone sont compris entre -16.98 et -15.98. Pour contribuer à l'alimentation des grands dauphins, les proies doivent avoir un ratio isotopique du carbone supérieur ou égal -17.98 et inférieur ou égal à -16.98.

Ce raisonnement a été appliqué aux trois clusters sociaux et à l'ensemble des grands dauphins biopsiés dans le golfe normand breton. Une analyse quantitative a ensuite été effectuée.

#### D. Résultats:

#### 1. Etude des ratios isotopiques des grands dauphins

#### 1.1 Influence de la zone de vie

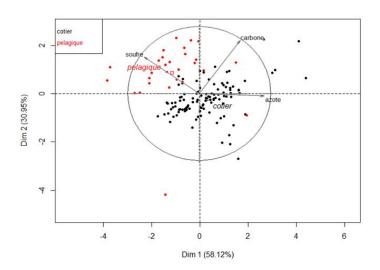


Figure 2: <u>ACP1</u>: Représentation graphique de l'analyse en composante principale des grands dauphins selon leurs signatures isotopiques. Projection des individus pélagiques et côtiers sur le plan factoriel en fonction de leurs ratios isotopiques et projection des ratios isotopiques en tant que variables explicatives.

Une première analyse en composantes principales (ACP) nous permet de montrer que les dauphins côtiers et pélagiques présentent des signatures isotopiques tranchées ( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C et  $\delta^{34}$ S) (figure 2).

Les axes factoriels 1 et 2 expliquent environ 90% de l'inertie. La variable azote (qui contribue à 47.4 % sur l'axe 1 et 0.15 % sur l'axe 2) en opposition avec la variable soufre (qui contribue à 33.9 % sur l'axe 1 et 31.8 % sur l'axe 2) sont les discriminants majeurs du nuage de points formé par la projection des signatures isotopiques des dauphins. Ces deux variables permettent de bien distinguer le groupe de dauphins « pélagiques » du groupe « côtier » qui s'opposent donc à travers ces deux signatures, azote et soufre. Quelques individus côtiers sont « tirés » par la variable carbone (qui contribue à 18.6 % sur l'axe 1 et 68 % sur l'axe 2), mais cette tendance est loin d'être généralisable.

Les résultats de l'ACP sont confortés par l'analyse statistique des signatures moyennes selon que les animaux sont pélagiques ou côtiers.

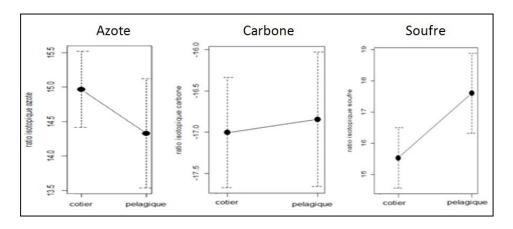


Figure 3 : Graphiques de comparaison des moyennes isotopiques et des écart-types correspondant des deux écotypes (Ncôtiers= 109 ; Npélagiques= 28) retrouvés chez les grands dauphins biopsiés.

En moyenne, l'écotype « côtier » présente des ratios isotopiques de l'azote ( $\delta^{15}$ Nmoyen = 14.96  $\pm$  0.55) supérieurs à l'écotype « pélagique » ( $\delta^{15}$ Nmoyen = 14.32  $\pm$  0.79) (KW = 14.2215, df = 1, p-value = 0.0001625). Au contraire, le ratio isotopique moyen du soufre est plus important chez les « pélagiques » ( $\delta^{34}$ Spélagique = 17.60  $\pm$  1.28 et  $\delta^{34}$ Scôtier = 15.53  $\pm$  0.96) (KW = 45.6653, df = 1, p-value = 1.403e-11). Concernant le carbone, la différence entre les deux écotypes est moins évidente à observer visuellement (figures 3 et 4) mais les pélagiques ont  $\delta^{13}$ C moyen = -16.84 $\pm$ 0.81 significativement supérieur (KW = 4.7662, df = 1, p-value = 0.02902) au ratio isotopique moyen du carbone des côtiers ( $\delta^{13}$ C =-17.0  $\pm$  0.66). A la vue de ces résultats, il apparait que le ratio isotopique du soufre est un bon indicateur lorsqu'il s'agit de faire la distinction entre les grands dauphins qui évoluent dans les eaux pélagiques et ceux qui vivent dans les zones côtières. Bien que les moyennes des ratios isotopiques de l'azote et du carbone entre les deux écotypes soient différentes, la figure 3 met en évidence un fort chevauchement des écarts-types entre les deux groupes. Par conséquent, les individus des deux écotypes présentent des signatures isotopiques pour l'azote et le carbone assez similaires, et ces deux isotopes ne permettent pas de distinguer les grands dauphins vivant au large de ceux qui résident près des côtes aussi aisément que le ratio isotopique du soufre.

## 1.2 Les signatures isotopique et la structure sociale de la population du golfe

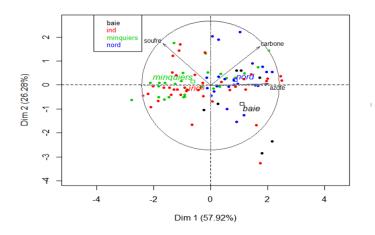


Figure 4: <u>ACP2</u>: Représentation graphique de l'analyse en composantes principales des grands dauphins du golfe normand-breton selon leurs signatures isotopiques. (a): Représentation et corrélation des ratios isotopiques en tant que variables sur le plan factoriel. (b): Projection des individus appartenant aux différents clusters sociaux sur le plan factoriel en fonction de leurs ratios isotopiques.

L'ACP nous permet de mettre en perspective les grands dauphins biopsiés du golfe normandbreton selon leur signature isotopique ( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C et  $\delta^{34}$ S) (figure 4).

Les axes factoriels 1 et 2 expliquent environ 84% de l'inertie. La variable azote contribue à 41.6 % sur l'axe 1 et 0.07 % sur l'axe 2. La variable carbone, quant à elle, contribue à 30.2 % sur l'axe 1 et 46 % sur l'axe 2. La variable soufre qui contribue à 28.2 % sur l'axe 1 et 54 % sur l'axe 2 est en opposition sur l'axe 1 avec la variable carbone et la variable azote. Les groupes identifiés par des couleurs correspondent aux clusters sociaux identifiés de la population à l'exception du groupe « ind » (pour indéterminé) qui est constitué des individus dont le cluster social n'a pu être identifié.

Cette analyse met en évidence les différents clusters auxquels appartiennent les grands dauphins biopsiés du golfe. Elle nous permet de discriminer relativement correctement ces trois clusters selon le même axe que pour les écotypes. L'importance de la signature en  $\delta^{13}$ C ressort mieux avec cette séparation en clusters. Ainsi, le cluster Nord (en bleu) se distingue sur l'axe 2 par rapport aux clusters de la Baie (en noir) et des Minquiers (en vert) (figure 4). Le cluster Baie, représenté par seulement 7 d'individus aux signatures isotopiques assez variables, ne semble pas se distinguer du cluster Minquiers.

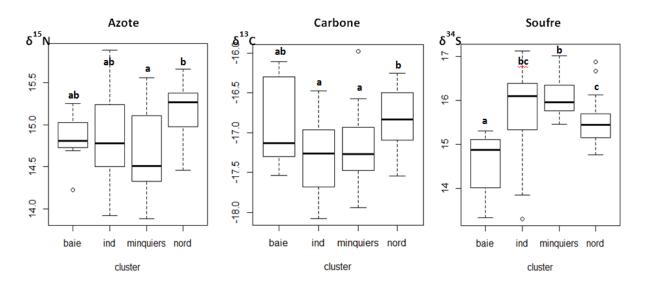


Figure 5: Boites de dispersion des ratios isotopiques ( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C,  $\delta^{34}$ S) selon les trois clusters sociaux. ANOVA 1 facteur, posthoc TukeyHSD, les lettres représentent les groupes homogènes de Tukey, a et b et c significativement différents et ab et bc non significatifs).

Le ratio isotopique de l'azote : D'après la Figure 5 et l'ANOVA (F (3;92) = 5.608, p = 0.001), le cluster Nord ( $\delta^{15}$ N = 15.16 ± 0.32) et le cluster Minquiers ( $\delta^{15}$ N = 14.66 ± 0.48) ont des ratios isotopiques significativement différents avec des plus fortes valeurs pour le cluster Nord. Les ratios isotopiques du cluster Baie ( $\delta^{15}$ N = 14.83 ± 0.34) ne se distinguent ni des ratios isotopiques du cluster Nord, ni de ceux du cluster des Minquiers. Les signatures isotopiques des individus appartenant au cluster des Minquiers et celles des individus dont le cluster est indéterminé sont très variables. Il semble que le groupe « ind » soit constitué d'individus appartenant à différents clusters, puisque les ratios isotopiques de l'azote des individus qu'il regroupe ne sont significativement pas différents des clusters Nord ou Minquiers avec une moyenne des ratios intermédiaire à celle de ces deux clusters ( $\delta^{15}$ N = 14.86 ± 0.48‰).

Le ratio isotopique du carbone : La Figure 5 et l'ANOVA (F (3;92) = 6.282, p = 0) permettent de confirmer la tendance décelée par l'ACP. En effet, le cluster Nord ( $\delta^{13}$ C = -16.84 ± 0.35) présente des ratios isotopiques significativement supérieurs à ceux du cluster des Minquiers ( $\delta^{13}$ C = -17.21 ± 0.44). Le cluster Baie est, comme dans le cas de l'azote, le groupe qui présente une moyenne des ratios isotopiques de carbone intermédiaire ( $\delta^{13}$ C= -16.85 ± 0.60) et qui ne diffère pas des deux autres clusters. Par ailleurs, on note que la moyenne des ratios isotopiques des individus dont le cluster est inconnu est significativement la même que celles du cluster des Minquiers ( $\delta^{13}$ C = -17.28 ± 0.43).

Le ratio isotopique du soufre : Les signatures isotopiques du soufre des individus du cluster Baie sont significativement plus faibles ( $\delta^{34}$ S = 14.53 ± 0.84) que ceux des clusters Nord et Minquiers. Le cluster Minquiers présente, dans l'ensemble, les plus fortes valeurs isotopiques ( $\delta^{34}$ S=16.03 ± 0.37). Les trois groupes sont, cette fois-ci, significativement différents les uns des autres. Concernant les individus sans cluster, il semblerait que la moyenne des ratios isotopiques ( $\delta^{34}$ S = 15.87 ± 0.81) soit de valeur intermédiaire à celle des clusters Minquiers et Nord.

