

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE I

Maîtrise de Biologie des populations et des Ecosystèmes
Option océanologie

**ANALYSE SPECTROGRAPHIQUE DES SIFFLEMENTS DU
GRAND DAUPHIN (*TURSIOPS TRUNCATUS*) EN BASSE-
NORMANDIE**



Warembourg Caroline

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE I

Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes
Option Océanologie

**ANALYSE SPECTROGRAPHIQUE DES SIFFLEMENTS DU
GRAND DAUPHIN (TURSIOPS TRUNCATUS) EN BASSE-
NORMANDIE.**

29 Mars – 28 Mai 1999

Présenté par Caroline Warembourg.



REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord Mr Lagadeuc, responsable de l'option Océanologie, de m'avoir fait confiance et de m'avoir permise d'effectuer ce stage.

Un merci tout particulier à Gérard Mauger, président du GECC pour m'avoir acceptée en stage au sein de son équipe et à Jacky Karpouzopoulos, président de la CMNF (Coordination Mammalogique du Nord de la France) pour son aide depuis deux ans ainsi que pour les nombreux supports bibliographiques prêtés...

Un grand merci à l'équipe dynamique du GECC qui pour avoir rendu mon séjour en Normandie si agréable : Anne Tardieu pour sa gentillesse et son aide, Eric Bûchet pour m'avoir fait partager son expérience en acoustique et pour tout ce qu'il m'a appris et Samuel Pineau pour ses précieux conseils, sa disponibilité et pour l'aide apportée à la conception et la relecture de ce rapport.

Une pensée amicale aux stagiaires et bénévoles de l'association venus de tous les horizons, rencontrés durant ces deux mois de stage.

Résumé

Le GECC (Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin et de la mer de la Manche) a mis en place durant l'été 1998 un programme acoustique complémentaire aux travaux de recherche sur le population de Grands Dauphins, *Tursiops truncatus*, de Basse-Normandie (répartition, déplacement, identification, statut de la population...).

L'isolement des principaux types de sifflements fut l'objectif premier de ce travail et a été réalisé grâce au logiciel SBRTA[®] à partir de 93 minutes d'enregistrements effectués avec un hydrophone omnidirectionnel branché à un magnétophone de type NAGRA.

45% des émissions acoustiques étaient des sifflements dont 138 ont été isolés et analysés après avoir éliminé les bruits de fond. Il a été possible, en analysant les ratios fréquence / temps calculés et les contours relevés pour chaque signal, d'isoler 22 types différents (dont deux se sont révélés majoritaires) et de savoir la gamme de fréquence essentiellement utilisée par ces animaux.

Cette étude à terme peut permettre de définir un répertoire de sifflements plus complet caractéristique de cette population et d'établir une corrélation avec les données comportementales.

Summary

The GECC (Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin) started an acoustic program during the summer 1998, complementary of studies about the population of Bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Normandy (distribution, travelling, identification, statute...). The isolation of whistles main types was the first aim of this study and have been realized with the SBRTA[®] software on 93 minutes of recordings executed with an omnidirectional hydrophone and a magnetophone NAGRA.

45% of the acoustic sounds were whistles which 138 had been isolated and analysed after having canceled out the sound effects.

Analysing the ratios frequency / time and the contours for each signal, 22 types were isolated (with 2 which were mainly present) and we could determinate the frequency most often used by the animals.

In the future, this study will permitt to define a whistles repertory more complete, specific of this population and to prove a correlation with the behavior.

Présentation de la structure d'accueil

Le GECC (Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin et des Mammifères Marins de la mer de la Manche) est né de la détermination de quelques bénévoles passionnés désireux de connaître les mammifères marins présents le long des côtes normandes et notamment la population de Grands Dauphins et de la demande d'informations des institutions nationales (Océanopolis à Brest, le Centre de Recherche sur les Mammifères Marins de La Rochelle ...)

Cette association loi 1901 existe depuis maintenant deux ans et est parrainée par le navigateur Christophe Auguin, sensible à la protection de ce patrimoine naturel.

Pour mener à bien les nombreux travaux, la communauté urbaine de Cherbourg a mis à la disposition du GECC des bureaux au Centre d'Innovation Technologique à Octeville, avant d'emménager définitivement à la Cité de la Mer au printemps 2000.

Gérard Mauger, le président et Nicolas Lunois, le vice président (remplacé depuis par Fabrice Kerleau) ont alors pu élargir leur champ d'action. Ainsi, grâce aux trois permanents embauchés dans le cadre d'un programme "Nouveaux services, nouveaux emplois" : Anne Tardieu, responsable administrative, Eric Bûchet, responsable des techniques nouvelles et de l'acoustique et Samuel Pineau, responsable scientifique ; de nombreuses études sont menées en collaboration avec des partenaires techniques (direction des constructions navales, EDF, Crédit Agricole Normand...) et des partenaires scientifiques français et européens.

L'activité principale est l'étude de la colonie de Grands Dauphins des côtes normandes (une des plus importantes d'Europe : elle compte plus d'une centaine d'individus) : inventaire, photoidentification, programme acoustique...

La mise en place d'un réseau régional d'observateurs depuis 1996 permet de faire également une estimation de la fréquentation de la zone, impliquant la participation des sémaphores de la Marine Nationale, des pêcheurs professionnels et des plaisanciers.

Le GECC intervient aussi sur les échouages et ce beaucoup plus efficacement depuis la mise en place d'un réseau régional d'échouage : pompiers, gendarmes, mairies littorales ainsi que plusieurs vétérinaires, le LDA (Laboratoire Départemental d'Analyses), différents laboratoires et universités, et effectue des prélèvements et des autopsies sur les cadavres échoués.

"Mieux faire connaître pour mieux protéger." : l'éducation et la sensibilisation sont aussi des priorités au GECC, notamment afin de préserver la tranquillité de ces animaux.



SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I - PRESENTATION DU SITE	2
◆ Bathymétrie	2
◆ Courants de marée	2
◆ Vents	3
◆ Salinité	3
◆ Sédimentologie	3
II - PRESENTATION DE L'ESPECE	4
II - 1 LE GRAND DAUPHIN	4
II - 2 LA COMMUNICATION CHEZ LE GRAND DAUPHIN	5
II - 3 LA COLONIE DE GRANDS DAUPHINS DES COTES NORMANDES	6
III - MATERIEL ET METHODES	7
III - 1 MATERIEL D'OBSERVATION	7
III - 2 MATERIEL ACOUSTIQUE	7
III - 3 METHODOLOGIE	7
◆ Collecte des données	7
◆ Analyse des données	8
IV - RESULTATS	10
IV - 1 EFFICACITE DE LA COLLECTE DE DONNEES	10
IV - 2 SEQUENCAGE DES BANDES	11
IV - 3 ETUDE DES SIFFLEMENTS	12
◆ Analyse spectrographique des sifflements enregistrés	12
◆ Proportion des 22 types	13
◆ Gamme de fréquence des sifflements	14
V - DISCUSSION	15
◆ Effort d'observation	15
◆ Séquençage des bandes sons	16
◆ Répertoire de la population de Grands Dauphins	16
◆ Acoustique et photo-identification	17
◆ Acoustique et étude du comportement	18
◆ Avantages et inconvénients des études sur le Grand Dauphin en captivité	18
CONCLUSION	19
BIBLIOGRAPHIE	
LISTE DES FIGURES	
ANNEXES	

INTRODUCTION

Les travaux en mammalogie marine se sont multipliés depuis une cinquantaine d'années, cherchant notamment à comprendre la formidable adaptation des Cétacés au milieu marin. De nombreux sujets ont été étudiés tels que la morphologie (et notamment l'hydrodynamisme), la systématique, l'anatomie, la physiologie, l'écotoxicologie, l'acoustique (les instruments de la recherche militaire acoustique ont d'ailleurs été les premiers à enregistrer des vocalisations d'animaux en milieu marin). La recherche concernant la communication et le comportement des Delphinidés a commencé quand A. Mc Bride a réalisé ses premières observations sur des dauphins en captivité à la fin des années 40 (Marine Studios, Floride) et des études similaires ont depuis été mises en œuvre en milieu naturel.

La présence d'un grand nombre de Cétacés le long des 335 kilomètres de côte bordant le département de la Manche a ainsi conduit une poignée de passionnés et de scientifiques à vouloir mieux connaître les différentes espèces évoluant dans le Golfe Normand-Breton. En parallèle de ses travaux concernant l'étude, le recensement et l'identification des individus constituant la population de Grands Dauphins (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821), le GECC mène également une étude sur leurs signaux acoustiques. Cependant, est-il possible d'établir un répertoire acoustique propre à ce groupe ? A long terme, pourra-t-on lier certains de ces signaux à un comportement spécifique, voire même à certains individus en particulier (ce qui a déjà été réalisé sur des animaux en captivité) ?

Malgré les problèmes rencontrés en milieu naturel pour l'étude de ces animaux et pour enregistrer leurs signaux acoustiques, plusieurs bandes ont déjà été recueillies et l'analyse spectrographique réalisée sur les sifflements tente d'élaborer une classification et un premier répertoire de la population. Les résultats obtenus ne pouvant bien évidemment s'interpréter qu'en parallèle des données concernant la photo identification et l'éthologie.

I. PRESENTATION DU SITE

L'étude est menée le long du littoral du département de la Manche, entre la baie du Mont Saint Michel et la baie des Veys, où séjourne en permanence l'une des plus importantes colonies d'Europe de Grands Dauphins côtiers.

Ce Golfe Normand-Breton est le carrefour naturel entre la Manche orientale, la Manche occidentale et le continent.

La Manche est délimitée au Nord par la mer du Nord et les côtes anglaises, à l'Ouest par l'Atlantique et à l'Est par les côtes françaises.

C'est une mer peu profonde, avec des marées et des courants forts, facteurs déterminants pour l'évolution thermique des masses d'eau. (IFREMER, 1993).

Cette mer épicontinentale est également le lieu de courants de marées intenses générant des déplacements importants de masses d'eau : les courants résiduels.

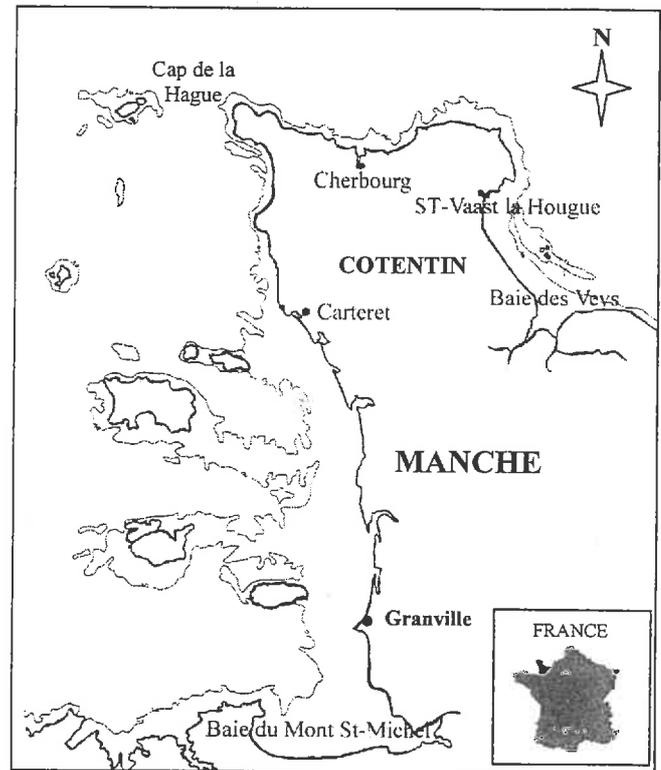


Figure 1 : Site d'étude du Grand Dauphin (avec ligne bathymétrique des 10 mètres).

De nombreuses îles, archipels et baies font partie de ce Golfe Normand-Breton et offrent ainsi à la flore et à la faune une plus grande variété d'écosystèmes.

◆ Bathymétrie :

La bathymétrie de la mer de la Manche varie entre un maximum de 100 mètres à l'embouchure occidentale (5° W) et 40 mètres au milieu du détroit du Pas-de-Calais : excepté à proximité des côtes, le fond est généralement plat.

D'après les résultats des travaux sur le terrain et les données recueillies grâce au réseau d'observateurs, on sait que la zone où on aperçoit le plus souvent les dauphins est située dans l'isobathe des 10 mètres.

◆ Courants de marée :

C'est le phénomène physique le plus spectaculaire dans ce Golfe.

En effet, le Golfe Normand-Breton joue un rôle d'entonnoir et cela peut provoquer une amplitude de marée dans la baie du Mont Saint-Michel pouvant atteindre 15 mètres. (annexe 1: rose des courants de surface en vive eau).

