



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/24152>

To cite this version:

Hebraud, Frédéric . *Contribution à l'étude des marlins du genre Makaira et de l'espèce Tetrapturus audax*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 1987, 101 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

**CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES MARLINS
DU GENRE MAKAIRA
ET DE L'ESPECE
TETRAPTURUS AUDAX**

THESE

**POUR LE DOCTORAT VETERINAIRE
DIPLOME D'ETAT**

présentée et soutenue publiquement en 1987

devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

par

Frédéric, Pierre, Denis HEBRAUD

Né le 30 Juin 1960 à TOULOUSE (Haute-Garonne)

JURY

PRESIDENT :

M. LARROUY

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

ASSESEURS :

M. DUCOS DE LAHITTE

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

M. CABANIE

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Association des Elèves

E.N.V.T.

LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur **M. FERNEY**
Directeurs honoraires **MM. FLORIO LAUTIE**
Professeurs honoraires **MM. BRIZARD SAURAT GODFRAIN**

PERSONNEL ENSEIGNANT

CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire **Mme BURGAT-SACAZE**
Maître Assistant Agrégé **MM. PETIT BONNEFOI**
Maître Assistant
Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Professeur titulaire **MM. RICO BRAUN BENARD**
Professeur sans chaire
Maître Assistant Agrégé
Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire **MM. PAVAUX FARGEAS SAUTET**
Maître Assistant Agrégé
Maître Assistant Agrégé
Organogénèse - Tératologie
Anatomie générale - Anatomie appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THERAPEUTIQUE

Professeur titulaire **MM. RUCKEBUSCH FARGEAS TOUTAIN**
Professeur sans chaire
Maître Assistant Agrégé
Physiologie - Pharmacodynamie
Thérapeutique

CHAIRE D'HISTOLOGIE - ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire **MM. VAN HAVERBEKE CABANIE DELVERDIER**
Professeur sans chaire
Maître Assistant
Histologie - Embryologie
Anatomie Pathologique - Clinique

CHAIRE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire **MM. LABIE EECKHOUTTE**
Maître de Conférences
Maître Assistant Agrégé **Mme BENARD**
Hygiène Inspection Contrôle et
Technologie des denrées alimentaires
d'origine animale - Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire **MM. DORCHIES FRANC DUCOS DE LAHITTE**
Maître de Conférences
Maître Assistant Agrégé
Zonologie appliquée - Ecologie
Parasitologie externe - Dermatologie
Parasitologie interne - Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MEDICALE DES EQUIDES ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire **MM. LESCURE GUELF REGNIER**
Professeur sans chaire
Maître Assistant Agrégé
Sémiologie et Pathologie Médicale des
Equidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire **MM. TOURNUT BEZILLE JOUGLAR SCHELCHER**
Maître de Conférence
Maître Assistant
Maître Assistant
Sémiologie et Pathologie Médicale du Bétail et des animaux de basse
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire **MM. CAZIEUX GENEVOIS AUTFEAGE FAYOLLE**
Maître de Conférence
Maître Assistant Agrégé
Maître Assistant Agrégé
Propédeutique et Sémiologie chirurgicale
Radiologie - Technique chirurgicale
Anesthésiologie - Pathologie chirurgicale
Traumatologie - Podologie orthopédique - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire **MM. FERNEY ROYAL BERTHELOT**
Professeur sans chaire
Maître Assistant
Pathologie de l'appareil génital et de la mamelle
Sémiologie et propédeutique
Pathologie de la Reproduction
Obstétrique et pathologie du nouveau né
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES - ZOONOSES LEGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire **MM. CHANTAL PICALET LACHERETZ**
Maître Assistant Agrégé
Maître Assistant Agrégé
Epidémiologie - Maladie Contagieuse
Zoonoses - Législation sanitaire - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GENERALE - MICROBIOLOGIE IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire **MM. LAUTIE EUZEBY MILON**
Maître de Conférence
Maître Assistant Agrégé
Microbiologie - Immunologie
Pathologie Générale

CHAIRE D'ELEVAGE ET ECONOMIE

Professeur titulaire **MM. QUEINNEC DARRE QUEINNEC**
Professeur sans chaire
Maître Assistant
Ethnologie - Génétique animale
Extérieur - Zootechnie et économie générales
Ethnologie appliquée. Sciences. Techniques
Economie de l'Elevage et des Productions animales
Insémination artificielle - Organisation de l'Elevage

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire **MM. FALIU GRIESS ENJALBERT**
Professeur sans chaire
Maître Assistant Agrégé
Botanique appliquée et bromatologie
Agronomie - Alimentation

A ma mère

A mon père

Grâce à qui j'ai découvert les marlins

A ma famille

A mes amis

A Paul-Henri ARGENCE

Chasseur et pêcheur impénitent

*Qu'il trouve ici les informations nécessaires pour
pouvoir, enfin, raconter des histoires (vraies)
sur ces poissons.*

Les recherches effectuées sur l'hydrodynamique de ces poissons n'auraient pas pu aboutir sans l'aide précieuse apportée par:

Monsieur le Professeur BONNET

de l'Ecole Nationale Supérieure de
l'Aéronautique et de l'Espace

Qui nous a guidé et conseillé dans notre travail.

Monsieur YERMIA

de la Société Aérospatiale

A qui nous devons les études informatiques.

Qu'ils trouvent ici l'assurance de notre reconnaissance pour leur accueil chaleureux et bienveillant.

Toute notre sympathie.

Nous remercions Madame CARPINE

pour l'accueil qu'elle nous a réservé au

MUSEE OCEANOGRAPHIQUE DE MONACO

et pour son aide dans notre recherche

bibliographique

A notre président de Jury

Monsieur le Professeur LARROUY

de l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de thèse.

Hommages respectueux.

A notre jury de thèse

Monsieur le Professeur DUCOS de LAHITTE

de l'école Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Qui a accepté de juger notre travail.

Hommages respectueux.

Monsieur le Professeur CABANIE

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Qui a bien voulu participer à notre jury de thèse.

Qu'il trouve ici l'assurance de notre sympathie.

PLAN

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE: Présentation générale	3
I) <u>Classification</u>	4
II) <u>Caractères généraux du genre <i>Makaira</i> et de l'espèce <i>Tetrapturus audax</i></u>	8
III) <u>Intérêts économiques</u>	9
IV) <u>Systematique</u>	13
1- Différentiation des <i>Xiphiidae</i> et des <i>Istiophoridae</i>	13
2- Diagnose sommaire des Istiophoridés	14
DEUXIEME PARTIE: Etude descriptive du genre <i>Makaira</i> et de l'espèce <i>Tetrapturus audax</i>	19
I) <u>Dénominations scientifiques et morphologie</u>	20
1- Le marlin rayé: <i>Tetrapturus audax</i>	20
1-1 synonymes	20
1-2 critères de diagnose	20
a) nageoires	21
b) pédoncule caudal	21
c) autres critères anatomiques	21
d) couleur	22
e) taille	22
2- Les marlins bleus	24
2-1 synonymes	24
2-1-1 <i>Makaira mazara</i>	24
2-1-2 <i>Makaira nigricans</i>	25

2-2	diagnose	26
3)	Le marlin noir	28
3-1	synonymes	28
3-1	critères de diagnose	29
	a) nageoires	29
	b) pédoncule caudal	30
	c) autres critères	30
	d) couleur	30
	e) taille	31
II)	<u>Distribution géographique:</u>	35
1)	Le marlin rayé	35
2)	<i>Makaira nigricans</i>	38
3)	<i>Makaira mazara</i>	39
4)	<i>Makaira indica</i>	41
5)	Remarques sur les migrations des Marlins	43
TROISIEME PARTIE: Quelques aspects de la biologie des marlins		45
I)	<u>L'alimentation</u>	46
1)	la nourriture des marlins	46
2)	organes associés à la préhension des aliments	48
3)	comportement des marlins pendant la chasse	49
II)	<u>L'anatomie interne</u>	52
1)	L'appareil digestif	53
2)	Les reins	54
3)	La vessie natatoire	54

III) <u>Reproduction des marlins</u>	57
1) Morphologie des gonades	57
2) Maturité sexuelle	57
3) Fécondation et vie larvaire	61
IV) <u>Les organes sensoriels</u>	62
1) Le système olfactif	62
2) La ligne latérale	62
3) L'appareil stato-acoustique	63
4) La vision	65
5) La musculature et la consommation d'oxygène	66

QUATRIEME PARTIE: Caractères morphologiques associés à la nage à grande vitesse 69

I) <u>La propulsion</u>	70
1-1 influence de la taille du poisson	71
1-2 flexibilité du corps. Point de flexibilité maximale	71
1-3 structure du squelette axial	76
1-4 La surface portante	78
II) <u>Les contraintes hydrodynamiques à grande vitesse</u>	81
2-1 Notions d'aérodynamique	82
2-1-1 trainée - portance - coefficients C_x C_z associés	82
2-1-2 principe de l'étude hydrodynamique	84
a) fluide parfait - fluide réel - couche limite	84
b) conséquences de la nature de la couche limite	87

2-2 Etude hydrodynamique des marlins	90
2-2-1 matériel d'étude	90
2-2-2 étude en fluide parfait	90
a) principe	90
b) intérêt de la méthode	91
2-2-3 hypothèses en fluide réel	94
2-2-4 autres particularités anatomiques	95
a) allongement de la partie postérieure du corps	95
b) carènes	96
c) revêtement cutané	96

CONCLUSION 97

BIBLIOGRAPHIE 99

I N T R O D U C T I O N

Le lauréat du Prix Nobel de littérature, Ernest Hemingway, fut un grand amateur de pêche sportive. Pierre Clostermann l'ayant bien connu affirme que "plus encore que la chasse, la tauromachie ou la guerre, les grands poissons et leur capture le passionnèrent". Parmi les gros poissons, les marlins le fascinèrent: "cette fascination provient de ce que ce sont des créatures étranges et farouches, douées d'incroyable vitesse et de puissance quand elles nagent et sautent, d'une beauté indescriptible, que l'on ne verrait jamais si on ne les pêchait, et auxquelles vous êtes soudain lié, et vous sentez alors en vous leur vitesse et leur puissance sauvage..."

Il s'est battu en 1935 aux Bahamas avec un marlin que les requins ont attaqué sept heures après le ferrage. Les restes du poisson, c'est à dire la tête, un tiers du corps - la partie la moins dense à cause de la cavité viscérale - l'épine dorsale et la queue pesaient encore près de 800 livres.

L'écrivain américain écrivit dans un article publié en 1936 dans la revue " Esquire", l'aventure vécue par un pêcheur cubain qui évoquera vraisemblablement un certain ouvrage aux amateurs de littérature: "un vieil homme qui pêchait seul dans une pirogue au large de Cabanas ferra un grand marlin qui l'entraîna par la ligne tenue à la main, loin en mer. Deux jours plus tard, le vieil homme fut retrouvé par des pêcheurs, soixante miles à l'Est de Cuba avec uniquement la tête et la poitrine du marlin attachées à l'extérieur de la pirogue. Ce qui restait du poisson, moins de la moitié pesait 900 livres. Le vieil homme s'était battu un jour, une nuit, un autre jour et encore une nuit tandis que le poisson sondait et remorquait l'embarcation. Quand il remonta à la surface, le vieil homme s'était halé jusqu'à lui, l'avait harponné puis attaché le long de la pirogue. Les requins étaient venus et le vieil homme avait lutté, seul au milieu du Gulf Stream, assommant, poignardant, frappant avec sa pagaie et finalement, épuisé, laissa les requins se gorger..."

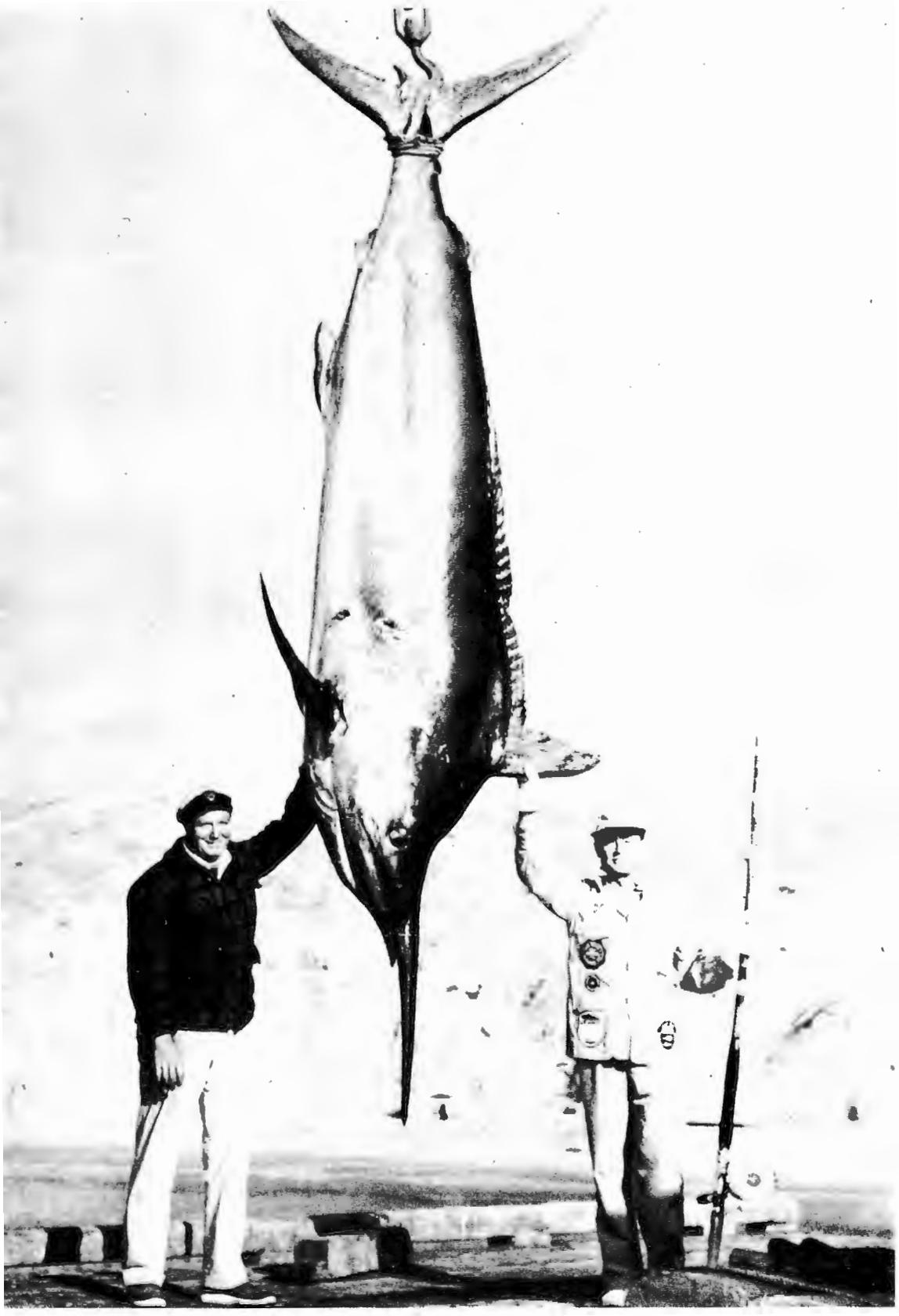
Il pleurait tout seul dans sa pirogue quand on le découvrit, à demi-fou de douleur, et les requins l'entouraient encore."

C'est à partir de ces deux incidents, rapportés par Pierre Clostermann dans son livre "Des poissons si grands" qu'Ernest Hemingway écrivit quelques années plus

tard "le vieil homme et la mer" décrivant la lutte pathétique d'un pêcheur cubain avec un marlin bleu de l'Atlantique, *Makaira nigricans*. Cet ouvrage a gravé dans la mémoire du grand public la puissance, la vitesse, la combativité, l'élégance de ce poisson qui reste, avec quatre autres espèces de poissons à rostre, un des trophées les plus prisés des amateurs de pêche sportive. Ces quatre espèces sont l'espadon, *Xiphias gladius* et trois autres espèces de marlins: *Makaira mazara*, *Makaira indica*, *Tetrapturus audax* respectivement marlin bleu de l'Indo-Pacifique, le marlin noir et le marlin rayé. Ils appartiennent à un ensemble de poissons dénommés "poissons à rostre" (Billfishes). Ce terme a été accepté par les pêcheurs professionnels et sportifs ainsi que par les scientifiques pour représenter les poissons de grande taille de la famille de *Xiphiidae* et *Istiophoridae* caractérisés par le prolongement de la mâchoire supérieure en un rostre élancé qui est de section ovale, en forme d'épée chez *Xiphias gladius*, ou de section circulaire en forme de lance chez les *Istiophoridae*. L'allongement du corps et la capacité d'atteindre des vitesses de nage très élevées (supérieures parfois à 100 km/h) constituent deux autres caractères communs aux poissons à rostre.

Page ci-contre: "Red" Stuart (à g.) et
 Alfred c:Glassel avec leur
 fantastique marlin noir record
 du monde IGFA pesant 1560 livres,
 capturés à Cabo blanco
 le 4 août 1953.
 (photo Bob Turner)

(IGFA: international game fishing
 association)



PREMIERE PARTIE**PRESENTATION GENERALE**

1) CLASSIFICATION:

Les poissons à rostre comprennent 12 espèces regroupées en quatre genres et deux familles comme suit:

PHYLLUM des CHORDES

Superclasse des GNATHOSTOMES

Classe des OSTEICHTYENS

Sous-classe des ACTINOPTERYGIENS

Infraclasse des TELEOSTEENS

Division des EUTELEOSTEENS

Superordre des ACANTHOPTERYGIENS

Ordre des PERCIFORMES

Sous-Ordre des XIPHIOIDEA

Famille des XIPHIIDES

Genre *XIPHIAS* *Xiphias glarius* (Espadon)

Famille des ISTIOPHORIDES

Genre *ISTIOPHORUS* *Istiophorus albicans* (Espadon voilier de l'Atlantique)

Istiophorus platypterus (Espadon voilier de l'Indo-Pacifique)

Genre *TETRAPTURUS* *Tetrapturus albidus* (Marlin blanc)

Tetrapturus angustirostris (Marlin à rostre court)

Tetrapturus audax (Marlin rayé)

Tetrapturus belone (Marlin de la Méditerranée)

Tetrapturus georgei (Marlin épée)

Tetrapturus pfluegeri (Marlin bécune)

Genre *MAKAIIRA*

Makaira indica (Marlin noir)

Makaira mazana (Marlin bleu de l'Indo-Pacifique)

Makaira nigricans (Marlin bleu de l'Atlantique)

SOUS-ORDRE DES XIPHIODEA
-----genre Makaira

- M. mazara*
max: L.T. 450 cm
poids > 906 kg
- M. nigricans*
max: L.C. > 375 cm
poids > 580 kg
- M. indica*
max: L.T. 450 cm
poids > 700 kg

T. audax
max: L.T. 350 cm
poids 200 kg

T. albidus
max: L.T. 280 cm
poids 82 kg

T. georgei
max: L.C. 160 cm
poids 23,5 kg

genre Tetrapturus

T. pflugeri
max: L.C. 200 cm
poids 45 kg

T. belone
max: L.C. 240 cm
poids 70 kg

T. angustirostris
max: L.T. 200 cm
poids 52 kg

genre Istiophorus

I. albicans
max: L.T. 315 cm
poids 60 kg

I. platypterus
max: L.T. 340 cm
poids 100 kg

FAMILLE DES ISTIOPHORIDES

Famille des *XIPHIIDAE*

genre *Xiphias*

X. gladius

max: L.T. 445 cm

poids 540 kg

d'après NAKAMURA

les tailles et les poids indiqués sont les maximum atteints par
chaque espèce

L.T: longueur totale

L.C. longueur du corps

Les difficultés que les scientifiques ont rencontrées pour étudier ces poissons, font qu'ils sont encore très mal connus. Les premières études effectuées sur les marlins n'ont commencé véritablement que vers 1956. Ceci explique que de nombreux points restent encore obscurs.

La classification quant à elle est très variable selon les auteurs. Il en est de même pour les dénominations scientifiques.

Nous avons retenu la classification adoptée par I. Nakamura et par la F.A.O. (Food and Agriculture Organization of the United Nations) depuis 1983. Cette classification fondée sur des caractères d'anatomie externe, est susceptible d'être modifiée pour les marlins bleus séparés en deux espèces distinctes. Certains auteurs les classent, en effet, en deux races au sein de la même espèce (Rivas 1956; Morrow, 1964). De plus amples recherches sur la reproduction de ces (cette) espèce(s) apporteront une réponse à cette question.

Notre étude se portera exclusivement sur le genre *Makaira* et sur l'espèce *Tetrapturus audax*, les caractères physiques et biologiques de ces poissons étant très voisins.

II) CARACTERES GENERAUX DU GENRE MAKAIRA et de TETRAPTURUS AUDAX

Les Marlines qui seront étudiés sont des espèces océaniques épipelagiques, vivant dans les eaux tropicales et tempérées au dessus de la thermocline et dont les températures oscillent entre 15 et 30°C.

Makaira nigricans est située spécifiquement dans l'Océan Atlantique; les trois autres espèces dans l'Océan Indien et l'Océan Pacifique

Occasionnellement, on a signalé la présence de *Makaira indica* et *Tetrapterus audax* dans l'Atlantique Est. Cette région n'étant pas un lieu de ponte pour ces deux espèces, elle est généralement présentée comme une "localisation d'invasion accidentelle".

Le Marlin noir migre saisonnièrement le long des eaux côtières alors que les marlins bleus sont des espèces océaniques plus typiques.

Ces migrations comprennent schématiquement des déplacements saisonniers dans les eaux tempérées pour la recherche de nourriture et un retour dans les eaux tropicales et subtropicales pour la ponte.

I. NAKAMURA estime que ces poissons, bien qu'ils soient parmi les plus gros et les plus rapides des poissons osseux connus dans les océans, réalisent rarement des migrations transocéaniques comparables à celles des thons.

Les sexes sont séparés pour ces quatre espèces. Bien que ne présentant pas de dimorphisme sexuel, les femelles atteignent des tailles supérieures à celles des mâles. Les individus sont généralement solitaires. Ils peuvent occasionnellement être aperçus en groupe ne dépassant pas huit poissons notamment pendant la période de frai.

La ponte d'œufs de petite taille (environ 1 mm), s'effectue dans la zone pelagique des eaux tropicales et subtropicales. L'éclosion donne naissance à une larve planctonique.

Les marlins sont de redoutables prédateurs. Bien que les formes juvéniles soient les proies des poissons de grande taille (thons, requins, wahoo, poissons à rostre), on ne leur connaît pas de véritable prédateur à l'âge adulte.

désirée (entre 50 et 200 mètres). Le matériel est installé très tôt le matin et il est retiré vers minuit.

- 1 ligne principale
- 2 ligne secondaire
- 3 bouée et pavillon
- 4 orin

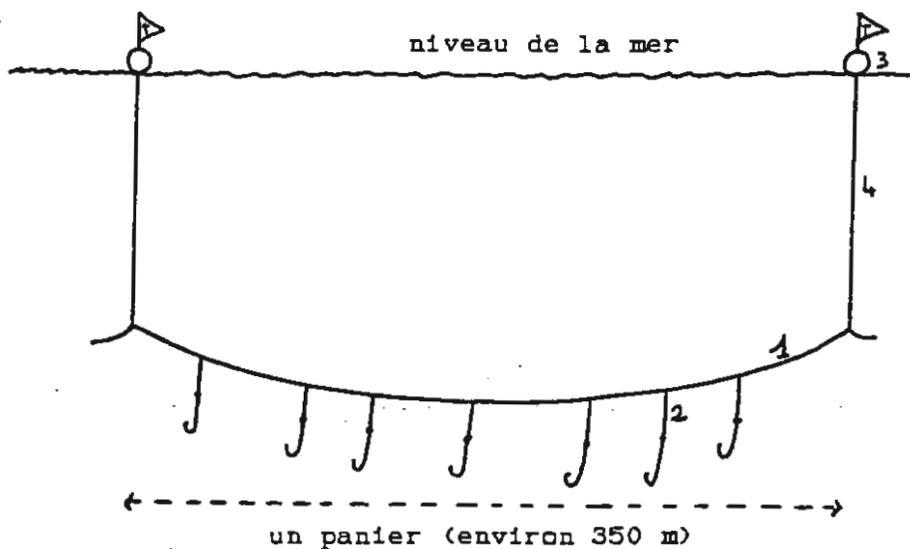


schéma d'une longline (d'après Jammet)

L'avantage de cette méthode est sa grande mobilité qui permet aux longliners de parcourir les océans à la poursuite des espèces désirées. Un autre avantage de cette méthode est qu'elle permet de capturer des espèces très variées (thons, poissons à rostre...)