En conclusion, les trois ratios isotopiques ( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C et  $\delta^{34}$ S) permettent de distinguer le cluster des Minquiers du cluster du Nord. Les individus appartenant au cluster Nord possèdent en moyenne

de plus forts ratios isotopiques de l'azote et du carbone par rapport aux individus appartenant au cluster des Minquiers qui, eux, ont en moyenne de plus forts ratios isotopiques du soufre. Le cluster Baie, quant à lui, ne se distingue que par la moyenne des ratios isotopiques du soufre plus faible que celles des deux autres groupes sociaux. Toutefois, il n'est représenté que par peu d'individus ce qui rend l'interprétation difficile.

Il a été démontré que les limites géographiques des trois clusters sociaux n'étaient pas fixes. En effet, bien que les grands dauphins de chaque cluster soient observés dans des zones préférentielles, de forts chevauchements spatiaux s'observent avec certains groupes se déplaçant sur l'ensemble de la zone d'étude et toujours une superposition de deux ou trois groupes distincts sur une même zone (Gally 2013). Les différences des signatures isotopiques mises en évidence entre les trois clusters ne peuvent donc pas être exclusivement expliquées par un éventuel facteur environnemental. Il semble donc que ces trois clusters, ou tout du moins le cluster du Nord et le cluster des Minquiers, soient constitués de grands dauphins qui présentent des régimes alimentaires différents.

Néanmoins, avant d'attester ou de contester l'existence de régimes alimentaires distincts entre les clusters, il est important de tester si d'autres facteurs, tels que l'âge, le sexe ou la saison, peuvent influencer les signatures isotopiques des grands dauphins.

#### 1.3 Influence d'autres facteurs : le sexe, l'âge et la saison

#### a. Le sexe et l'âge des grands dauphins

D'après l'analyse de la variance à un facteur (Tableau 3 cf annexe II), les femelles, les mâles et les sub-adultes ne semblent pas posséder de signatures isotopiques différentes et cela pour les trois ratios isotopiques. Ils présenteraient donc un régime alimentaire semblable (test Student, t = 1.7031, df = 70 ; pvalue>0.05).

#### b. La saison

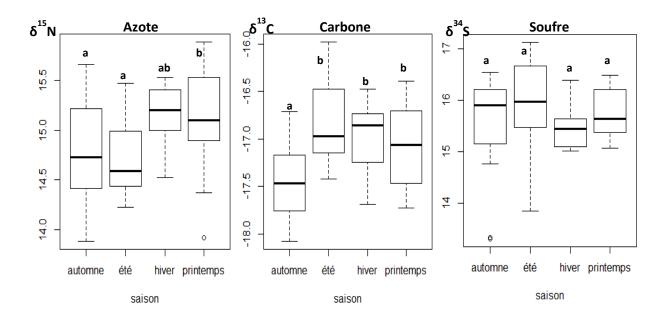


Figure 6 : Boite de dispersion des ratios isotopiques ( $\delta^{15}N$ ,  $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{34}S$ ) en fonction de la saison (automne, été, hiver et printemps). Comparaison des ratios isotopiques des grands dauphins biopsiés du GNB (ANOVA 1 facteur, post-hoc

TukeyHSD, les lettres représentent les groupes homogènes de Tukey, a et b significativement différents et ab non significatif).

Le ratio isotopique de l'azote : La représentation graphique (figure 6) couplée à l'ANOVA met en évidence un écart significatif entre la moyenne des ratios isotopiques mesurés en automne et en été avec celle des ratios isotopique mesurés au printemps (F (3 ;92) = 4.987,p = 0.002). En automne et en été les ratios isotopiques de l'azote sont plus faibles ( $\delta^{15}N_{automne}$  = 14.76 ± 0.50 ;  $\delta^{15}N_{été}$  = 14.74 ± 0.39) qu'au printemps ( $\delta^{15}N$  = 15.11 ± 0.47).

Le ratio isotopique du carbone : La saison de l'automne est caractérisée par des ratios isotopiques plus faibles que durant les autres saisons de l'année, avec une moyenne de -17.43 $\pm$  0.37 (F (3 ;92) = 11.4, p = 0.00). Les ratios en hiver ( $\delta^{13}$ C = -16.97  $\pm$  0.39), en été ( $\delta^{13}$ C = -16.85  $\pm$  0.42) ou au printemps ( $\delta^{13}$ C = -17.08  $\pm$  0.43) sont sensiblement les mêmes.

Le ratio isotopique du soufre : Les ratios de soufre restent relativement constants tout au long de l'année (F (3;92) = 1.943, p = 0.128).

Il semblerait qu'au printemps, les grands dauphins s'alimentent d'espèces proies situées à de plus haut niveaux trophiques que celles qui composeraient leur régime alimentaire durant les trois autres saisons.

Les ratios isotopiques du carbone plus faibles durant l'automne nous laisserait à penser que les grands dauphins changent de zone d'alimentation ( $\delta^{13}C_{automne}$  et  $\delta^{13}C_{\acute{e}t\acute{e}}$  significativement différents) tout en gardant la même alimentation ( $\delta^{15}N_{automne}$  et  $\delta^{15}N_{\acute{e}t\acute{e}}$  relativement similaires). Cette zone automnale n'étant pas différente selon un gradient longitudinale (puisque les individus ne montrent pas de ratios du soufre significativement différents selon la saison) et se distinguerait plutôt par un gradient Nord-Sud (latitudinal).

#### 2. Etude des ratios isotopiques des proies potentielles

## 2.1 Les signatures isotopiques des espèces de poissons et de céphalopodes du GNB

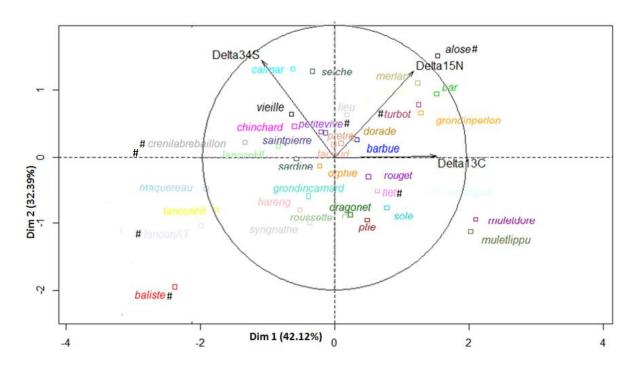


Figure 7 : <u>ACP3</u> : Cercle de corrélations des variables isotopique et projection des espèces de poissons et de céphalopodes selon leur signature isotopique moyenne( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C et  $\delta^{34}$ S). « # » identifie les espèces qui ne sont représentées que par un individu.

L'analyse en composantes principales (ACP) nous permet de mettre en perspective les espèces de poissons et de céphalopodes qui ont été prélevées dans le golfe normand-breton selon leurs signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C et  $\delta^{34}$ S).

Les axes factoriels 1 et 2 expliquent environ 74% de l'inertie. Les variables sont bien représentées dans ce plan factoriel. La variable  $\delta^{15}N$  contribue à 28.7 % sur l'axe 1 et 44.5 % sur l'axe 2 en opposition avec la variable soufre contribue à 24.1 % sur l'axe 1 et 55.5 % sur l'axe 2. La variable carbone ( $\delta^{13}C$ ) contribue à 47.2 % sur l'axe 1 et ne contribue pas sur l'axe 2.

La projection des points (figure 7), correspondant à la moyenne des ratios isotopiques des individus de la même espèce, permet une observation générale et la détection de certaines tendances. Ainsi, les espèces de mulets forment un groupe isolé et caractérisé de fortes valeurs du ratio isotopique du carbone.

Au contraire, les maquereaux et les lançons possèdent des ratios isotopiques du carbone relativement faibles par rapport aux autres espèces situées au centre du nuage de points. Ils se distinguent aussi par de faibles ratios isotopiques de l'azote et d'importantes signatures isotopiques du soufre. En effet, les deux variables sont négativement corrélées sur le plan factoriel, c'est aussi le cas pour les grands dauphins. Il semblerait que les individus qui possèdent de fortes valeurs isotopiques de soufre (donc qui évolueraient dans les eaux plus éloignées de la côte) soient de plus faibles niveaux trophiques. Cela résulterait d'une alimentation ciblée sur des proies occupant des positions plus basses dans la chaîne alimentaire.

Toutefois, les deux espèces de céphalopodes (la seiche et le calmar) présentent de relativement forts ratios isotopiques de l'azote et du soufre par rapport à la majorité des espèces de poissons analysées.

Le Baliste se distingue par un très faible ratio isotopique de l'azote. Cependant, n'étant représenté que par un individu analysé, il est délicat de généraliser cette caractéristique isotopique à l'ensemble des balistes du golfe. Il en va de même pour les 7 espèces signalées par # sur la Figure 7.

En conclusion, la projection des espèces selon leurs signatures isotopiques moyennes pour l'azote, le soufre et le carbone ne permet pas, en absence d'informations supplémentaires, de distinguer des tendances générales pour des groupes d'espèces. En effet, il est établit que de nombreux facteurs, autres que des facteurs trophiques, pouvaient influencer les ratios isotopiques des animaux, tels que l'âge, la masse, le statut reproducteur. De tels facteurs seraient à l'origine de l'importante diversité isotopique inter et intra-spécifique.

De même la zone géographique peut générer des variations dans les ratios isotopiques de la base de la chaîne alimentaire qui, par la suite, se répercuteront sur les signatures isotopiques des proies et des prédateurs. C'est pour cela que l'influence de la zone géographique dans le GNB a été testée.

#### 2.2 Influence de la zone géographique

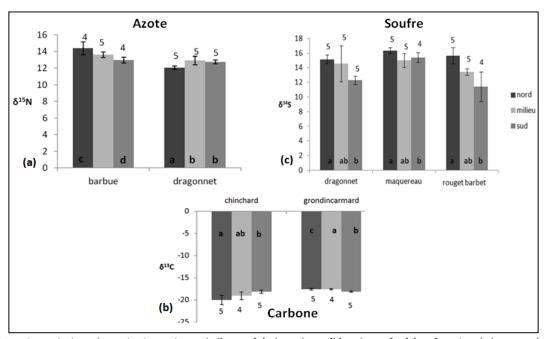


Figure 8 : Variations des ratios isotopiques de l'azote (a), du carbone (b) et du soufre (c) en fonction de la zone géographique du GNB retrouvées chez la Barbue, le Dragonne, le Maquereau, le Rouget, le Chinchard et le Grondin camard. Nombre d'individu mis en évidence par espèce et par zone. Comparaison des ratios isotopiques des dragonnets en fonction des zones (ANOVA 1 facteur, post-hoc TukeyHSD, les lettres a et b représentent les groupes homogènes de Tukey, a et b significativement différents. ab non significatifs. Les lettres c et d représentent les groupes homogènes du Kruskall wallis avec c et d significativement différents.