Le flot et le jusant, courants instantanés variant au cours de la marée, sont en grande partie responsables d'oscillations horizontales des particules d'eau (le flot accompagne la pleine mer et le jusant porte en sens inverse).

Au Nord de la rade de Cherbourg, le jusant portant à l'Ouest, il est plus court que le flot.

Le courant venant du Raz Blanchard refoule vers l'Est ces contre-courants côtiers à partir du Cap de la Hague, créant un tourbillon pendant une partie du cycle de marée, ce qui homogénéise la colonne d'eau. (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), 1998)

La circulation résiduelle est le second type de courant lié à la marée.

On peut ainsi connaître les courants résiduels de marée en faisant la moyenne des vitesses de marée obtenues sur un cycle complet ; ces flux résiduels sont essentiels pour déterminer le transport des sédiments, voire même des déchets déversés en mer.

(IFREMER, 1993)

◆ Vents :

En faisant la somme vectorielle des vents, la direction résultante est Ouest-sud Ouest en hiver (vitesse=5 mètres/seconde) alors qu'en été la direction est plutôt Ouest (vitesse=2.5 mètres/seconde).

Outre le transport de surface et les changements du niveau de la mer, l'action du vent produit également une agitation mécanique en surface. (IFREMER, 1993)

◆ Salinité :

Celle des eaux superficielles reflète l'intrusion des eaux de la Manche mélangées aux eaux d'origine continentale.

Elle est en moyenne de 35 pour mille mais il existe en hiver un gradient entre l'extrémité Nord de la presqu'île du Cotentin et le fond de la baie du Mont Saint-Michel alors qu'en été cette valeur est quasiment constante.(IFREMER, 1993)

◆ Sédimentologie :

Les sédiments sont surtout constitués d'une partie minérale associée à une partie calcaire.

La vaste zone caillouteuse de la Manche centrale (entre le Cotentin et l'île de Wight) sépare clairement la Manche occidentale, où on trouve beaucoup de matières riches en calcaire, de la Manche orientale (où sable mêlé de graviers prédomine).

Dans les baies et estuaires, on y rencontre essentiellement du sable très fin (diamètre <0.2 mm) et du sédiment vaseux (diamètre <0.05 mm).

(IFREMER, 1993)

Cette zone est également le lieu de nombreuses activités humaines plus ou moins importantes: trafic maritime permanent, pêche, conchyliculture, activités portuaires et maritimes diverses...(tout cela pouvant constituer un bruit de fond pendant les enregistrements acoustiques).

II . PRESENTATION DE L'ESPECE

II-1 LE GRAND DAUPHIN

Synonyme : souffleur
Anglophone : Bottlenose dolphin

Classification :

Embranchement des Vertébrés
Classe des Mammifères
Ordre des Cétacés
Sous ordre des Odontocètes (Cétacés à dents)
Famille des Delphinidés (dauphins)
Genre: Tursiops
Espèce: *Tursiops truncatus*.

- ◆ Taille moyenne : 3 à 3.5 mètres (3.9 mètres au maximum)
- ◆ Poids moyen : 300 kg
- ◆ Coloration gris sombre s'éclaircissant progressivement sur les flancs, identique pour les deux sexes.

Le Grand Dauphin fréquente les mers et océans du monde entier (tempérés ou tropicaux) et peut s'adapter à tout type d'habitat.

Deux écotypes sont connus : l'un pélagique et souvent migrateur et l'autre côtier est plutôt sédentaire.

L'écotype pélagique vit aux large des côtes, en "bande" atteignant parfois 10 000 individus et pouvant se mélanger avec d'autres espèces de cétacés.

L'écotype côtier, lui, ne fréquente que les hauts fonds littoraux (Leatherwood S. and Reeves R. R., 1983).

Les groupes sont de plus petite taille (2 à 20 individus) et appartiennent à des ensembles populationnels qui peuvent atteindre jusqu'à 1000 individus.

Dans l'Atlantique Nord-Est, l'écotype côtier est observé sur toutes les côtes européennes, depuis le Sud de la Norvège, jusqu'au Portugal (Hussenot E., 1982) avec des groupes connus en Ecosse, Pays de Galles et en France depuis la Normandie jusqu'au Bassin d'Arcachon (Duguy R. et Hussenot E., 1980; GMN, 1988). Il n'est pas rare d'en rencontrer également en mer Méditerranée ainsi que dans le Golfe de Gascogne .

Les milieux fréquentés par les dauphins côtiers sont variés : des zones vaseuses à forte turbidité aux zones d'eaux claires sur substrat sablo-rocheux (Hussenot E., 1982).

Compte tenu de la grande diversité des habitats occupés et de la grande répartition de l'espèce à l'échelle mondiale, les proies capturées sont nombreuses et variées.

Le Grand Dauphin a en effet un régime alimentaire opportuniste : il se nourrit des espèces présentes là où il réside à un moment donné et ne doit donc pas effectuer de longues migrations à la recherche de nourriture. Les proies sont majoritairement des poissons : Maquereau (*Scomber scombrus*), Hareng (*Clupea harengus*), Mulet (*Mugel cephalus*), Orphie (*Belone belone*), poissons plats mais également des mollusques céphalopodes et des crustacés dans des proportions non négligeables (Ridoux *et al.*, 1994).

Certains groupes en Floride consomment jusqu'à 80% de poissons plats alors qu'au Texas ceux-ci ne représentent que 32% des proies, l'essentiel dans ce cas étant constitué de crustacés et de céphalopodes (Leatherwood S. and Reeves R.R., 1990).

II-2 LA COMMUNICATION CHEZ LE GRAND DAUPHIN

Le Grand Dauphin est doté d'un cerveau complexe et d'une taille équivalente à celui de l'Homme et la communication intragroupe et intergroupe s'effectue grâce à différents moyens : vision, toucher, acoustique, chimique.

Chez les Odontocètes, ce sont les Delphinidés qui ont fait l'objet des études les plus poussées sur l'audition et l'écholocation, sur des animaux captifs et maintenant de plus en plus dans leur milieu naturel.

Contrairement à l'Homme, les dauphins ne produisent pas de sons en expirant.

Les sons sont produits par le conduit nasal interne : l'air, stocké dans la cavité pulmonaire, passe par le conduit nasal interne avant d'être expulsé par les lèvres du larynx. Il produit ainsi des sons rappelant des sifflements, grincements et claquements.

Le son envoyé par les émetteurs est répercuté au crâne et traverse le melon (capsule de graisse située au niveau du front de l'animal).

Le melon joue le rôle de lentille acoustique, réfléchissant le son sous forme de faisceau.

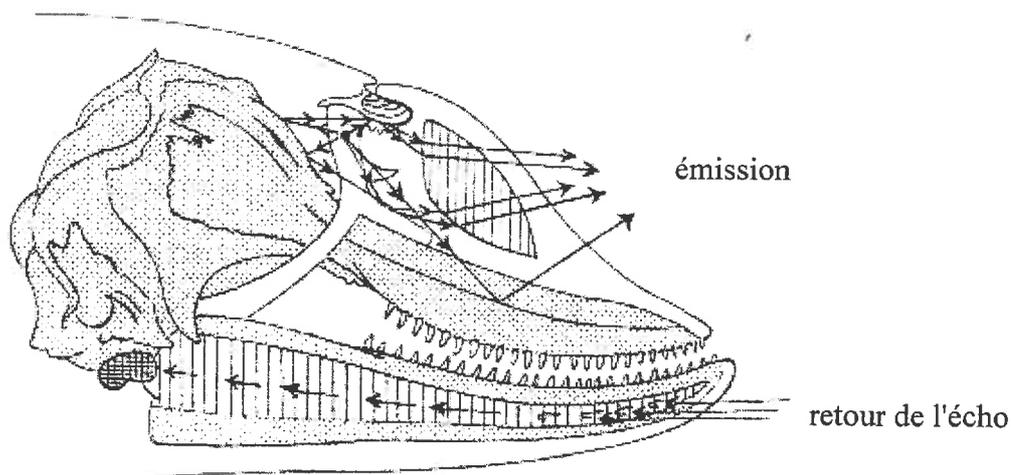
L'eau étant plus dense que l'air, l'onde s'y propage 4 à 5 fois plus rapidement (Jones D., 1998).

Cette vitesse est estimée à 1500 mètres/seconde mais varie selon la température et la salinité de l'eau (Breuer H., 1998).

Les sons qu'ils émettent sont classés en trois grandes familles : les sifflements, les clics et les "sons explosifs" (grognements, grondements, aboiements ...) (Janik V.M. *et al*, 1994), alors que certains auteurs regroupent les deux derniers en une seule famille (Shultz K.W. *et al*, 1995).

Après émission dans le milieu naturel, le retour du son s'effectue dans des cavités graisseuses situées dans la mâchoire inférieure, il est ensuite transmis à l'oreille moyenne puis à l'oreille interne et il est enfin transféré au cerveau où il est analysé.

Figure 2 : Cheminement des ultrasons chez le Grand Dauphin : émission des signaux et réception de l'écho en retour. (Matthews L.H., 1978)



Les sifflements et les "sons explosifs" occupent une bande plutôt étroite 2 à 20 kiloHertz (kHz). (Caldwell *et al.*, 1990) et sont utilisés par les dauphins essentiellement pour la communication, pour une reconnaissance individuelle ainsi que pour les réactions émotionnelles (Caldwell M.C. and Caldwell D.K., 1968)

Les clics d'écholocation occupent par contre une plus large bande (20 à 160 kiloHertz). Les basses fréquences servent à l'orientation, à la navigation et pour une analyse grossière du milieu, tandis que les hautes fréquences permettent une analyse beaucoup plus fine de l'environnement (type de proie, obstacle...) (Jacobs M *et al.*, 1993).

Ce sonar d'écholocation, du même type que celui utilisé par d'autres mammifères comme la Chauve-souris (Kuc R., 1997), est idéal pour détecter les proies (mais cela peut entraîner également un repérage du dauphin par la proie si celle-ci est dotée de la même capacité auditive que lui).

De nombreux travaux sur différentes populations de *Tursiops truncatus* à travers le monde ont permis de mettre en évidence que chacune de ces populations et même chaque individu dans certains cas avait leur propre "signature acoustique" grâce aux sifflements et ces travaux tentent également d'établir une corrélation entre les sifflements et le comportement des animaux .

II-3 LA COLONIE DE GRANDS DAUPHINS DES COTES NORMANDES

La première détermination certaine de l'espèce date de mai 1551 en Normandie par Pierre Belon (GMN, 1988) mais c'est seulement depuis une vingtaine d'années que l'on constate sa sédentarité.

D'après les observations et les résultats du programme de photo identification, la population de Grands Dauphins de la mer de la Manche est estimée à environ 100 individus de Granville au Cap de la Hague, avec plusieurs observations au large de Saint Vaast la Hougue (côte Est de la presqu'île) et quelques apparitions dans la rade de Cherbourg (Figure 1).

Un parallèle certain a été mis en évidence dans la région : la présence estivale du Maquereau (*Scomber scombrus*) et celle du grand dauphin dans les mêmes zones (GMN, 1988).

De plus, une étude sur la répartition mensuelle des échouages, les captures accidentelles et les observations montre que ces animaux sont présents toute l'année le long des côtes de la Manche (Collet A. *et al.*, 1994).

En Normandie, les dauphins sont le plus souvent aperçus en sous-groupes de 5 à 8 individus, se rejoignant parfois en groupes de taille plus importante.

Grâce à sa sédentarité, sa répartition partiellement côtière et son comportement peu farouche et curieux, l'animal est plus facilement observable sur le terrain .

III . MATERIEL ET METHODES

III-1 MATERIEL D'OBSERVATION

- ◆ Un pneumatique à coque rigide (2x50 chevaux, 4 temps) : le "Mona Lisa".
- ◆ Des paires de jumelles (10x50), indispensables pour scruter l'horizon à la recherche d'ailerons ou de gerbes d'eau.
- ◆ Une longue vue (40x60) en plus des jumelles en poste fixe depuis la côte.
- ◆ Des appareils photographiques et camescope pour la photo identification et l'étude du comportement.

III-2 MATERIEL ACOUSTIQUE

Un hydrophone de type TR 25C est branché à un magnétophone NAGRA. Cet hydrophone d'une longueur de câble de 100 mètres est omnidirectionnel, autoalimenté, et a une portée d'environ 3 miles et ayant la capacité d'enregistrer jusqu'à 250 kHz.