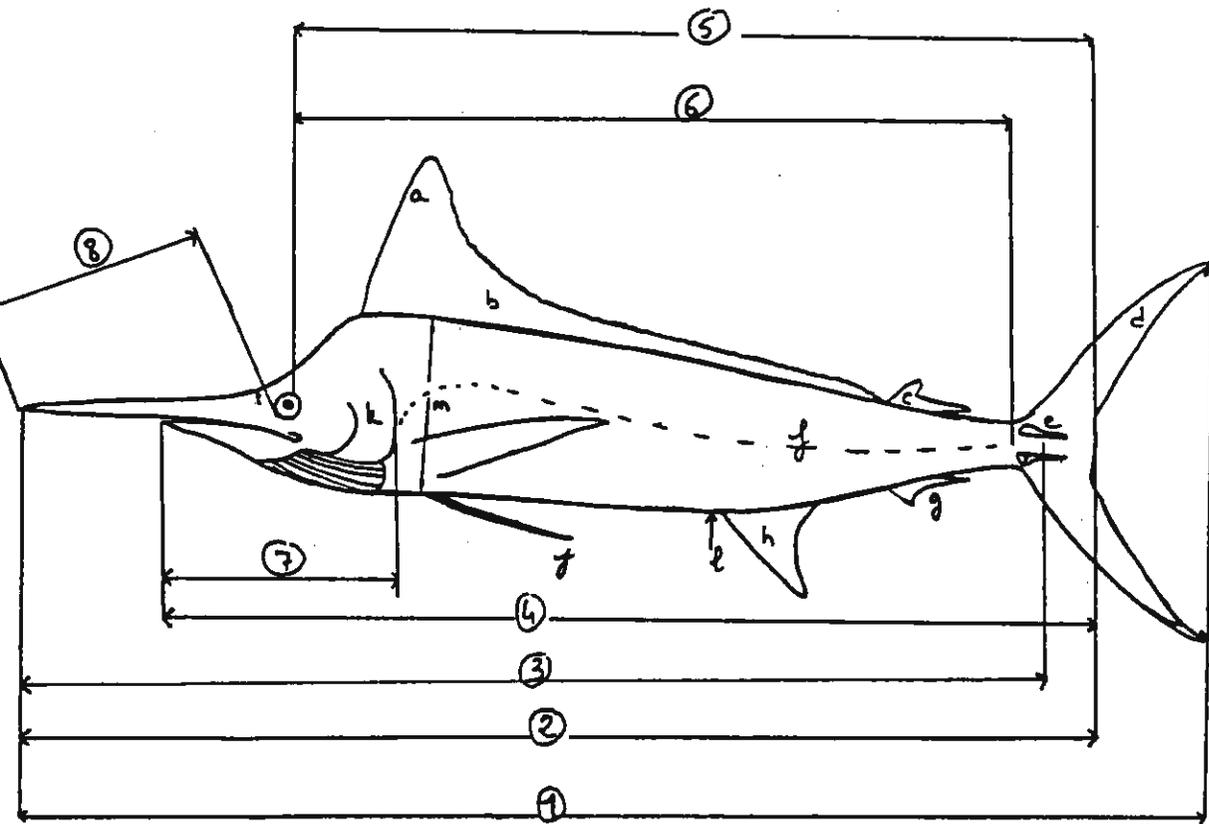
Malheureusement, cette technique terriblement efficace pose des problèmes inquiétants pour la conservation à moyen terme de certaines espèces d'autant plus que de nombreux poissons sont pêchés en grande quantité alors que le niveau de leur stock reste inconnu.

espèces	année	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
<i>Makaira mazara</i>		18200	18650	21100	21410	21550	22650	23300
<i>Makaira nigricans</i>		1840	2160	2330	2220	2150	1700	1700
<i>Tetrapturus audax</i>		15430	15000	18440	15660	15460	13500	13570
<i>Makaira indica</i>		2900	3440	2460	2450	2370	3640	2900
<i>Xyphias gladius</i>		40280	37900	36400	37730	40320	45710	46600
autres espèces		16900	16200	14260	13960	15590	21400	17400
Total poissons à rostre		95750	93350	94960	93430	97440	108600	105470

TONNAGE DES CAPTURES DES POISSONS A ROSTRE
PAR LES PÊCHERIES COMMERCIALES (en tonnes)
 (source F.A.O., annuaire statistique des pêches)

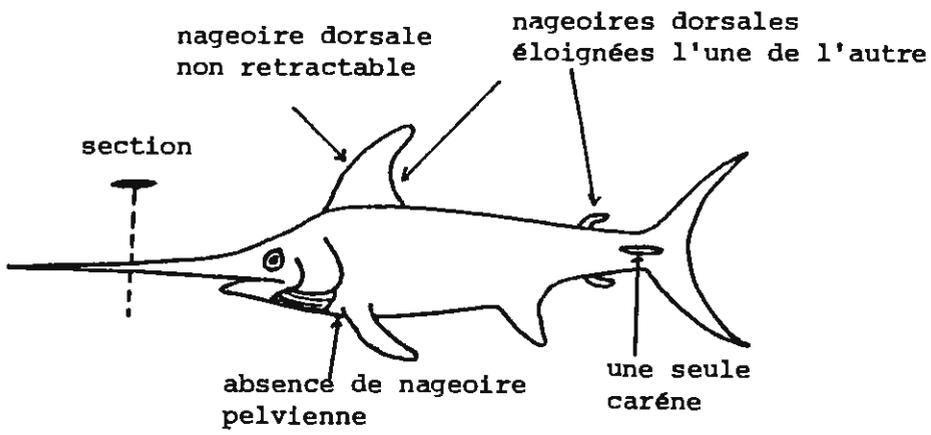
Mais ces 100 000 tonnes recensées et avouées ne rendent pas entièrement compte de la spoliation effectuée par les longliners. En effet, comme l'explique Pierre Clostermann " le longline assassin détruit accessoirement ces grands poissons sans profit pour personne car, trop

puissants, ils arrivent à se décrocher et vont mourir, estomac et gorge déchirés. On estime à cinq cent mille le nombre des marlins bleus détruits annuellement - dont neuf dixièmes de femelles - dans le Pacifique occidental et Océan Indien. Comme des quelques millions d'oeufs pondus par chaque marlin, deux alevins seulement parviennent cinq ans plus tard à l'âge adulte pour se reproduire, la disparition de ces espèces est facile à prédire."

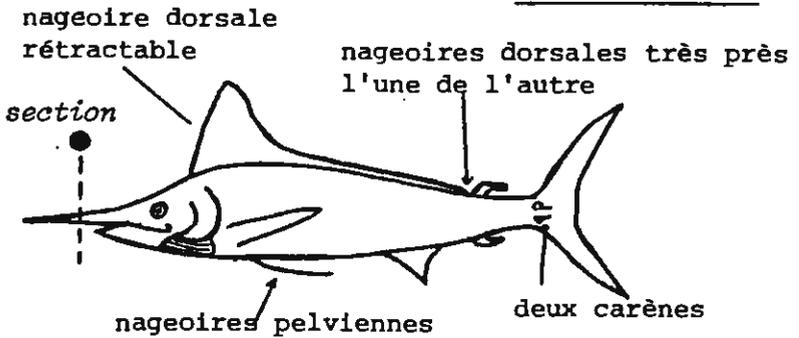


- 1-longueur totale
 - 2-longueur bout du rostre à pédoncule caudal
 - 3- longueur standard
 - 4-longueur du corps
 - 5-longueur oeil-pédoncule caudal
 - 6-longueur du tronc
 - 7-longueur de la tête
 - 8-longueur du rostre
 - 9-envergure nageoire caudale
- a-lobe antérieur de la première nageoire dorsale
 - b-première nageoire dorsale
 - c-deuxième nageoire dorsale
 - d-nageoire caudale lobe supérieur
 - e-carènes
 - f-ligne latérale
 - g-seconde nageoire anale
 - h-première nageoire anale
 - i-nageoire pectorale
 - j-nageoire pelvienne
 - k-opercule
 - l-anus
 - m-hauteur maximale du corps

Illustration schématique du marlin rayé
termes techniques de mensuration



Xiphias gladius



Principales différences morphologiques entre XIPHIIDES et ISTIOPHORIDES

Tetrapturus audax

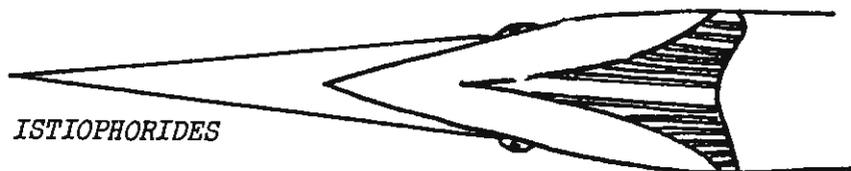
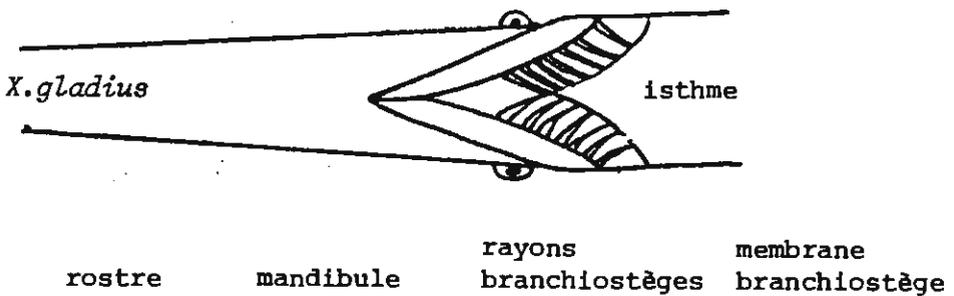


Schéma de la membrane branchiostège chez les XIPHIIDES et les ISTIOPHORIDES

IV) SYSTEMATIQUE:

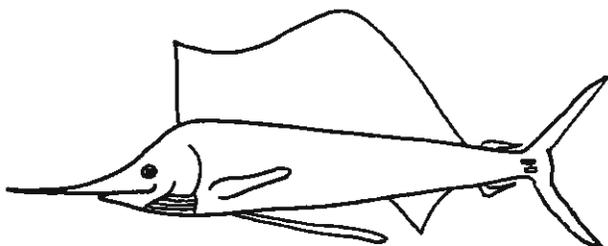
1) Différenciation des

Xiphiidae et Istiophoridae:

	XIPHIIDES	ISTIOPHORIDES
nageoire pelvienne	absence	2 nageoires pelviennes effilées
écailles et dents	absence chez l'adulte	petites écailles effilées sur le corps. Dents sous forme de petites tubérosités
nageoire dorsale	1 ^{re} nageoire dorsale à base courte non repressible le long du corps	1 ^{re} nageoire dorsale à base longue, repressible le long du corps dans un sillon cutané
rayons bronchiostèges	les membranes bronchiostèges droite et gauche sont séparées distalement	membranes bronchiostèges soudées
carène	une seule carène de chaque côté du pédoncule caudal	2 carènes de chaque côté du pédoncule caudal
nombre de vertèbres	26	24
rostre	en forme d'épée de section ovale	en forme de lance de section circulaire

2) Diagnose sommaire des Istiophoridés:

a) Première nageoire en forme de voile:

genre *Istiophorus*

a-1 Indo-Pacifique:

Istiophorus platypterus (max 100 kg)

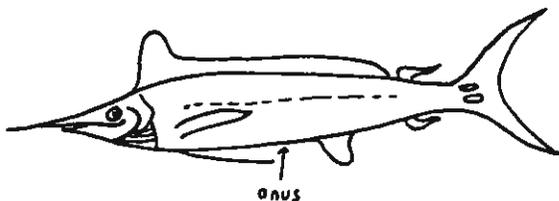
a-2 Océan Atlantique:

Istiophorus albicans (max 60 kg)b) Hauteur du lobe antérieur-----
de la première nageoire dorsale supérieure ou égale à la hauteur du corpsgenre *Tetrapturus*

b-1 extrémité de la première nageoire dorsale, de la première nageoire anale et des pectorales arrondies

b-1-1 anus éloigné de la première nageoire anale

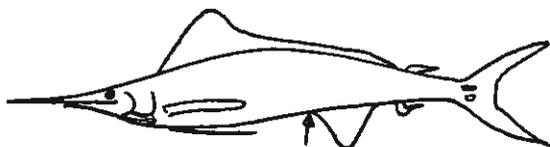
b-1-1 anus éloigné de la première

Tetrapturus pfluegeri
(Océan Atlantique)

sans taches

b-1-2 première nageoire dorsale

Tetrapturus georgei
(Méditerranée et Océan Atlantique)



tachetée

b-1-3 première nageoire dorsale

Tetrapturus albidus
(Océan Atlantique)



b-2 extrémité de la première nageoire dorsale, de la première nageoire anale et des nageoires pectorales pointue

la longueur du corps

b-2-1 rostre très court: < 15% de

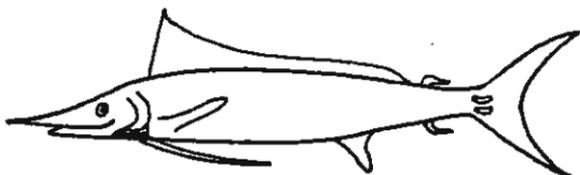
Tetrapturus angustirostris
(Indo-Pacifique)



longueur du corps

b-2-2 rostre court: <18% de la

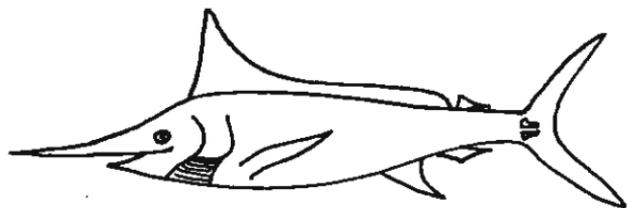
Tetrapturus belone
(Méditerranée)



longueur du corps

b-2-3 rostre long: >25% de la

Tetrapturus audax
(Indo-Pacifique)



c- hauteur du lobe antérieur

de la première nageoire dorsale inférieure à la hauteur du corps

genre *Makaira*

c-1 nageoires pectorales

rabattables le long du corps

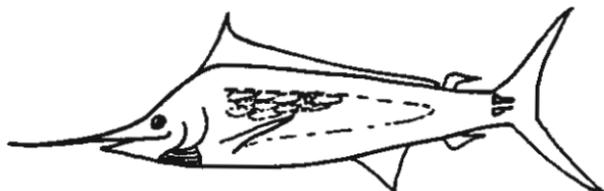
c-1-1 ligne latérale simple

Makaira mazara
(Indo-Pacifique)



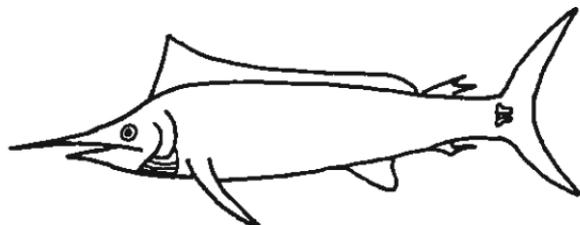
c-1-2 ligne latérale réticulée

Makaira nigricans
(Océan Atlantique)



c-2 nageoires pectorales non mobiles

Makaira indica
(Indo-Pacifique)

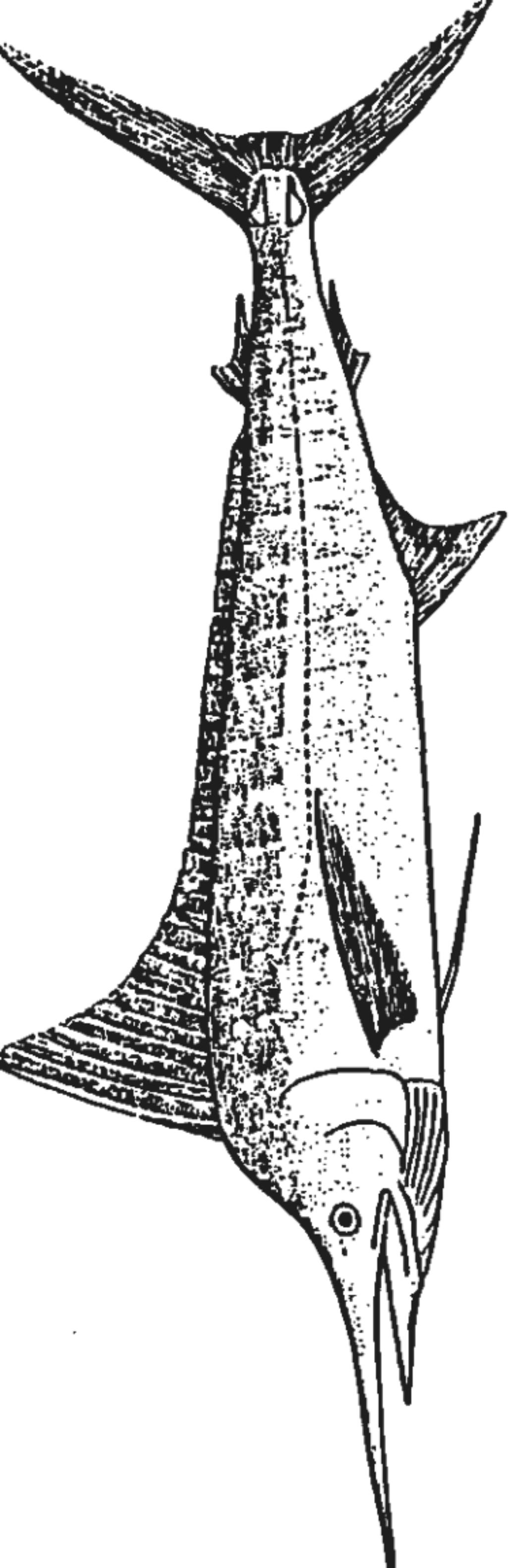


Notre étude sur le genre *Makaira* et sur *Tetrapturus audax* se portera dans un premier temps sur une description de chaque espèce et sur leur répartition géographique.

Nous soulignerons ensuite quelques aspects de leur biologie et nous montrerons comment l'anatomie de ces poissons leur a permis d'atteindre des vitesses de nage considérées comme les plus élevées dans le monde animal.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE DESCRIPTIVE DU GENRE *MAKIRA*
ET DE L'ESPECE *TETRAPTURUS AUDAX*



I) DENOMINATIONS SCIENTIFIQUES ET MORPHOLOGIE:

1) LE MARLIN RAYE : *Tetrapturus audax*
(Philippi, 1887)

1-1 Synonymes:

Istiophorus audax (Jordan et Snyder, 1901)

Tetrapturus mitsukurii (Jordan et Snyder, 1901)

Makaira audax (Jordan, Evermann, 1926)

Marlina mitsurii (Grey, 1928)

Kajikia mitsukurii (Hirasaka et Nakamura 1947)

Marlina audax (Robins, Da Sylva, 1961)

Makaira audax zelandica (Whitley 1962)

Dénominations F.A.O.: An: Striped marlin; Esp: Marlin rayado

Le marlin rayé est souvent comparé à un véritable missile vivant grâce à son profil effilé et sa puissante musculature qui lui permettent de nager à des vitesses pouvant atteindre 110 km/h. Considéré par les pêcheurs sportifs comme étant le plus spectaculaire des poissons à rostre.

1-2 Critères de diagnose:

- Corps allongé et compressé latéralement
- rostre fort et élancé de section circulaire
- front moyennement élevé

a) nageoires:

- dorsales: la première nageoire dorsale s'étend du dessus du premier opercule jusqu'à l'origine de la deuxième nageoire dorsale. Elle a de 37 à 42 rayons. Le lobe antérieur est pointu, légèrement plus élevé ou aussi élevé que la hauteur du corps mesurée à la base des nageoires pectorales. Sa hauteur diminue rapidement jusqu'au 10^{ème} rayon environ et décroît ensuite légèrement vers l'arrière. La deuxième nageoire dorsale a 5 ou 6 rayons. Elle est située en arrière, en regard de la seconde nageoire anale.

- anales: le première a de 13 à 18 rayons, la seconde a de 5 à 6 rayons et ressemble par sa forme et sa taille à la seconde nageoire dorsale.

- pectorales: longues et étroites avec une extrémité effilée; rabattables le long du corps lors de nages rapides diminuant ainsi la résistance à l'avancement. Elles ont de 18 à 22 rayons.

- pelviennes: en forme de stylets très fins, de même taille ou légèrement plus courtes que les pectorales chez les plus grands spécimen, et légèrement plus grandes que les pectorales chez les plus jeunes. Elles peuvent être rabattues le long du corps dans des replis cutanés.

b) Pédoncule caudal:

Comprimé latéralement et légèrement déprimé dorso-ventralement avec une paire de carènes de chaque côté.

c) autres critères anatomiques:

L'anus est situé juste en face de l'origine de la première nageoire anale. La ligne latérale est simple et visible s'incurvant au dessus de la base de la nageoire pectorale et décrivant ensuite une ligne droite jusqu'à la base de la nageoire caudale.

Le corps est recouvert d'écaillés osseuses allongées, chacune avec une ou deux pointes à son extrémité.

Vertèbres: 24: 12 précaudales et 12 caudales.

d) couleurs:

" Mort ou vivant, le marlin rayé est le plus beau de tous les marlins. Vivant, ses couleurs sont à nous couper le souffle" (P. Goadby).

Dos et flancs jusqu'à la ligne latérale sont bleu roi ou bleu légèrement teinté de bronze et de vert. Les flancs portent entre 12 et 15 rayures verticales formées de taches bleu lavande ou bleu cobalt

Ventre pâlisant du bleu argenté au blanc.

Sa première nageoire dorsale est bleu foncé. Les autres nageoires sont généralement marron foncé, parfois teintées de bleu foncé. Les nageoires anales présentent des taches argentées sur leurs bases. La nageoire caudale, en forme de croissant est généralement marron foncé ou bleu foncé.

e) taille:

La taille maximale atteinte par cette espèce dépasse 350 cm (longueur totale) et 200 kg en poids. Le record IGFA est un poisson pris en Nouvelle Zélande en 1977 et pesant 189,37 kg. Les plus petites tailles de poissons pêchés industriellement sont approximativement de 1m (L.C.). Près de Taïwan, la taille des poissons ayant atteint la maturité est évaluée entre 160 et 190 cm (L.C.). La taille maximum des poissons pris par les pêcheries commerciales sont probablement de l'ordre de 340 cm (L.C.) ou 260 kg (Nakamura, 1983). En moyenne, les prises vont de 205 cm à 225 cm (L.C.). Dans la partie nord du Pacifique Nord-Ouest, de 145 à 185 cm dans la partie Sud du Pacifique Nord-Ouest, de 225 à 255 (L.C.) dans le centre du Pacifique Nord, et sont en moyenne de 280 cm (L.C.) dans le Pacifique Sud-Ouest.

remarque: Intérêt gastronomique

La qualité de la chair du marlin rayé est la meilleure parmi les poissons à rostre. Vendu frais ou

congelé, il est très prisé sur le marché japonais pour les préparations du Sashimi* et du Sushi*

* Sashimi; chair crue émincée servie avec une sauce au soja et accompagnée de raifort.

* Sushi; chair crue émincée servie avec de la moutarde verte et du riz vinaigré.

2) LES MARLINS BLEUS:

Ces deux espèces ont été longtemps confondues car peu de critères morphologiques permettent de les différencier. Leur répartition géographique est néanmoins caractéristique: *Makaira mazara* vit dans l'Indo-Pacifique alors que *Makaira nigricans* est exclusivement dans l'Océan Atlantique.