Influence de la zone géographique sur le ratio isotopique de l'azote : Sur les 11 espèces sélectionnées, la Barbue et le Dragonnet présentent des signatures isotopiques pour l'azote différentes selon la zone géographique.

Pour le Dragonnet, l'ANOVA montre que les individus prélevés au Nord possèdent des ratios isotopiques de l'azote distincts et significativement plus faibles ( $\delta^{15}N = 12.054 \pm 0.19$ ) de ceux pêchés dans les régions Milieu ( $\delta^{15}N = 12.91 \pm 0.52$ ) et Sud ( $\delta^{15}N = 12.75 \pm 0.25$ ) (F (2 ;12) = 8.456, p = 0.00511). Les ratios isotopiques de l'espèce de Barbue ne présentent pas de variances homogènes, toutefois, au moins une des trois régions diffère significativement par rapport aux autres (KW, p = 0.019). Au regard de l'histogramme, les Barbues prélevées au Sud possèdent des valeurs signatures isotopiques plus faibles ( $\delta^{15}N = 12.96 \pm 0.34$ ) que la zone Milieu, dont les ratios sont intermédiaires, ( $\delta^{15}N = 13.62 \pm 0.32$ ) et la zone Nord ( $\delta^{15}N = 14.38 \pm 0.76$ ).

Notons que ces deux espèces sont des poissons au mode de vie benthique : elles vivent en contact du fond marin et en sont dépendantes pour leur alimentation. Elles ne sont pas connues pour leurs déplacements sur de longues distances. Ainsi, la zone géographique dans laquelle elles ont été prélevées peut être supposée comme étant leur seule zone de vie. Par conséquent, il semblerait que la zone géographique influence les ratios isotopiques de l'azote, et particulièrement entre le Nord et le Sud. Cependant, cette influence est variable selon l'espèce : la zone Nord présente de plus fortes valeurs de ratio isotopique pour la Barbue et à la fois de plus faibles ratios pour les Dragonnets en comparaison aux individus de la même espèce situés dans les autres régions du golfe. Cela remet donc en doute l'influence réelle de la zone géographique sur le ratio isotopique de l'azote.

Influence de la zone géographique sur le ratio isotopique du carbone : La zone géographique influe sur les ratios isotopiques du carbone pour l'espèce de Chinchard. En effet, l'ANOVA révèle que les Chinchards prélevés dans les zones Sud et Nord présentent des signatures isotopiques significativement différentes (F(2,11) = 6.072, p = 0.0167). Les Chinchards du Nord ont de plus faibles ratios isotopiques ( $\delta^{13}C = -20 \pm 1.06$ ) que les individus du Sud ( $\delta^{13}C = -18.12 \pm 0.54$ ). Les individus de la zone Milieu montrent des valeurs isotopiques intermédiaires ( $\delta^{13}C = -19.07 \pm 0.88$ ). Il semblerait qu'il y ai un gradient Sud-Nord : des plus fortes valeurs vers les plus faibles. Les Grondins camards possèdent des  $\delta^{13}C$  significativement différents selon s'ils ont été prélevés dans le Nord, le Sud ou au Milieu (F (2 ;11) = 55.03, p = 0).

Influence de la zone géographique sur le ratio isotopique du soufre : D'après la figure 8c, les Dragonnets pêchés dans la zone Nord ont des  $\delta^{34}$ S significativement supérieurs ( $\delta^{34}$ S = 15.14 ± 0.59) aux Dragonnets issus de la région du Sud ( $\delta^{34}$ S = 12.29 ± 0.55). Les ANOVA réalisées sur les espèces Maquereau et Rouget mettent aussi en évidence une différence des mesures isotopiques du soufre en fonction de la zone de prélèvements des individus (respectivement (F (2 ;11) = 5.077, p = 0.0242) et F(2 ;11) = 12.49, p = 0.001).

Les Maquereaux des zones Milieu et Nord présentent des ratios de soufre significativement différents, les  $\delta^{34}$ S des individus provenant du Nord étant plus importants ( $\delta^{34}$ S = 15.40± 0.68) que ceux du Milieu ( $\delta^{34}$ S = 14.99 ± 0.89) qui ne diffèrent pas des individus provenant de la zone Sud ( $\delta^{34}$ S = 11.415 ± 1.99).

Les Rougets de la zone Nord ont des signatures isotopiques du soufre supérieures ( $\delta^{34}$ S = 15.65 ± 1.12) à celles des individus de la zone Sud ( $\delta^{34}$ S= 11.415 ± 1.99) et celles de la zone du Milieu ( $\delta^{34}$ S= 13.40 ± 0.44).

Que ce soit sur le ratio isotopique de l'azote, du carbone ou du soufre, l'influence de la zone géographique est difficile à interpréter en raison du faible nombre d'espèces testées.

Par ailleurs, sur les 6 espèces montrant des variations isotopiques en fonction la zone géographique de prélèvement, 4 sont des espèces dites à mode de vie benthique : La Barbue, le Dragonnet, le Grondin camard et le Rouget vivent au ras du fond et se nourrissent dans le sédiment.

Seulement deux espèces présentent un mode de vie pélagique (qui évolue à proximité de la surface de l'eau) : les Maguereaux et les Chinchards.

Le fait que les espèces benthiques présentent des variations selon qu'elles résident au Nord, au Milieu ou au Sud prouve que même à l'échelle du golfe normand-breton, la zone géographique entraîne des variations isotopiques interspécifiques qui pourraient en partie expliquer les différentes signatures isotopiques des grands dauphins occupant préférentiellement une certaine zone. Cela concerne plus particulièrement la zone Nord qui semble être caractérisée par la présence de fortes valeurs isotopique du soufre et de faibles ratios isotopique de carbone et d'azote.

Ajoutée au facteur géographique, l'écologie trophique des espèces de poissons et de céphalopodes influence leurs signatures isotopiques. En effet, étant elles-mêmes des consommatrices dans le réseau trophique, leur composition isotopique est le reflet de leur régime alimentaire et du milieu dans laquelle elles se nourrissent.

#### 2.3 Influence du mode de vie des espèces de poissons et de céphalopodes

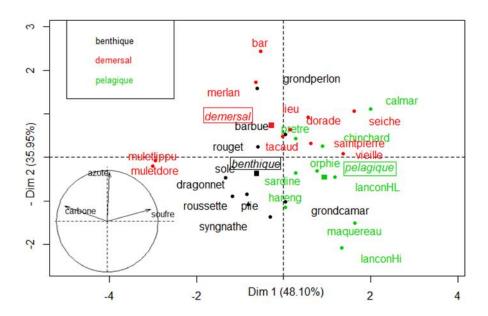


Figure 9: <u>ACP4</u>: Projection des espèces de poissons et céphalopodes prélevées dans le GNB selon leurs signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N,  $\delta^{13}$ C,  $\delta^{34}$ S) qu'elles soient benthiques, démersales ou pélagiques. La position moyenne des trois groupes est symbolisée par des carrés.

Les variables azote, carbone et soufre sont représentées sur le plan factoriel dont les deux axes expliquent environ 84% de l'inertie. La variable azote contribue à 0.15 % sur l'axe 1 et à 86.7 % sur l'axe 2. La variable carbone contribue à 49 % sur l'axe 1 et à 8 % sur l'axe 2. La variable soufre contribue à 50.8 % sur l'axe 1 et 5.25 % sur l'axe 2.

Au regard de la figure 9, des espèces semblent se concentrer sur le côté positif de l'axe 1. Ces espèces, telles que le Maquereau, l'Orphie ou le Calmar qui présentent un mode de vie pélagique, possèdent de forts ratios isotopiques du soufre par rapport aux espèces qui se concentrent à gauche du plan et qui sont majoritairement des espèces benthiques. De plus, la variable carbone contribue aussi fortement sur l'axe 1 et permet de distinguer les pélagiques dont les ratios isotopiques sont plus faibles que ceux présentés par les espèces benthiques.

Concernant les ratios isotopiques de l'azote, il semblerait qu'ils soient plus importants chez les espèces démersales, mais cette tendance n'est pas nette puisqu'il est observé que des espèces pélagiques (le calmar) et benthiques (la barbue et le grondin perlon) possèdent aussi de ratios isotopiques moyens forts.

Bien qu'il y ait des concordances entre les signatures et la catégorie des proies, telles que les fortes signatures isotopiques du soufre retrouvées chez la majorité des pélagiques, les catégories (benthique/pélagique/démersale) sont composées d'espèces dont les signatures moyennes sont très variables. Ainsi le mode de vie, à savoir si l'individu vit sur le fond (benthique), à proximité du fond (démersale) ou en surface (pélagique) ne suffit pas à expliquer les différentes signatures isotopiques des espèces de poissons et de céphalopodes.

#### 3. Le régime alimentaire des grands dauphins du golfe normandbreton

#### 3.1 Proies potentielles des 96 grands dauphins du golfe normand-breton

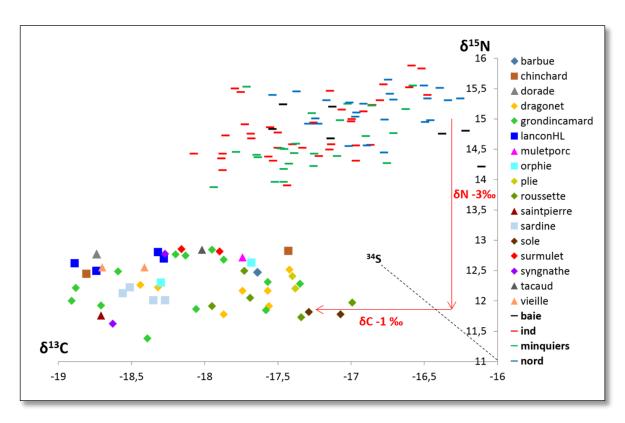


Figure 10 : Représentation des signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N-3 ‰ et  $\delta^{13}$ C-1‰) des grands dauphins et des signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N et  $\delta^{13}$ C) des proies potentielles. Les grands dauphins du GNB sont symbolisés par des traits de différentes

couleurs. Les losanges symbolisent les espèces benthiques ; les carrés correspondent aux espèces pélagiques et les triangles aux démersales.

La figure 10 met en évidence la grande variété des espèces qui pourraient faire partie de l'alimentation des grands dauphins du golfe normand-breton. En effet, sur les 37 espèces de poissons et céphalopodes, 17 possèderaient des ratios isotopiques qui refléteraient les signatures isotopiques des grands dauphins biopsiés. Ainsi, les espèces benthiques représenteraient 64.2% du régime alimentaire des grands dauphins, 24.5% seraient des pélagiques et enfin les espèces démersales correspondraient à 11.3% des 17 espèces de proies potentielles (figure 11).