Le NAGRA, mis à la disposition du GECC par la Direction des Constructions Navales (DCN) est un magnétophone pouvant enregistrer sur deux pistes simultanément : l'une est branchée à l'hydrophone et l'autre à un microphone dans lequel il est possible de dicter diverses informations telles que les coordonnées GPS, le comportement des individus ...

Ce type de magnétophone, très fiable et très résistant, est capable d'enregistrer une gamme de fréquence très large (de 0 à 44 kHz), au delà de ce que peut entendre l'oreille humaine (de 16 Hz à 20 kHz) (Breuer H., 1998).

III-3 METHODOLOGIE

◆ Collecte des données

Les conditions météorologiques doivent être optimales pour espérer apercevoir les ailerons des animaux et collecter les données sur le terrain : temps dégagé, mer calme, vent faible (d'une force inférieure à 4 Beaufort), bonne visibilité...

Lors des sorties en mer, deux situations peuvent se présenter :

- Dès qu'un groupe est repéré visuellement, le bateau le suit sur une route parallèle, anticipant leur trajectoire. Moteurs stoppés, l'hydrophone est immergé à une profondeur de 2 à 5 mètres et on enregistre le groupe arrivant vers le bateau .
- Si on ne repère aucun animal, l'immersion de l'hydrophone nous permet de les repérer auditivement dans une zone où leur présence a été signalé.

A chaque arrêt, les positions GPS sont relevées et chaque personne à bord exécute le rôle qui lui a été préalablement attribué : photographies, prise de notes, tournage de film, enregistrement des émissions sonores ...

Toutes ces données sont ensuite retranscrites et archivées dans le "Logbook" (journal de bord) avec d'autres précisions telles que les horaires de marées, les températures de l'air et de l'eau, les conditions météorologiques, l'état de la mer, la visibilité...

Ces données peuvent permettre de retracer le déplacement des dauphins, même quelques mois après la sortie. (annexe 2 : route suivie par le groupe de Grands Dauphins le 19/09/98)
Certaines de ces données peuvent également être intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) en relation avec des données biotiques (halieutique, activités humaines...) ou abiotiques (marégraphie, courants de marée, données météorologiques ...).

◆ Analyse des données

Les différentes bandes sons enregistrées sur le NAGRA durant l'été 1998 ont été séquencées et chaque son est répertorié et chronométré.

Un archivage sur CD-ROM est ensuite nécessaire car les bandes étant très fragiles, il faut éviter de trop les manipuler. Dans le même temps, une analyse détaillée est réalisée pour tenter d'extraire tous les sons parasites enregistrés avec les signaux acoustiques des dauphins : bruits biologiques (Maquereau...), bruits artificiels (trafic maritime, sondeur...).

Les signaux sont ensuite analysés grâce à un PC muni d'une carte son (compatible sound blaster) et du logiciel SBRTA[®].

Ce logiciel développé par Gianni Pavan, bioacousticien à l'université de Milan, nous représente les signaux dans un repère temps/fréquence : une étude précise concernant les sifflements est alors possible (Figure 3).

Notre étude des nombreux spectrogrammes enregistrés sur les différentes bandes s'inspire de travaux déjà réalisés dans le monde sur les sifflements des Delphinidés et plus particulièrement chez le Grand Dauphin (études menées la plupart du temps en captivité) (Janik V.M. *et al*, 1994 ; Janik V.M., 1998 ; McCowan B. and Reiss D., 1995 ; McCowan B., 1995).

Le logiciel SBRTA[®] nous renseigne sur le balayage de l'écran (qu'il est possible de modifier). Il est également possible de changer le contraste, la lumière et la couleur pour une analyse plus précise de tous les signaux.

Pour chacun des sifflements, nous avons relevé le tracé sur un transparent ainsi que ces autres paramètres grâce à un curseur donnant des valeurs très précises :

- la fréquence (Hertz = Hz),
- le temps (millisecondes = ms),
- l'intensité (décibel = dB),

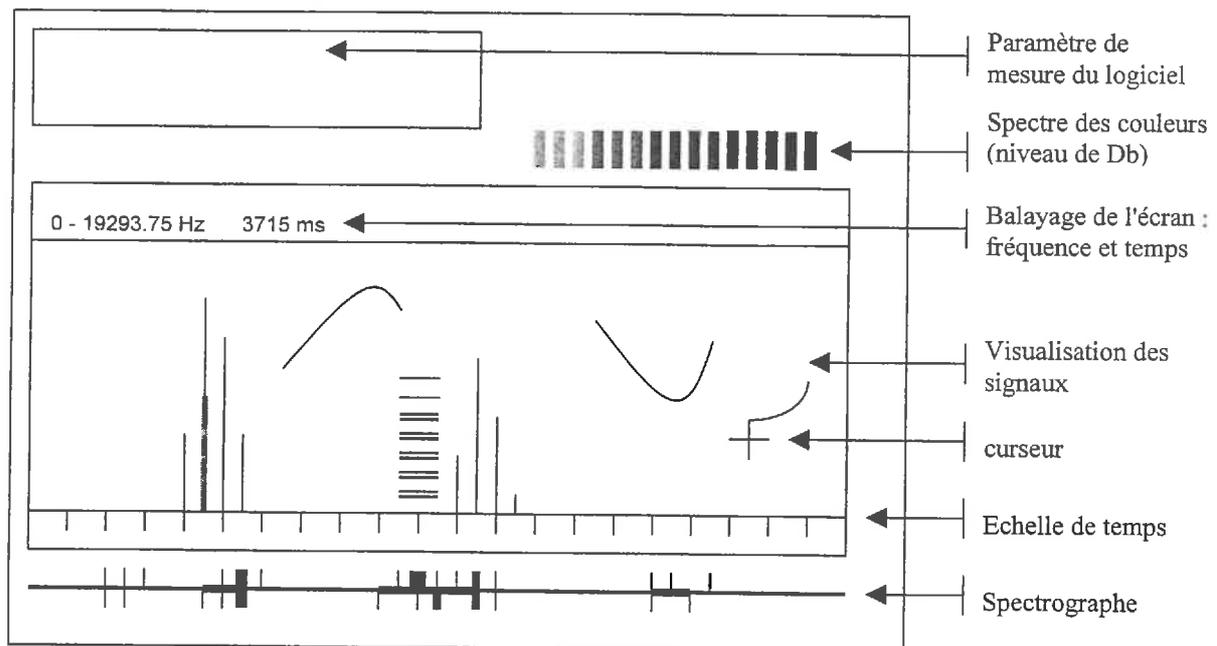
et ceci au début et à la fin de chaque sifflement.

Après l'analyse brute des bandes sons et les bruits parasites repérés, un séquençage et un chronométrage très précis permettent de quantifier les différents types de sons présents sur la bande, à savoir clics, grondements, sifflements (annexe 3).

Il est possible de reconnaître aisément les trois signaux grâce au logiciel SBRTA[®] qui leur donne une représentation spectrale particulière :

- les clics d'écholocation sont représentés par des lignes verticales (Figures 3 et 5),
- les grondements par des tâches sombres plus ou moins épaisses (Figures 3 et 5),
- les sifflements par différents contours selon leur fréquence et leur durée (Figures 3 et 6).

Figure 3 : schéma de présentation du logiciel SBRTA[®] de spectrographie acoustique.



Différents paramètres ont ainsi pu être calculé : la fréquence, la durée, l'intensité moyenne pour chaque sifflement.

Il convient également de calculer à chaque fois un ratio (fréquence / durée) afin de mieux caractériser chaque sifflement et classer le plus précisément possible les signaux se ressemblant par le tracé.

IV . RESULTATS

IV-1 EFFICACITE DE LA COLLECTE DE DONNEES

De mauvaises conditions météorologiques durant l'été 1998 (de forts coups de vent allant jusqu'à force 8 Beaufort et des averses fréquentes) ont rendu les sorties rares et difficiles mais plusieurs bandes ont quand même pu être enregistrées pour le programme acoustique qui se mettait en place.

Nous nous sommes intéressés essentiellement à quatre de ces bandes sons enregistrées au cours de deux sorties : une le 4 août 1998 et trois le 19 septembre 1998. Les temps d'observation et d'enregistrement ainsi que les conditions météorologiques sont résumés dans le tableau suivant :

Figure 4 : Temps d'observation et d'enregistrement au cours des sorties du 04/08/98 et du 19/09/98.

<i>Date sortie</i>	<i>04/08/98</i>	<i>19/09/98</i>
Lieu	St Vaast La Hougue (côte est)	Carteret (côte ouest)
Conditions météo	Mer peu agitée Vent de force 2 Beaufort, nord-nord ouest Visibilité excellente	Mer belle Vent de force 1 à 3 Beaufort, nord-est Visibilité excellente
Durée de la sortie	3 heures 48 '	10 heures
Durée d'observation (présence des animaux)	58 '	9 heures 45 '
Durée d'enregistrement	20 '	1 heure 13 '
Temps analysé	7' 37 "	46' 41 "
Nombre de bandes	1	3
Nombre de sifflements enregistrés	26	178
Nombre de sifflements analysés	20	118
Nombre d'individus observés	25 à 30	30

' = minutes

" = secondes

Concernant le programme acoustique qui débutait juste durant la saison estivale 1998, il est intéressant d'estimer les différents degrés d'efficacité, de l'effort d'observation jusqu'à l'efficacité d'analyse des sifflements.

- l'efficacité d'observation : (temps d'observation des animaux/temps de sortie)*100 = (643'/828')*100 = 77.6 %
- l'effort d'échantillonnage : (temps d'enregistrement/temps d'observation des animaux)*100 = (93'/643')*100 = 14.4 %

- la qualité de l'échantillonnage : $(\text{temps analysé}/\text{temps enregistrement}) * 100 = (54.2/93) * 100 = 58.2\%$
- l'efficacité d'analyse des sifflements : $(\text{nombre de sifflements analysés}/\text{nombre de sifflements enregistrés}) * 100 = (138/204) * 100 = 67.6 \%$

Pour la journée du 19/09/98, où l'effort d'observation a été très important et particulièrement riche en données, une analyse des données du programme de photo identification a été effectuée en parallèle et a permis de reconnaître 22 individus présents dans la zone au moment des enregistrements.

Ces individus déjà identifiés et baptisés sont les suivants : G01, G02, G06, G07, G08, G10, G11, G12, G13, G15, G21, G33, G48, G50, G52, G54, G58, G65, G74, G75, G76, G78. (annexe 4 : tableau représentant les 22 matrices des dorsales)

Ce groupe était également accompagné de deux juvéniles ce qui amène à penser qu'il s'agissait d'un groupe avec une prépondérance de femelles.

Pendant le déplacement des individus, les différents comportements ont également été notés et archivés dans le "Logbook" : sauts, interactions sociales ou avec le bateau.

IV-2 SEQUENCAGE DES BANDES

Après l'analyse brute des bandes sons qui permet de construire les tableaux de séquençage, il est alors possible d'estimer les proportions entre les 3 types de sons (clics, grondements, sifflements) et ceci pour les 4 bandes enregistrées.

Le tableau ci-dessous permet de comparer la variation du pourcentage des 3 types de signaux pour l'ensemble des bandes, le rapport (% maximum / % minimum) nous donne le coefficient multiplicateur maximum d'un type.

Ces pourcentages sont calculés par rapport à un temps en secondes (annexe 3)

	<i>% mini</i>	<i>% maxi</i>	<i>Fact. multi. Maxi.</i>
Clic	8	63.4	7.93
Grondements	8.3	44	5.30
Sifflements	28.3	55.9	1.97

Les clics tiennent une place qui diffère entre les bandes pouvant aller jusqu'à un facteur 8 (de 8 % sur la bande 4 à 63.4 % sur la bande 2).

Pour les grondements, ce facteur est estimée à environ 5 (de 8.3 % sur la bande 2 à 44 % sur la bande 4).

La fourchette de valeurs des sifflements est plus réduite et le facteur entre celles ci est de 2 (de 28.3 % sur la bande 2 à 55.9 % sur la bande 3).

Ce séquençage effectué à partir des enregistrements est représenté à la Figure 7 sous forme la forme d'un "camembert" où les différentes portions illustrent les 3 sons avec des couleurs différentes.

Figure 5 : Représentation par le logiciel SBRTA de clics et de "sons explosifs" .