2-1 Synonymes:

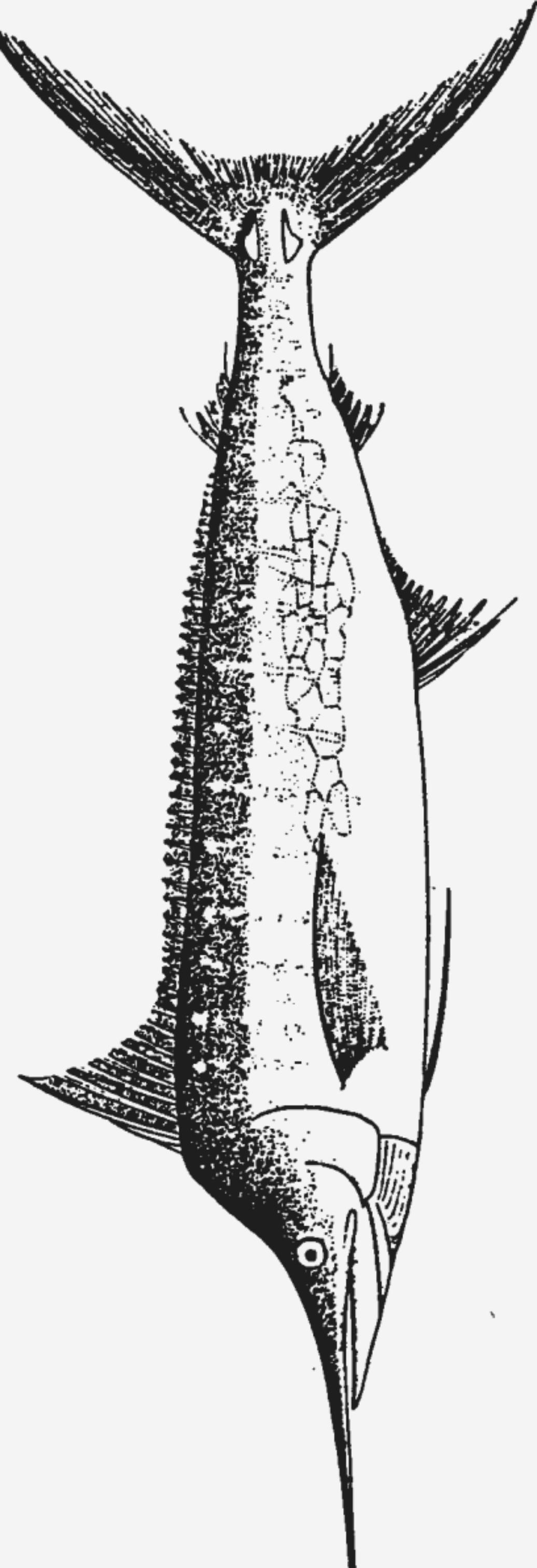
2-1-1 *Makaira mazara* (Jordan et Snyder, 1901)*Makaira ampla mazara* (La Monte, 1941)*Makaira nigricans* (Fouler, 1944)*Makaira nigricans mazara* (Rose, 1950)*Istiompax howardi* (Whitley, 1956)*Istiompax mazara* (Whitley, 1968)*Makaira nigricans nigricans* (Robin et da Sylva, 1961)

Dénomination F.A.O.:

An: Indo-Pacific blue marlin

Fr: marlin bleu de l'Indo-Pacifique

Esp: Aguja azul del Indo-Pacífico



2-1-2 Makaira nigricans (Lacepede, 1802)

Tetrapturus amplus (Poey, 1860)

Makaira ampla (Jordan et Evermann, 1926)

Makaira nigricans nigricans (Nichols et la Monte, 1935)

Makaira nigricans ampla (Nichols et la Monte 1935)

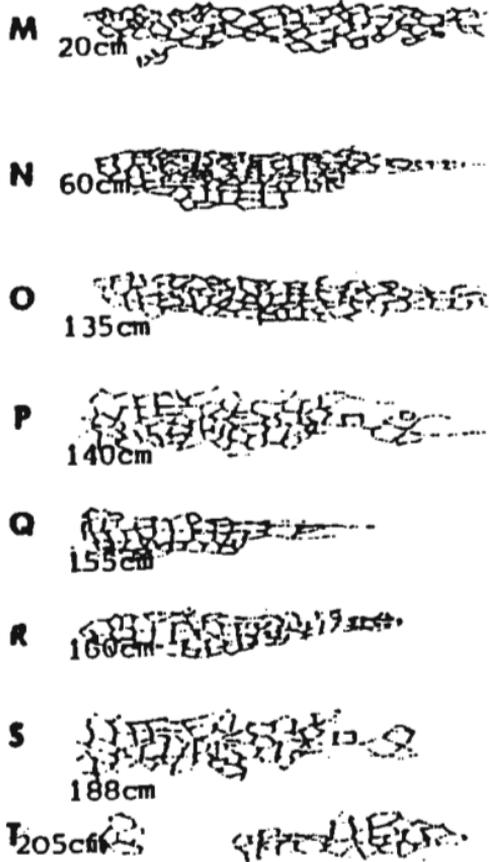
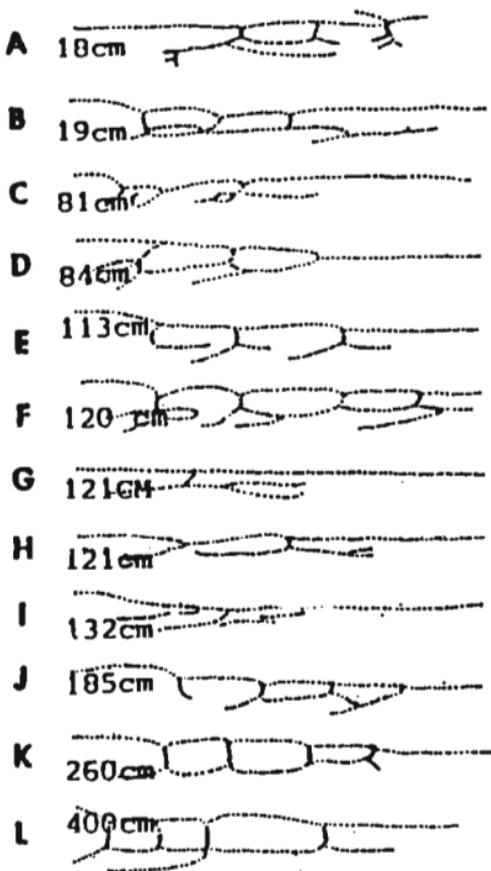
Makaira ampla (La Monte et Marcy, 1941)

Denomination F.A.O.:

An: Atlantic blue marlin

Fr: marlin bleu de l'Atlantique

Esp: aguja azul del Atlántico

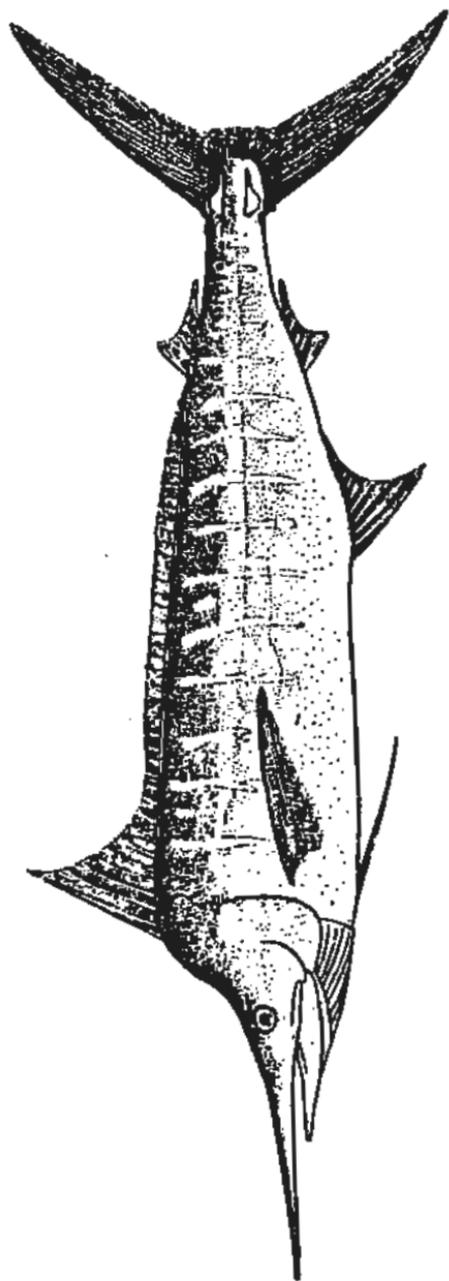


Dessins schématiques de lignes latérales
 du marlin bleu de l'Indo-Pacifique (A-L)
 et du marlin bleu de l'atlantique (M-T)
 Les longueurs indiquées sont les longueurs
 du corps.

(D'après Nakamura)

2-2 Diagnose:

CRITERES	<i>NAKAIRA MAZARA</i>	<i>NAKAIRA NIGRICANS</i>
	Corps comprimé latéralement à fortes épaules, Rostre très puissant de section circulaire Front très élevé Hauteur du lobe antérieur de la première nageoire dorsale inférieure à la hauteur du corps.	
LIGNE LATERALE	Ligne latérale formée de simples boucles	Ligne latérale complexe formée de figures polygonales
	La ligne latérale est visible chez les formes juvéniles mais elle est difficilement décelable chez les adultes car elle disparaît sous l'épiderme après la croissance Elle est néanmoins visible lorsque l'épiderme est récliné	
1 ^{re} NAGEOIRE DORSALE	40 à 45 rayons	39 à 43 rayons
	Elle se termine près de l'origine de la seconde nageoire dorsale	
2 ^{me} NAGEOIRE DORSALE	6 ou 7 rayons	
	Située en regard de la seconde nageoire anale	
1 ^{re} NAGEOIRE ANALE	12 à 17 rayons	13 à 16 rayons
2 ^{me} NAGEOIRE ANALE	6 à 7 rayons	
	Très semblable dans la forme à la seconde nageoire dorsale	
PECTORALES	20 à 23 rayons	19 à 22 rayons
	Nageoires effilées, mobiles et rabattables sur le corps	



Makaira mabara
(D'après Nakamura)

*MAKAIIRA MAZARA**MAKAIIRA NIGRICANS*

NAGEOIRES	Plus courtes que les pectorales avec une membrane faiblement développée. En forme de mince stylet. Elles sont rabattables sagittalement dans un repli cutané.	
PEDONCULE CAUDAL	Comprimé latéralement et déprimé dorso-latéralement avec une paire de carènes de chaque côté et une légère encoche dorsalement et ventralement.	
NAGEOIRE CAUDALE	De grande taille, en croissant avec deux lobes symétriques	
ÉCAILLES	Le corps est recouvert de petites écailles osseuses d'environ 2 cm avec 1 ou 2 parfois 3 pointes dans la partie postérieure. Elles sont encastrées dans la peau chez les adultes	
VERTEBRES	24: 11 précaudales 13 caudales	
COULEUR	Le corps est bleu foncé dorsalement et blanc argenté ventralement avec de 12 à 15 rayures pâles de couleur cobalt formées de petites taches circulaires. Ces rayures ne sont pas toujours visibles surtout chez les individus de grande taille. La première nageoire dorsale est noirâtre ou bleu foncé. Les autres nageoires sont noirâtres à marron foncé. La base des nageoires anales est teintée de bleu argenté.	
TAILLE	• Poids > 906 kg (2000 lb)	• longueur du corps: 200 à 275 mm en moyenne ce qui correspond à 230-345 cm pour la longueur totale

*Makaira mazara**Makaira nigricans*PECHERIES
COMMERCIALES

• Dans le Pacifique,
la taille moyenne des
prises varie entre 200
et 285 cm (LC)

• Dans l'Océan Indien,
entre 215 et 300 cm

• moyenne pondérale: entre
136 kg (300 lb) pour la
longueur totale
et 181 kg (400 lb)
(1 lb = 0,453 kg)

la taille maximum dépasse
375 cm (L.C.) et 580 kg

TAILLES

Record IGFA:
523 kg (1153 lb)

LT: 447 cm

Record IGFA:

581,5 kg (1282 lb)

pêché à St Thomas (Iles)

PECHE
SPORTIVE

Record de poids (non enre-
gistré par l'IGFA car
plusieurs pêcheurs se sont
relayés pour cette prise)
818 kg (1805 lb).

Les mâles pèsent moins de
120 kg alors que les
femelles peuvent dépasser
300 kg.

Les poissons dont le poids
excède 136 kg (300 lb)
sont généralement des
femelles

3) LE MARLIN NOIR: *Makaira indica*

(Cuvier 1832)

Le marlin noir aux épaules larges et profondes,
d'allure générale plus lourde que celle des autres marlins,
est dénommé par les pêcheurs sportifs "le Rhinocéros" des
poissons à rostre.

3-1 Synonymes:

Histiophorus australis (Macleay 1854)

Histiophorus brevirostris (Playpair et Gunther 1866)

Makaira marlina (Jordan et Evermann 1926)

Istiompax australis (Withley, 1931)

Makaira mazara tahitiensis (La Monte 1955)

Istiompax marlina (Royce, 1957)

Istiompax brevirostris (Morrow 1958)

Makaira indica (Robins et Da Sylva, 1961)

Istiomax indicus (Abe, 1963)

Dénominations F.A.O.:

An: Black marlin

Esp: Aguja negra

3-2 Critères de diagnose:

Corps comprimé latéralement avec des épaules larges.

Front très relevé; le rostre est puissant de section circulaire.

La hauteur du lobe antérieur de la première dorsale est moins élevé que celle du corps mesurée à la base de la nageoire pectorale.

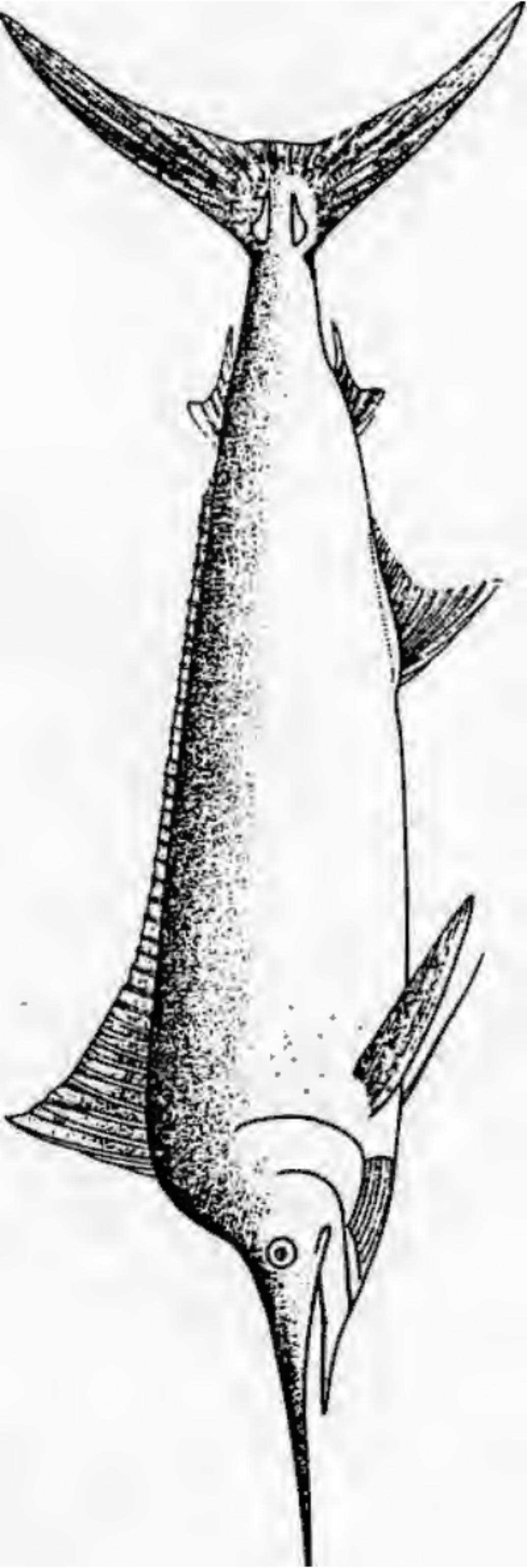
La seconde nageoire dorsale est légèrement en avant de la seconde nageoire anale.

Les nageoires pectorales sont fixes et ne peuvent pas être rabattues le long du corps.

a) Nageoires:

α) Dorsales:

Deux nageoires dorsales; la première, avec 34 à 43 rayons est basse et se termine près de la base de la seconde nageoire dorsale (5 à 7 rayons) qui se trouve légèrement en avant de la deuxième nageoire anale.



β) Anales:

La première a de 10 à 14 rayons et la seconde 6 ou 7 rayons.

γ) Pectorales:

12 à 20 rayons fixes

δ) Pelviennes:

En forme de stylet, plus courte que les pectorales; elles sont rabattables dans un repli cutané sagittal.

ε) Caudales:

De grande taille, en croissant avec deux longs lobes symétriques.

b) Pédoncule caudal:

Comprimé latéralement et légèrement déprimé dorso-ventralement, avec une paire de carènes de chaque côté. Il présente deux encoches sur les faces dorsales et ventrales.

c) Autres critères:

L'anus est situé près de l'origine de la première nageoire anale.

La ligne latérale est simple, bien visible chez les formes juvéniles, mais difficilement discernables chez les plus gros spécimen.

Vertèbres: 24: 11 précaudales et 13 caudales.

d) Couleur:

Le corps est brun bleuâtre au dessus de la ligne latérale, les flancs sont argentés.

Peter Goadby signale que lorsque le poisson se bat ou qu'il recherche de la nourriture, le corps présente souvent des rayures bleues ainsi que des taches très brillantes bleu clair le long des nageoires. Ces rayures et ces taches disparaissent rapidement après la mort de l'animal à moins que l'animal soit maintenu dans l'eau.

e) taille

Cette espèce atteint des tailles supérieures à 450 cm (longueur totale) et des poids de plus de 700 kg.

Le record IGFA est un spécimen de 442 cm (LC) pesant 707,61 kg (1560 lb), pêché au Pérou à Cabo Blanco le 4 août 1956.

Un grand nombre de poissons de plus de 500 kg sont régulièrement attrapés à Cairns, le long de la barrière de corail australienne.

On estime que ces poissons pourraient atteindre des poids de l'ordre de 2500 lb (P Goadby). Des spécimens de plus de 2000 lb ont été attrapés par les pêcheurs professionnels.

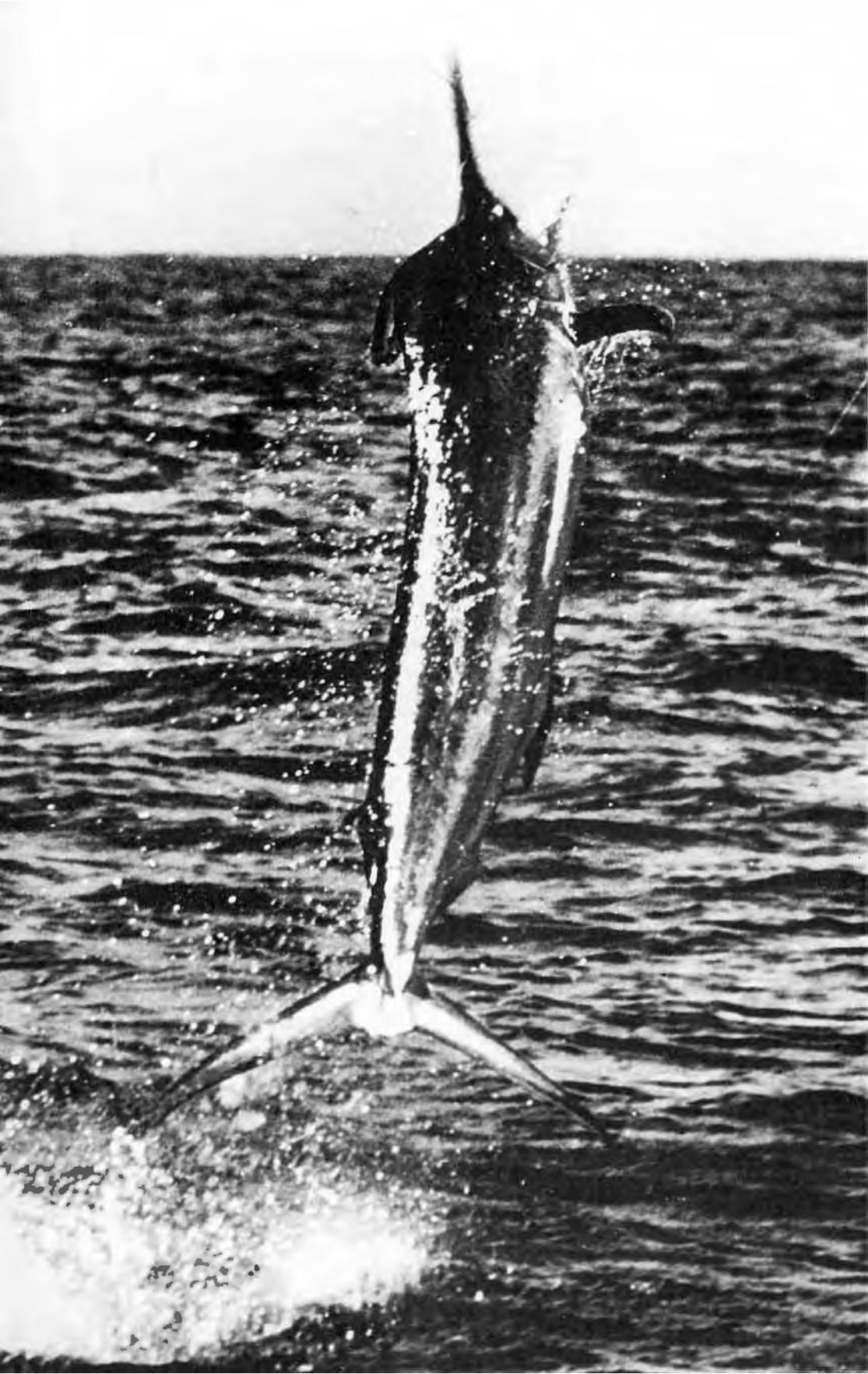
Le poids maximum atteint par les mâles est de l'ordre de 500 lb (225 kg). En règle générale, ils dépassent rarement 350 lb (environ 160 kg).

Dans la partie ouest de l'Océan Indien, les marlins noirs pêchés industriellement ont des tailles comprises entre 150 et 310 cm (LC). La plupart mesurant entre 170 et 210 cm. Dans la mer de corail (Australie), les tailles oscillent entre 170 et 310 cm, la plupart mesurant entre 185 et 240 cm (LC)

Quelques mesures effectuées sur des marlins adultes.
Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la longueur
du corps (LC) d'après NAKAMURA.

	<i>M. mazara</i>	<i>M. indica</i>	<i>M. audax</i>
Hauteur maximale du corps	13,9-18,5	17,3-22,7	14,2-16,8
Hauteur du corps à l'origine de la 1 ^{re} dorsale	13,5-17,9	18,2-19,6	13,8-16,6
Hauteur du corps à l'origine de la 1 ^{re} anale	7,9-14,6	15,5-16,6	9,8-13,5
Hauteur minimum du pédoncule caudal	2,8- 3,9	4 - 4,6	3,8- 4,7
Largeur du corps à l'origine de la pectorale	6,2- 8,4	7,4-10,1	6,1- 9,3
Largeur du corps à l'origine de la 1 ^{re} anale	7,9-14,6	8 - 9,9	5,4- 9,7
Longueur de la tête	23,1-24,9	22,7-26,8	25,6-27,7
Largeur interorbitale	6,3- 7,0	5,9- 7,8	6,1- 6,4
Longueur du rostre	24 -28,2	23,2-28,2	27,5-30,2
Hauteur du lobe antérieur de la 1 ^{re} dorsale	16 -18	12 -16,6	18,6-24,4

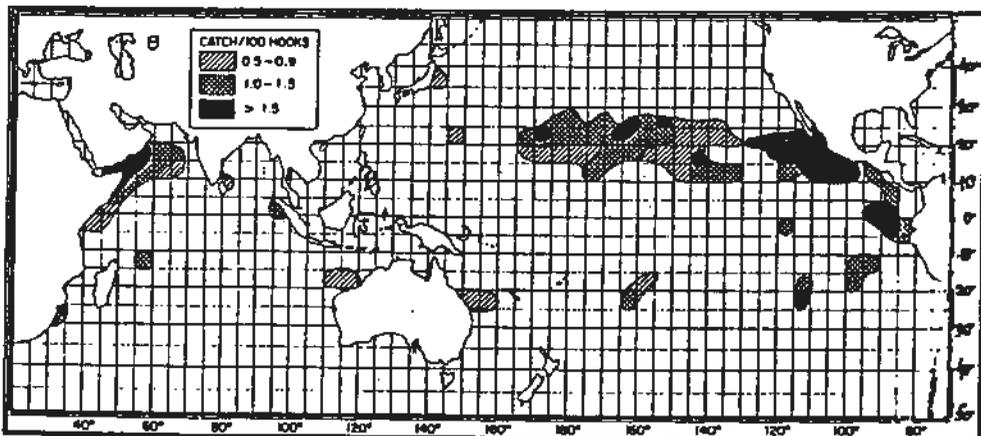
Hauteur de la 2 ^{ème} dorsale	3,2- 4,3	3,2- 4,9	3,9- 5,1
Longueur du lobe supérieur de la nageoire caudale		21,8-27,8	26,6-27,4
Longueur du lobe inférieur		21,5-26,4	24,8-25,5
Hauteur de la nageoire caudale	36,8-42,9	34,8-43,2	38,4-42,2



II) DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE :

1) LE MARLIN RAYÉ :

Il se rencontre principalement dans les eaux tropicales, subtropicales et tempérées de l'Océan Indien et de l'Océan Pacifique. Les statistiques recueillies par les pêcheurs japonais depuis plusieurs années montrent que la distribution de cette espèce dans l'Océan Pacifique est en forme de fer à cheval dont l'incurvation est située le long des côtes de l'Amérique Centrale. *Tetrapturus audax* peut éventuellement être rencontré sur la face Atlantique de cap de Bonne Espérance. Sa distribution dans l'Océan Atlantique est exceptionnelle et ne concerne, semble-t-il, que des individus égarés.