Sur les 306 individus pêchés dans le GNB, 53 semblent présenter des signatures isotopiques adéquates pour expliquer la signature isotopique des grands dauphins, soit 17 % du stock total d'échantillonnage. En terme d'espèce, ces 17 espèces potentielles représentent 46% des espèces analysées.

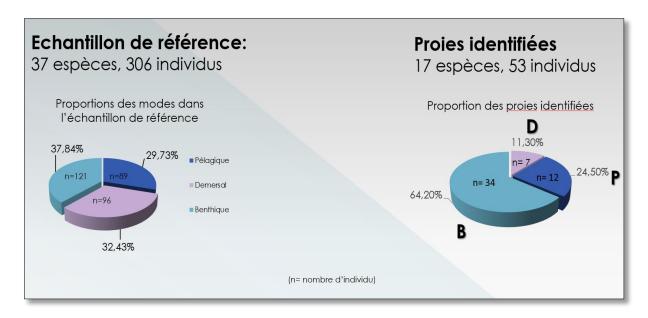


Figure 11:Proportion des espèces dans l'ensemble de l'échantillon analysé et proportion des espèces identifiées comme proies selon leur mode de vie correspondant.

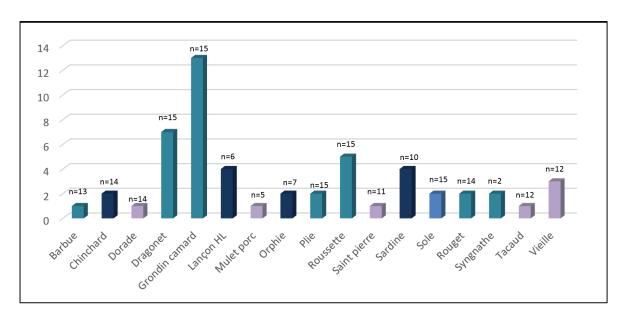


Figure 12: Effectifs des individus-proies potentiels identifiés pour les 96 grands dauphins biopsiés. « n » correspond nombre d'individus de l'espèce correspondante dont les ratios isotopiques ont été mesurés.

Au regard de la figure 11, il semblerait que l'espèce Grondin camard est représentée par une majorité d'individus (13 sur les 14 analysés) qui ont des signatures isotopiques les classant dans les proies susceptibles de faire partie du régime alimentaire. De même, 7 Dragonnets (sur 15 analysés) sont identifiés en tant que proie potentielle. Viennent ensuite la Roussette et la Sardine avec respectivement 5 individus-proie sur 15 individus analysés et 4 individus-proies sur 10 individus analysés.

#### 3.2 Les proies potentielles des trois clusters sociaux

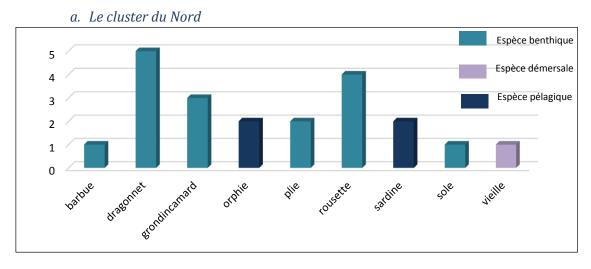


Figure 13: Effectifs des individus-proies potentiels, des grands dauphins du cluster du Nord.

10 espèces-proies présentent des individus-proies susceptibles de faire partie du régime alimentaire des grands dauphins biopsiés appartenant au cluster social du Nord : Le Dragonnet (n=5),

la Roussette (n=4), le Grondin camard (n=3), la Plie (n=2), la Sardine (n=2), l'Orphie (n=2), la Barbue (n=1), la Seiche (n=1), la Sole (n=1) et la Vieille (n=1).

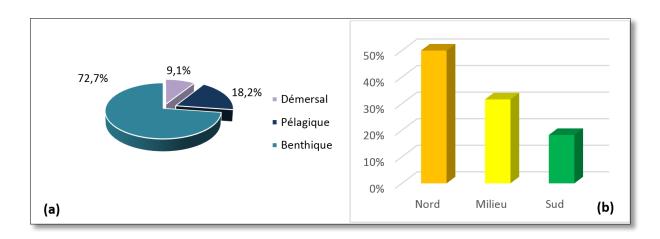


Figure 14: (a) Proportion des espèces proies entrant dans le régime alimentaire du cluster du Nord selon leur mode de vie.

(b) Répartition des espèces proies selon leur zone de prélèvement du golfe.

Ces individus se comptent au nombre de 22 dont 72.7 % présentent un mode de vie benthique, 18.2 % sont pélagiques et 9.1% sont démersaux (figure 13a).

De plus, 11 proies potentielles ont été prélevées dans le Nord du golfe, 7 dans la région du Milieu et 4 au Sud (figure 13b).

#### b. Le cluster des Minquiers

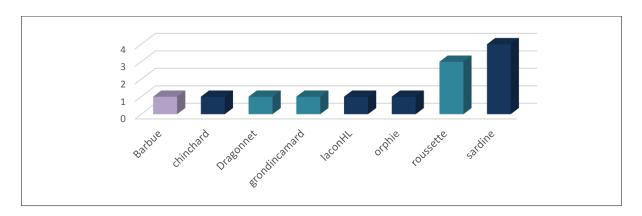


Figure 15: Effectifs des individus-proies potentiels, des grands dauphins du cluster des Minquiers.

Les individus-proies dont les signatures isotopiques sont similaires aux signatures, sans le fractionnement isotopique, des 27 grands dauphins appartenant au cluster des Minquiers, sont au nombre de 13 et repartis en 8 espèces différentes : la Sardine (n=4), la Roussette (n=3), Dragonnet (n=1), le Grondin camard (n=1), la Barbue (n=1), le Chinchard (n=1), le lançon HL (n=1), l'Orphie (n=1).

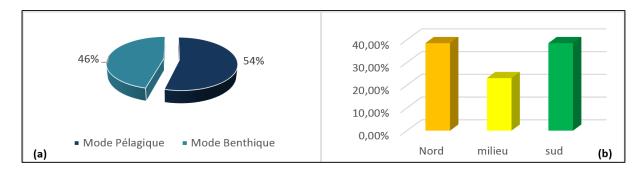


Figure 16: (a) Proportion des espèces proies entrant dans le régime alimentaire du cluster des Minquiers selon leur mode de vie. (b) Répartition des espèces proies selon leur zone de prélèvement du golfe.

46% sont des individus benthiques, 54% sont des pélagiques (figure 15a).

38.5% de ces individus-proies potentiels ont été prélevés dans la zone Nord, 23% dans la zone Milieu et 38.5% dans la zone Sud (figure13a). Ces pourcentages reflètent la grande mobilité des grands dauphins appartenant à ce cluster, ils sembleraient qu'ils s'alimentent dans les trois zones du golfe.

#### c. Le cluster de la Baie

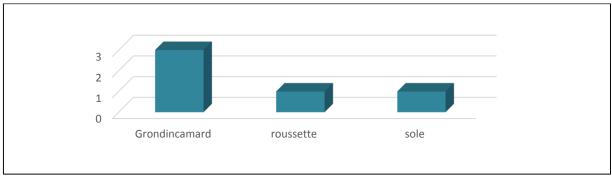


Figure 17: Effectifs des individus-proies potentiels, des grands dauphins du cluster de la Baie.

5 individus appartenant à 3 espèces différentes peuvent être considérés comme des individusproies potentiels dont 100% présentent un mode benthique. Les 3 espèces-proies potentielles ainsi que le nombre (n) d'individus correspondants sont : le Grondin camard (n=3), la Roussette (n=1), la Sole (n=1).

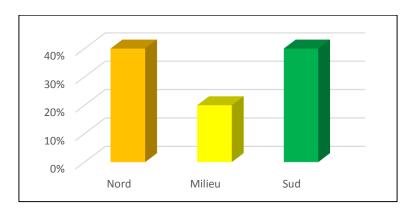


Figure 18:Répartition des espèces proies selon leur zone de prélèvement du golfe.

40% des individus-proies potentiels ont été prélevés au Nord, 20% des individus ont été pêchés dans la zone Milieu et 40% dans la zone Sud (figure 17).

Il est intéressant de noter que la plus grande proportion des individus proies dont les signatures isotopiques du carbone et de l'azote reflèteraient celles des grands dauphins du cluster Baie proviendrait de la région Nord du golfe. Or les dauphins appartenant au cluster Baie sont connus pour être le plus fréquemment observés dans la Baie du Mont Saint Michel, la zone Sud du golfe. De plus, aucun individu-proie aux modes de vie démersal et pélagique ne possède les ratios isotopiques adéquats pour faire partie de l'alimentation des grands dauphins. Rappelons, toutefois que ces résultats sont à modérer puisque ce cluster social ne comporte que 7 individus biopsiés.

### E. Discussion

### 1. Le régime alimentaire des grands dauphins du golfe normand breton

Le grand dauphin est un prédateur opportuniste et la composition de son régime alimentaire dépend de la disponibilité et de l'abondance des proies. Toutefois, de nombreuses études ont mis en évidence une tendance générale : l'alimentation des grands dauphins est essentiellement composée d'espèces benthiques et démersales avec les Sparidés (Dorade), les Gadidés (Tacaud et Merlan), les Merluccidés (Merlu) et les Clupéidés (Sardine) comme étant les principales familles auxquelles appartiennent les proies (CONNOR et al. 2000). Le long des côtes atlantiques françaises, le régime alimentaire des grands dauphins a été étudié par l'analyse des contenus stomachaux de 25 individus. Leur régime alimentaire était une combinaison de poissons démersaux et/ou benthiques : Merluccidés (merlu), Mugilidés (mullet), Sparidés (dorade), Moronidés (bar) et Gadidés (merlan), ainsi que de certains pélagiques : Carangidés et des Clupéidés et, pour finir, de calmars (SPITZ et al. 2006).