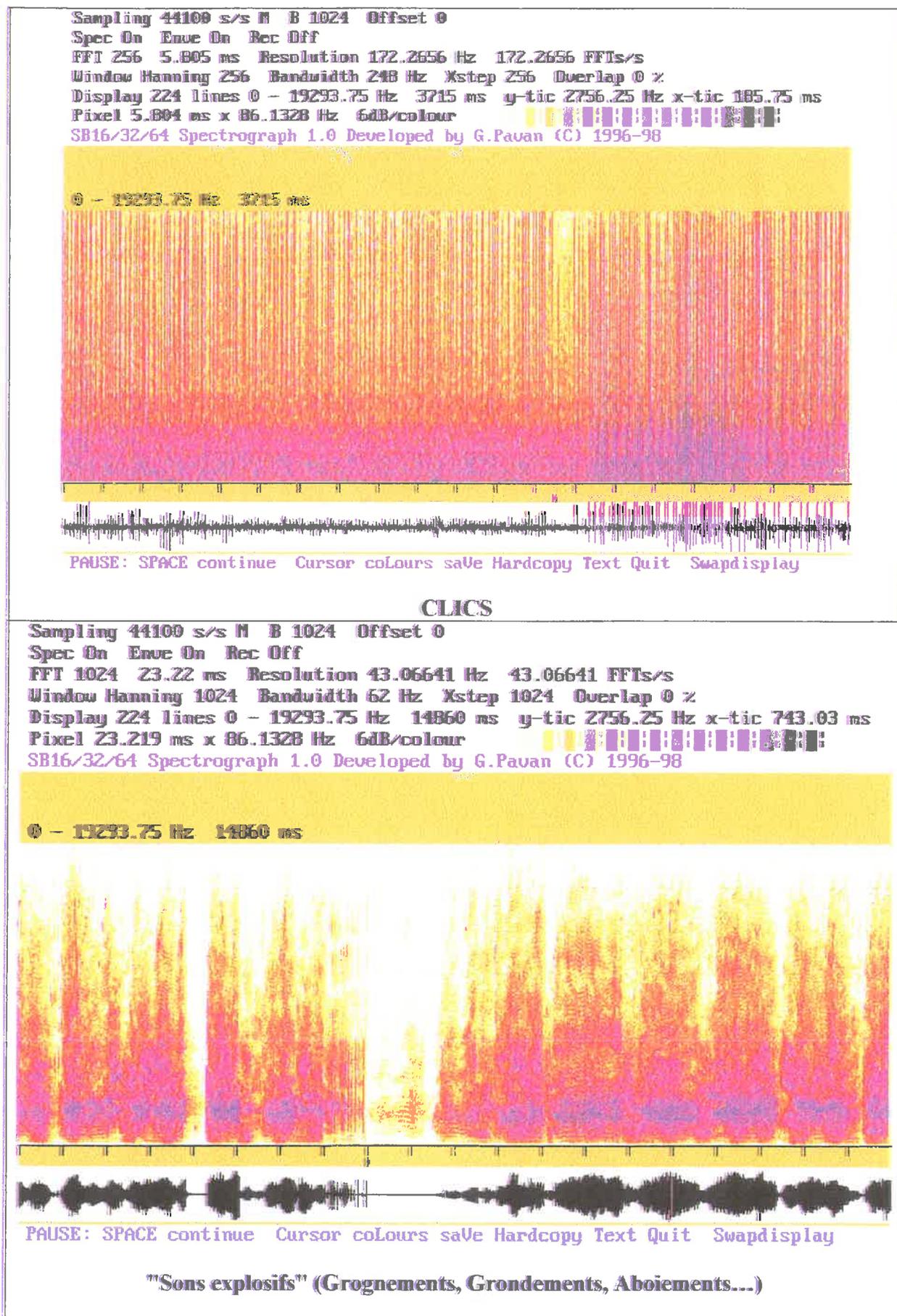


Figure 6 : Représentation par le logiciel SBRTA de sifflements ("simples" et "composés").

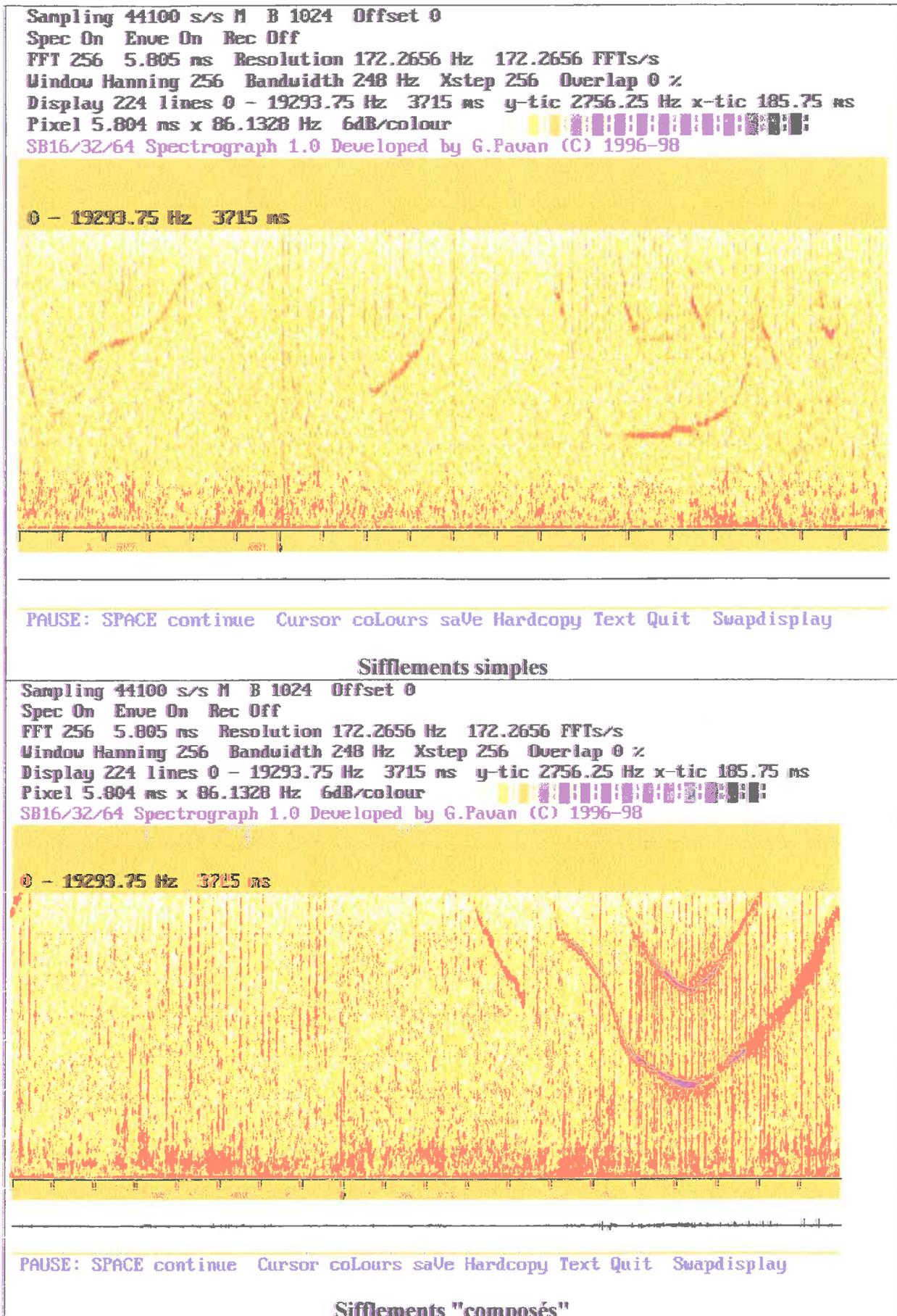
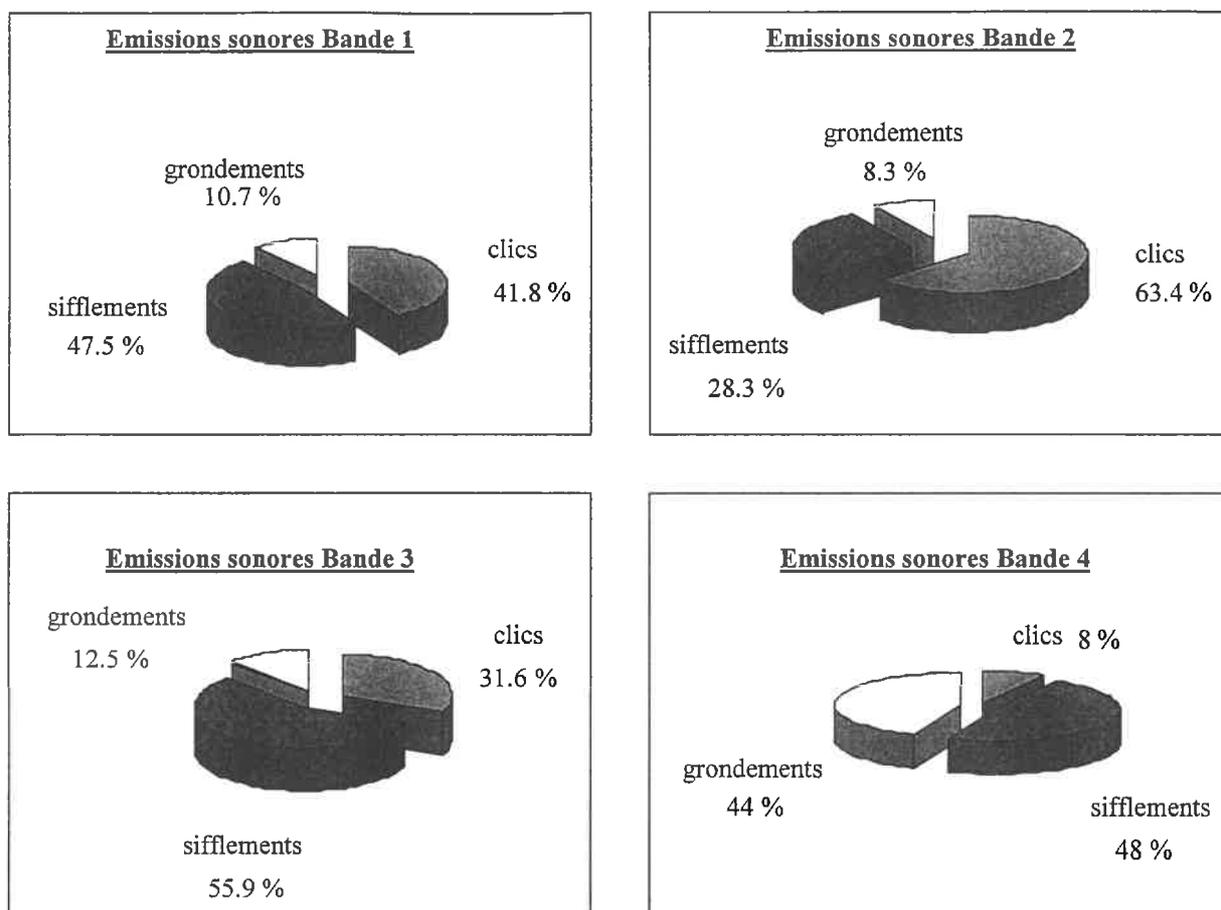


Figure 7 : Proportions des 3 types de sons sur chacune des bandes .



Ces graphiques permettent de mettre en évidence des proportions relatives différentes entre les quatre bandes, ceci pouvant être mis en relation avec les actions des animaux à ce moment là. Au cours de ces deux journées d'étude, tous les comportements ont été observés : déplacements lents et rapides, interactions et jeux sociaux, chasse...mais un chronométrage exact entre l'enregistrement et les comportements n'a pas été effectué.

Nous nous sommes essentiellement intéressés dans la suite de l'étude aux sifflements, ceux-ci étant les signaux les plus distincts et les plus facilement quantifiables.

IV-3 ETUDE DES SIFFLEMENTS

◆ Analyse spectrographique des sifflements enregistrés

Le logiciel nous représente à l'écran le sifflement dans un repère temps/fréquence et nous indique également le balayage, et tous les paramètres recherchés.

S'inspirant des travaux déjà effectués concernant les sifflements des Delphinidés, plusieurs paramètres ont été relevés pour chaque signal grâce notamment au curseur nous donnant des valeurs très précises.

Chacun des 138 sifflements analysés est ainsi caractérisé par un contour dessiné sur transparent, une fréquence, une durée et un ratio fréquence/temps.

Les sifflements comprenant plusieurs changements de pente (les sifflements "composés") ont été découpés en plusieurs fragments pour avoir la fréquence et la durée exactes et effectuer une meilleure analyse du signal complet : nous avons analysé les 4 bandes successivement et nous avons ainsi obtenu 108 sifflements "simples" et 30 sifflements "composés".(annexe 5 et annexe 6).

Ainsi, grâce au tracé et au ratio des 108 sifflements « simples », une classification a été réalisée et il s'est avéré que les sifflements ayant le même tracé avaient un ratio du même ordre de grandeur : 22 types différents ont été définis.
(les lettres correspondants aux types ont été attribuées arbitrairement).