- Areas of high apparent abundance of striped marlin, 1967-69. (After Fisheries Agency of Japan, Research Division, 1969-72.)

C'est un poisson épipélagique et océanique vivant au dessus de la thermocline. PARIN (1968) a inclus ce poisson parmi les espèces holoépépélagiques qui vivent dans la couche superficielle et isothermique des eaux tropicales et subtropicales. Les japonais le pêchent entre 100 et 150

mètres de profondeur.

La présence de cette espèce à des latitudes plus élevées est possible lors des saisons chaudes, néanmoins, le marlin rayé a une distribution quelque peu atypique, si on le compare aux autres marlins et aux thons, il semble préférer des eaux plus tempérées, notamment dans le Pacifique. Dans l'Océan Indien, on le rencontre dans des eaux plus chaudes. C'est dans les eaux dont la température varie entre 20 et 25°C qu'on le rencontre le plus souvent. C'est le poisson à rostre le plus largement répandu surtout dans le Pacifique nord où il est plus abondant que dans la partie ouest. Dans l'Océan Indien, les marlins rayés sont particulièrement nombreux dans la Mer d'Oman.

Des larves de marlins rayés ont été récoltées dans le Pacifique nord-ouest entre les latitudes 10 et 30°N et dans le Pacifique sud 10 à 30°S. Ces larves sont plus abondantes pendant les saisons chaudes avec des pics en mai et juin dans la partie nord-ouest et en novembre-décembre dans le Pacifique sud. Ces périodes correspondent également à la présence de femelles en état de maturité ovarienne.

D'autres prélèvements ont été réalisés:

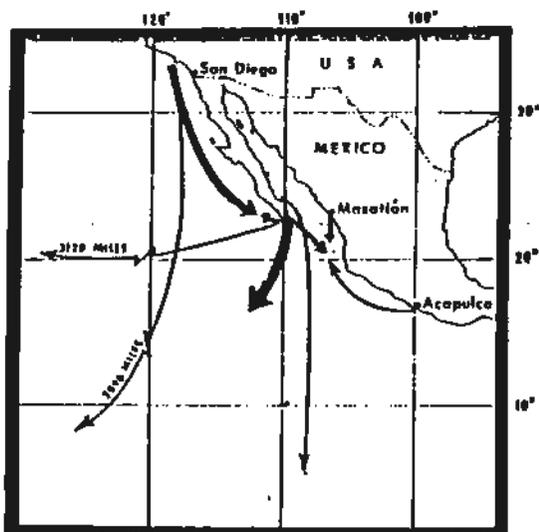
- Mer de Timor: janvier et février
- Est de l'Océan Indien (6°S - 6°N): octobre et novembre
- Ouest de l'Océan Indien (10°S - 18°N): décembre et janvier

Alors que la présence de larves dans le Pacifique est n'est pas connue (est du 120°N), des femelles en état de maturité sexuelle ont été pêchées entre le 5° et 20°N en mai et juin. La zone équatoriale du Pacifique ne semble pas être un lieu de ponte. La température limite où l'on relève la présence de larves est de 24°C dans l'Océan Indien et dans l'Océan Pacifique.

Le marlin rayé, comme les autres marlins, ne forme pas de bancs importants comme le font les thons et les individus sont habituellement isolés. Toutefois, des groupes sont souvent aperçus, parfois en file indienne, notamment pendant le frai. Lorsqu'ils se regroupent, ils ont tendance à le faire par taille. Par exemple, dans le Pacifique sud-

est. les poissons évoluent dans les zones de frai (longueur du corps variant entre 210 et 235 cm) sont plus grands que ceux des zones de frai du Nord (qui comprennent deux populations: une dont la longueur du corps est d'environ 165 cm, l'autre d'environ 210 cm). Dans le Pacifique sud (10 à 30°S) les poissons les plus grands semblent se trouver à l'ouest.

Pour étudier les migrations de ces poissons, les pêcheurs sportifs ont réalisés des marquages des individus attrapés puis relâchés. Les seuls résultats significatifs ont été enregistrés dans le Pacifique est.



General migration patterns of striped marlin tagged off southern California and Mexico.

(d'après J.L Squire Jr)

2) *Makaira nigricans*;

Ce poisson se trouve principalement dans les eaux tropicales et tempérées de l'Atlantique. Si l'on se réfère aux statistiques japonaises, il semble être plus abondant dans la partie nord-ouest de cet Océan.

C'est une espèce épipelagique et océanique évoluant dans les eaux dont la température superficielle varie entre 22 et 31°C. La couleur de l'eau semble avoir une influence sur la présence de cette espèce. Dans le golfe du Mexique, le poisson semble préférer les eaux bleu clair.

D'après les pêcheurs japonais, on peut définir deux périodes principales pour la présence de marlin bleu atlantique dans l'Atlantique ouest:

- la première, de janvier à avril dans le sud-ouest Atlantique entre le 5° et 30°S

- la deuxième, de juin à octobre dans l'Atlantique nord-ouest entre le 10° et le 35°N

Les mois de mai, novembre et décembre semblent être des mois de transition.

Dans l'Atlantique est, où le marlin bleu est moins abondant, il semble être distribué le long des côtes de l'Atlantique entre le 25°N et le 25°S. Les variations saisonnières pour l'abondance de ce poisson suggèrent l'accomplissement des migrations. La nature de ces migrations est mal connue: se font-elles le long des continents ou sont-elles transocéaniques? Un marlin bleu, marqué et relâché le 19 septembre 1983 aux îles Vierges, fut repris le 24 janvier 1984 au large d'Abidjan par un thonier français (H. CHARRUAUD). Le poids moyen des poissons pêchés dans le golfe de Guinée étant supérieur à celui des poissons pris dans l'Atlantique ouest (600 lb contre 300 lb selon la revue " la pêche au tout gros"), il semblerait que les migrations transocéaniques ne concernent que les individus les plus grands.

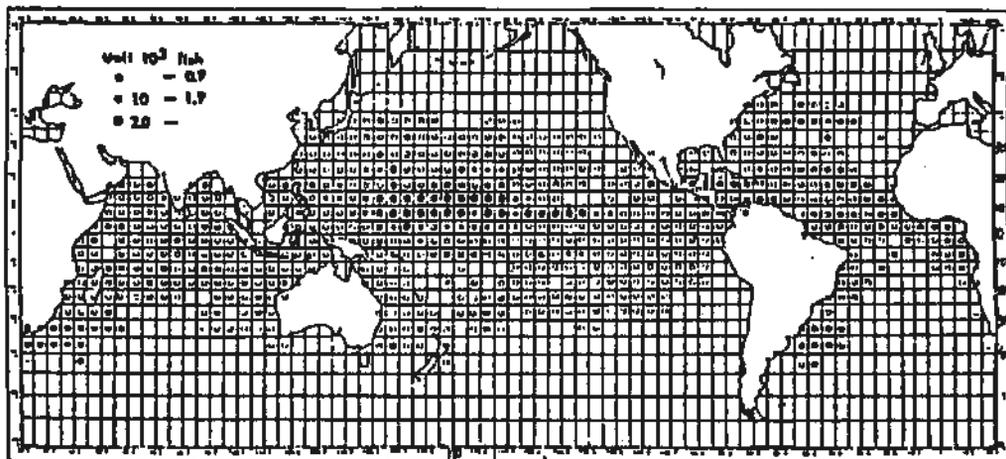
Très peu d'informations sont disponibles sur les saisons et les zones de frai. Des formes juvéniles ont pu être capturées au large de la Jamaïque. Dans l'Atlantique

sud-ouest, 85 larves ont été trouvées au large du Brésil.

Le marlin bleu de l'Atlantique se nourrit surtout dans les eaux superficielles mais l'examen du contenu stomacal de certains individus a montré qu'ils se nourrissent parfois de poissons évoluant dans des eaux moyennement profondes (> 200 mètres)

3) *Makaira mazara*

Le marlin bleu de l'Indo-Pacifique se trouve principalement dans les eaux tropicales et subtropicales des Océans Pacifique et Indien. C'est le poisson à rostre le plus tropical et il est très répandu dans les eaux équatoriales.



—The catch of blue marlin shown as numbers of fish taken per unit area during 1970
(from Fisheries Agency of Japan, 1972).

(Océan Pacifique et océan Indien: *M. mazara*
Océan Atlantique: *M. nigricans*)

C'est une espèce épipélagique et océanique que l'on rencontre surtout dans les eaux dont la température superficielle dépasse 24°C. On ne rencontre généralement pas ce marlin près des côtes sauf lorsque de profonds abrupts sont proches du rivage, comme c'est le cas à Hawaï.

La répartition mensuelle des prises par les pêcheurs japonais montre que la distribution de ces poissons se fait selon le schéma suivant:

- de décembre à mars: centre et ouest du Pacifique sud entre 8 et 26°S

- de mai à octobre: ouest et centre du Pacifique nord entre les latitudes 2° et 24°N

- en avril et en novembre, le poisson a tendance à se concentrer dans les eaux équatoriales du Pacifique entre 10°N et 10°S.

(Cette espèce semble être moins répandue dans le Pacifique ouest)

- dans l'Océan Indien, il est abondant autour de Sri Lanka et de l'île Maurice (décembre à avril)

- le long des côtes africaines, il semble être fortement représenté entre l'équateur et le 13°S, d'avril à octobre, ce qui correspond pour le sud-est à la période des moussons.

* dès larves de *Nakaira mazara* ont été ramassées en grand nombre dans les eaux tropicales et subtropicales du centre et de l'ouest du Pacifique, au sud des îles Maldives et au large de Java et de Sumatra.

L'analyse du contenu stomacal du marlin bleu indique que cette espèce évolue principalement dans les eaux superficielles. Néanmoins, tout comme *Nakaira nigricans*, des poissons vivant dans des eaux plus profondes ont pu parfois être trouvés dans l'estomac de ces poissons.

Les pêcheurs commerciaux considèrent que cette espèce peut former des bancs de petite taille composés d'une dizaine d'individus au plus. Les individus de grande taille ont tendance à être solitaires

4) *Makaira indica*:

Le marlin noir vit dans les eaux tropicales et subtropicales de l'Océan Pacifique et de l'Océan Indien où l'on trouve les principales populations ainsi que les aires de ponte mais il peut aussi pénétrer dans les eaux tempérées. De rares individus isolés ont pu migrer dans l'Océan Atlantique par le Cap de Bonne Espérance mais ces migrations erratiques ne correspondent pas à des zones de frai. D'après les pêcheurs japonais, le marlin noir peut être rencontré entre les latitudes 45°N et 40°S.

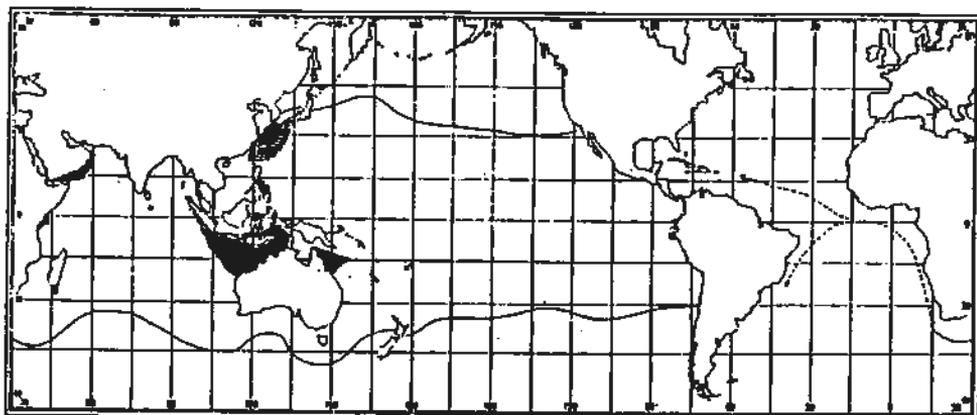


Figure 2.—Distribution and fisheries of black marlin. Shaded areas show good fishing grounds for commercial longline fisheries. Horizontal hatched area shows harpoon fishing ground. Dotted areas show sport fishing grounds. Solid line indicates northern and southern limits of distribution of black marlin based on data from the longline catches. Dotted line shows movement of black marlin from the Indian Ocean into the Atlantic Ocean.

Le marlin noir est un poisson épipélagique et océanique, évoluant dans des eaux superficielles au dessus de la thermocline aux températures comprises entre 15 et 30°C (généralement entre 20 et 30°C) souvent dans les eaux situées près des côtes, des îles ou des massifs coralliens. Dans les eaux tempérées, sa présence est occasionnelle.

Ce poisson vit dans des eaux dont la profondeur est comprise entre 0 et 200 mètres. Les pêcheries commerciales le pêchent entre 100 et 200 mètres. Quant aux

pêcheurs sportifs, ils le prennent à la traîne, à la surface de l'Océan.

Comme les autres marlins, il effectue des migrations saisonnières. Dans l'est de la Mer de Chine, ce poisson migre vers le nord au printemps et en été et vers le sud, en automne et en hiver. Dans la Mer du Japon, la migration vers le nord a lieu vers la fin de l'été, au début automne, suivant le courant Tsushima (courant chaud provenant du Kuroshio), et le retour vers le sud a lieu en automne, le poisson nageant contre le courant (NAKAMURA, 1983).

Des poissons ont été marqués et relâchés à Cairns en Australie, ainsi qu'à Hawaï notamment. Malheureusement, les résultats à ce jour sont insuffisants pour pouvoir être interprétés.

D'après la présence de larves et de femelles matures, on estime que le frai a lieu dans les endroits suivants:

- mai et juin:

- îles de Hainan (golfe de Tonkin)
- sud de la Mer de Chine

- août-octobre: autour des îles de Taïwan

- octobre-décembre: nord-ouest de la Mer de

Corail

- août-novembre: aux environs de Cairns

(Australie)

Il semble que le frai du marlin noir se fasse dans les eaux dont la température varie entre 27 et 28°C.

La Mer d'Oman semble être une zone de concentration des marlins noirs mais les informations sur cette zone de pêche sont insuffisantes pour pouvoir être étudiées.

5) Remarque sur les migrations des

marlins:

Si l'on compare avec certaines espèces de thons comme *Thunnus albacares*, *Thunnus obesus*, *Thunnus alalunga* ou alors avec l'espadon qui ont une distribution géographique très étendue, on constate que les marlins ont plutôt tendance à rester dans une zone géographique limitée. Différents auteurs ont tenté d'apporter des arguments pour expliquer ce phénomène.

SUZUKI et al (1977) ont étudié le niveau moyen de nage des thons et des marlins, en comparant les prises effectuées par les longliners suivant la profondeur à laquelle étaient placés les hameçons.

* palangres ordinaires: 50 - 120 m

* palangres profondes: 50 - 250 m

Les résultats ont nettement montré que les marlins nageaient davantage en surface. A partir de ces résultats, NAKAMURA (1983) suggère que la nage en eau plus profonde confère un avantage pour vaincre certaines barrières naturelles et pourrait expliquer le fait que les thons et les espadons ont dans l'ensemble une distribution géographique plus étendue que celle des marlins.

D'un point de vue morphologique, NAKAMURA pense que les thons ont une fenêtre pinéale sur la face dorsale du crâne alors que les poissons à rostre n'en ont pas. MURPHY (1971) a montré que de la lumière pouvait être transmise à travers la fenêtre pinéale des thons. L'examen microscopique des cellules sensibles pinéales des thons présentent les caractéristiques de la structure des photorécepteurs de la rétine des vertébrés.

NAKAMURA indique également que les thons possèdent sur la face supérieure du crâne, un tissu sensible aux variations de pression, absent chez les poissons à rostre. Ainsi des changements de profondeur pourraient être rapidement perçus par les thons durant leurs migrations verticales. NAKAMURA suppose que ces deux structures jouent un rôle important dans les migrations. Nous pensons que la difficulté des marlins à nager en profondeur est

certainement conditionnée par la complexité de leur vessie natatoire. Le fonctionnement de cette vessie nécessitant une grande dépense d'énergie lorsque le poisson migre vers les profondeurs, il serait donc tenté de rester préférentiellement dans les couches superficielles. D'autre part, F.G. CAREY a mis en évidence sur *Xiphias gladius*, un tissu spécialisé dans la production de chaleur qui serait associé à un des muscles oculaires. Ce tissu riche en mitochondries est irrigué par un réseau admirable (*rete mirabile*) très développé. Les flux artériels et veineux sont de sens opposé maintenant la température du cerveau et de l'œil de 10 à 14°C au dessus de la température ambiante. Il suggère que de tels échanges de chaleur assurent une température constante au niveau du cerveau durant les migrations verticales et permettent ainsi le maintien des fonctions nerveuses à un degré élevé d'activité. Des structures comparables ont été mises en évidence dans le cerveau de *Makaira mazara* et *Makaira nigricans*. CAREY (1969) a montré que les thons et certains requins possèdent des "échangeurs de chaleur" dans les muscles rouges. Ils servent à maintenir la température métabolique, établissant un gradient de température jusqu'à 10°C entre les muscles rouges et la surface du corps (STEVENS et NEIL, 1978). De tels échangeurs n'ont pas encore été décelés dans les muscles des poissons à rostre dont la température interne semble être voisine de la température extérieure (CAREY 1982). Ceci pourrait expliquer la plus grande sensibilité des marlins à la température extérieure, les empêchant de pénétrer dans les régions océaniques où la température de l'eau est inférieure à 15°C. Quant aux espadons, leur distribution mondiale reste encore très mal expliquée.

certainement conditionnée par la complexité de leur vessie natatoire. Le fonctionnement de cette vessie nécessitant une grande dépense d'énergie lorsque le poisson migre vers les profondeurs, il serait donc tenté de rester préférentiellement dans les couches superficielles. D'autre part, F.G. CAREY a mis en évidence sur *Xiphias gladius*, un tissu spécialisé dans la production de chaleur qui serait associé à un des muscles oculaires. Ce tissu riche en mitochondries est irrigué par un réseau admirable (rete *mirabile*) très développé. Les flux artériels et veineux sont de sens opposé maintenant la température du cerveau et de l'oeil de 10 à 14°C au dessus de la température ambiante. Il suggère que de tels échanges de chaleur assurent une température constante au niveau du cerveau durant les migrations verticales et permettent ainsi le maintien des fonctions nerveuses à un degré élevé d'activité. Des structures comparables ont été mises en évidence dans le cerveau de *Makaira mazara* et *Makaira nigricans*. CAREY (1969) a montré que les thons et certains requins possèdent des "échangeurs de chaleur" dans les muscles rouges. Ils servent à maintenir la température métabolique, établissant un gradient de température jusqu'à 10°C entre les muscles rouges et la surface du corps (STEVENS et NEIL, 1978). De tels échangeurs n'ont pas encore été décelés dans les muscles des poissons à rostre dont la température interne semble être voisine de la température extérieure (CAREY 1982). Ceci pourrait expliquer la plus grande sensibilité des marlins à la température extérieure, les empêchant de pénétrer dans les régions océaniques où la température de l'eau est inférieure à 15°C. Quant aux espadons, leur distribution mondiale reste encore très mal expliquée.

TROISIEME PARTIE

QUELQUES ASPECTS DE LA BIOLOGIE DES MARLINS

I) L'ALIMENTATION:

Les marlins sont des prédateurs situés au sommet de la pyramide alimentaire. Au stade adulte, leur rostre, leur corpulence, leur vitesse font qu'ils n'ont pas de véritable prédateur. Ils peuvent être attaqués par les requins lorsqu'ils sont agonisants, c'est à dire lorsqu'ils sont pris par les pêcheurs sportifs ou par les palangres japonaises. Dans les conditions naturelles, il est fort peu probable que les requins se risquent à attaquer des adversaires si redoutables.

Les principaux compétiteurs pour la recherche de nourriture sont les requins, l'espadon et les thons de grande taille. Toutefois, les marlins ont plutôt tendance à chasser dans la zone épipelagique.

1) LA NOURRITURE DES MARLINS:

L'examen du contenu stomacal des différentes espèces de marlins a permis de définir quelles étaient les principales sources de nourriture de ces poissons.

Il existe pour chaque espèce des variations saisonnières et régionales. En règle générale, pour le marlin noir et les marlins bleus, leurs repas sont constitués de poissons de la famille des scombridés (maquereaux), de thons, de coryphènes, de *xiphiidae* ainsi que de calmars.

Des analyses faites à Hawaï, ont indiqué que 85% de l'alimentation du marlin était constitués de thonidés.

Pour *Makaira nigricans*, la taille des prises prélevées à Bimini (Bahamas) sont très variables: entre 20 et 100 cm pour les poissons, et entre 15 et 65 cm pour les céphalopodes.

Dans le golfe de Guinée, un marlin bleu de l'Atlantique capturé par des pêcheurs sportifs contenait dans son estomac un thon (*Thunnus obesus*) pesant environ 50 kg.