Lors de cette étude nous avons fait l'hypothèse d'un fractionnement de 1‰ du carbone, 3‰ pour l'azote et de 0‰ pour le soufre. Seulement 17 espèces sur les 37 étudiées constituent des proies potentielles pour la population de grands dauphins du golfe normand-breton. Parmi celles-ci, 64.2% sont benthiques, 11.3% démersales et 24.5% sont des espèces pélagiques. Les benthiques sont bien représentées par les Dragonnets (Callionymidés), les Grondins Camards (Triglidés) et par les Roussettes. La principale espèce démersale est la Vieille (Labridés) mais des individus appartenant à d'autres espèces sont aussi identifiées comme étant des proies potentielles comme la Barbue, la Dorade ou encore le Tacaud. Concernant les espèces pélagiques, le Chinchard (Carangidés), la Sardine (Clupéidés), le Lançon (Hyperoplus lanceolatus de la famille Ammodytidés) et l'Orphie (Belonidés) semblent correspondre aux signatures isotopiques retrouvées chez les grands dauphins du golfe normand-breton. Les résultats de cette étude montrent que ces grands dauphins ne semblent pas exclure de leur alimentation une catégorie de proies. En effet, les 53 individus-proies potentiels sont aussi bien benthiques que démersales et pélagiques. Cependant, 64.2 % d'entre eux sont benthiques contre 24.5% pélagiques et seulement 11.3% de démersales. Or l'échantillon total des proies analysées comporte à peu près le même nombre d'individus benthiques (37.4%), démersaux (32.4%) et pélagiques (29.7)% (cf tableau 2, Annexe IV). S'il est vrai qu'un biais dans l'échantillonnage ne peut être complètement exclu et pourrait expliquer la forte proportion d'individus benthiques dans le régime alimentaire des grands dauphins, il semblerait, néanmoins, que la population normandbretonne se nourrisse préférentiellement d'espèces benthiques. De plus, si l'on compare le nombre d'individus total analysé (306 individus) et le nombre d'individus identifiés en tant que proie (53 individus), il semblerait que les individus prélevés et analysés présentent en majorité des signatures isotopiques non adéquates pour expliquer la signature isotopique des grands dauphins. Cela serait dû à une taille moyenne trop importante des proies qui induirait un ratio isotopique de l'azote trop élevé.

La prédominance des espèces de proies possédant un mode de vie benthique et/ou démersal révélée par l'utilisation des isotopes stables sur les grands dauphins du golfe normand-breton est cohérente avec les résultats généraux reportés dans la littérature. Néanmoins, plusieurs espèces de proies retrouvées dans les estomacs n'ont pas été identifiées par les isotopes. Par exemple, le Merlu qui est une proie avérée dans plusieurs régions du monde. L'absence du Merlu dans la composition alimentaire des grands dauphins du golfe normand breton s'explique par son absence dans les

poissons prélevés pour cette étude. Par conséquent, sa signature isotopique n'a pu être estimée et comparée à la signature isotopique des grands dauphins. Les résultats obtenus avec l'analyse des ratios isotopiques sont nettement différents de ceux obtenus par l'analyse des contenus stomacaux. Ceci pourrait s'expliquer soit par les caractéristiques du golfe normand-breton et également par les limites de l'étude du régime alimentaire via les contenus stomacaux (proies représentatives des 2-3 derniers repas).

Cependant, quelques espèces dont le statut de proie a longtemps été soupçonné (par des observations directes) et récemment attesté par l'analyse des contenus stomacaux d'individus provenant de la mer Noire, telles que l'Orphie, le Lançon, le Chinchard (GLADILINA & GOL'DIN 2014), ont été identifiées grâce par notre étude et font donc également partie du régime alimentaire de la population du GNB.

#### 2. Utilisation des isotopes stables comme traceurs trophiques

#### 2.1 Les apports pour l'étude :

En premier lieu, elle a permis de caractériser le régime alimentaire et d'identifier des proies potentielles des grands dauphins par la comparaison de leurs ratios isotopiques de l'azote et du carbone et ceux des poissons prélevés dans la zone d'étude. Ensuite, elle a permis de discriminer les grands dauphins de la population côtière du golfe des grands dauphins pélagiques présents sur les côtes atlantiques françaises par la comparaison des ratios isotopiques du soufre.

A ce stade, la comparaison des ratios isotopiques des mâles et des femelles a révélé qu'il n'y avait pas d'influence du sexe sur le régime alimentaire comme il est observé chez les grands dauphins de la Baie de Sarasota (Floride). Cependant ces dauphins forment des groupes non mixtes au contraire des individus du golfe. Ainsi, il est fort possible que les mâles et les femelles grands dauphins du GNB se nourrissent et pratiquent les mêmes techniques de chasses.

Cette étude n'a pas révélé d'influence de l'âge sur les signatures isotopiques, ce qui laisse supposer que les sub-adultes ont donc déjà appris les techniques de chasse qui leurs permettent de présenter le même régime alimentaire que les adultes. Une autre hypothèse est que l'échantillon des sub-adultes n'était pas assez nombreux pour pouvoir déceler, via les isotopes, des différences dans leurs régimes alimentaires par rapport à celui des adultes.

L'analyse des ratios isotopiques en fonction de la structure sociale de la population du golfe a permis de mettre en évidence des variations, non seulement de proportions, mais aussi de diversité spécifique entre les clusters sociaux. En effet, en présence d'une population structurée socialement en trois clusters et présentant des préférences pour des régions particulières du golfe, nous avons fait l'hypothèse que les groupes se distinguent par des régimes alimentaires différents. Et partant du postulat que l'apprentissage des techniques de chasse se fait aussi bien verticalement (de la mère au jeune) que transversalement (entre les individus en associations) (FRAGASZY & PERRY 2003), il semble logique de retrouver des comportements alimentaires différents et un régime alimentaire dont la composition serait le reflet de la distribution et l'abondance locale (au sein d'une zone préférentielle) des espèces proies. C'est ainsi que le cluster des Minquiers (animaux utilisant l'ensemble de la zone d'étude) se caractérise par des ratios isotopiques de l'azote et du carbone relativement faibles en comparaison à ceux du cluster Nord. Les individus des Minquiers présentent des ratios isotopiques du

soufre importants ce qui laisse à penser qu'ils s'alimentent dans une aire relativement éloignée de la côte. Cette interprétation est soutenue par les ratios isotopiques relativement plus faibles du carbone des grands dauphins. Ces prédateurs comportent aussi de plus faibles ratios isotopiques de l'azote que les congénères des autres clusters ; ils s'alimentent donc de proies de niveaux trophiques plus faibles telles que le lançon, le chinchard ou encore la sardine qui sont des espèces pélagiques et susceptibles d'être présentes dans des zones plus au large.

L'étude des signatures isotopiques des espèces de poissons et céphalopodes présentes dans le golfe normand-breton a révélé que les trois zones géographiques définies au début de l'étude comme le Nord, le Milieu et le Sud du golfe pourraient éventuellement présenter différentes caractéristiques qui induiraient des variations isotopiques retrouvées ensuite dans les individus-proies. La zone Nord présenterait des caractéristiques pélagiques. Les individus-proies résidents dans cette région présenteraient de plus forts ratios isotopiques du soufre et des ratios isotopiques du carbone et de l'azote relativement plus faibles que les individus de la même espèce résidents dans la zone Milieu et encore plus faibles que les individus du Sud. Néanmoins, l'influence de la zone géographique doit être testée avec d'autres paramètres, comme l'abondance et la distribution des espèces de poissons et de céphalopodes au sein du golfe, qui sont à ce jour manquants et surtout avec un nombre d'espèces et d'individus par zone plus conséquent. A ce jour, les individus-proies potentiels ont été retrouvés dans toutes les zones du golfe. Il semblerait donc que les grands dauphins se nourrissent sur l'ensemble de golfe normand-breton.

#### 2.2 Les avantages et les limites de la méthode

Les avantages: L'utilisation des isotopes stables de l'azote, du carbone et du soufre comme indicateurs du régime alimentaire des animaux comporte plusieurs avantages non négligeables comparée à la méthode d'analyse des contenus stomacaux. En effet, cette étude, basée sur la comparaison et l'interprétation des signatures isotopiques des grands dauphins et des espèces de poissons et céphalopodes, a révélé des informations utiles à la compréhension de la place et du fonctionnement trophique de la population des grands dauphins résidente du golfe normand-breton.

Cette méthode renseigne sur les préférences alimentaires des individus qu'elles soient directement observables (chasse et capture de proies en surface) ou non (alimentation à proximité du sol) et sur une échelle de temps plus ou moins longue. Au contraire de l'observation directe qui renseigne sur le comportement alimentaire seulement en surface de l'animal et de l'analyse des contenus stomacaux qui apporte des informations sur la composition du bol alimentaire du dernier repas. De plus, le coût des mesures isotopiques est plus faible en termes de temps mais aussi d'argent que les mesures des acides gras dont les résultats semblent difficilement interprétables.

Utiliser les ratios isotopiques de l'azote, du soufre et du carbone offre une complémentarité des renseignements. En effet, l'azote permet de révéler le niveau trophique de l'échantillon analysé, le carbone met en évidence la zone d'alimentation de l'organisme et le soufre renseigne sur le milieu de vie dans lequel l'individu évolue à savoir à quelle profondeur dans la colonne d'eau et à quelle distance de la côte il s'alimente. Néanmoins, lors de cette étude plusieurs limites et/ou interrogations concernant l'utilisation des isotopes ont été détectées.

Les limites: Tout d'abord, à la vue des résultats de l'étude, il est probable que le plan d'échantillonnage des proies s'est concentré dans la collecte d'individus trop grands. La plus petite

taille était de 109 mm pour la petite vive et la plus grande de 800mm pour la plus longue des orphies. La plupart des individus étaient d'environ 250mm de long. Le ratio isotopique de l'azote variant avec la taille de l'animal (un grand poisson mange de plus grandes proies), des espèces fortement supposées être des proies, possédaient de trop fortes valeurs du  $\delta^{15}N$  pour être catégorisées comme des proies potentielles. Or, d'après Santos *et al.* (2007), la majorité des proies retrouvées dans les contenus stomacaux mesuraient entre 160mm et 180mm.

En l'absence d'informations sur les types d'habitats et leur valeur seuil (ratios isotopiques des producteurs primaires caractéristiques de ces habitats), il a été impossible d'avoir une idée de la distribution des proies qui en sont dépendantes et de leurs contributions dans les signatures des espèces proies. Les catégories alors réalisées sur ces espèces seraient peut-être plus informatives que les trois catégories formées lors de cette étude (benthique, démersal et pélagique).

En ce qui concerne les mesures isotopiques, malgré le fait que les manipulations des échantillons nécessitent moins de rigueur que dans le cas des mesures des acides gras, des contaminations peuvent biaiser les analyses. En effet, chez les poissons très actifs et chez plusieurs espèces benthiques, les muscles rouges sont étroitement liés aux muscles blancs (MCLAUGHLIN & KRAMER 1991) et ont donc pu rester dans les échantillons. Cela induirait des biais dans les mesures isotopiques du carbone (PINNEGAR & POLUNIN 1999).