Ce tableau en figure 8 récapitule le tracé des 22 types trouvés parmi les 108 sifflements. A chaque type le nombre n de sifflements est indiqué ainsi que la moyenne et l'écart type des ratios des n sifflements de la catégorie calculés pour les 22 catégories.

La moyenne \bar{x} et l'écart type S_x permettent de calculer un intervalle de confiance de la moyenne pour chacun d'eux et montre ainsi une certaine cohérence entre les différents ratios autour de la moyenne.

Cet intervalle est calculé avec un coefficient de risque α de se tromper (ou un coefficient de confiance $1-\alpha$).

Dans le cas des petits échantillons comme ici ($n=21$ au maximum), l'intervalle de confiance répond à la formule :

$$\Pr (\bar{x} - t_{\alpha/2} * S_{\bar{x}} < r < \bar{x} + t_{\alpha/2} * S_{\bar{x}}) = 1-\alpha$$

où la variable aléatoire $t = (\bar{x} - r) / S_{\bar{x}}$ obéit à une loi de Student à $n-1$ degrés de liberté.

- \bar{x} : moyenne des n r $\bar{x} = \sum X_i/n$
- $S_{\bar{x}} = S_x/\sqrt{n}$ où S_x est l'écart type $S_x = \sqrt{[\sum (X_i - \bar{x})^2 / (n-1)]}$
- $t_{\alpha/2}$ s'obtient dans la table de la loi de Student pour $\alpha = 5 \%$ et à $n-1$ degrés de liberté.

Excepté pour un nombre de sifflements inférieur à 3 où un calcul de moyenne et d'écart type est peu cohérent, ce calcul d'intervalle de confiance met en évidence le fait que dans un type les ratios appartiennent effectivement à l'intervalle calculé et cela permettra par la suite un classement plus rapide d'autres sifflements.

◆ Proportions des 22 types

Ce répertoire provisoire ainsi mis en place, il convient de rechercher les types les plus souvent employés par les Grands Dauphins. Les données classées (Figure 7) permettent de construire un graphique représentant le pourcentage de sifflements de chaque type par rapport au nombre de sifflements "simples" total.

Figure 8 : Classification des sifflements analysés.

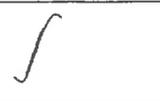
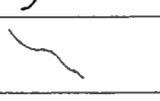
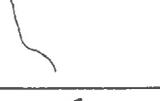
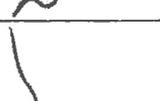
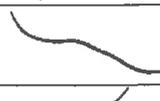
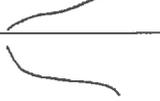
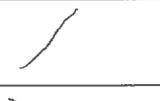
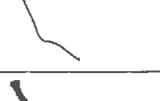
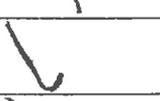
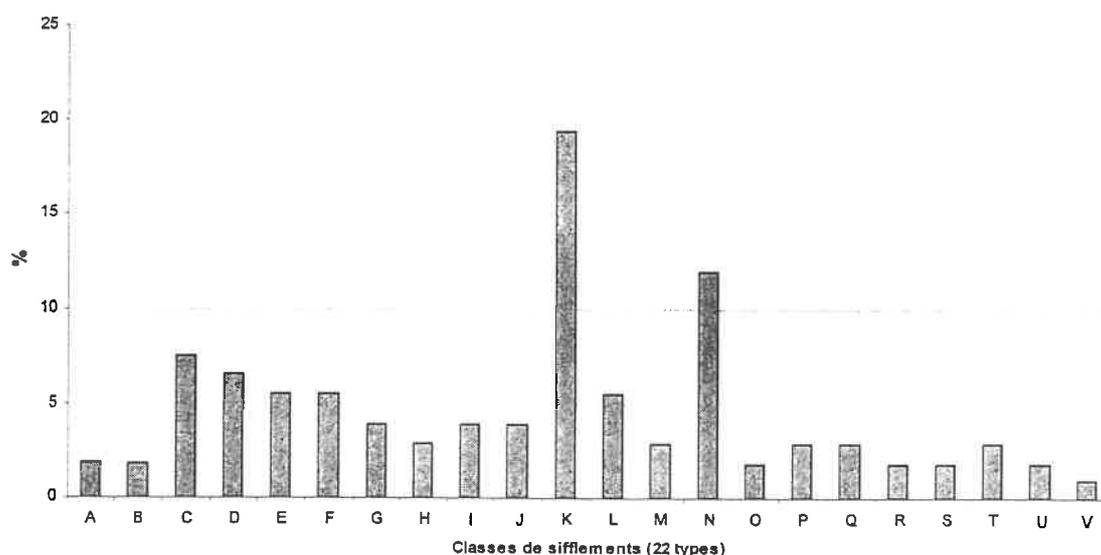
TYPE	TRACE	NB SIFFLEMENTS	MOYENNE DES RATIOS	ECART TYPE DES RATIOS	INTERVALLE DE CONFIANCE Pr ($\bar{x} - t\alpha/2 * S\bar{x} < r < \bar{x} + t\alpha/2 * S\bar{x}$) = 0.95
A		2	30.980	4.483	25.982 < r < 87.942
B		2	171.420	30.880	221.023 < r < 563.863
C		8	46.880	1.621	45.438 < r < 48.337
D		7	11.044	0.858	10.186 < r < 11.903
E		6	24.286	1.910	22.089 < r < 26.484
F		7	6.488	2.563	3.927 < r < 9.050
G		4	20.090	1.224	17.840 < r < 22.340
H		3	23.350	2.285	16.410 < r < 30.297
I		4	35.905	4.634	27.389 < r < 44.421
J		4	6.905	1.168	4.757 < r < 9.053
K		21	10.099	1.716	9.298 < r < 10.900
L		5	9.122	1.888	6.499 < r < 11.745
M		3	17.900	1.059	14.681 < r < 21.119
N		14	14.955	2.076	13.711 < r < 16.200
O		2	18.720	1.244	2.907 < r < 34.533
P		3	35.016	3.860	23.290 < r < 46.743
Q		3	15.823	2.930	6.922 < r < 24.725
R		2	28.310	4.483	28.652 < r < 85.272
S		2	1.630	0.353	2.862 < r < 6.122
T		3	7.846	1.667	2.780 < r < 12.913
U		2	15.890	4.582	42.330 < r < 74.110
V		1	/	/	/

Figure 9 : Proportions des différents types de sifflements (n=108).



Ce graphique met en évidence le fait que les dauphins utilisent majoritairement certains types de sifflements, à savoir les types K (19.4 %) et N (12 %) : ces deux types comprennent près d'un tiers de la totalité des signaux, le reste se répartissant dans les 20 autres types dans des proportions souvent inférieure à 5 %.

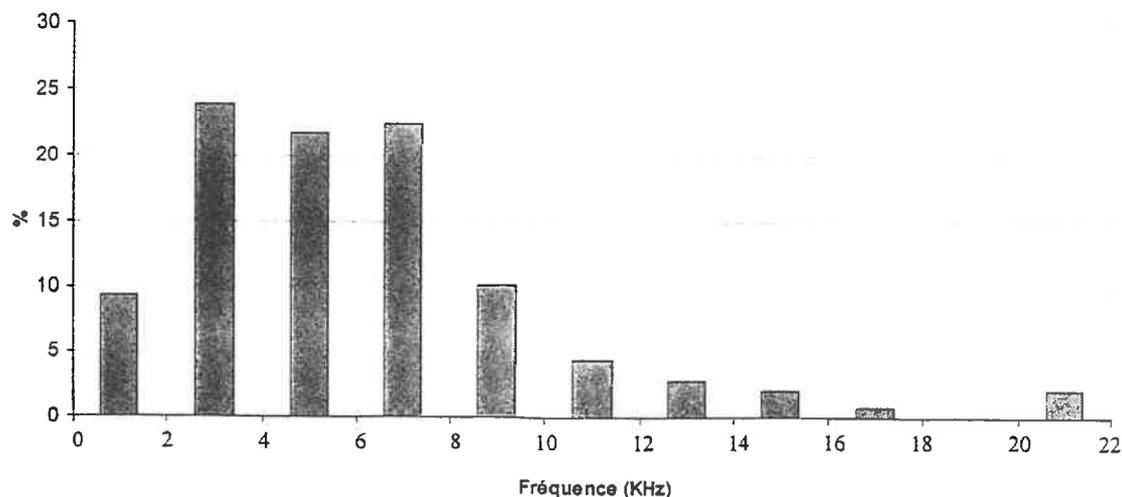
◆ Gamme de fréquence des sifflements

Analysant les données relevées concernant la fréquence des sifflements (annexe 5), il est possible de construire un graphique représentant la gamme de fréquence d'émission des 138 signaux enregistrés.

23.9 % des sifflements se trouvent dans l'intervalle [2 ; 4 kHz], 21.7 % dans [4 ; 6 kHz] et 22.4 % dans [6 ; 8 kHz] : près de 70 % des signaux se situent dans une gamme de fréquence étroite [2 ; 8 kHz].

Ce graphique montre ici que les sifflements ne sont répartis de façon homogène dans la gamme de fréquence totale et que seule une bande étroite est utilisée.

Figure 10 : Gamme de fréquence des sifflements.



V. DISCUSSION

La recherche bibliographique a montré que de nombreux scientifiques étudiant les Delphinidés se concentrent de plus en plus sur la communication de ces animaux.

Ces dernières années beaucoup de ces études se sont d'ailleurs tournées vers les sifflements, le principal mode de communication des Odontocètes (Herzing, 1988) car ceux-ci sont bien distincts et facilement quantifiables et analysables.

◆ Effort d'observation .

L'estimation des différents degrés d'efficacité concernant l'observation, l'échantillonnage et l'analyse permet de montrer une plus ou moins bonne efficacité selon les niveaux considérés.

En premier lieu, il est intéressant de noter une très bonne efficacité d'observation (77.6 %) étant donné la superficie du lieu d'étude (estimée à environ 6000 km²) et la population bien souvent très dispersée en de nombreux groupes.

Ce bon résultat s'explique aussi par la méthode utilisée lors des sorties en mer qui fait appel à un réseau d'observateurs (le bateau est en liaison radio avec le sémaphore qui envoie un message aux pêcheurs et plaisanciers pour connaître la position des dauphins aperçus dans la journée).

Cette méthode est préférée à celle de prospection en transects, celle ci étant trop lourde à mettre en place et trop coûteuse compte tenu de la superficie de la zone d'étude.

L'effort d'échantillonnage de 14.4 % est relativement faible. Ceci est essentiellement dû aux mauvaises conditions météorologiques et au fait que la priorité durant l'été 1998 a surtout été donnée à l'identification des individus (base essentielle pour définir le statut de la population). Le programme acoustique n'était qu'en phase expérimentale pendant l'été 1998.

Le séquençage des bandes sons permet de repérer le maximum des bruits parasites et seules les vocalisations des animaux sont chronométrées et archivées sur CD ROM. La qualité d'échantillonnage des bandes de 58.2 % représente la proportion de la bande conservée pour l'analyse spectrographique proprement dite. Cette efficacité, déjà élevée, peut encore être améliorée si l'hydrophone est correctement immergé à chaque enregistrement et que le NAGRA n'est mis en marche qu'au moment où l'acousticien entend les animaux.

Il est cependant important de considérer la perte de 32.4 % entre les sifflements enregistrés et les sifflements analysés. Cette perte d'information s'explique tout d'abord par les mauvaises conditions météorologiques, mais surtout par des problèmes de manipulation avec l'hydrophone (mauvaise immersion) et remet en question le contraste du logiciel SBRTA : les sifflements sont perceptibles à l'oreille mais trop lointains, trop faibles à l'écran pour être analysés.

Cette perte est d'autant plus dommageable étant donné la qualité d'information que pourrait nous apporter ces signaux : sachant que tout dérangement des animaux par un bateau entraîne beaucoup plus de vocalisations, les individus les plus éloignés ont probablement des émissions plus proches de leur comportement à l'état naturel (Liret C., com perso).

◆ Séquençage des bandes sons

Le séquençage des différentes bandes permet de mettre en évidence les trois types de signaux au cours des enregistrements (clics, grondements, sifflements) dans différentes proportions, et une telle étude devient très intéressante en parallèle avec les travaux sur le comportement.

La proportion des sifflements varie le moins entre les différents enregistrements considérés et tiennent toujours une place importante au sein des bandes. En effet, les animaux les utilisent pour maintenir une cohésion constante du groupe (Janik V.M. and Slater P.J.B., 1997), essentielle à toute forme d'activité (déplacements, jeux, chasse, repos ...).