Le marlin rayé a également un régime carnivore composé de très nombreuses espèces dont voici les principales, classées selon des critères géographiques:

NOUVELLE ZELANDE:

- *Scombrosox saurus* Balaou
- *Arripis trutta* Saumon australien
- *Longinidae* Calmars
- *Ommastrephidae* Calmars
- *Caranx sp* Carangre
- *Scomber japonicus* Chinchard

MER DE TASMANIE:

- *Alepisauridae* Maquereau espagnol
- *Clupeidae* Harengs, sardines

CALIFORNIE:

- *Gempylus serpens* Gemfish
- *Cololabis saida* Balaou du japon
- *Engraulis mordax* Anchois du Pacifique Nord
- *Sardinops carulea* Pilchard de Californie
- *Trachurus symmetricus*
Chinchard du Pacifique

MAZATLAN (MEXIQUE):

- *Entrumeus teres* Shadine ronde
- *Fistulaira sp*
- *Argaunota sp*
- Calmars

PACIFIQUE NORD-EST:

- *Auxis sp*
- *Bramidae*
- *Gempilidae*
- Calmars

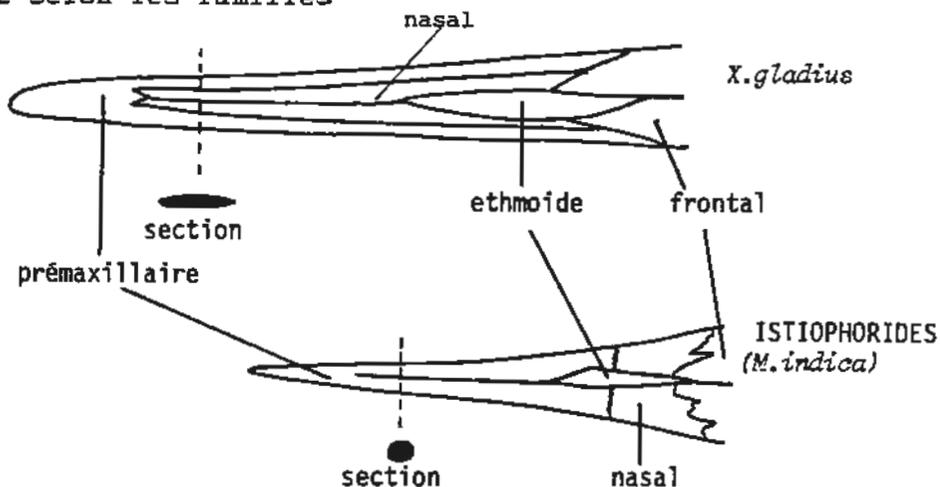
PACIFIQUE SUD-EST:

- *Alepisaurus*
- Calmars

PEROU: Calmars

2) ORGANES ASSOCIES A LA PREHENSION DESALIMENTS:

Le crâne des *Xiphioidae* est caractérisé par le développement inégal des mâchoires inférieure et supérieure. Cette dernière est prolongée en un rostre dont la structure diffère selon les familles

**Structure du rostre en vue dorsale**

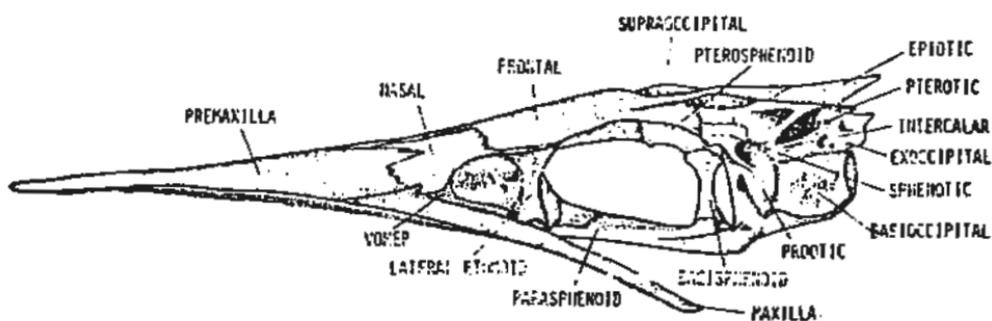
remarque: longueur du rostre:

- chez l'espadon: 40% de la longueur du corps
- chez le marlin rayé: 27% de la longueur du corps

Chez les marlins, il est formé de la fusion des deux prémaxillaires. L'os nasal est comparativement peu développé et forme la base du rostre. La longueur du rostre est mesurée de la pointe au bord antérieur de l'orbite. Il est plus ou moins développé selon les espèces comme nous l'avons signalé précédemment.

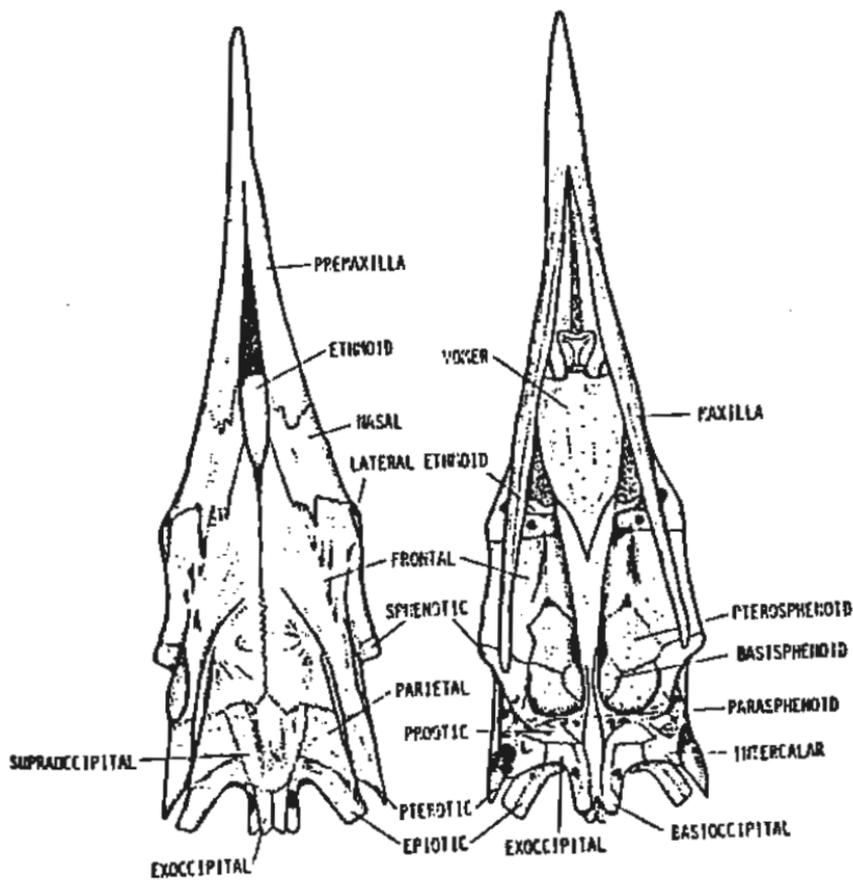
Le rostre est recouvert de dents dermiques formant de fines protubérances sur les faces ventrales et latérales.

La mâchoire inférieure possède un grand nombre de



Vue latérale

CRANE DE
Tetrapturus audax



Vue dorsale

Vue ventrale

dents dermiques assurant ainsi la préhension des aliments.

La bouche des marlins est large; la commissure est située en arrière de la zone postérieure de l'orbite. La cavité buccale est blanchâtre; le palais et le bout de la langue sont recouverts de petits denticules.

3) COMPORTEMENT DES MARLINS PENDANT LA

CHASSE:

Le contenu stomacal de nombreux marlins montrent que les poissons qui ont été avalés présentent souvent des blessures profondes sur leur corps, probablement causées par le rostre du marlin. Un biologiste a observé, au large de la côte Californienne, le comportement d'un marlin d'environ 3 mètres de long poursuivant un banc de calmars (*Dosidius gigas* dont le manteau mesurait 40 cm environ) regroupés autour d'une lumière du bateau sur lequel se trouvait cette personne. "Le marlin approche à grande vitesse du banc de calmars avec sa nageoire dorsale complètement rabattue dans le sillon cutané, puis soudain frappa les calmars avec son rostre et avala les calmars agonisants la tête la première".

Toutefois, de nombreux poissons ont été retrouvés dans l'estomac des marlins sans présenter de blessure notable, indiquant qu'ils ont du être capturés sans l'utilisation du rostre. Après une étude des possibilités d'utilisation du rostre pour attaquer les proies, WISNER déduisait que la rigidité de leur colonne vertébrale ne leur permettait pas d'effectuer des mouvements latéraux avec leur tête. Les blessures latérales qu'ils infligeaient à leurs victimes étaient, semble t-il, davantage la conséquence de la préhension des proies par les mâchoires.

Dans la pêche sportive, les appâts (maquereaux, bonites...) sont souvent avalés sans que le rostre soit utilisé. D'autre part, des marlins de grande taille, en parfaite santé mais dépourvus de rostre sont attrapés parfois par des pêcheurs sportifs ou professionnels. Même ceux dont le rostre a été cassé depuis longtemps (ce qui peut être estimé à partir de l'épaisseur de peau qui recouvre la cassure) ne présentent pas de déficiences particulières et peuvent se nourrir tout à fait normalement

Il ressort de ce qui précède que le facteur

déterminant dans la capture de leurs proies réside dans leur vitesse exceptionnelle. Le rostre peut éventuellement être utilisé, surtout pour les proies de grande taille (thons...). ORCHINIKOV pense que dans certains cas ils ne l'utilisent pas du tout, notamment lorsqu'ils chassent dans des bancs de petits poissons.

Pierre CLOSTERMANN a décrit le comportement et les goûts alimentaires du marlin noir: " Rustre, il se nourrira de poissons de fond vulgaires, s'abaissera à visiter les poubelles des bases de rochers ou même raclera au passage sur le sable une raie ou une holothurie. Pourtant gastronome délicat à ces heures, il n'hésitera pas à propulser sa masse à la poursuite de poissons volants avec la légèreté d'une hirondelle chassant les moucherons. Pour cela, il dépensera inutilement mille fois plus d'énergie que son organisme n'en récupère de la chair maigre et savoureuse des exocets. Parfois, mal luné, ce paresseux débordant d'énergie comme un marin ivre en bordée, se risque dans le nid de guêpes d'un banc de dauphins, en estrope une demi-douzaine puis se fait rosser consciencieusement par la phalange serrée des mammifères, et ne doit son salut qu'à sa vitesse et sa prodigieuse vitalité. Ses humeurs calmées, il va alors bouder dans le garde manger bien fourni d'un récif de corail. Léthargique, il attendra que ses blessures se cicatrisent dans l'eau tiède."

Quant à Ernest HEMINGWAY, qui a étudié pendant vingt ans les marlins bleus dans les eaux de Cuba, il expliquait leur comportement ainsi:

"- Il y a le marlin affamé qui mord franchement, avale instantanément revenant sans méfiance une deuxième et une troisième fois sur un appât raté.

- le marlin furieux qui explose comme une bombe sur l'appât, arrache tout, mais quand on ferre, on ne ferre que le vide. Il reviendra en tempête si l'on ramène et recrachera aussi vite. En réalité, ce marlin là est repu et veut tuer pour le plaisir.

- le marlin facétieux qui arrive sur la pointe des pieds, décroche l'appât et s'en va. Il recommencera plusieurs fois. Il n'y a qu'une solution, tout rentrer et aller pêcher ailleurs et très loin.

- le marlin indifférent qui fait du cinéma. Il monte en surface près des appâts; va de l'un à l'autre comme une hirondelle sur ses pectorales bleu ciel, mais ne touche à rien. Il est généralement facile à reconnaître avec sa nageoire dorsale escamotée."

Pierre CLOSTERMANN indique que "si à toutes ces idiosyncrasies, on ajoute les jours de poisse noire, le lecteur aimable comprendra que la pêche au marlin est bien particulière" et "qu'après cela, si le pêcheur n'a pas encore succombé à une crise de nerfs, il n'y a plus qu'à boire une bière bien fraîche, ranger ses cannes et rentrer prendre un bain de mer en jurant de dormir le lendemain jusqu'à midi!... Est-il utile d'ajouter qu'à l'aube le lendemain matin, le pêcheur est déjà sur le quai en train de monter des esches sur les hameçons?"

II > ANATOMIE INTERNE:

Lors d'une autopsie réalisée en Février 1983 sur un marlin bleu de l'Indo-Pacifique. La première impression qui nous a fortement marqué fut le remarquable développement de la masse musculaire de ces poissons. La masse viscérale n'était que de 23 lb et ne représentait que 7,2% du poids total de l'animal.

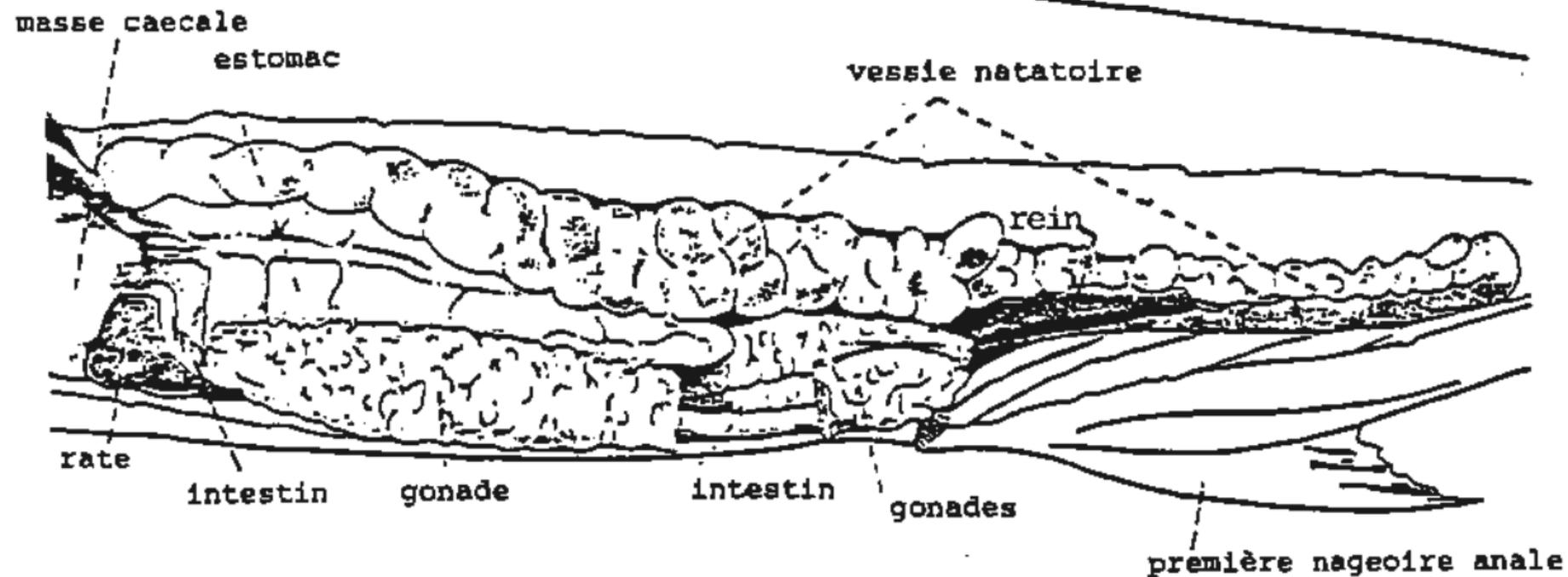
A. KRUMHOLZ a mesuré les poids relatifs des viscères de marlins bleus Atlantique mâles. Les résultats sont les suivants:

(les chiffres indiqués expriment le pourcentage du poids d'un organe par rapport au poids de l'animal)

	minimum	moyenne	maximum
coeur	0,15	0,16	0,18
estomac	1,12	1,25	1,40
masse coecale	0,98	1,12	1,36
intestin	0,15	0,20	0,25
foie	0,59	0,71	0,81
vessie natatoire	0,04	0,06	0,08
rate	0,06	0,09	0,13
reins	0,54	0,59	0,62
gonades	0,80	1,43	1,90

Pour les femelles, le poids relatif des ovaires varie entre 0,05 et 4% environ du poids total suivant le degré de maturité de cet organe.

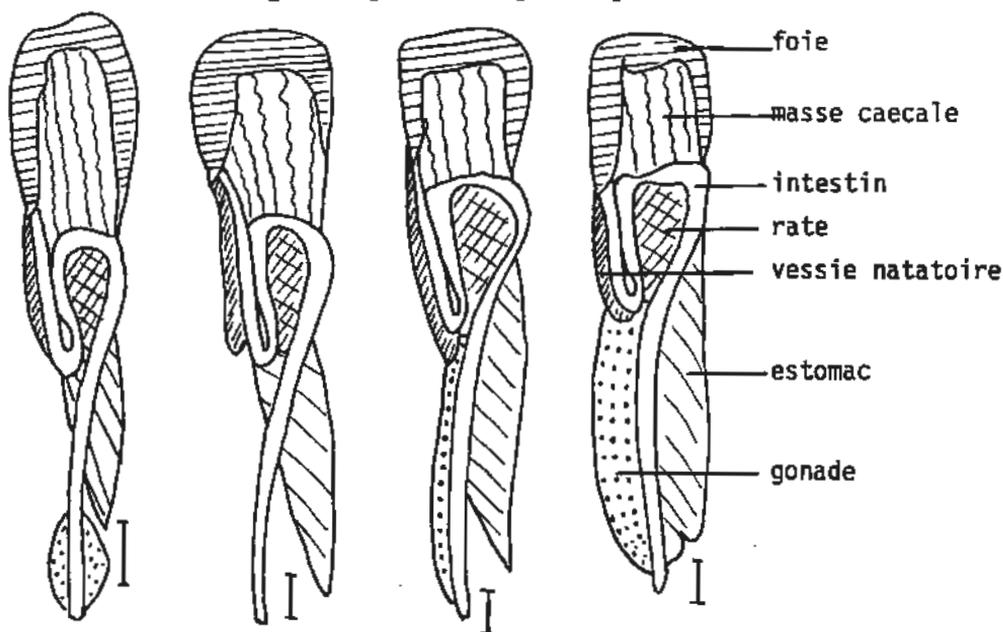
Ainsi A. JOHNSTON estime que, chez les marlins, les muscles représentent 75% du poids de l'animal



Vue latérale d'une femelle appartenant à l'espèce *Makaira nigricans* montrant la position relative des différents organes .(D'après J.Roemhild)

1) L'APPAREIL DIGESTIF:

L'autre trait marquant de l'anatomie interne des marlins est la simplicité anatomique de l'appareil digestif caractéristique d'un régime exclusivement carnivore. Les schémas ci-dessous représentent la disposition des différents organes pour chaque espèce étudiée.



T. audax
(170cm)

M. mazara
(240cm)

M. nigricans
(193cm)

M. indica
(221cm)

Schéma des viscères en vue ventrale
(chaque échelle représente 5cm) D'après Nakamura

Contrairement au genre *Xiphias* dont l'intestin présente de nombreuses circonvolutions, l'intestin des marlins ne décrit qu'une seule boucle.

La masse coecale est particulièrement développée. Elle est formée par l'évagination digitiforme de la paroi intestinale au voisinage de la valvule pylorique. Les appendices branchus sont noyés dans un tissu conjonctif adipeux et sont enveloppés dans une bourse séreuse qui les réunit en un organe pylorique massif. La fonction de cet

organe est d'augmenter la surface absorbante intestinale. La masse coecale est recouverte dans sa partie antérieure par le foie.

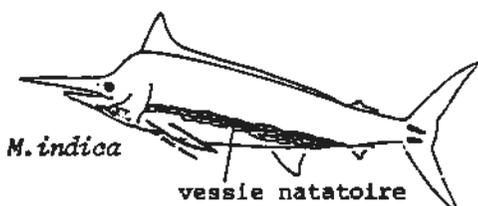
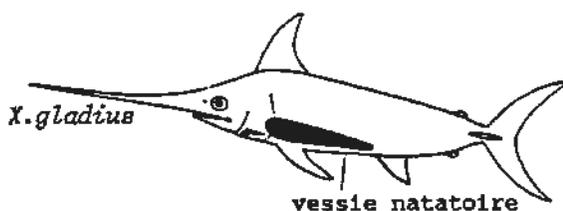
Les gonades, que nous décrirons ultérieurement, se trouvent situées ventralement de part et d'autre de l'estomac.

2) LES REINS:

Les reins, isolés de la vessie natatoire par le péritoine, sont situés le long de la face ventrale de la colonne vertébrale. Cet organe s'étend de la région pharyngienne jusqu'à la première nageoire anale.

3) LA VESSIE NATATOIRE:

Protégée en partie par les côtes, elle est située sur le plafond de la cavité viscérale. Elle est formée d'une chaîne de petits ballonnets enveloppés dans une membrane commune. Cette structure constitue une autre originalité des *Istiophoridae* vis à vis des *Xiphioidae*. Pour ces derniers, la vessie natatoire est constituée d'une seule chambre. Chez les marlins, les ballonnets ne communiquent pas entre eux; ainsi, chacun d'eux peut se gonfler ou se dégonfler indépendamment des autres.



La vessie natatoire s'étend de la région cardiaque jusqu'à l'origine de la deuxième nageoire anale. L'absence du canal pneumatique reliant la vessie natatoire à l'oesophage classe les marlins parmi le groupe des Physoclistes. Ces poissons doivent donc posséder des organes spéciaux de sécrétion et de résorption gazeuse qui consistent essentiellement en réseaux de capillaires sanguins (réseau admirable) situés dans la paroi viscérale. Ces capillaires artériels disposés parallèlement et en alternance régulière irriguent des glandes épithéliales spécialisées permettant la concentration de gaz (essentiellement l'oxygène, le gaz carbonique et l'azote): passage de gaz, du sang où sa pression partielle est faible, à la vessie où la pression partielle est élevée. Les gaz circulent du sang efférent (plus grande concentration gazeuse) vers le sang artériel afférent. La concentration des gaz est réalisée dans la glande à gaz puis ensuite dans la vessie. La résorption des gaz est plus simple: elle nécessite une paroi mince et riche en capillaires fonctionnant suivant le principe de la diffusion des gaz d'un milieu plus concentré en un milieu moins concentré. Des fibres musculaires lisses régulent le passage des gaz dans la circulation sanguine. Les variations de pression extérieure enregistrées au niveau de l'oreille interne sont transmises aux récepteurs membranaires de la vessie natatoire par l'intermédiaire du système nerveux autonome qui entraînent des phénomènes de sécrétion ou des phénomènes de résorption gazeuse.

La vessie natatoire a une fonction hydrostatique très importante: elle influe sur la densité, sur l'équilibre et sur la locomotion du poisson. La densité des tissus des poissons est de 1,076; celle de l'eau de mer est de 1,026. Le poisson étant plus lourd que l'eau de mer, il aurait tendance à aller vers le fond. Il devra donc, soit compenser la force de gravité par un mouvement incessant de ses nageoires, soit diminuer la densité de son corps (ou alors vivre sur le fond). Le développement du tissu adipeux chez certains vertébrés marins leur permet de diminuer la densité de leur corps.

Chez les marlins, la vessie natatoire a pour rôle de rendre le poisson "sans poids" dans l'eau. On peut calculer le volume que doit occuper la vessie natatoire pour que la densité globale du poisson soit voisine de 1,026:

Si l'on suppose que le poisson est en équilibre et que la densité de la vessie natatoire est négligeable devant la densité des tissus, pour 100 ml d'eau déplacés, le volume occupé par les tissus est de:

$$100 \times 1,026 = 1,076 \times v \Rightarrow v \text{ environ } 95 \text{ ml}$$

Le volume corporel occupé par la vessie natatoire est de l'ordre de 5%.

Cet organe dispense donc le poisson d'un gaspillage d'énergie car privé de flotteur, il aurait à compenser un poids équivalent à 5% de son poids.

Autre aspect de la physiologie de la vessie gazeuse: lorsque le poisson nage vers les profondeurs, la vessie natatoire sera comprimée par l'accroissement de la pression jusqu'à ce que le poisson devienne plus lourd que l'eau. Afin de recouvrer sa flottabilité, il devra augmenter la pression de cet organe pour qu'il garde un volume constant.

Au contraire, si le poisson se dirige vers la surface, la vessie gazeuse augmentera de volume à mesure que la pression extérieure diminuera; le poisson devra alors résorber une partie des gaz contenus dans les ballonets. Ces phénomènes de régulations, sous la dépendance du système organo-végétatif, sont assez lents et on peut imaginer qu'un poisson, pris en profondeur à l'hameçon d'un pêcheur sportif et ramené rapidement en surface aura une vessie natatoire dont le volume sera anormalement important et qui aura tendance à refouler antérieurement ou postérieurement les autres organes de la cavité viscérale. Les fréquentes observations des pêcheurs sportifs décrivant des marlins essayant de "cracher leur estomac" pourrait confirmer ce phénomène. Nous devons néanmoins signaler que le marlin ayant pu avaler directement l'appât et l'hameçon, ce dernier logé dans la muqueuse stomacale pourrait, sous l'influence des tractions de la ligne, faciliter la régurgitation de l'estomac.

III) REPRODUCTION DES MARLINS:

Les sexes sont séparés et aucun dimorphisme sexuel n'est apparent. Cependant, pour chaque espèce, les femelles atteignent des tailles bien supérieures à celles des mâles.

1) MORPHOLOGIE DES GONADES:

Les gonades sont des organes pairs, symétriques, situés dans la moitié postérieure de la cavité viscérale, de chaque côté de l'estomac et de l'intestin. Les ovaires sont de forme cylindrique effilés à chaque extrémité et joints uniquement dans leur partie postérieure. Une gaine musculaire les fixe à la papille urogénitale et à la partie postérieure de l'intestin.

Les testicules sont allongés, de section triangulaire et sont bien plus minces que les ovaires.

2) MATURITE SEXUELLE:

Il est difficile à déterminer l'âge ou la taille à partir desquels un marlin devient sexuellement adulte. MERRET estime que pour *Tetrapturus audax*, la taille minimum d'un individu mâle ou femelle sexuellement mûr se situe entre 140 à 160 cm (œil-pédoncule caudal) correspondant à un poids de 62 à 93 lb.