Des limites plus générales de cette méthode se sont présentées lors de cette étude. Les résultats de l'identification des proies qui sont présentés dans ce rapport ne prennent pas en compte la taille des proies. Avec ce filtre supplémentaire, quasiment aucune proie n'aurait été détectée. Comme il a été mentionné des proies dont la signature isotopique est appropriée sont de trop grandes tailles (le cas de la Roussette). Or les isotopes en tant que traceurs alimentaires ne permettent pas de faire cette distinction. Ainsi il est possible que des espèces ou des individus possèdent des signatures isotopiques qui seraient explicatives de celles des grands dauphins mais qui pour autant ne rentreraient pas dans leur régime alimentaire. L'utilisation des isotopes comme moyen d'étude de l'écologie trophique d'une espèce doit être associée à des informations et des connaissances complémentaires afin de minimiser les mauvaises interprétations. L'utilisation d'un troisième isotope, tel que le soufre permet d'augmenter la probabilité d'identifier les véritables espèces proies.

Ajouté à cela, le degré de précision des ratios isotopiques n'est pas connu. Cette étude a basée l'identification des proies à partir des signatures isotopiques des grands dauphins sur la base de valeurs de taux d'enrichissement trophique (1‰ pour le carbone, 3‰ pour l'azote et de 0‰ pour le soufre) estimées et admises par la communauté scientifique. Or dans un milieu naturel, aucune valeur n'est constante et cette étude ne prend pas en compte les écarts types de ces valeurs. Ainsi il est possible que des espèces qui sont réellement des proies des grands dauphins n'ont pas été identifiées dû fait de l'absence de flexibilité des filtres qu'ont été les taux d'enrichissement trophique, alors que d'autres, au contraire, qui ne sont pas prédatées par le cétacé s'avèrent être des proies dans les résultats de l'étude. En effet, beaucoup d'observations directes rapportent la capture de proies telles que la seiche ou le maquereau et au contraire l'identification des roussettes comme étant très prédatées par les grands dauphins paraît improbable du fait de leurs grandes tailles (en moyenne 550mm).

### Conclusion et perspectives

L'étude de l'écologie trophique de la population de grands dauphins du golfe normand-breton au moyen de l'utilisation des isotopes stables du carbone, de l'azote et du soufre a permis une meilleure compréhension de son fonctionnement et des interactions qu'elle entretient dans le golfe normand-breton. Cette population est constituée d'individus aux signatures isotopiques variées. Ce sont donc des prédateurs qui présentent un large panel de proies. Les trois clusters sociaux présentent des signatures isotopiques qui leur sont propres. Ces différences ne sont pas dues à des facteurs géographiques puisqu'il a été établi que ces animaux réalisaient des déplacements entre leur zone d'occupation préférentielle et celle des autres clusters. D'autre part, peu d'espèces de proies présentent des variations régionales de leurs ratios isotopiques. La présente étude écarte plus ou moins définitivement le facteur « zone géographique » étant une explication de l'existence de variations des signatures isotopiques entre les clusters. En effet, les proies prélevées au Nord ne présentent pas de signatures isotopiques spécifiques à cette zone, tout comme les poissons de la zone Milieu et du Sud ne montrent pas des ratios isotopiques distincts selon leur zone de vie. Ainsi, nos travaux suggèrent que les dauphins appartenant aux différents clusters présentent bien des spécialisations alimentaires qui sont vraisemblablement liées à leur structure sociale. Les grands dauphins appartenant au cluster des Minquiers s'alimenteraient sur des espèces au mode de vie pélagique (chinchard, sardine, lançon) et ceux du cluster du Nord cibleraient entre autres des espèces démersales telles que la vieille mais aussi des poissons plats comme la barbue, la plie et la sole. Il est aussi à noter que les profils isotopiques des dauphins varient entre les saisons. Pendant les périodes d'été et d'automne, les ratios isotopiques en azote sont plus faibles et augmentent au printemps. Les ratios isotopiques du carbone sont plus faibles seulement en automne. Il semble donc que les dauphins effectuent des déplacements vers le large en automne. Ce type de déplacement a déjà été démontré aux Minquiers où les animaux se concentrent en saison froide, suivi par une dispersion au printemps et en été (CHAMBAULT, 2013).

En terme de conservation de la population, il serait judicieux de créer des Unités de Gestion adaptées à ces deux (voir trois) clusters (le cluster de la Baie doit être plus étudié et des biopsies supplémentaires doivent s'ajouter aux 7 biopsies de cette étude). De plus, il est nécessaire de prendre en compte tous les habitats et la totalité des populations de proies dont est dépendante la population. En tant que prédateurs, les grands dauphins sont sensibles aux perturbations qui se produisent dans les niveaux trophiques inférieurs. Or cette étude met en évidence que les dauphins consomment plusieurs espèces de proie potentielles qui présentent aussi une forte valeur commerciale (le grondin camard, la sardine). Il est donc primordial d'obtenir l'état d'abondance des stocks et de mettre en place un plan de gestion durable des activités de pêches afin de prévenir toute diminution de la ressource alimentaire pouvant impacter le réseau trophique du golfe normand-breton. De manière contrastée, notre étude suggère une plasticité permettant aux grands dauphins d'ajuster leur régime alimentaire à la disponibilité des proies présentes dans le GNB.

Pour une meilleure compréhension de l'écologie trophique de cette population, le prélèvement d'un plus grand nombre de proie en termes d'individus mais aussi d'espèces est nécessaire. Dans un premier temps, il permettra d'écarter ou de prendre en compte l'effet de la zone géographique sur les signatures isotopiques. L'estimation de ce paramètre sera à intégrer dans les modèles de mélange isotopique qui apporteront plus de précisions sur les spectres isotopiques dont émanent ceux des

grands dauphins du golfe normand-breton. Ce prélèvement devra cibler des tailles de proies variées afin d'estimer l'influence de la taille sur les ratios isotopiques.

Le ratio isotopique du soufre, bien qu'il soit plus difficile et plus couteux à mesurer constitue un filtre supplémentaire dans l'identification des proies. Néanmoins, l'interprétation de ses valeurs reste difficile et l'apport de nouvelles mesures par la collecte de plus de proies permettrait éventuellement une meilleure compréhension des différences isotopiques observées entre les différentes espèces de poissons et céphalopodes.

Il serait intéressant d'avoir une idée générale de l'abondance et de la distribution des poissons dans le golfe. Cela permettrait de déterminer si les grands dauphins se nourrissent des espèces les plus présentes ou alors s'ils sélectionnent certaines proies.

Enfin, les résultats de cette étude seront renforcés par l'étude des contaminants mais il serait intéressant de pouvoir analyser les contenus stomacaux des grands dauphins retrouvés échoués sur les côtes du golfe et dont l'appartenance à la population côtière est avérée et d'associer les deux types de résultats. Des biopsies et des mesures isotopiques supplémentaires des grands dauphins de la population contribueront à apporter des précisions à cette étude.

# Références bibliographiques

- ACEVEDO-GUTIERREZ, A., & PARKER, N., 2000. Surface behavior of bottlenose dolphins is related to spatial arrangement of prey. *Marine Mammal Science*, **16**(2), 287-298.
- BALANCE, L. T., 1992. Habitat use patterns and ranges of the bottlenose dolphin in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammals Sciences*, **8**(3):262-274.
- BOCHER, P., CAURANT, F., MIRAMAND, P., CHEREL, Y. & BUSTAMANTE, P., 2003. Influence of the diet on the bioaccumulation of heavy metals in zooplankton-eating petrels at Kerguelen archipelago, Southern Indian Ocean. *Polar Biology*, **26**: 759-767.
- BOYLE, P. R., PIERCE, G. J. & DIACK, J. S. W., 1990. Sources of evidence for salmon in the diet of seals. *Fisheries Research*, **10**: 137-150.
- BROWNING, N. E., DOLD, C., I-FAN, J. & WORTHY, G. A. J., 2014. Isotope turnover rates and diet-tissue discrimination in skin of *ex situ* bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Experimental Biology*, **217**: 214-221.
- BUSTAMANTE, P., CHEREL, Y., CAURANT, F. & MIRAMAND, P., 1998. Cadmium, copper and zinc in octopuses from Kerguelen Islands, Southern Indian Ocean. *Polar Biology*, **19**: 264-271
- CARSTENSEN, J., HENRIKSEN, O.D. & TEILMANN, J., 2006. Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: acoustic monitoring of echolocation activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology Progress Series*, **321**: 295-308.
- CHAMBAULT, P., 2013. Distribution spatiale et utilisation de l'habitat de la population de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) du golfe normand-breton. Mémoire de Master recherche Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 35 p.
- 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 whales and dolphins. *Edited by* J. Mann, R.C. Connor, P. Tyack, H. Whitehead. University of Chicago Press. pp. 91-126.
- CORNELL, L. H. & ASPER, E. D., 1978. A census of captive marine mammals in North America. *International Zoo Yearbook*, **18**: 220-224.
- DE NIRO, M. J. & EPSTEIN, S., 1977. Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. *Science*, **197**: 261-263.
- DEFRAN, R. H., WELLER, D. W., KELLY, L. K. & ESPINOSA, M. A., 1999. Range characteristics of Pacific coast bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Southern California bigh. *Marine Mammal Science*, **15**: 381-393.
- DUFFIELS, D.A., RIDGWAY, S.H. & CONNEL, L.H., 1983. Hematology distinguishes coastal and offshore forms of dolphins (*Tursiops*). *Revue Canadienne de Zoologie*, **61**(4): 930-933.
- DUFFY, D.C. & JACKSON, S., 1986. Diet studies of seabirds: a review of methods. *Colonial Waterbirds* **9**: 1-17.
- FARRELL, L.E, ROMAN, J. & SUNQUIST, M.E., 2000. Dietary separation of sympatric carnivores identified by molecular analysis of scats. *Molecular Ecology* **9**: 1583-1590.