Les grondements occupent une place moins importante sur les bandes, ce qui s'explique par le fait que les dauphins n'utilisent ces signaux que pour les réactions émotionnelles.

Les clics par contre peuvent tenir une place 8 fois plus importante d'une bande à l'autre. Ces signaux sont utilisés exclusivement pour la chasse et la perception du milieu : il serait donc intéressant de savoir si les animaux enregistrés sur la bande 2 chassaient activement.

On sait également que la fréquence des clics augmente avec la turbidité de l'eau et que les Grands Dauphins peuvent chasser "à vue" (Liret C., com perso), ce qui expliquerait peut être l'importante variation des proportions de clics entre les bandes.

La côte Est du Cotentin où a été enregistrée la bande 4 (plus faible proportion de clics de 8% seulement) correspond à fond sableux au relief quasi uniforme, alors que la côte Ouest du Cotentin (sites d'enregistrement des bandes 1, 2 et 3 avec un pourcentage de clics allant de 31.6 à 63.4 %). Cette observation serait à confirmer sur du long terme.

Il est pour cela nécessaire de noter le temps exact où la bande commence à enregistrer et une personne se charge alors de noter précisément le comportement des individus pour que les données puissent être analysables par la suite.

◆ Répertoire de la population de Grands Dauphins.

Les résultats obtenus comportent cependant une certaine marge d'incertitudes due entre autre à une intensité trop faible pour certains sifflements (mais que nous avons tout de même considérés pour certains d'entre eux) et au traçage des contours directement sur l'écran du PC.

Grâce à un échantillonnage de 138 sifflements (sur 93 ' d'enregistrements), il a été possible de définir un répertoire comprenant 22 catégories.

Au cours d'études similaires sur un nombre réduit d'individus captifs, un tel répertoire peut être également établi. Des tests réalisés en captivité (enregistrement au NAGRA à la surface et dans l'eau) permettent de classer 1743 signaux émis par un Grand Dauphin en 7 types (Janik V.M. *et al*, 1994).

Une autre étude sur 4 animaux en captivité a recueilli 2472 sifflements classés en 11 types. En imposant aux individus deux situations différentes : isolé ou en groupe, cette étude parvient à confirmer l'hypothèse selon laquelle les sifflements sont utilisés pour la cohésion du groupe (Janik V.M. and Slater P.J.B., 1997).

Même s'il apparaît que l'échantillonnage réalisé sur la population de Grands Dauphins de Basse-Normandie semble insuffisant, il a quand même permis de définir 22 types. Des enregistrements n'ayant été effectués que sur une seule année, il est évident que ce répertoire n'est que provisoire et il sera possible à long terme de connaître la majorité des vocalisations. Une telle différence entre nos résultats et ceux obtenus en captivité est liée à la fois au nombre d'individus et au large répertoire utilisable par les animaux en milieu sauvage.

D'autres scientifiques n'utilisent que le contour pour élaborer leur répertoire. Ainsi, une étude sur 3 animaux captifs établit un répertoire après analyse des 3 "signatures" acoustiques et par transformation mathématique permet de reconnaître les sifflements propres à chaque individu (Buck J.R., Tyack P.L., 1993).

Les données recueillies concernant les sifflements "composés" ne représentent qu'une faible part par rapport au nombre total de sifflements (30 sur 138) et le fait que nous n'avons établi qu'un répertoire provisoire ne nous permet pas d'expliquer précisément ces signaux.

Il semblerait en effet que les fragments constituant un signal "composé" correspondent à certains signaux "simples" si on les classe selon le contour et le ratio et ce n'est qu'en ayant le répertoire le plus complet possible que l'on pourra peut être mettre en évidence qu'un signal "composé" est une somme de plusieurs signaux "simples".

Une étude plus détaillée de ces sifflements est encourageante. En effet, un type de sifflements "composé" enregistré au large de Carteret a également été enregistré dans le sud de l'Angleterre par Ed Harland, bioacousticien, dans la baie de Durlston. Une coopération entre les deux structures d'études et un programme à long terme pourrait permettre d'établir un répertoire commun.

Le fait que les sifflements enregistrés appartiennent surtout à deux types parmi les 22 permet notamment d'établir un répertoire spécifique à une ou plusieurs sorties et peut montrer qu'il s'agit des mêmes groupes d'individus. Cette étude des différentes proportions sur plusieurs années devient alors très intéressante et permet de connaître les types les plus fréquemment utilisés.

Le Grand Dauphin n'utilisant qu'une certaine gamme de fréquence pour ses sifflements (2 à 20 kHz), il n'est pas rare de constater que certains groupes ou individus n'utilisent qu'une partie de cette bande d'émission, comme c'est le cas ici (2 à 8 kHz).

Là encore, une étude à plus long terme sur les fréquences des sifflements peut permettre de dégager la bande utilisée majoritairement (le "timbre" la population) et ainsi de mieux caractériser la population étudiée.

◆ Acoustique et photo identification.

Il est nécessaire de considérer et d'analyser les données recueillies au cours des sorties dans leur ensemble.

Une étude détaillée des photographies prises au moment des enregistrements acoustiques permet de connaître précisément les individus présents au moment des émissions sonores.

Beaucoup plus de données permettront sans doute d'affiner le répertoire sur un petit nombre d'individus et à plus long terme ce travail sera utile à la création d'un logiciel d'analyse instantanée des bandes.

Les résultats ne pourront pas être aussi précis que ceux obtenus dans des régions où, grâce à la clarté de l'eau et à la météorologie moins contraignante, il est possible de connaître le sexe des individus et de savoir plus précisément l'individu qui émet les sons. (Herzing D., 1996 (Bahamas); Jacobs M. *et al*, 1993 (Caroline du Nord)).

Ici de nombreuses incertitudes persistent car il n'est pas possible de déterminer le sexe des individus même si la présence de juvéniles permet quelquefois de savoir que certains individus déjà identifiés sont probablement des femelles.

◆ Acoustique et étude du comportement.

Des études en captivité ou dans des régions où il est facile d'observer le comportement des individus en utilisant des éthogrammes décrivant précisément les différents comportements possibles (Müller M. *et al*, 1998), ont permis d'établir de nombreuses corrélations entre les émissions sonores et le comportement des individus. (Richardson W. *et al*, 1995 ; Bel'kovich V.M., Khalkhalina E.N., 1994).

Le comportement des individus du groupe photographié et enregistré est également relevé au cours : soit il est noté en même temps que le numéro de la bande son et le numéro des photographies prises soit il est dicté dans le microphone branché au magnétophone NAGRA. Seules les actions avouées (les actions facilement identifiables comme la pêche avec la présence des poissons en surface, les sauts ou les contacts entre individus) sont relevées.

Il est donc essentiel de suivre une route bien parallèle à celle suivie par le groupe et de noter très précisément les comportements en même temps qu'un chronométrage précis des enregistrements (raisons pour lesquelles il n'a pas été possible d'établir une corrélation entre le comportement et les sons émis pour les deux sorties étudiées).

Des sorties régulières sur le terrain accompagnées d'une prise de notes précise et systématique de toutes les informations amèneront un plus grand nombre de données et permettront d'entreprendre de nombreuses études (élaboration d'un répertoire plus complet, étude du comportement ...)

D'autres outils peuvent également amener une précision supplémentaire dans les données pour les futures études : un hydrophone plongé en permanence pour connaître la position des dauphins toute l'année (Tregenza N. com perso), une caméra immergée pour l'étude du comportement (Liret C. com perso)...

◆ Avantages et inconvénients des études sur le Grand Dauphin en captivité .

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus en captivité pour des études similaires sur cette espèce. Ces études parviennent à élaborer un répertoire de sifflements pour chaque individu : une "signature" acoustique, (Caldwell M.C. *et al* , 1990), ce qui est irréalisable en milieu naturel sur autant d'individus.

Certaines relations acoustiques entre la mère et le jeune ont été notamment mises en évidence en captivité et une reconnaissance des sifflements entre les deux a été montrée.

Une place essentielle est laissée à l'apprentissage du répertoire de sifflements pendant le développement du dauphin et il a été démontré que les jeunes de moins de 1 an avaient leur propre répertoire et qu'après cet âge ils commencent à utiliser les types de sifflements des adultes (McCowan B. and Reiss D., 1995).

Par ailleurs, il est essentiel de prendre des précautions pour une comparaison entre les résultats obtenus en captivité et en milieu naturel et ceci est d'autant plus vrai pour ce qui est du comportement des animaux car en captivité certaines actions innées telle que la pêche ont disparu pour laisser la place à des comportements stéréotypés.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent qu'il est tout à fait possible d'établir un répertoire des sifflements de la population de Grands Dauphins de Basse Normandie à l'aide d'une analyse spectrographique précise.

Ce premier répertoire a été élaboré avec les enregistrements d'un nombre de sorties très réduit et l'élaboration d'un répertoire plus complet ne sera possible qu'après une collecte de données plus importante sur le terrain.

Une étude très précise sur plusieurs années put également permettre de savoir quels sont les types de sifflements majoritairement utilisés par les individus, la gamme de fréquence la plus souvent employée et d'affiner au maximum un répertoire sur un nombre plus réduit d'individus grâce à la photo identification.

Une comparaison entre les données recueillies par le GECC et celles obtenues par Ed Harland sur une population de Grands Dauphins dans le Sud de l'Angleterre est intéressante et encourageante car il semble que certains signaux simples et composés soient similaires sur les deux sites.

Dans ce sens, une collaboration plus étroite entre les deux structures permettrait d'acquérir une base de données beaucoup plus importante et l'élaboration d'un répertoire commun, comme le catalogue franco-britannique déjà réalisé pour le programme de photo identification.

BIBLIOGRAPHIE

- BEL'KOVICH V.M., KHAKHALKINA E.N., 1994 - Acoustic signalization research for estimating effectivity of dolphins' hunting behaviour. Proceedings of the first international symposium on the Marine Mammals of the Black sea. 27-30 june 1994. Istambul.
- BUCK J.R., TYACK P.L., 1993 - A quantitative measure of similarity for *Tursiops truncatus* signature whistles. Journal Acoustic Soc. Am. - pp 2497-2506
- BREUER H., 1998 - Atlas de physique. Encyclopédies d'aujourd'hui (Ed). pp 94-100.
- CALDWELL M.C., CALDWELL D.L., 1969 - Vocalization of native captives dolphins in small groups. Science 159 - pp 1121-1123.
- CALDWELL M.C., CALDWELL D.L., TYACK P.L., 1990 - Review of the signature. Whistle hypothesis for the atlantic bottlenose dolphin. Academic Press, San Diego. Pp 199-234.
- COLLET A., GOVERNEC A., FIRMIN V., LÉBOULANGER F., 1994 - Les marsouins et autres petits cétacés au large des côtes françaises. Musée Océanographique de La Rochelle. - 32 p.
- DUGUY R., HUSSENOT E., 1980 - Nouvelles données sur *Tursiops truncatus* des côtes françaises atlantique. CIEM (4). 4 p.
- GROUPE MAMMALOGIQUE NORMAND, 1988 - Les Mammifères sauvages de Normandie. Statut et répartition. GMN. Pp 214-217
- HERZING D.L., 1996 - Vocalizations and associated underwater behavior of free-ranging Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. Aquatic Mammals - pp 61-79
- HUSSENOT E., 1982 - premier recensement de grand dauphin (*Tursiops truncatus*) dans l'estuaire du Sado au Portugal, données sur son écologie et son comportement. Acte VI Coll. SFPEM, La Rochelle. Pp 65-73.
- IFREMER, 1993 - Structure physique, chimique et biologique de la Manche. Ifremer Brest, Boulogne, MAFF (Ministry of Agriculture Fish and Food) - 256 p.