Pour *Makaira mazara*, MERRETT suppose que cette taille oscille autour de 160 à 170 cm (110 à 155 lb) et pour *Makaira indica* autour de 170 à 180 cm (130 à 175 lb). Pour *Makaira mazara*, les mâles pourraient atteindre leur maturité plus précocement. YUEN (1955) a montré qu'il existait, chez *Thunnus obesus* et *Thunnus alalunga*, une relation entre le poids de l'ovaire et son stade de développement. MERRETT a établi cette relation pour certains Istiophoridés (*I. platypterus* et *I. angustirostris*). Pour les marlins que nous étudions, cette relation n'a pas été confirmée. Pour *M. nigricans*, le poids des ovaires peut varier de quelques grammes jusqu'à 14 kg suivant la taille de la femelle et le stade de développement.

Pour faciliter l'étude des différents stades de développement des gonades, plusieurs auteurs (WILLIAMS, MERRETT) ont proposé d'associer des critères morphologiques et histologiques. Six stades ont pu être définis macroscopiquement et microscopiquement pour le cycle ovarien. Chez le mâle, les examens macroscopiques et microscopiques sont moins caractéristiques que ceux des femelles.

 FEMELLE

 MÂLE

STADE I

Immature

Ovaires de taille réduite,
compacts, section rose pâle

rubans rosâtres étirés et aplatis
spermatogonies I

Oocyste I de taille < 100 μ m

STADE II

Inactivité sexuelle

Ovaires de taille réduite
légèrement flasques

testicules sous forme de rubans
légèrement élargis

Section rouge vineux

Rose à rose pâle

Oocystes I et II: apparition
de la thèque folliculaire

formation des tubes seminifères
dont le diamètre est de l'ordre
de 140 à 170 μ m

Oocystes < 100 μ m

 STADE III

Germination

accroissement du volume de l'ovaire	développement des vaisseaux sanguins
apparition du vitellus sous la forme de vésicule cytoplasmique et de la zone radiata	augmentation de la taille du testicule section triangulaire, légèrement laiteuse
Oocystes II et III	100 < diamètre < 300 µm spermatogonies => spermatoocytes I (3µm)

STADE IV

Maturation

ovaire ferme , distendu section: orangée	testicules légèrement distendus section: rosâtre avec de la laitance
oeufs opaques visibles à l'oeil nu 300 < diamètre < 1000 µm	spermatoocyte II => spermatoide I environ 3 µm 1 à 3 µm

Oocystes III et IV vitellus très développé

STADE V

Ovulation

ovaire ferme, distendu
l'ovaire occupe un volume croissant
dans la cavité viscérale (du à
la croissance des oocystes)

testicules distendus
laitance abondante
spermatide => spermatozoïdes

section mastic
œufs visibles à l'œil nu
transparents,
facilement détachables

spermatozoïde: tête: 1,3 à 1,9 mcm
pièce intermédiaire: 0,8 à 1,3 mcm
queue: 30 mcm et plus

STADE VI
Résorption

apparition des corps atrésiques
Oocystes III et IV se désagrègent
Signes d'inflammation visibles sur
les ovaires

testicules flasques, amincis

absence de sécrétion

ovaires flasques avec signes
d'hémorragie

section rouge sang

MERRETT estime que la fertilité d'une femelle de *Tetrapturus audax* est approximativement de douze millions d'oeufs par ponte. Pour *Makaira indica*, NAKAMURA (1983) estime que le nombre total d'ovules mûrs par femelle atteint 40 millions.

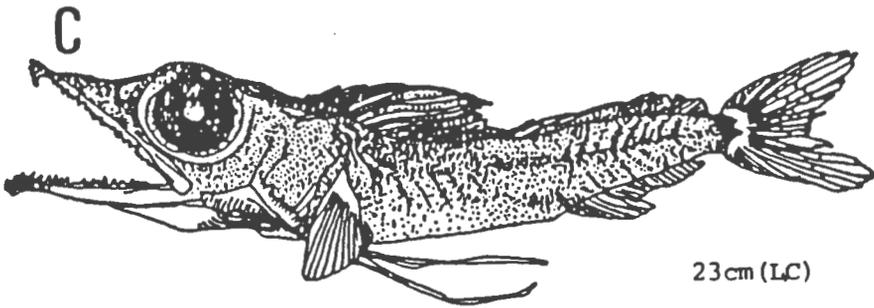
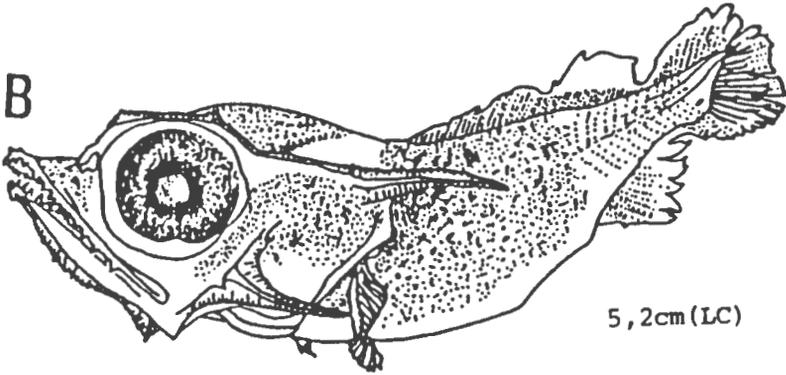
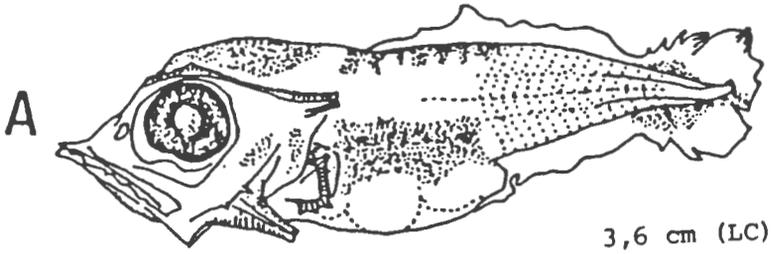
Ces chiffres varient selon l'espèce, la taille des individus. Toutefois, l'ordre de grandeur est de quelques millions d'oeufs par ponte.

3) FÉCONDATION ET VIE LARVAIRE:

La fécondation externe donne naissance à des oeufs planctoniques. Des observations rapportées dans le numéro 13 de la revue "Big Game Fishing" donne des indications sur le frai des marlins: "le frai des marlins australiens intervient en décembre-janvier au sud-est de Cairns. On a pu observer, à partir d'un hélicoptère cette opération particulière: les femelles pondent alors qu'elles nagent au maximum de leur vitesse (80 km/h). Elles lâchent une longue traînée de milliers d'oeufs tandis que le mâle suit à la même vitesse couvrant les oeufs de son sperme.

Explications: il y a tant de maquereaux voraces qui se délectent de cette manne que pour donner quelques chances de survie à leur progéniture, les marlins sont obligés de répandre leurs oeufs sur une grande distance."

La période embryonnaire n'est pas connue. Par contre la période larvaire a été étudiée par plusieurs auteurs. Les différents stades larvaires ont été décrits par UYENAGI (1959-1960) pour *Makaira indica* et *Tetrapturus audax*. Ces larves évoluent à la surface des océans pendant la journée alors que la nuit, elles effectuent des migrations verticales jusqu'à 50 mètres de profondeur. Elles sont la proie de très nombreux prédateurs jusqu'à leur stade adulte. Le taux de mortalité larvaire est très important. On suppose que sur les millions d'oeufs pondus, seulement un, parfois deux, peuvent atteindre l'âge adulte.



Larves de marlin noir
(D'après Ueyanagi, 1960)



Variations de la forme du marlin rayé durant son développement. (D'après Nakamura)

IV) LES ORGANES SENSORIELS:

1) LE SYSTEME OLFACTIF:

Il est en relation avec le milieu extérieur par l'intermédiaire de deux orifices situés sur la face dorsale de la tête, l'un antérieur servant à l'entrée d'eau, l'autre postérieur permettant son évacuation. Entre ces deux orifices, sous la peau, se trouve un organe, appelé la rosette olfactive, dont la paroi membraneuse est constituée de feuillets disposés radialement. Leur nombre varie entre 46 et 51. L'épithélium est composé de cellules sensorielles munies de cils. Des capillaires sont décelables à l'oeil nu sur un certain nombre de feuillets. La chambre olfactive, située dans une dépression de l'os ethmoïde, est limitée supérieurement par l'os nasal et inférieurement par l'os palatin.

Peu d'études ont été réalisées sur cet organe et son importance dans la recherche de nourriture n'a pas été clairement démontrée. Il semblerait que la ligne latérale, dans ce domaine, ait un rôle beaucoup plus important.

2) LA LIGNE LATÉRALE:

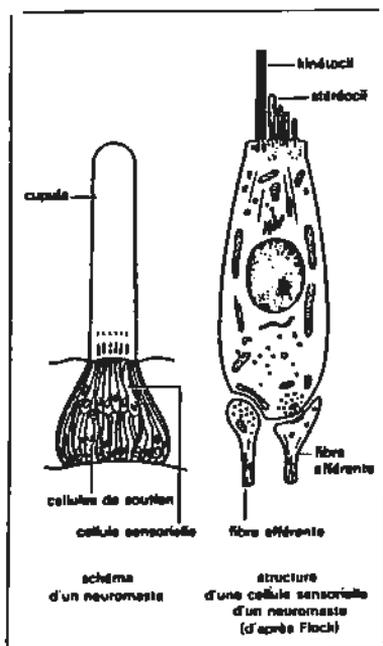
Cet organe, particulier aux poissons, permet de rendre compte des mouvements de l'eau à la surface du corps et de la tête et de détecter la présence d'organismes en mouvement au voisinage du poisson. OVCHINIKOV pense que la ligne latérale peut assurer d'autres fonctions notamment la thermoréception.

Les récepteurs du système latéral sont distribués le long du corps selon un modèle particulier à chaque espèce (cf étude anatomique). Ce sont des cellules sensorielles groupées en un bourgeon sensoriel appelé neuromaste. Les neuromastes sont disposés le long de canaux enfoncés dans la derme mais communiquant par des pores avec la surface.

Le long de chaque flanc, il existe un canal (ligne latérale) qui se prolonge sur la tête selon un plan bien déterminé.

Chaque cellule sensitive reçoit une innervation du

nerf latéral qui se termine au niveau du rhombencéphale. Lors d'une stimulation extérieure, la cupule est le siège d'une déformation qui entraîne par la voie des cellules sensorielles une modification du rythme des ondes de dépolarisation le long du nerf latéral.



Cet organe aurait une grande importance lors des nages nocturnes.

3) L'APPAREIL STATO ACOUSTIQUE:

Il est constitué par l'oreille interne située de chaque côté du crâne, en arrière des yeux. Chaque oreille repose dans un bain de périlymphe et comprend une partie supérieure appelée utricule portant trois anneaux semi-circulaires et une partie inférieure ou saccule dotée d'une annexe, la lagena. Chacune de ces trois chambres auditives, utricule, saccule et lagena contient une formation calcaire ou otolithe associée à un amas de cellules ciliées sensorielles.

L'utricule et les canaux semi-circulaires concernent l'équilibre. Ils sont sensibles à la position du corps par rapport à la pesanteur, aux variations des vitesses de déplacement et aux changements de direction (E. BROWN).

Si le corps du poisson pivote dans l'une quelconque des directions, le courant lymphatique dans les canaux concernés, déplace l'otolithe située dans l'utricule, stimulant ainsi les cellules ciliées sensorielles.

Le système nerveux central, lorsqu'il reçoit cette information, active les nerfs moteurs des muscles mouvant les nageoires de façon à ramener le poisson dans sa position d'équilibre normale.

Pour la fonction auditive, la sensibilité des marlins n'est pas connue. Les vibrations transmises dans l'eau semblent être perçues par la ligne latérale.

Remarque: La taille des otolithes a permis de déterminer l'âge de certains poissons, en comptant le nombre de stries sur ces formations calcaires (P.P. GRASSE). Pour les marlins, dont différentes méthodes de détermination de l'âge ont été envisagées sans succès, cette technique semble avoir donné quelques résultats: le Dr RADTKE a estimé l'âge de *Makaira mazara* à partir de l'étude des otolithes (Pacific Game Fish, Research News 1982). En comparant le nombre de stries et le poids d'un individu, il a établi les relations suivantes:

<u>mâles:</u>	52,1 kg	= 6 ans
	de 68,3 à 71,2 kg	= 7 ans
	82 kg	= 9 ans
	de 96,6 à 114,2 kg	= 11 à 12 ans

<u>femelles:</u>	135,4 à 147,4 kg	= 8 ans
	de 109,2 à 228,8 kg	= 13 à 15 ans
	286,3 kg	= 16 ans
	336 kg	= 17 ans

4) LA VISION:

L'acuité visuelle des marlins n'a pas été étudiée. Néanmoins, les pêcheurs sportifs utilisent des leurres artificiels imitant la forme des calmars. Les marlins semblent reconnaître cette forme à des distances de quelques dizaines de mètres. Les pêcheurs sportifs tentent également d'attirer le poisson par des leurres aux couleurs attrayantes: bleu et blanc, rouge et jaune, "perroquet" (vert, rouge et jaune).

Les électrorétinogrammes réalisés par KAWAMURA et NISHIMURA 1980, sur des yeux isolés de *Makaira mazara*, *M. indica* et *Tetrapturus audax* ont montré que l'amplitude des réponses était importante uniquement pour le bleu et le bleu vert, diminuant de part et d'autre de ces longueurs d'ondes. La sensibilité spectrale maximale était entre 458 et 492 nm avec un pic à 492 nm.

KAWAMURA et NISHIMURA estiment que les marlins ne sont pas sensibles aux couleurs dans les conditions naturelles. Cette affirmation est basée, en plus de leurs travaux sur des études de MUNZ et M.C.FARLAN d'une part et d'autre part sur des hypothèses de JERLOF.

Les premiers n'ont pu isoler qu'un seul pigment visuel dans les cellules rétiniennes extraites des yeux de Wahoo, de différentes espèces de thons et de *Makaira indica*. L'ensemble des λ_{max} pour ce pigment était compris entre 482 et 486 nm seulement. Selon JERLOF, l'eau de mer agit comme un filtre monochromatique pour la lumière bleue ainsi, l'action de l'eau de mer et les caractéristiques rétiniennes de ces poissons font que ces derniers seraient insensibles aux variations de couleurs. Par contre, ils seraient beaucoup plus sensibles à la brillance des objets, tout au moins au contraste qu'ils offrent avec le milieu ambiant. Ceci semble en accord avec les nombreuses observations de P. GOADBY qui indique que les marlins peuvent être attrapés avec des leurres dont les couleurs sont très variables, même le noir et le blanc sont parfois très efficaces. La notion de contraste semble être la plus importante.

5) LA MUSCULATURE ET LA CONSOMMATIOND'OXYGENE:

Comme nous avons pu le voir précédemment, la musculature des marlins représente environ 3/4 du poids de l'animal.

JOHNSTON et SALAMONSKI (1984) ont étudié la musculature de *Makaira mazara*, notamment l'aspect dynamique. Ils ont pu isoler deux types de muscles:

- le muscle blanc
- le muscle rouge

Ils ont estimé la proportion de ces muscles à 93% pour le muscle blanc et 7% pour le muscle rouge. A titre de comparaison, la musculature de la bonite à ventre rayé est composée de 1/3 de muscle rouge et de 2/3 de muscle blanc.

L'intérêt d'un très grand développement des muscles blancs est triple:

1- La vitesse de contraction maximale des fibres blanches est environ 3 fois plus élevée que celle des fibres rouges. La puissance maximale développée par les fibres blanches est environ 4 fois plus grande:

57 w/kg pour le muscle blanc
13 w/kg pour le muscle rouge.

La plus grande proportion de muscle blanc augmente donc la vélocité du poisson.

2- JOHNSTON a montré que le rendement des fibres rouges variait avec la température. Le Q_{10} (15-25°C) pour la vitesse de contraction maximale des muscles rouges du thon était de 3,1.

Le Q_{10} (15-25°C) mesuré par JOHNSTON n'était que de 1,4

* Q_{10} = rapport entre les vitesses de réaction d'un processus biologique à une température donnée d'une part et à une température de 10°C plus basse d'autre part.

JOHNSTON conclue que "les muscles du marlin, essentiellement constitués de muscles blancs, leur permettent d'adopter une stratégie thermique différente de celle des thons car ils n'ont pas à maintenir leurs muscles à une température élevée, et la sélection a semble-t-il favorisé l'acquisition de protéines contractiles qui fonctionnent indépendamment de la température entre 15 et 25°C.

3 - Le grand intérêt des muscles blancs réside également dans leur utilisation de l'énergie. GORDON (1968) a montré que pour une bonite la consommation d'oxygène au niveau du muscle rouge est six fois plus importante que celle au niveau du muscle blanc. L'équipement enzymatique des cellules du muscle blanc leur permet de fonctionner très efficacement en anaérobie (DOBSON, WOOD (1985), SUAREZ (1985).

DOBSON ET WOOD notent que le pouvoir tampon des muscles blancs est deux fois plus grand que celui des muscles rouges (104 skyles contre 51) et que le sang des marlins a un pouvoir tampon élevé par rapport aux autres Téléostéens. Ils concluent que cette protection contre l'acidose représente une importante adaptation permettant des efforts musculaires intenses.

L'apport d'oxygène aux tissus est peu connu, les appareils circulatoires et respiratoires n'ayant pas été l'objet d'étude particulière. Les valeurs données par OVCHINIKOV pour l'hémoglobine sont intéressantes à signaler:

- pourcentage d'hémoglobine dans le sang: 15%
- pouvoir oxyphorique: 20 ml

Ces valeurs sont voisines de celles des mammifères et notamment de l'homme.

D'autre part, le coefficient de BOHR est un des plus élevés ($\phi = 1,0$) enregistrés chez les vertébrés (DOBSON). DOBSON conclue que la capacité des marlins à nager à de grandes vitesses est liée à la fois au métabolisme de l'oxygène et aux systèmes métaboliques mis en jeu dans les muscles.

L'acquisition de vitesses de nage très élevées, si elle nécessite un métabolisme très actif pour entretenir une musculature performante, exige également une conformation adaptée aux contraintes du milieu aquatique. Nous allons étudier comment les marlins ont résolu les problèmes posés par ce milieu.

QUATRIEME PARTIE

CARACTERES MORPHOLOGIQUES ASSOCIES

A LA NAGE A GRANDE VITESSE

Les vitesses de nage atteintes par les marlins sont les plus élevées du monde animal. Les marlins rayés, par exemple, ont pu être chronométrés à 110 km/h. A titre de comparaison, les vitesses de nage maximales enregistrées pour d'autres excellents nageurs sont de 50 km/h pour l'exocet, 70 km/h pour les dauphins, 70 km/h pour les requins (requins mako) et 80 km/h pour les thons (*Thunnus alalunga*).

Les performances des marlins ne sont toutefois réalisables que sur des distances réduites, car elles s'effectuent en apnée, la bouche close et les opercules plaqués le long du corps. Cet effort considérable peut être maintenu entre 10 et 20 secondes environ. Ainsi, pour une vitesse de 100 km/h, le poisson pourra donc parcourir des distances de 280 à 560 mètres. De ce fait, les pêcheurs sportifs sont équipés de cannes sur lesquelles sont montés d'impressionnants moulinets contenant 800 à 1000 mètres de réserve de ligne. Pris par un hameçon soigneusement appâté, le poisson tentera de fuir en effectuant un premier rush qui videra le moulinet d'une grande partie de sa réserve de fil, dans un bruit de sirènes hurlantes (le tambour du moulinet tourne alors entre 1000 et 3000 tours par minute). Le poisson devra après cet effort se reposer quelques instants pendant lesquels le pêcheur tentera de récupérer la plus grande quantité de ligne possible. Lors des rushes suivants, le pêcheur, actionnant un frein situé sur le moulinet, donnera à sa ligne des résistances ascendantes (maximum 130 lb), obligeant le poisson à limiter progressivement la longueur de ses rushes, jusqu'à ce qu'épuisé, il abandonne la lutte. Suivant l'espèce et la taille du poisson, la dextérité du pêcheur et de son skipper, le combat durera de 20 minutes à plusieurs heures. Il arrive très souvent que le pêcheur soit épuisé bien avant que le poisson ne montre quelque signe de fatigue.

Pierre CLOSTERMANN décrit " un exemple fameux dans le folklore de la pêche sportive qui illustre bien la fantastique puissance de ces poissons: à Bimini, aux Bahamas en 1955, un magnifique marlin bleu estimé à 1800-2000 livres, piqué à dix sept heures, fut combattu par huit ou neuf pêcheurs réputés. La mer était d'huile et les vedettes arrivées à la rescousse éclairaient de leurs projecteurs le prodigieux spectacle des acrobaties aériennes de ce monstre. A huit heures trente minutes du matin, dans un ultime saut, le poisson se décrocha. Les efforts avaient sans doute

ouvert dans la mâchoire une boutonnière autour de l'hameçon qui s'est délogé au premier mou de la ligne."

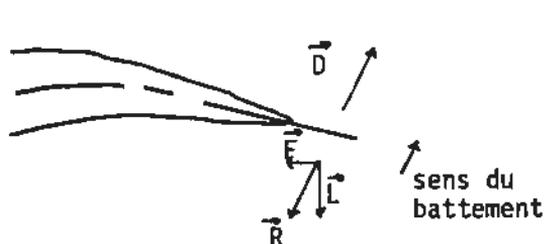
Si ce style d'exploit est parfois rencontré dans la littérature halieutique, par contre, les études effectuées sur l'appareil locomoteur de ces poissons sont très rares. Un analyse des caractères anatomiques adaptés à la nage à grande vitesse, nous a semblé intéressante pour apprécier davantage les performances de ces animaux.

Nous envisagerons, dans un premier temps, la création de la force propulsive, puis nous montrerons comment l'anatomie des marlins leur permet de réduire les forces de résistance à l'avancement opposées par le milieu aquatique.

I) LA PROPULSION

Les marlins se déplacent selon le type scombroïforme qui correspond à des ondulations latérales du corps affectant la région caudale. Ceci les distingue notamment des anguillidés (anguilles, congres) dont les ondulations latérales affectent surtout le corps, ainsi que les cétacés dont les battements de la partie caudale sont réalisés verticalement. Chez les marlins, les mouvements latéraux de la nageoire caudale refoulent l'eau obliquement vers l'arrière. La réaction de l'eau soumet le poisson à une force de direction opposée, c'est à dire oblique vers l'avant. Cette force peut se décomposer en une composante dirigée vers l'avant selon l'axe du poisson, responsable de la propulsion, et une composante latérale, qui bien que freinée par la surface latérale du corps, tend à devier l'animal de sa course rectiligne en provoquant l'embarquée. La nageoire dorsale en augmentant la surface latérale peut diminuer cette influence. Mais à grande vitesse, la fréquence des battements de la nageoire caudale est telle que pour deux battements successifs, cette composante sera annulée. D'ailleurs, la nageoire dorsale des marlins est retractile dans un sillon cutané lors de nages rapides.

Principe mécanique de la nage des marlins



- \vec{D} : direction de l'eau
→ refoulée
- \vec{R} : résultante opposée à la
→ direction de l'eau
- \vec{F} : composante efficace diri-
→ gée vers l'avant
- \vec{L} : composante latérale

L'intensité de la force F efficace dépendra en plus de l'importance du développement musculaire que nous avons déjà étudié, de différents critères anatomiques qui conditionnent l'efficacité de la surface portante matérialisée par la nageoire caudale.

1-1 INFLUENCE DE LA TAILLE DU POISSON:

La longueur (L) du poisson a une influence directe sur la vitesse qui sera d'autant plus grande que le corps sera allongé. En effet, la masse musculaire (et par extension la puissance musculaire) varie proportionnellement avec L^3 alors que la résistance à l'avancement qui est fonction de la surface corporelle, est proportionnelle à L^2 .

BAINBRIDGE a montré que la vitesse était directement proportionnelle à la longueur du corps et pouvait être calculée grâce à la formule:

$$V = \frac{L}{4} (3f - 4)$$

V: en m/s L: en m f: fréquence des battements

On peut déduire de cette formule que pour un poisson de 3 mètres (L.C.) nageant à 100 km/h (≈ 28 m/s) la fréquence des ondations serait d'environ 14 par seconde! Cette valeur établie par le calcul doit vraisemblablement être minorée car elle ne tient pas compte de deux autres paramètres importants dans l'acquisition de la vitesse que sont l'amplitude des ondulations et la valeur de la surface portante.