- FRANCE, R., 1995a. Differentiation between littoral and pelagic foodwebs in lakes using stable carbon isotopes. *Limnology and Oceanography*: Methods, **40**: 1310-1313.
- FRAGASZY, D. M., & PERRY, S. 2003. Towards a biology of traditions. *The biology of traditions: models and evidence*, 1-32.
- FRASER, A.J. & SARGENT, J.R, 1989. Formation and transfer of fatty fatty acids in an enclosed marine food chain comprising phytoplankton, zooplankton and herring (*Clupea harengus* L.) larvae. *Marine Chemistry* 27: 1-18.
- FRY, B. & ARNOLD, C., 1982. Rapid 13C/12C turnover during growth of brown shrimp (Penaeus aztecus). *Oecologia*, 54(2): 200-204.
- FRY, B. & SCHERR, E. B., 1984. δ13C measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Control Marine Sciences*, **27**: 13-47.
- FURNESS, J. B., COSTA, M., & KEAST, J. R.,1984. Choline acetyltransferase-and peptide immunoreactivity of submucous neurons in the small intestine of the guinea-pig. *Cell and tissue research*, **237**(2):329-336.
- GALLY, F., 2014. Suivi de la population des grands dauphins sédentaires du golfe normand-breton et de la baie de Seine. Rapport de synthèse du GECC pour l'année 2013. 103 p.
- Ghashghaie, J., Duranceau, M., Badeck, F. W., Cornic, G., Adeline, M. T., & Deleens, E. 2001.  $\delta$ 13C of CO2 respired in the dark in relation to  $\delta$ 13C of leaf metabolites: comparison between Nicotiana sylvestris and Helianthus annuus under drought. *Plant, Cell & Environment*, **24**(5): 505-515.
- GAZDA, S. K., CONNOR, R. C., EDGAR R. K. & COX, F., 2005. A division of labour with role specialization in group-hunting bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off Cedar Key, Florida. *Proceedings of the Royal Society B- Biological Sciences*, **272**: 135-140.
- GERKING, S. D., 1994. Feeding Ecology of Fish. Academic Press, San Diego, 416 pp.
- Gero, S., Bejder, L., Whitehead, H., Mann, J., & Connor, R. C., 2005. Behaviourally specific preferred associations in bottlenose dolphins, Tursiops spp. *Canadian Journal of Zoology*, **83**(12): 1566-1573.
- GLADILINA, E. V. & GOL'DIN, P. E., 2014. New prey fishes in diet of Black Sea bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* (Mammalia, Cetacea). *Vestnik zoologii*, **48**(1): 83-92.
- HOBSON, K. A. & WELCH, H. E., 1992a. Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using stable-isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, **84**: 9-18.
- HOBSON, K. A., PIATT, J. F. & PITOCCHELLI, J., 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology,* **63**: 786-798.
- Jarman, S.N., Gales, N.J., Tierney, M., Gill, P.C., & Elliott, N.G., 2002. A DNA-based method for identification of krill species and its application to analysing the diet of marine vertebrate predators. *Molecular Ecology*, **11**: 2679-2690.
- JARMAN, S.N., & WILSON, S.G, 2004. DNA-based species identification of krill consumed by whale sharks. *Journal of Fish Biology*, **65**: 586-591.

- 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.
- JENNINGS, S., GREENSTREET, S. & REYNOLDS, J., 1999. Structural change in an exploited fish community: a consequence of differential fishing effects on species with contrasting life histories. *Journal of Animal Ecology*, **68**(3): 617-627.
- KASTELEIN, R. A., VAUGHAN, N., WALTON, S. & WIEPKEMA, P. R., 2002. Food intake and body measurements of Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in captivity. *Marine Environnmental Research*, **53**: 199-218.
- KERNALÉGUEN, L., CAZELLES, B., ARNOULD, J. P., RICHARD, P., GUINET, C., & CHEREL, Y., 2012. Long-term species, sexual and individual variations in foraging strategies of fur seals revealed by stable isotopes in whiskers. *PloS one*, **7**(3): e32916.
- KERRIGAN, B. A., 1994. Post-settlement growth and body composition in relation to food availability in a juvenile tropical reef fish. *Marine ecology progress* series. Oldendorf, **111**(1): 7-15.
- KLINOWSKA, M.,1991. Dolphins, porpoises and whales of the world: the IUCN Red Data Book. IUCN.
- LACROIX, M., & MOSORA, F., 1975. Variations du rapport isotopique 13C/12C dans le metabolisme animal. In *Symposium on Isotope Ratios as Pollutant Source and Behaviour Indicators*.
- LEA, M.A, CHEREL, Y., GUINET, C., & NICHOLS, P.D., 2002a. Antarctic fur seals foraging in the Polar Frontal Zone: inter-annual shifts in diet as shown from faecal and fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, **245**: 281-297.
- LEATHERWOOD, S., REEVES, R. R., & FOSTER, L., 1983. Sierra Club handbook of whales and dolphins.
- LEARMONTH, J. A., MACLEOD, C. D., SANTOS, M. B., PIERCE, G. J., CRICK, H. Q. P. & ROBINSON, R. A., 2006. Potential effects of climate change on marine mammals. *Oceanography and. Marine. Biology*. 44, 431-464
- LINDEMAN, R. L., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology, 23(4): 399-417.
- LOUIS, M., 2014. Social, ecological and genetic structures of bottlenose dolphins, Tursiops truncatus, in the Normano-Breton gulf and in the North-East Atlantic. Thèse.
- MACLEOD, C. D., & D'AMICO, A., 2006. A review of beaked whale behaviour and ecology in relation to assessing and mitigating impacts of anthropogenic noise. *Journal of Cetacean Research and Management*, **7**(3): 211-221.
- MARIOTTI, A., 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural 15N abundance measurements. *Nature*, **303**: 658-687.
- MCCUTCHAN, J. H., LEWIS JR, W. M., KENDALL, C. & McGrath, C. C., 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, **102**: 378-390.
- MCKINNEY, C. R., MCREA, I. M., EPSTEIN, S., ALLEN, H. A., & UREY, H. C., 1950. Improvements in mass spectrometers for measurement of small differences in isotope abundance ratios. *Revue of Scientific Instruments.*, **21**: 724-730.
- MCLAUGHLIN, R. L., & KRAMER, D. L.,1991. The association between amount of red muscle and mobility in fishes: a statistical evaluation. *Environmental biology of fishes*, **30**(4): 369-378.

- MEKHTIYEVA, V. L., PANKINA, R. G. & GAVRILOV, Y. Y., 1976. Distributions and isotopic compositions of forms of sulfur in water animals and plants. Geochemistry International, **5**: 82-87.
- MENDES, S., NEWTON, J., REID, R. J., ZUUR, A. F., & PIERCE, G. J., 2007. Stable carbon and nitrogen isotope ratio profiling of sperm whale teeth reveals ontogenetic movements and trophic ecology. *Oecologia*, **151**(4): 605-615.
- MICHENER, R. H. & SCHELL, D. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs, p. 138–157. In Lajtha & Michener (eds), *Stable isotopes in ecology and environmental* science. *Blackwell Scientific*.
- NATOLI, A., & HOELZEL, A. R., 2000. Genetic diversity in a Mediterranean population of the bottlenose dolphin in the context of worldwide phylogeography. *European Research on Cetaceans*, 14, 343
- NORTHRIDGE, S. P. & HOFMAN, R. J., 1999. Marine mammal interactions with fisheries. p99-119 In: Twiss &. Reeves, (eds). Conservation and management of marine mammals. *Smithsonian Institution Press*, Washington, D.C.
- OWENS, N. J. P., 1987. Natural variations in 15N in the marine environment. *Advances in Marine Biology*, **24**: 389-451.
- PACE, M. L., COLE, J. J., CARPENTER, S. R., & KITCHELL, J. F.,1999. Trophic cascades revealed in diverse ecosystems. *Trends in ecology & evolution*, **14**(12): 483-488.
- PIERCE, G.J., BOYLE, P.R., DIACK, J.S.W.,& CLARK, I., 1990a. Sandeels in the diets of seals: application of novel and conventional methods of analysis to faeces from seals in the Moray First area of Scotland. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, **70**: 829-840
- PIERCE, G.J., DIACK, J.S.W., & BOYLE, P.R., 1990b. Application of serological methods to identification of fish prey in the diets of seals and dolphins. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **137**: 123-140.
- PETERSON, B. J., & FRY, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Animal Review of Ecology and Systematics*, **18**: 293-320.
- PINNEGAR, J. K., & POLUNIN, N. V. C., 1999. Differential fractionation of  $\delta$ 13C and  $\delta$ 15N among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Functional ecology*, **13**(2):225-231.
- 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, New York, 528 p.
- REYNOLDS, III, J., Wells, R. & Eide, S., 2000. The Bottlenose Dolphin. University Press of Florida, Gainesville, 328 p.
- ROSSBACH, K. A. & HERZING, D. L., 1999. In the offshore bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) communities distinguished by assoiciation patterns near Grand Bahama Island, Bahamas. *Revue Cannadienne de zoologie*, **77**(4): 581-592.
- SANTOS, M. B., FERNANDEZ, R., LOPEZ, A., MARTINEZ, J. A. & PIERCE, G. J., 2007. Variability in the diet of bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, in Galician waters, north-western Spain, 1990-2005. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **87**: 231-241.

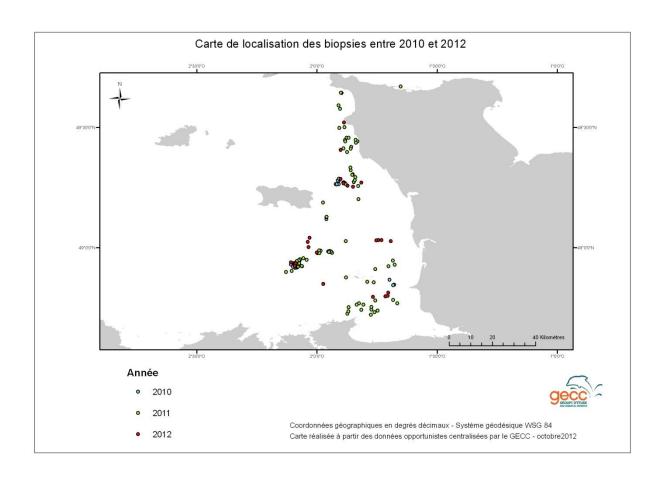
- SARGEANT, B. L., WIRSING, A. J., HEITHAUS, M. R. & MANN, J., 2007. Can environmental heterogeneity explain individual foraging variation in wild bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.)? *Behaviour Ecology Sociobiology*, **61**: 679-688.
- SCOTT, M. D. &WELLS, R. S., 1999. Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821). *In Handbook of Marine Mammals. Edited by* S.H. Ridgway, R. Harrison. Academic Press, San Diego. pp. 137-182.
- 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.
- Spitz, J., Rousseau, Y. & Ridoux, V., 2006. Diet overlap between harbour porpoise and bottlenose dolphin: An argument in favour of interference competition for food? *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **70**: 259-270.
- TANAKA, S., 1987. Satellite radio tracking of bottlenose dolphins Tursiops truncatus. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53** (8), 1327–1338.
- THOMAS, C.J. & CAHOON, L. B., 1993. Stable isotope analyses differentiate between different trophic pathways supporting rocky-reef fishes. Mar Ecol Prog Ser **95**:19-24
- TIESZEN, L. L., BOUTTON, T. W., TESDAHL, K. G. & SLADE, N. A., 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for  $\delta$ 13C analysis of diet. *Oecologia*, **57**: 32-37.