- JACOBS M., NOWACEK D.P., GERHART D.J., CANNON G., NOWICKI S., FORWARD R.B., 1993 - Seasonal changes in vocalizations during behavior of the Atlantic bottlenose dolphin. *Estuaries*, Vol 16, n°2 - pp 241-246
- JANIK V.M., 1998 - Pitfalls in the categorization of behaviour : a comparison of dolphin whistles classification methods. *Animal behaviour*, 57. - pp 133-143.
- JANIK V M., DEHNHARDT G., TODT D., 1994 - Signature whistle variations in a bottlenosed dolphin ,*Tursiops truncatus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 35 : 243-248.
- JANIK V.M., SLATER P.J.B., 1997 - Context specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal Behaviour*, n°56 - pp 829-838.
- JONES D., 1998 - Baleines et dauphins. . Konemann (Ed) - pp 23-37.
- KUC R., 1997 - Yale sonar robot modeled after bat and dolphin echolocation behavior. Yale University, Office of Public Affairs. 2 p.
- LEATHERWOOD S., REEVES R.R., 1983 - The Sierra Club Handbook of whales and dolphins. Sierra Club Books (Ed), San Francisco - 302 p.
- LEATHERWOOD S., REEVES R.R., 1990. The bottlenose dolphin. Academic Press - 489 p.
- MATTHEWS L.H., 1978 - The Natural History of the Whale. The world naturalist series. Weidenfeld and Nicolson, London - 219 p.
- McCOWAN B., 1995 - A new quantitative technique for categorizing whistles using simulated signals and whistles from captive bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*). *Ethology*, 100 - pp 177-193.
- McCOWAN B., REISS D., 1995 - Quantitative comparison of whistles repertoires from captive adult Bottlenose dolphins (Delphinidae, *Tursiops truncatus*) : a re-evaluation of the signature whistle hypothesis. *Ethology*, 100 - pp 194-209.
- Mc COWAN B., REISS D., 1995 - Whistle contour development in captive - borts enfant Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) : role of learning. *Journal of comparative psychology*, Vol. 109, n°3. pp 242-260.

- MÜLLER M., BOUTIERE H., WEAVER A.C.F., CANDELON N., 1998 - Nouvel inventaire du comportement du grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Approche comparative des comportements des dauphins grégaires, solitaires et familiaux. Vie & Milieu, 48(2). Pp 89-104.
- PAVAN G., MANGHI M., 1997 - Instruments and techniques for sound recording and analysis - Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche, Università degli Studi di Pavia. pp 1-8.
- RICHARDSON W.J., GREENE C.R., MALME C.I., THOMSON D.H., 1995 - Marine mammals and noise. Academic Press (Ed). 547 p.
- RIDOUX V., GUINET C., CARCAILLET C., CRETON P., 1994 - Utilisation de l'espace par les mammifères marins et proposition de zonage. Contrat de recherche MAB/ Conseil Général du Finistère. 70p.
- SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine., 1998 - Courants de marée. Golfe Normand-Breton.
- SHULTZ K.W., CATO D.H., CORKERON P.J., BRYDEN M.M., 1995 - Low frequency narrow-band sounds produced by Bottlenose dolphins. Marine Mammal Science, 11(4) - pp 503-509.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Site d'étude du Grand Dauphin (avec la ligne bathymétrique des 10 mètres).

Figure 2 : Cheminement des ultrasons chez le Grand Dauphin : émission des signaux et réception de l'écho de retour.

Figure 3: Schéma de présentation du logiciel SBRTA[®] de spectrographie acoustique.

Figure 4 : Temps d'observation et d'enregistrement au cours des sorties du 04/08/98 et du 19/09/98.

Figure 5 : Représentation par le logiciel SBRTA[®] de clics et de "sons explosifs" .

Figure 6 : Représentation par le logiciel SBRTA[®] de sifflements ("simples" et "composés").

Figure 7 : Proportions des 3 types de sons sur chacune des bandes.

Figure 8 : Classification des sifflements analysés.

Figure 9 : Proportions des différents types de sifflements (n = 108).

Figure 10 : Gamme de fréquence des sifflements.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Rose des courants de surface de vive eau (Institut national des techniques de la mer, 1986).

Annexe 2 : Route prise par le groupe de Grands Dauphins suivi le 19/09/98.

Annexe 3 : Tableaux de séquençage.

Annexe 4 : Photo identification et fiche d'identification.

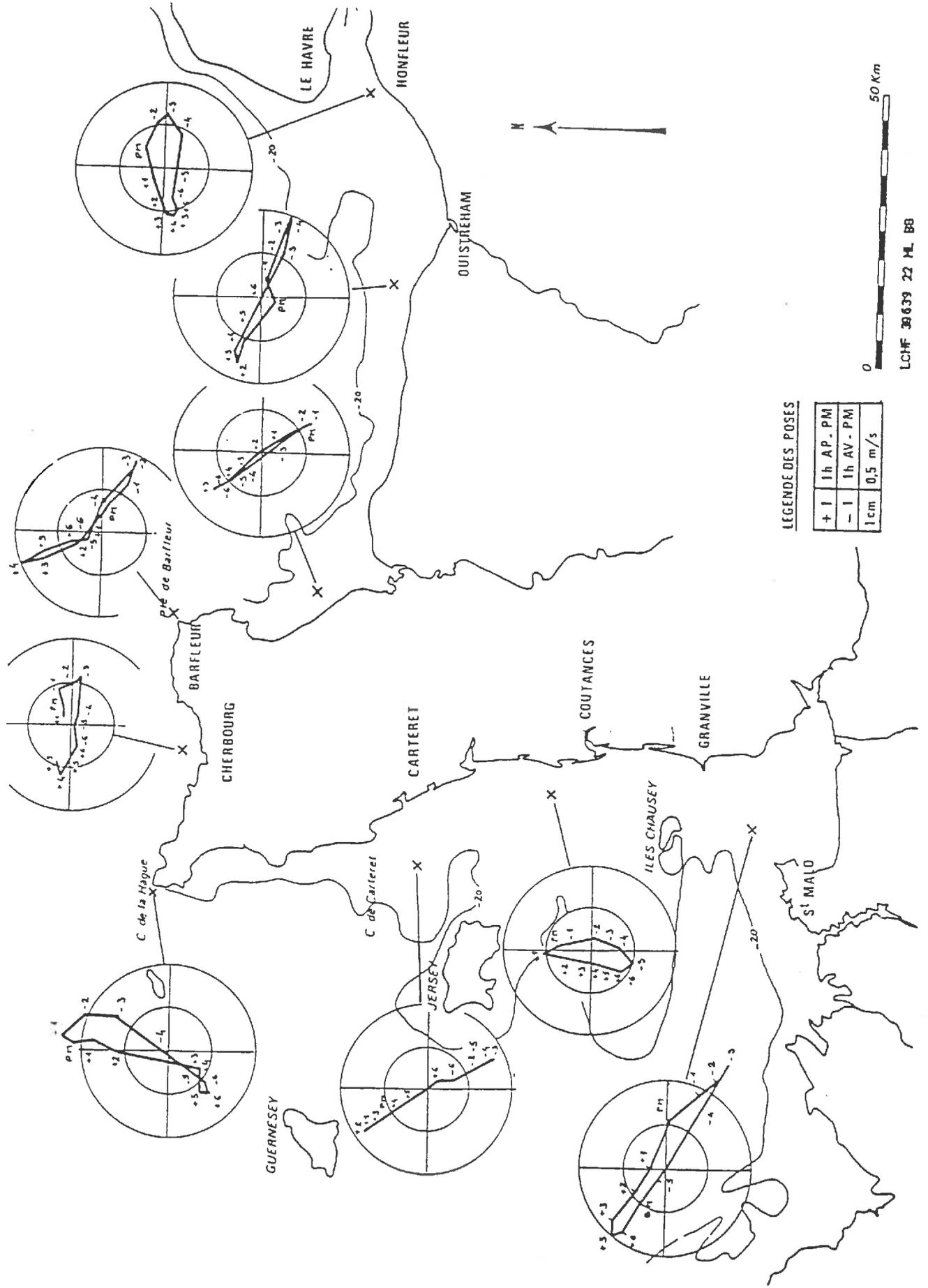
Annexe 5 : Tableau de valeurs brutes.

Annexe 6 : Contours des sifflements analysés (n = 138).

Annexe 1 :

Rose des courants de surface de vive eau (Institut national des techniques de la mer, 1986).

DE LA BAIE DE SEINE AU MONT-SAINT-MICHEL



LEGENDE DES POSES

+1	1h AP. PM
-1	1h AV. PM
1cm	0,5 m/s

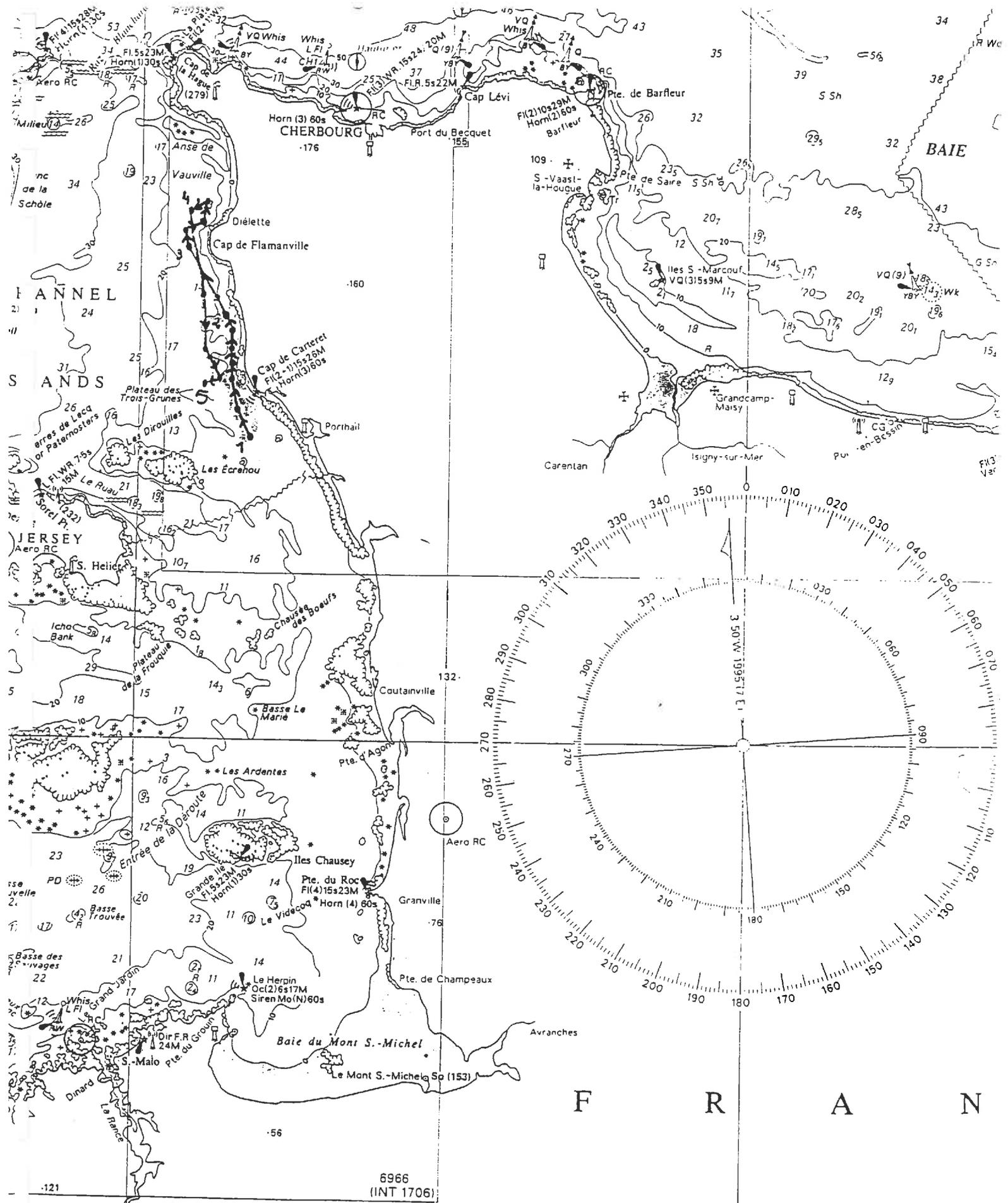


LCHF 30639 22 PL B8

Roses des courants en vive-eau (surface).

Annexe 2 :

Route prise par le groupe de Grands Dauphins suivi le 19/09/98.



Échelle 1 : 50 000

- | | |
|---|----------------------|
| 1 | : premier contact |
| 2 | : pote de contact |
| 3 | : reprise de contact |
| 4 | : individus nombreux |
| 5 | : dernier contact |

Annexe 3 :

Tableaux de séquençage.