1-2 FLEXIBILITE DU CORPS. POINT DE FLEXIBILITE

MAXIMUM:

La compression latérale du corps est une adaptation morphologique en relation avec le mode de locomotion et ce caractère est plus marqué chez les poissons qui se déplacent en exerçant des flexions latérales du corps. La flexibilité sera d'autant plus importante que le

corps sera comprimé latéralement (OVCHINIKOV). Ce paramètre de compression latérale est mesuré par deux coefficients:

$$q_{\max} = \frac{H}{T} \quad \text{et} \quad q_{\min} = \frac{h}{t}$$

où H = hauteur maximale du corps h = hauteur minimale du corps

T = largeur maximale du corps t = largeur minimale du corps

q_{\max} vaut 2,42 pour l'espadon voilier,
1,81 - 1,95 pour les marlins,
1,75 pour l'espadon

Comparativement, les q_{\max} des thons germon et des maquereaux valent respectivement 1,17 et 1,36. Ceci souligne l'importante compression latérale des poissons à rostre en général et des marlins en particulier, en relation avec une plus grande efficacité de leur tronc en tant qu'appareil locomoteur.

Il est à noter que les poissons se déplaçant selon un mouvement ondulatoire le long de leur corps (anguillidés...) possèdent également ce caractère. Toutefois, les valeurs des q_{\min} selon le type de locomotion adopté varient remarquablement. Pour les espèces dont la partie caudale a une importance prépondérante (marlins, espadons, thons...) ce coefficient est bien plus faible que pour les poissons qui nagent lentement ou qui se déplacent selon le modèle des anguillidés.

Les poissons à rostre ont une q_{\min} proche de l'unité, le pédoncule caudal étant faiblement comprimé latéralement pour assurer une grande rigidité de la partie postérieure du corps, caractère indispensable à la nage rapide. Chez l'espadon le q_{\min} est de 0,33, la largeur du pédoncule caudal étant plus grande que sa hauteur. Morphologiquement, ceci correspond à la formation des carènes qui augmentent fortement la largeur du pédoncule ainsi que sa rigidité.

Espèce	Longueur	Nombre de specimens	limite	Q_{max} moyenne	Q_{min} limite	moyenne
Marlin bleu	194-350	10	1,53-2,34	1,95	1-1,32	1,15
Voilier Atlantique	177-214	10	2,10-2,6	2,42	1-1,3	1,23
Espadon	100-260	10	1,40-2,0	1,75	0,29-0,36	0,33

Les valeurs de q_{max} et q_{min} sont intéressantes car elles rendent compte de la morphologie du poisson et du type de locomotion adopté. Elles indiquent que si certaines régions du corps devront être flexibles pour assurer les battements de la nageoire caudale, d'autres devront être rigides pour permettre à la force développée dans les masses musculaires du tronc d'être transmise, avec un rendement maximum au niveau du pédoncule caudal.

La flexibilité des différentes parties du corps des poissons à rostre a été mesurée par ALEEV. Il a procédé de la manière suivante:

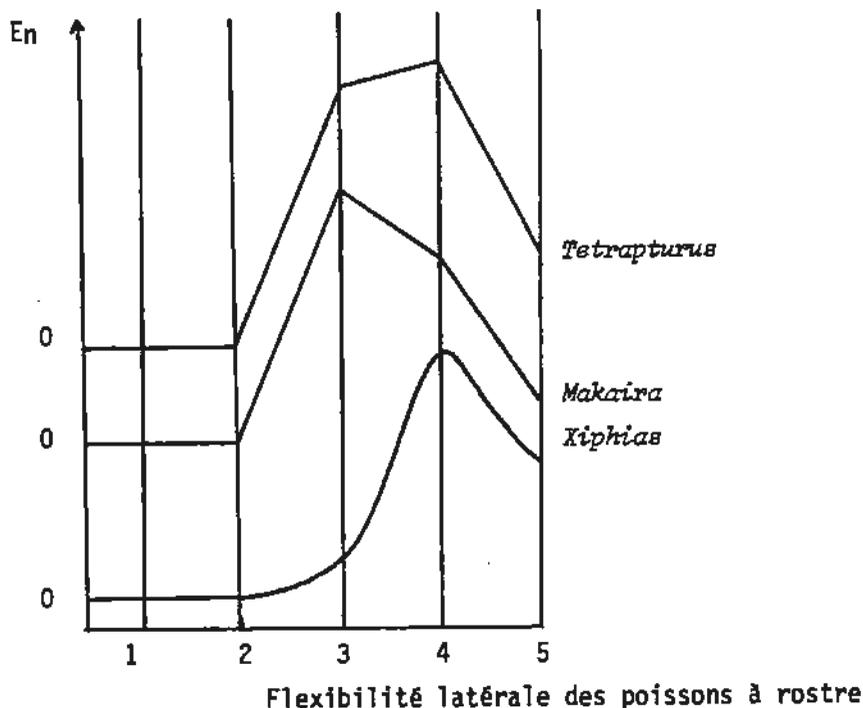
Le corps du poisson, de la pointe du rostre à l'extrémité de la colonne vertébrale (longueur standard: LS) est divisée en 5 parties égales, chacune mesurant 0,2 LS. Le corps est ensuite fléchi au maximum, latéralement. La dimension des cinq arcs ainsi formés d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 sont mesurés. Les résultats sont inclus dans la formule:

$$E_n = \frac{(0,2 LS - d_n)}{\sum_{n=1}^5 (0,2 LS - d_n)}$$

où E_n est l'index de flexibilité latérale et d_n la longueur de la corde formée par la partie fléchie. Le

dénominateur correspond à la somme des différences entre les longueurs de la partie fléchie (0,215) et la corde correspondante.

Les résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous.



La flexibilité minimum du corps est la caractéristique de la partie du corps qui est virtuellement inflexible à cause de la rigidité de la tête et bien sûr celle du rostre:

$$E_1 = E_2 \approx 0$$

L'intérêt de ces résultats réside dans l'étude de la partie la plus flexible. Pour le genre *Xiphias*, la flexibilité maximale se trouve dans la quatrième partie du corps:

$$E_4 > E_3$$

$$E_4 > E_5$$

La flexibilité augmente de la tête jusqu'au pédoncule caudal et diminue ensuite le long du pédoncule: la fonction locomotrice est localisée dans la partie postérieure du corps? A cet égard l'espadon est comparable à d'autres formes de poissons à nage rapide tels que les baracudas ou les thons: la partie antérieure et le pédoncule caudal montrent un minimum de flexibilité et la fonction locomotrice est particulièrement développée dans la partie précédant le pédoncule caudal. Pour les marlins les caractères sont différents. La flexibilité maximale se situe dans la troisième section du corps, c'est à dire en son milieu. Les parties correspondant à la tête et au pédoncule caudal présentent une flexibilité quasi nulle. Pour le genre *Makaira*, ce caractère est encore plus marqué.

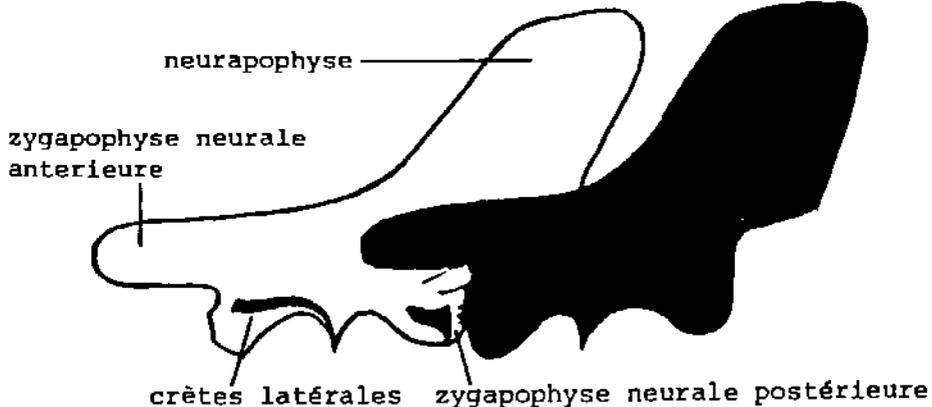
Ainsi le déplacement vers l'avant de la zone de flexibilité maximale a pour conséquence d'améliorer l'efficacité de la nageoire caudale car il permet d'augmenter la puissance des battements. En effet, les lois de la dynamique indiquent que si la force motrice F est appliquée sur une tige rigide en un point situé à une distance d d'un axe de rotation, le moment de cette force s'écrit:

$$M = F \times d \quad (\text{d représente le bras de levier})$$

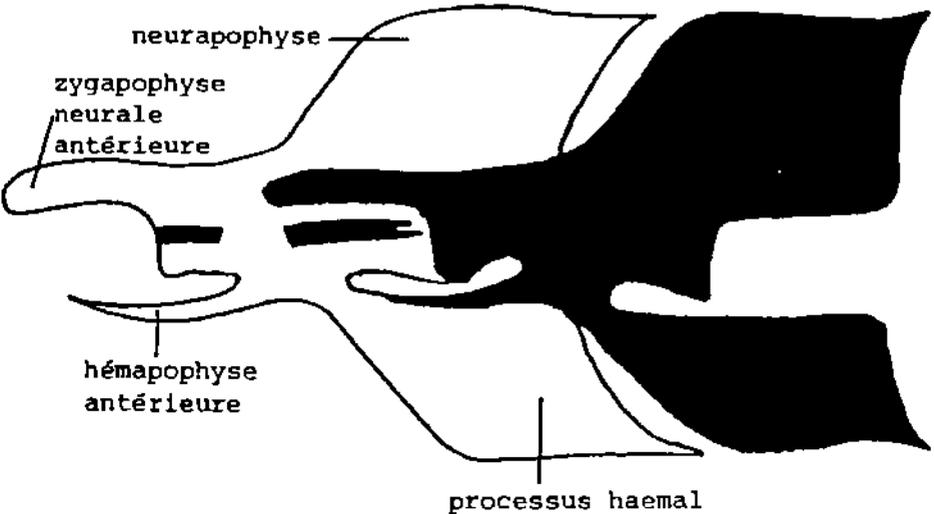
Ainsi pour une force dont la valeur et la direction sont supposées constantes, la puissance développée sera plus grande si le bras de levier est plus long.

Pour les poissons à rostre, l'axe de rotation est assimilable au point de flexibilité maximale. De ce fait, la puissance développée au niveau de la nageoire caudale sera plus grande chez ces poissons. OVCHINIKOV estime que chez les marlins le déplacement vers l'avant du point de flexibilité maximale est permis grâce à l'importante compression du corps. Nous montrerons que d'autres particularités anatomiques peuvent rendre compte de ce phénomène.

Ces résultats permettent de compléter la formule établie par BRAINBRIDGE. La vitesse d'un poisson à nage très rapide se déplaçant selon le modèle étudié, sera en effet proportionnelle à la longueur du corps de l'animal, mais indirectement. Ce qui semble être primordial sera plutôt la



Articulations des vertèbres précaudales
 (Marlin bleu de l'Atlantique 211cm
 d'après Ovchinikov)



Articulations des vertèbres caudales
 (Marlin bleu de l'Atlantique, 211cm
 d'après Ovchinikov)

longueur située entre le point de flexibilité maximale et la surface portante. Cette distance conditionnera la puissance des battements.

1-3 STRUCTURE DU SQUELETTE AXIAL:

La structure du squelette axial a un rôle prépondérant car sa plus ou moins grande rigidité déterminera l'aptitude du poisson à des nages rapides. Chez les poissons les plus performants, la colonne vertébrale présentera des caractères spécifiques que sont le nombre, la forme des vertèbres et la mobilité de l'articulation entre chacune d'entre elles.

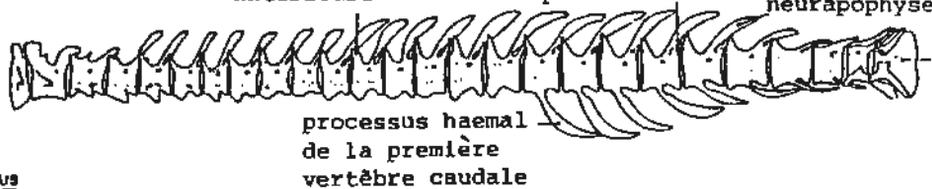
Des Téléostéens, les marlins sont parmi les poissons qui possèdent le nombre de vertèbres le plus faible: ils n'ont que 24 vertèbres, alors que l'espadon en a 26, les thunnidés 39-41, les salmonidés 55-60, l'anguille environ 115. Cette réduction du nombre de vertèbres augmentera la rigidité de l'axe vertébral. Le squelette axial est constitué de deux types de vertèbres: les vertèbres précaudales supportant les côtes et les vertèbres caudales prolongées verticalement par un processus haemal puissant. La proportion de ces deux types de vertèbres varie selon les genres:

<i>Xiphias</i>	16	précaudales et	10	caudales
<i>Tetrapturus</i>	12	" "	12	"
<i>Makaria</i>	11	" "	13	"

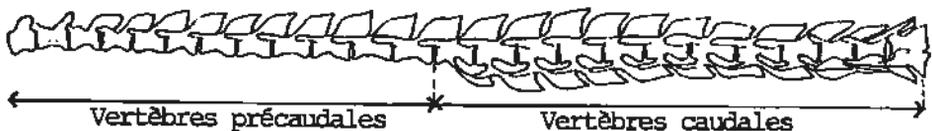
Les vertèbres des marlins sont allongées et comprimées latéralement. Les neurophyses et les processus haemaux des vertèbres caudales présentent un aplatissement latéral marqué. Ces formations sont bien plus développées chez les marlins que chez l'espadon. Elles permettent d'augmenter la hauteur du squelette axial et par voie de conséquence la masse musculaire qui pourra s'y insérer. De plus, OVCHINIKOV souligne que parmi les xiphiidés seuls les marlins possèdent sur les corps vertébraux des crêtes latérales puissantes.

Les articulations vertébrales sont importantes pour assurer la rigidité du corps. Pour les vertèbres précaudales, l'imbrication de la zygapophyse neurale postérieure de la vertèbre précédente limite fortement les mouvements latéraux. L'importante masse musculaire soutenue

zygapophyse neurale
antérieure zygapophyse neurale
postérieure neurapophyse



X. gladius



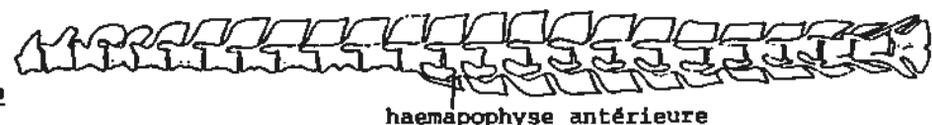
T. sudax



M. maxora



M. niqicans



M. indica

Squelette vertébral de XIPHIOIDES

(D'après Nakamura)

(Les côtes sur les vertèbres précaudales
ne sont pas représentées)

par les côtes amplifie ce phénomène. Pour les vertèbres caudales la zygapophyse et l'hémapophyse antérieure sont étroitement associées à la neurapophyse et au processus haemal de la vertèbre précédente, rendant l'ensemble très rigide. On note chez *Xiphias*, le très faible développement des hémapophyses antérieures.

Les mouvements latéraux au sein des deux ensembles constitués par les vertèbres caudales et les vertèbres précaudales sont très limités du fait de la rigidité assurée par les structures qui participent à l'articulation des vertèbres de même type entre elles. Par contre, si l'on considère l'articulation entre la dernière vertèbre précaudale, on s'aperçoit que les structures empêchant les mouvements latéraux sont fortement réduites: l'hémapophyse antérieure est absente de la première vertèbre caudale dont le processus haemal est quant à lui faiblement développé.

Si l'on compare les descriptions anatomiques avec les travaux d'ALEEV, alors la zone de flexibilité maximale pourrait correspondre à l'articulation entre les deux types de vertèbres. En effet, lorsque la proportion relative des vertèbres caudales augmente, l'articulation entre les deux types de vertèbres se déplace vers l'avant, tout comme la zone de flexibilité maximale déterminée par ALEEV.

Chez *Xiphias*, la zone de flexibilité maximale située postérieurement correspond à la position de l'articulation étudiée. Cette articulation, du fait du nombre inférieur de vertèbres caudales dans cette espèce (16 précaudales, 10 caudales) se trouve placée postérieurement.

Pour *Tetrapturus*, la proportion des vertèbres caudales et précaudales étant la même (12 +12), le point de flexibilité maximale devrait se trouver vers le milieu du tronc ce qui est confirmé par les travaux d'ALEEV.

Pour *Makaira* (11 précaudales et 13 caudales), l'articulation sera encore plus antérieure.

Ces variations morphologiques sont les supports anatomiques des résultats d'ALEEV. La conséquence de ces adaptations est une augmentation de la puissance du pédoncule caudal de *Tetrapturus* et *Makaira* comparativement à celui de *Xiphias*.

Ainsi, chez les poissons à rostre il existe une corrélation étroite entre la zone la flexion maximale déterminée par ALEEV et la position de l'articulation située entre les deux types de vertèbres.

Comparativement au genre *Xiphias*, les genres *Tetrapturus* et *Makaira* possèdent deux caractères qui soulignent une meilleure adaptation aux nages très rapides:

- augmentation de la rigidité du squelette axial par l'amélioration des structures vertébrales articulaires et la diminution du nombre de vertèbres.
- proportion de vertèbres caudales plus importante ayant pour conséquence de déplacer vers l'avant le point de flexibilité maximale.

Ainsi ces deux caractères permettent d'augmenter la puissance de la propulsion ainsi que la fréquence des battements de la nageoire caudale.

1-4 LA SURFACE PORTANTE: LA NAGEOIRE CAUDALE:

La nageoire caudale des marlins est bilobée, symétrique et présente une forte échancrure. Ces caractères se retrouvent chez les autres Xiphiidés ainsi que chez d'autres poisson à nage rapide (thons, maquereaux...). Cette forme sélectionnée pour la vitesse présente peu de variations parmi les poissons cités précédemment. Nous soulignerons ici les caractéristiques hydrodynamiques de la nageoire caudale des marlins.

Le premier caractère de cette nageoire est son allongement. La formule suivante évalue l'allongement relatif de la nageoire:

$$\lambda_c = \frac{l_c^3}{S_c} \quad \begin{array}{l} L_c = \text{envergure} \\ S_c = \text{surface} \\ \lambda_c = \text{allongement} \end{array}$$

(S_c ne varie pas pendant la nage chez les Xiphiidés, car la nageoire caudale est constituée de rayons très rigides fermement articulés avec le squelette axial et dont la forme varie très peu avec la vitesse)

OVCHINIKOV estime que lorsque λ_c augmente la poussée s'accroît également. Des valeurs de λ_c égales à 5-6 sont spécifiques des maquereaux ou des thons. Pour l'espadon, $\lambda_c = 5,7$ alors que λ_c est égale à 6,8 pour le voilier Atlantique et 9,2 pour les marlins! OVCHINIKOV estime qu'une nageoire échancrée aura une poussée plus importante qu'une nageoire qui ne l'est pas car à grande vitesse, la pression dynamique sur une nageoire sans échancrure n'est pas uniformément répartie: le centre d'une telle nageoire sera le siège d'une faible surpression entraînant des problèmes de friction et une augmentation de la traînée; cette partie a une portance limitée. En la supprimant, la traînée sera réduite et la poussée sera ainsi améliorée.

$$B = \frac{S_c + E}{S_c} \quad (E = \text{Surface de l'échancrure})$$

Une nageoire caudale avec de bonnes aptitudes hydrodynamiques aura une valeur B élevée. Chez le marlin, cette valeur est de l'ordre de 3,5 alors qu'elle n'est que de 2,4 chez l'espadon.

Ainsi, l'imposante masse musculaire actionne le pédoncule caudal dont la rigidité empêche la formation d'ondes de flexion. De ce fait, toute l'énergie est transmise à la nageoire caudale dont les battements puissants assurent la poussée. Le secret de la vitesse réside dans la forme en flèche de la nageoire caudale et dans sa faible surface comparativement à son envergure. "Ces poissons océaniques ont manifestement "découvert" la forte poussée obtenue lorsqu'une nageoire en flèche oscille avec la rapidité selon des petits angles d'attaque... La perte de flexibilité, la diminution des angles d'incidence doivent trouver plus que leur compensation en ce qui concerne la rapidité, dans la surface de la nageoire caudale, sa forme et la vitesse de ses battements." (M.G. MARSHALL)

Tous ces critères sont optimisés chez les

marlins qui grâce à leurs particularités anatomiques sont incontestablement les meilleurs sprinters des océans.

Espèces	Ls (cm)	λ_c	B
Marlin bleu	180	9,2	3,5
Espadon voilier	150	6,8	3,2
Espadon	165	5,7	2,4

Ls = longueur standard

Quelques chiffres de l'hydrodynamique de la nageoire caudale des Xiphiidés (d'après OVCHINIKOV).

II) LES CONTRAINTES HYDRODYNAMIQUES A GRANDE VITESSE:

Un animal se déplaçant dans le milieu aquatique est soumis schématiquement à deux forces antagonistes: la première est une force propulsive, la seconde, dont une part importante résulte de la viscosité du milieu aqueux, freine la progression.

L'acquisition d'une vitesse de nage élevée dépendra à la fois de l'intensité de la force propulsive (envisagée précédemment) et de diverses adaptations morphologiques permettant de diminuer les efforts hydrodynamiques. A ce propos, si l'on compare la partie arrière des animaux les plus rapides, on observe une certaine similitude dans la forme de celle-ci. Chez les thons, les requins, les xiphiocidés cette partie peut-être approximativement comparée à un cône plus ou moins étiré selon les spécimens. Par contre, l'évolution a laissé une plus grande latitude à la forme de la partie avant du corps: la comparaison d'une tête de requin mako avec celle d'un thon, d'un dauphin ou celle d'un marlin, souligne la variété des essais adaptatifs dans la recherche d'une forme offrant une résistance minima.

Les aérodynamiciens soulignent qu'une forme hydrodynamique parfaite n'existe pas. Une forme hydrodynamique très performante à une certaine vitesse, le sera moins à une autre, et cela parce que les contraintes imposées par le milieu aquatique varient avec la vitesse.

Un marlin qui se déplace à 100 km/h dans l'eau doit avoir nécessairement des particularités hydrodynamiques lui permettant de réaliser de telles performances.

La forme effilée du corps est un caractère communément associé à de bonnes performances. La possibilité de replier les nageoires le long du corps améliore encore le profil de l'animal, mais la grande originalité anatomique des marlins par rapport aux thons, dauphins et requins est matérialisée par le prolongement de la mâchoire supérieure en un rostre élané. Quelle pourrait-être l'explication biologique d'un tel organe? Nous avons précédemment montré que le rôle de ce rostre dans la prise de nourriture n'était pas déterminant. Certains auteurs estiment qu'il pouvait être un organe dissuasif face à d'éventuels prédateurs.

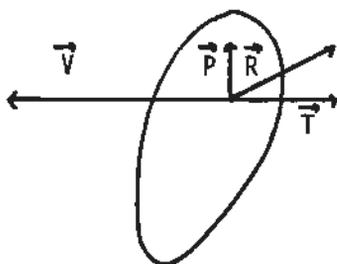
Quant à l'aspect hydrodynamique du rostre, il n'a pas été vraiment étudié.

Il nous a semblé particulièrement intéressant de rechercher les conséquences que pouvait avoir le rostre sur l'écoulement de l'eau le long du poisson, et de là, évaluer son influence sur la résistance totale. Pour cette étude, nous présenterons tout d'abord quelques notions essentielles d'aérodynamique que nous tenterons, par la suite, d'appliquer au cas des marlins.

2-1 NOTIONS D'AÉRODYNAMIQUE:

2-1-1 Trainée, Portance et coefficients C_x , C_z associés

Un corps en mouvement avec une vitesse \vec{V} dans un fluide réel subit toujours de la part de ce fluide une résistance qui s'oppose au mouvement. Plus généralement, le système de forces qui s'applique sur l'obstacle peut se réduire à une résultante \vec{R} que nous décomposerons en une composante parallèle au vecteur vitesse \vec{V} et une composante perpendiculaire à ce vecteur:



La trainée \vec{T} est la projection sur le vecteur vitesse de l'effort résultant \vec{R} .