# Listes des figures et tableaux

IGI	"	

Figure 1: Le golfe normand-breton
Figure 2: ACP1 : Représentation graphique de l'analyse en composante principale des grands
dauphins selon leurs signatures isotopiques. Projection des individus pélagiques et côtiers sur le plan
factoriel en fonction de leurs ratios isotopiques et projection des ratios isotopiques en tant que
variables explicatives
Figure 3 : Graphiques de comparaison des moyennes isotopiques et des écart-types correspondant
des deux écotypes (Ncôtiers= 109 ; Npélagiques= 28) retrouvés chez les grands dauphins biopsiés 20
Figure 4 : ACP2 : Représentation graphique de l'analyse en composante principale des grands
dauphins du golfe normand-breton selon leurs signatures isotopiques. (a) : Représentation et
corrélation des ratios isotopiques en tant que variables sur le plan factoriel. (b) : Projection des
individus appartenant aux différents clusters sociaux sur le plan factoriel en fonction de leurs ratios
isotopiques22
Figure 5: Boites de dispersion des ratios isotopiques ( $\delta^{15}$ N, $\delta^{13}$ C, $\delta^{34}$ S) selon les trois clusters sociaux.
ANOVA 1 facteur, post-hoc TukeyHSD, les lettres représentent les groupes homogènes de Tukey, a et
b et c significativement différents et ab et bc non significatifs)
Figure 6 : Boite de dispersion des ratios isotopiques ( $\delta^{15}$ N, $\delta^{13}$ C, $\delta^{34}$ S) en fonction de la saison
(automne, été, hiver et printemps). Comparaison des ratios isotopiques des grands dauphins biopsiés
du GNB (ANOVA 1 facteur, post-hoc TukeyHSD, les lettres représentent les groupes homogènes de
Tukey, a et b significativement différents et ab non significatif)23
Figure 7 : ACP3 : Cercle de corrélations des variables isotopique et projection des espèces de
poissons et de céphalopodes selon leur signature isotopique moyenne( $\delta^{15}$ N, $\delta^{13}$ C et $\delta^{34}$ S). « # »
identifie les espèces qui ne sont représentées que par un individu25
Figure 8 : Variations des ratios isotopiques de l'azote (a), du carbone (b) et du soufre (c) en fonction
de la zone géographique du GNB retrouvées chez la Barbue, le Dragonne, le Maquereau, le Rouget, le
Chinchard et le Grondin camard. Nombre d'individu mis en évidence par espèce et par zone.
Comparaison des ratios isotopiques des dragonnets en fonction des zones (ANOVA 1 facteur, post-
hoc TukeyHSD, les lettres a et b représentent les groupes homogènes de Tukey, a et b
significativement différents. ab non significatifs. Les lettres c et d représentent les groupes
homogènes du Kruskall wallis avec c et d significativement différents26
Figure 9 : ACP4 : Projection des espèces de poissons et céphalopodes prélevées dans le GNB selon
leurs signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N, $\delta^{13}$ C, $\delta^{34}$ S) qu'elles soient benthiques, démersales ou pélagiques.
La position moyenne des trois groupes est symbolisée par des carrés28
Figure 10 : Représentation des signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N-3 $\%$ et $\delta^{13}$ C-1 $\%$ ) des grands dauphins et $\delta^{15}$ N-3 $\%$ et $\delta^{13}$ C-1 $\%$ )
des signatures isotopiques ( $\delta^{15}$ N et $\delta^{13}$ C) des proies potentielles. Les grands dauphins du GNB sont
symbolisés par des traits de différentes couleurs. Les losanges symbolisent les espèces benthiques ;
les carrés correspondent aux espèces pélagiques et les triangles aux démersales 29
Figure 11 : Proportion des espèces dans l'ensemble de l'échantillon analysé et proportion des espèces
identifiées comme proies selon leur mode de vie correspondant
Figure 12 : Effectifs des individus-proies potentiels identifiés pour les 96 grands dauphins biopsiés.
« n » correspond nombre d'individus de l'espèce correspondante dont les ratios isotopiques ont été
mesurés

Figure 13: Effectifs des individus-proies potentiels, des grands dauphins du cluster du Nord	31
Figure 14 : (a) Proportion des espèces proies entrant dans le régime alimentaire du cluster du Nord	
selon leur mode de vie. (b) Répartition des espèces proies selon leur zone de prélèvement du golfe.	
	32
Figure 15 : Effectifs des individus-proies potentiels, des grands dauphins du cluster des Minquiers	32
Figure 16 : (a) Proportion des espèces proies entrant dans le régime alimentaire du cluster des	
Minquiers selon leur mode de vie. (b) Répartition des espèces proies selon leur zone de prélèvement	١t
du golfe	33
Figure 17 : Effectifs des individus-proies potentiels, des grands dauphins du cluster de la Baie	33
Figure 18 : Répartition des espèces projes selon leur zone de prélèvement du golfe	34



Carte 1: Carte de localisation des biopsies effectuées sur les grands dauphins rencontrés au sein du golfe normand-breton entre 2010 et 2012.

### **ANNEXE II**



Carte 2: Localisations des traits de chalut, des points moyens des ports de pêches et de la zone Grand Ouest dont sont issues les proies potentielles.

## **ANNEXE III**

Tableau 1:Les espèces proies et effectifs des individus analysés

_																																						
Vieille	Turbot	Torpille marbrée	Tacaud	Syngnathe aiguille	Rouget de Barbet	Sole	Seiche	Sardine	Saint Pierre	Roussette	Pretre	Plie	Petite Vive	Orphie	Mulet porc	Mulet lippu	Mulet doré	Merlan	Maquereau	Lieu Jaune	Lancon HL	Lancon HI	Lancon AT	Hareng	Grondin Rouge	Grondin Camard	Grondin Perlon	Flet	Dragonet	Dorade grise	Crénilabre de baillon	Chinchard	Calmar	Barbue	Bar	Baliste	Alose vraie	Espèces 🔻
Labrus bergylta	Psetta maxima	Torpedo marmorata	Trisopterus luscus	Syngnathus acus	Mullus surmuletus	Solea solea	Sepia officinalis	Sardina pilchardus	Zeus faber	Scyliorhinus canicula	Atherina presbyter	Pleuronectes platessa	Echiichthys vipera	Belone belone	Liza ramada	Chelon labrosus	Liza aurata	Merlangius merlangus	Scomber scombrus	Pollachius pollachius	Hyperoplus lancelatus	Hyperoplus immaculatus	Ammodytes tobianus	Clupea harengus	Chelidonichthys cuculus	Chelidonichthys lastoviza	Chelidonichthys lucerna	Platichthys flesus	Callionymus lyra	Spondyliosoma cantharus	Symphodus melops	Trachurus trachurus	Loglio vulgaris	Scophthalmus rhombus	Dicentrachus labrax	Balistes carolineusis	Alosa alosa	Nom Latin 🔻
Démersal	Benthique	Benthique	Démersal	Benthique	Benthique	Benthique	Démersal	Pélagique	Démersal	Benthique	Pélagique	Benthique	Benthique	Pélagique	Démersal	Démersal	Démersal	Démersal	Pélagique	Démersal	Pélagique	Pélagique	Pélagique	Pélagique	Benthique	Benthique	Benthique	Benthique	Benthique	Démersal	Démersal	Pélagique	Pélagique	Benthique	Démersal	Benthique	Pélagique	Mode ▼
13	1	1	17	3	15	15	13	10	11	15	9	20	1	7	6	2	3	8	19	10	6	8	1	5	5	14	13	1	15	14	1	20	14	13	11	1	1	Total disséqué ▼
12	1	1	12	2	14	15	13	10	11	15	9	15	1	7	5	2	3	3	14	10	6	8	1	ъ	0	14	13	1	15	14	1	14	14	13	10	1	1	Total analysé ▼
6	1	1	5	0	5	5	5	0	2	5	4	5	1	0	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	0	5	4	1	5	5	0	5	5	5	5	0	0	Nord ▼
5 4	0	0	5	3 2	5	5	6	4	5	5	5	5	0	4	5 4	0	2	ω	5	ω	1	5	1	0	0	4	7	0	5	4	1	5 4	5	4	5 4	1	0	Milieu ▼
2	0	0	2	0	5 4	5	2	6	4	5	0	5	0	ω	1	2	1	0	4	2	0	ω	0	5	0	5	2	0	5	5	0	5	4	4	1	0	1	Sud ▼
0	0	0	5 0	0	0	0	0	0	0	0	0	5 0	0	0	0	0	0	5 0	5 0	0	0	0	0	0	5 0	0	0	0	0	0	0	5 0	0	0	0	0	0	Grand Oue ▼

### **ANNEXE IV**

Tableau 2: Effectifs (Individu et Espèce) en fonction des zones géographiques de prélèvements et du mode de vie

	_				Zone	s géog	raphic	ues de	prélè	vements	s	
		Total disséqué	Total analysé	No	Nord		lieu	S	ud	Grand	Ouest	
	Nombre	342	_	100		1	23	8	9	30		
	d'Individus	_	306	10	00	1	18	8	8	C	)	
	Nambua diFankasa	38	_	2	4	3	30	2	6	6	5	
	Nombre d'Espèces	_	37	24		3	80	2	6	C	)	
	Pélagique	11	11	5	5	9	9	8	8	2	0	
Nombre d'Espèces	Démersal	12	12	7	7	11	11	10	10	2	0	
	Benthique	15	14	12	12	10	10	8	8	2	0	
				•		•						
	Pélagique	100	89	24	24	35	34	31	31	10	0	
Nombre d'Individus	Démersal	109	96	33	33	44	41	22	22	10	0	
	Benthique	133	121	43	43	44	43	36	35	10	0	

Tableau 3: Influence du sexe du grand dauphin sur les ratios isotopiques. Résultat de l'ANOVA par ratio isotopique.

	δ15N moyen	δ13C moyen	δ34S moyen	Effectifs
Femelle	14.81±0.54	-17.06±0.48	15.93±0.61	23
Subadulte	15.04±0.59	-17.30±0.57	16.08±0.70	9
Mâle	14.86±0.43	-17.12±0.44	15.61±0.80	61

	Résultats des ANOVA	
(F(2;90)=0.767,p=0.467))	(F(2;90)=0.0841,p=0.435))	(F(2;90)=2.633,p=0.0774.))