ACOUSTIQUE

Analyse séquentielle (Track 3 16m 13) (Bande 1 19/09/98)

Temps 0 = Début bande

Index temps (Mn)	Descriptifs	Durée (S)	Autres
1'44''	Clics	2''	
1'56''	Clics	3''	
2'06''	Clics	6''	
2'29''	Sifflements lointains	1'	
2'34''	Sifflements	1'	
3'03''	Sifflements	1'	
3'06''	Sifflements	1'	
3'14''	Clics		
3'35''	Clics		
3'49''	Clics	3''	
4'05''	Clics	2''	
4'46''	Clics		
5'12''	Clics	24''	
6'00''	Clics	2'	
7'00''	Clics	4''	
7'43''	Sifflements		
8'36''	Clics	15''	
8'58''	Clics	4''	
9'00''	Clics	15''	
9'23''	Clics	3''	
9'33''	Clics	2''	Silence dans le bord !
9'43''	Clics	7''	
10'20''	Clics, aboiements	4''	
11'20''	Sifflements	26''	
12'36''	Clics, aboiements	20''	
13'00''	Aboiements		
13'20''	Clics	2''	
13'26''	Aboiements		
13'35''	Clics	7''	
13'47''	Clics	3''	
14'04''	Clics	3''	
14'18''	Aboiements, clics, sifflements	45''	

COMMENTAIRES :

Maqueraux, bruits de bord, Hors-bord à moins de 700 m, cavitation, Clapots, Immersion trop juste de l'hydro.
Bande intéressante, nouvelle signature .

ACOUSTIQUE

Analyse séquentielle BD#2 19-08-98 (Track 2 13m 24) (Bande 2 19/9/98)

Temps 0 = Début bande

Index temps (Mn)	Descriptifs	Durée (S)	Autres
50''			
1'19''	clics, sifflements	3''	bateau hors-bord
1'37''	clics	3''	
1'49''	clics, aboiements	10''	
2'00''	aboiements	4''	
2'27''	clics	3''	
2'36''	clics	10''	
3'04''	clics	4''	
3'32''	sifflements	2''	bateau hors-bord
4'28''	clics	2''	
4'52''	clics	40''	
5'26''	clics		+ fort
5'41''	clics	3''	
6'25''	sifflements	3''	
6'48''	sifflements	3''	
7'20''	sifflements		
7'44''	sifflements	5''	
7'52''	sifflements , clics, aboiements	4''	
8'09''	festival acoustique	30''	
8'54''	sifflements	3''	
8'59''	clics	20''	
9'19''	clics, sifflements	20''	
9'38''			hors-bord
10'08''	sifflements très loin	4''	
10'19''	clics, sifflements	10''	
10'57''	clics	4''	
11'05''	sifflements	3''	
11'31''	clics	3''	
12'11''	sifflements	2''	

ACOUSTIQUE

Analyse séquentielle (Track 3 16m 13) (Bande 3 19/9/98)

Temps 0 = Début bande

Index temps (Mn)	Descriptifs	Durée (S)	Autres
1'44''	Clics	2 ''	
1'56''	Clics	3 ''	
2'06''	Clics	6''	
2'29''	Sifflements lointains	1'	
2'34''	Sifflements	1'	
3'03''	Sifflements	1'	
3'06 ''	Sifflements	1'	
3'14''	Clics		
3'35''	Clics		
3'49''	Clics	3''	
4'05''	Clics	2''	
4'46''	Clics		
5'12''	Clics	24''	
6'00''	Clics	2'	
7'00''	Clics	4''	
7'43''	Sifflements		
8'36''	Clics	15''	
8'58''	Clics	4''	
9'00''	Clics	15''	
9'23''	Clics	3''	
9'33''	Clics	2''	Silence dans le bord !
9'43''	Clics	7''	
10'20''	Clics, aboiements	4''	
11'20''	Sifflements	26''	
12'36''	Clics, aboiements	20''	
13'00''	Aboiements		
13'20''	Clics	2''	
13'26''	Aboiements		
13'35''	Clics	7''	
13'47''	Clics	3''	
14'04''	Clics	3''	
14'18''	Aboiements, clics, sifflements	45''	

COMMENTAIRES :

Maqueraux, bruits de bord, Hors-bord à moins de 700 m, cavitation, Clapots, Immersion trop juste de l'hydro.
Bande intéressante, nouvelle signature .

ACOUSTIQUE

Analyse séquentielle (Track4 7m 40). (Bande 4 4/08/98)

Temps 0 = Début bande

Index temps (Mn)	Descriptifs	Durée (S)	Autres
5''	Aboiements, couics	10''	Immersion faible !
15''	Couics ?	12''	
32''	Clics	2''	
53''	Clics	2''	
1'16''	Sifflements	1''	Hors-bord
3'46''	Sifflements	2''	
3'49''	Sifflements	3''	
4'51''	Sifflements	4''	L'hydro était-il immergé ?
5'16''	Sifflements	3''	
5'30''	Sifflements	2''	
5'36''	Sifflements	2''	
6'02''	Sifflements	4''	
6'29''	Sifflements	3''	

COMMENTAIRES :

Maquereaux, nouvelles signatures, énormes bruit, bande intéressante.

Annexe 4 :

Photo identification et fiche d'identification.

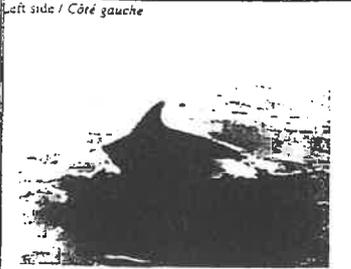
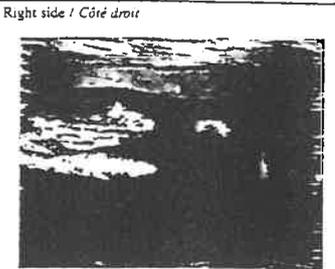
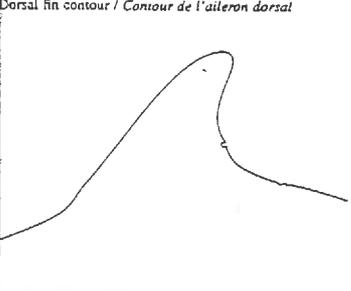
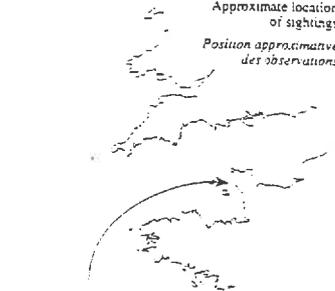
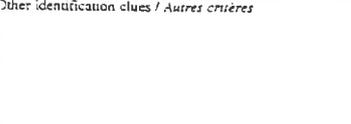
ANNEXE 4 : PHOTOIDENTIFICATION ET FICHE D'IDENTIFICATION

La photoidentification permet de faire l'inventaire et le suivi de la population de Grands Dauphins fréquentant les côtes du Cotentin.

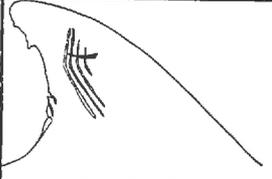
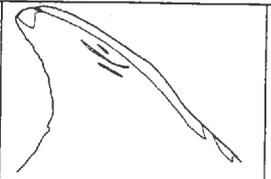
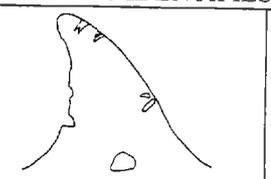
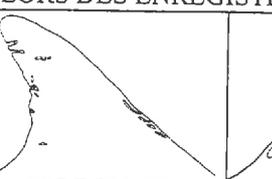
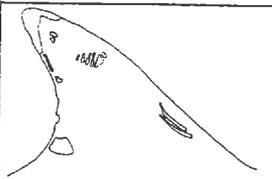
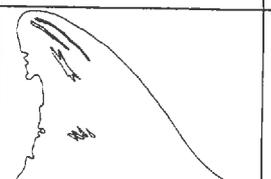
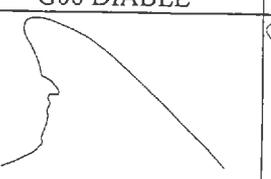
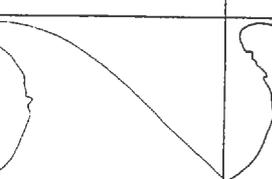
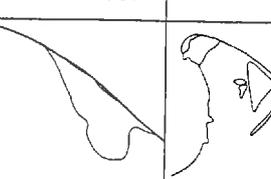
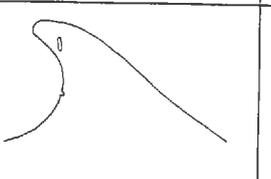
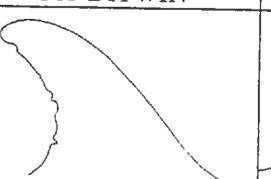
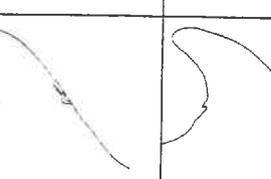
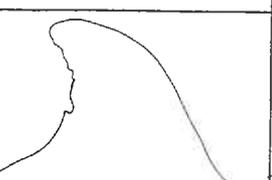
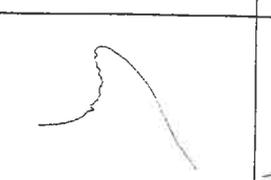
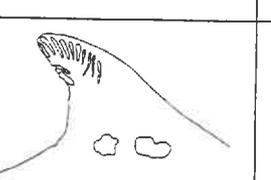
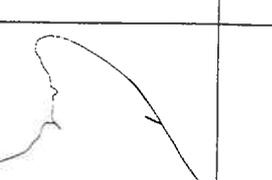
Les meilleures photographies (droite et gauche) de la nageoire dorsale permettent de dessiner le contour et les marques de l'aileron, qui constituent la fiche d'identité de l'animal.

Près de 60 individus ont été identifiés, chacun ayant reçu un nom de code et un nom de baptême.

Une fiche d'identification a ainsi été élaborée pour chaque animal et toutes figurent dans un catalogue franco-britannique. (extrait de ce catalogue visible à droite)

<small>Research group name Nom du groupe de recherche</small>	Groupe d'Etude des Cétacés du Cotentin	<small>Name or code for animal Nom ou code de l'animal</small>	G2
<small>Address / Adresse</small>	Centre d'Innovation Technologique rue Louis Aragon 50130 Octeville	<small>Site / Site</small>	Ouest Cotentin
<small>Name and tel. number of contact person Nom et num. de téléphone du responsable</small>	Gérard MAUGER 02.33.01.40.60	<small>Identified by Identifié par</small>	Virginie LAHAYE / Gérard MAUGER
		<small>Date of first identification Date de la 1^{re} identification</small>	27.07.97
<small>Left side / Côté gauche</small>		<small>Right side / Côté droit</small>	
			
<small>Photo #</small>	P.26	<small>Date</small>	19.08.97
<small>Photo #</small>	M.19	<small>Date</small>	14.08.97
<small>Dorsal fin contour / Contour de l'aileron dorsal</small>		<small>Approximate location of sightings Position approximative des observations</small>	
			
<small>Other identification clues / Autres critères</small>		<small>Study area / Zone d'étude</small>	
			

CONTOURS DES DORSALES DES INDIVIDUS IDENTIFIES LORS DES ENREGISTREMENTS DU 19.09.98

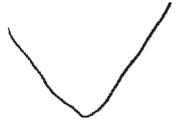
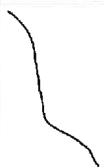
 G01 ERWIN	 G02 ALWIN	 G06 DIABLE	 G07 BJARNI	 G08 PAPILLON	 G10 WILAND
 G11 RANDY	 G12 BJORN	 G13 DITWIN	 G15 ADALBERT	 G21 FALKO	 G33 NORDHAL
 G48 HENNING	 G50 GUNTER	 G52 GUNVOR	 G54 GERVIN	 G58 WIDO	 G65 HAGEN
 G74 DELF	 G75 DIDRIK	 G76 JAVEL	 G78 RALF		

Annexe 5 :

Tableau de valeurs brutes.

Annexe 6 :

Contours des sifflements analysés (n = 138).

 1	 2	 3	 4
 5	 6	 7	 8
 9	 10	 11	 12
 13	 14	 15	 16
 17	 18	 19	 20
 21	 22	 23	 24
 25	 26	 27	 28
 29	 30	 31	 32
 33	 34	 35	 36

 37	 38	 39	 40
 41	 42	 43	 44
 45	 46	 47	 48
 49	 50	 51	 52
 53	 54	 55	 56
 57	 58	 59	 60
 61	 62	 63	 64
 65	 66	 67	 68
 69	 70	 71	 72

 73	 74	 75	 76
 77	 78	 79	 80
 81	 82	 83	 84
 85	 86	 87	 88
 89	 90	 91	 92
 93	 94	 95	 96
 97	 98	 99	 100
 101	 102	 103	 104
 105	 106	 107	 108

 109	 110	 111	 112
 113	 114	 115	 116
 117	 118	 119	 120
 121	 122	 123	 124
 125	 126	 127	 128
 129	 130	 131	 132
 133	 134	 135	 136
 137	 138		