La portance \vec{P} est la projection perpendiculaire au vecteur vitesse de l'effort résultant \vec{R} .

L'analyse dimensionnelle de ces forces permet de définir deux coefficients C_x et C_z associés à T et P par:

$$T = \frac{1}{2} C_x \rho V^2 S_{ref}$$

$$P = \frac{1}{2} C_z \rho V^2 S_{ref}$$

Où ρ est la masse volumique du fluide, V , le module de la vitesse, S_{ref} est une surface de référence (nous choisirons la surface du maître-couple, correspondant à la section la plus grande du corps.

Chez les marlins, cette section est située au niveau de la base des nageoires pectorales.)

C_x et C_z sont appelés respectivement coefficient de trainée et coefficient de portance. Nous n'envisagerons dans notre étude que les effets de la trainée. Nous étudierons les phénomènes d'efforts aérodynamiques uniquement pour un corps se déplaçant à l'incidence de portance nulle conduisant à un déplacement horizontal du poisson. La poussée d'Archimède équilibre le poids du poisson qui de ce fait ne requiert pas de portance hydrodynamique dans ce type de mouvement.

On peut noter ici que les nageoires pectorales (qui par analogie peuvent être comparées aux ailes d'un avion) sont repliées le long du corps lors de nages rapides. Si le poisson désire modifier sa trajectoire (latéralement ou verticalement) le déploiement de ces nageoires lui permet d'effectuer le mouvement par apparition de portance. La valeur de P sera donc en première hypothèse considérée soit nulle, soit très faible devant la valeur de T .

L'analyse du coefficient de trainée C_x montre qu'il est fonction:

- de la forme géométrique du corps
- de la rugosité de la surface du corps

$$- \text{ du nombre de REYNOLDS } Re = \frac{\rho V l}{\mu}$$

que nous expliciterons par la suite.

La trainée contient un terme de frottement et un terme de pression ppelé aussi résistance de forme. Ainsi nous pouvons décomposer le coefficient de trainée C_x en deux éléments sans dimension:

$$C_x = C_{xf} + C_{xp}$$

C_{xf} = coefficient de trainée de frottement

C_{xp} = coefficient de trainée de pression.

2-1-2 Principe de l'étude

hydrodynamique:

a) Fluide parfait - Fluide réel -

Couche limite:

La démarche consiste dans un premier temps à étudier le comportement aérodynamique d'un corps en fluide parfait, c'est à dire un fluide ayant une viscosité nulle. Par ailleurs, la vitesse du poisson étant faible par rapport à la célérité du son dans l'eau, l'étude s'effectue dans le domaine incompressible. Le paradoxe de d'Alembert indique que pour un corps non portant la projection sur le vecteur vitesse des forces aérodynamiques s'exerçant sur un tel corps est nulle. En d'autres termes, la trainée en fluide parfait consécutive au déplacement de ce corps est nulle.

Dans un deuxième temps, on prend en compte les phénomènes liés à la viscosité et on relie les effets en fluide parfait aux effets en fluide réel par la formule:

$$\vec{F}_{\text{réel}} = \vec{F}_{\text{FP}} + \iint_{\text{m}} - (p_{\text{réel}} - p_{\text{FP}}) \vec{n} dS + \iint_{\text{m}} \vec{\tau} \vec{n} dS$$

où $\vec{F}_{\text{réel}}$ = efforts aérodynamiques en fluide réel

\vec{F}_{FP} = efforts aérodynamiques en fluide parfait
(0 d'après ce qui précède)

$P_{\text{réel}}$ = valeur locale de la pression en fluide réel

P_{FP} = valeur locale de la pression en fluide parfait

\vec{n} = vecteur normal dirigé vers l'extérieur du corps.

dS = élément de surface considéré

$\vec{\tau}$ = tenseurs des contraintes, proportionnel à la viscosité et aux gradients de vitesse.



Ainsi qu'il l'a été énoncé précédemment, les effets en fluide réel dépendent du nombre de REYNOLDS:

$$Re = \frac{\rho}{\mu} V \times L = \frac{V L}{\nu}$$

V: Vitesse

L: longueur du corps considéré

ρ : masse volumique du fluide

μ : coefficient de viscosité dynamique

ν : $\frac{\mu}{\rho}$: coefficient de viscosité cinématique

$\nu = 1,188 \cdot 10^{-6}$ (ainsi pour un marlin de 3 m nageant à 100 km/h (28 m/s) $Re \approx 7 \cdot 10^7$)

Ce nombre de Reynolds apparait comme étant une quantité proportionnelle au rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité. Un petit nombre de REYNOLDS caractérise les mouvements où les forces de viscosité sont prépondérantes. Un grand nombre de REYNOLDS (de l'ordre de 10^5 et plus, caractérise ceux pour lesquels ce sont les forces d'inertie qui l'emportent.

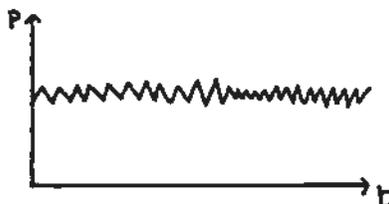
Lorsque ce nombre est grand, on s'aperçoit que les effets dus à la viscosité du fluide sont confinés dans une zone située près du corps, zone qui occupe un domaine d'épaisseur très petite par rapport à l'épaisseur du corps, ce qui explique que pendant longtemps elle ait échappé à l'observation expérimentale: cette zone est appelée couche limite.

Cette notion de couche limite permet de donner une explication à de nombreux phénomènes de mécanique observés avec des fluides visqueux: résistance aérodynamique, formation de sillages... D'autres observations montrent que cette couche limite peut être de deux natures bien distinctes: un capteur, par exemple de pression, mis à l'intérieur d'une couche limite peut faire deux types de signaux:

1) soit un signal parfaitement constant dans le temps



2) soit un signal cabotique dépendant du temps



De cette constatation résultent les terminologies laminaire et turbulent. Il existe donc des couches limites laminaires et des couches limites turbulentes, le passage de l'une à l'autre s'effectuant par une phase intermédiaire complexe appelée transition. Une couche limite laminaire peut être par la pensée, assimilée à un état d'équilibre plus ou moins stable, dans ce sens qu'une perturbation peut ou non provoquer la déstabilisation, c'est à dire le passage en turbulent.

b) Conséquences de la nature de la couche limite:

Le terme $\int_{0}^{x} \tau \, dx$ conduit à ce qui est appelé la trainée de frottement, à laquelle est associée le coefficient de trainée de frottement C_{xf} . On constate expérimentalement (vérifié par les calculs) que pour un même nombre REYNOLDS (vitesse, viscosité identiques...) que :

$[C_{xf}] \text{ laminaire} < [C_{xf}] \text{ turbulent}$

Ce qui revient à énoncer qu'une couche limite laminaire frotte moins qu'une couche limite turbulente. Donc, au niveau du terme C_{xf} il est clair que l'on a "intérêt" à avoir une couche limite laminaire.

Envisageons le second terme: $\frac{1}{2}(\rho_{\infty} V_{\infty}^2 - P_{FF}) \, dx$, associé au coefficient de trainée de pression C_{xp} . Ce terme conduit à une trainée de pression et il n'est important que lorsque les obstacles entraînent ce qui est appelé un décollement: on s'aperçoit, en fait, que le fluide "refuse" de suivre le contour de l'obstacle et s'en échappe (en anglais "séparation"). Plus ce décollement a lieu tôt et plus l'écart se creuse entre les répartitions de pressions en fluide réel et fluide parfait.

On constate que les couches limites turbulentes résistent mieux au décollement que les couches limites laminaires: le décollement se produit plus tard en présence d'une couche limite turbulente. Il en résulte un sillage moins épais et donc une résistance de pression moindre. Donc au niveau de ce terme, il est préférable d'avoir une couche limite turbulente que laminaire.

Les deux éléments antagonistes étant mis en présence, que vaut-il mieux avoir en définitive? Recherchons

tout d'abord les raisons qui font qu'une couche limite est laminaire ou turbulente:

1- Le nombre de REYNOLDS:

Plus celui-ci est grand, plus les chances d'avoir une couche limite turbulente sont grandes. Le domaine laminaire s'étend approximativement jusqu'à $Re = 10^5$.

2- Préturbulence du fluide à l'aval de l'obstacle: plus elle est grande, plus le passage en turbulent est probable.

3- L'état de la surface de l'obstacle: plus la paroi présente des aspérités, plus le risque de passage en turbulent est probable.

4- Le gradient longitudinal de pression $\frac{dp}{dx}$

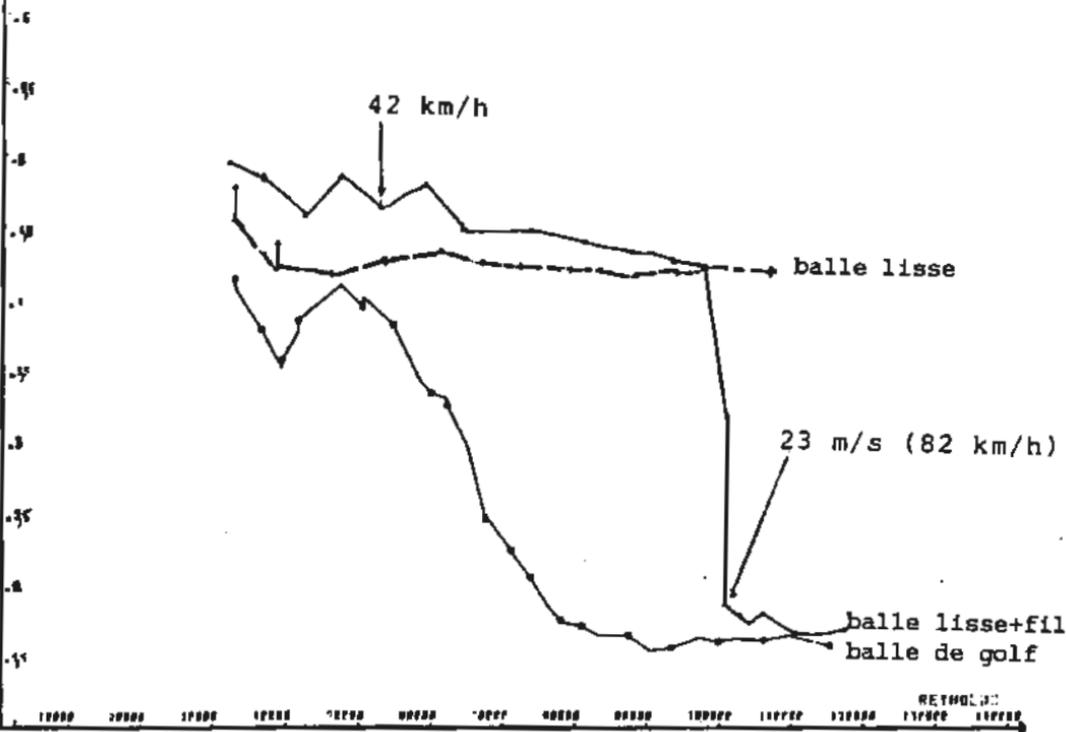
plus celui-ci est élevé, plus la couche limite aura tendance à passer en turbulent. Ce gradient dépendra de la forme du corps.

exemple: cas de la sphère

Nous nous baserons sur des expériences menées par Monsieur le Professeur BONNET à l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace: soient deux sphères lisses, identiques, se déplaçant à la même vitesse, dans le même fluide à un nombre de REYNOLDS de 12 000. Les états de préturbulence sont les mêmes. La première sphère est parfaitement lisse alors que sur la deuxième un fil très mince est placé sur sa surface. A l'étonnement général, c'est la sphère rugueuse qui a un coefficient de traînée le plus faible et donc la force de traînée la plus petite.

Explications: au nombre de REYNOLDS précisé le système lisse a une couche limite laminaire qui décolle très tôt. De ce fait, le C_{xp} est très grand. Pour la seconde sphère, si la rugosité est suffisante il y a passage en turbulent sur la partie frontale, et cette couche limite turbulente ne décolle du corps qu'à l'arrière. Il en résulte un gain considérable sur le terme de traînée de pression et donc

- BALLE DE GOLF
 - BALLE LISSE (-----)
 - BALLE LISSE + FIL
- sur 86



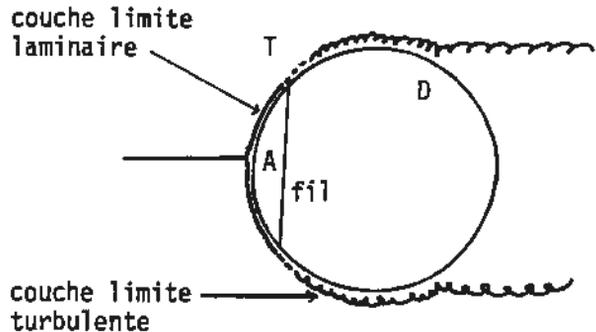
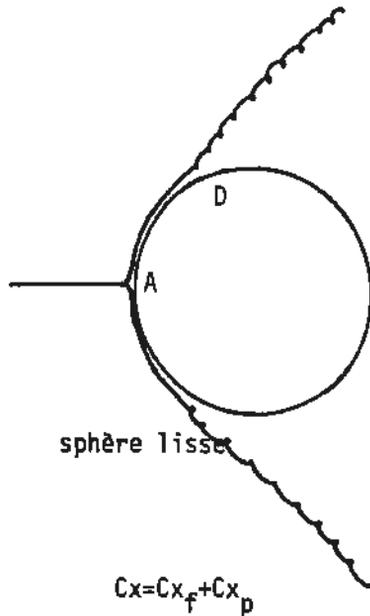
Experiences réalisées à l'Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace à TOULOUSE sur différentes balles. La taille des balles dans les trois expériences est la même.

globalement un gain de trainée totale même si la trainée de frottement est augmentée dans le deuxième cas.

A: point d'arrêt

D: " " de décollement

T: zone de transition



C_{x_f} augmente, C_{x_p} diminue
mais $(C_{x_f} + C_{x_p})$ diminue

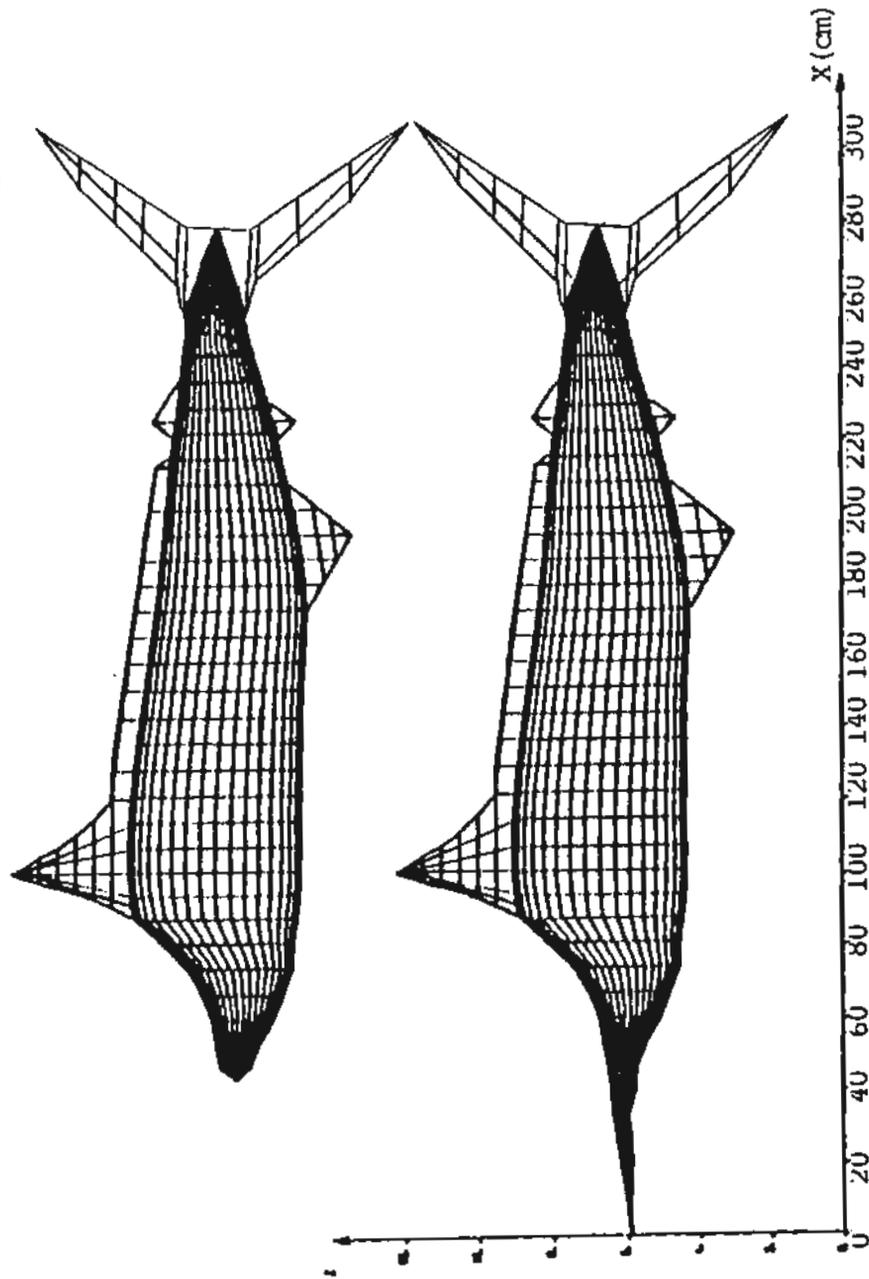
Un exemple plus familier peut être représenté par une balle de golf. Celle-ci n'a pas une surface lisse: le grand nombre d'alvéoles à la surface de cette balle, joue le même rôle que le fil de l'expérience précédente. En créant des turbulences, elles permettent à la balle d'avoir une trainée beaucoup plus faible.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que dans le cas où un décollement de la couche limite est prévisible, un corps en déplacement aurait "intérêt" à posséder une structure, antérieure au point de décollement, permettant de faire passer la couche limite laminaire en couche limite turbulente retardant ainsi le décollement de la couche limite et diminuant par conséquent la trainée de pression.

MARLIN AVEC ROSTRE COMPLET
MISE DE PAGES = 750

MARLIN SANS ROSTRE COMPLET
MISE DE PAGES = 600

NET. 21. - 4.
NET. 27. - 4.
NET. 22. - 4.



2-2 ETUDE DE L'HYDRODYNAMIQUE DES MARLINS:

Nous nous attacherons tout particulièrement à l'étude du rostre.

2-2-1 Matériel d'étude:

Pour étudier l'influence du rostre sur les capacités hydrodynamiques du marlin, nous voulions constituer deux modèles: un modèle avec rostre, et un modèle dont le rostre "s'arrête" au niveau de l'extrémité de la mâchoire inférieure.

Pour étudier ces deux formes en fluide parfait, première étape de l'étude hydrodynamique, nous avons pu utiliser les logiciels de l'Aérospatiale qui nous ont permis de réaliser un modèle théorique à partir de dimensions de marlins bleus. Ce modèle, en trois dimensions, représentatif de la forme du poisson dans son ensemble, ne tient pas compte de toutes les particularités de la surface du corps. L'ordinateur réalise ensuite un maillage sur toute la surface du modèle selon la technique employée pour les fuselages d'avions. Du modèle avec rostre, on déduit la forme sans rostre en modifiant quelques points à l'extrémité antérieure du modèle. Ainsi, mise à part l'extrémité antérieure, les deux modèles avec ou sans rostre sont rigoureusement identiques.

2-2-2 Etude en fluide parfait:

a) principe:

L'Aérospatiale dispose de logiciels capables de calculer, pour un maillage donné, les contraintes aérodynamiques qui s'exercent sur un corps se déplaçant dans un milieu hypothétique appelé fluide parfait.

Pour tenter d'aborder les phénomènes aérodynamiques, des hypothèses de calcul sont inévitables. Les approximations sont toutefois satisfaisantes si l'on en juge par les performances réalisées dans l'aéronautique. Lorsque les effets de la viscosité sont négligeables, les équations de NAVIER-STOKES se simplifient et on obtient les équations d'EULER qui régissent les fluides parfaits. Pour un écoulement de fluide permanent dont la vitesse a été

choisie à mach 0,100 et l'incidence nulle, l'ordinateur calcule (selon la méthode dite de singularité) la valeur de la vitesse sur chaque petit pavé. Cette méthode théorique de détermination des champs de vitesse est confiée au CRAY, ordinateur très puissant utilisé à la fois par l'Aérospatiale ainsi que par d'autres grandes sociétés européennes.

Une fois la vitesse sur chaque pavé connue (nombre de pavés de l'ordre de 800 pour le marlin, 8000 pour un Airbus) l'ordinateur calcule un coefficient de pression K_p (ou C_p):

$$K_p = 1 - \left(\frac{V}{V^\infty} \right)^2$$

V = vitesse locale du fluide sur le pavé

V^∞ = vitesse de l'écoulement à l'infini aval
ici $V^\infty = \text{mach } 0,100$

Les zones où la vitesse locale est inférieure à V^∞ sont caractérisées par des valeurs positives de K_p , la valeur maximale 1 étant atteinte au point d'arrêt où $V = 0$. Inversement, les zones où la vitesse locale est supérieure à V^∞ , le coefficient de pression K_p est négatif.

Par ailleurs, les zones où K_p diminue caractérisent un régime de détente (V croît) tandis qu'inversement les augmentations de K_p caractérisent les compressions (V décroît).

b) Intérêt de la méthode:

1*) Ces résultats sont indispensables pour le calcul de couche limite

2*) Ils permettent, à partir de quelques hypothèses de comparer deux corps peu différents.

3*) L'intégration sur tout le corps de la valeur des K_p donne le C_x global (coefficient de trainée) or en fluide parfait, ce C_x est nul. Si l'on intègre les efforts en fluide parfait sur la partie frontale (jusqu'au maître-

couple) on obtiendra une différence de C_x pour les deux formes. Le C_x calculé sera un C_x partiel.

c) Résultats:

¶ valeurs des C_x :

Les calculs des C_x effectués de l'extrémité antérieure de chaque forme jusqu'au maître couple donnent les résultats suivants:

$$\text{forme sans rostre: } C_x = 1,265 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{forme avec rostre: } C_x = 1,070 \cdot 10^{-2}$$

Ainsi, en fluide parfait, les efforts aérodynamiques sur la partie antérieure du corps sont environ 18,5% plus grands lorsque une certaine partie du rostre est enlevée.

Nous pouvons calculer grâce à ces résultats l'intensité de la forme aérodynamique s'opposant à l'avancement d'un marlin "nageant" à 100 km/h dans l'eau, en supposant que les valeurs des C_x soient les mêmes:

$$T = \frac{1}{2} C_x \rho V^2 S_{\text{ref}}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V^2 = \left(\frac{100}{36} \right)^2$$

$$S = \pi (0,2) \times (0,3)$$

$$\text{Pour la forme sans rostre } T = 920 \Leftrightarrow T = 94 \text{ kg}$$

$$\text{Pour la forme avec rostre } T = 780 \Leftrightarrow T = 79,3 \text{ kg}$$

Dù doit-on rechercher cette différence de C_x . Si l'on considère la représentation en couleur des K_p sur le corps, on s'aperçoit que l'absence de rostre entraîne la formation, au niveau du point d'arrêt, d'une zone de forte compression (bleue). Si l'on effectue la sommation des K_p sur une surface située à un point d'abscisse $x = 5,7$ (voir maillage) on obtient:

pour la forme sans rostre $C_x = 2,06 \cdot 10^{-2}$

et pour la forme avec rostre $C_x = 1,74 \cdot 10^{-2}$

soit une différence de $3 \cdot 10^{-3}$.

Les résultats établis par le calcul montrent qu'à partir de ce point les variations de C_x partiels varient très peu, en aval, d'une forme à l'autre, ce qui est illustré par les représentations en couleur où les répartitions des différents coloris semblent correspondre. Les C_x mesurés par rapport au maître couple présentaient une différence de $2 \cdot 10^{-3}$ environ. Cette différence est à rechercher dans l'effort aérodynamique de l'extrémité de la forme sans rostre. Cette partie, bien que de taille réduite, est bien plus résistante que la partie du rostre "sectionnée". En terme de pression, ceci se traduit par le fait que les variations des forces élémentaires sont supérieures dans la forme sans rostre par rapport à la forme complète, sur laquelle les efforts évoluent plus lentement.

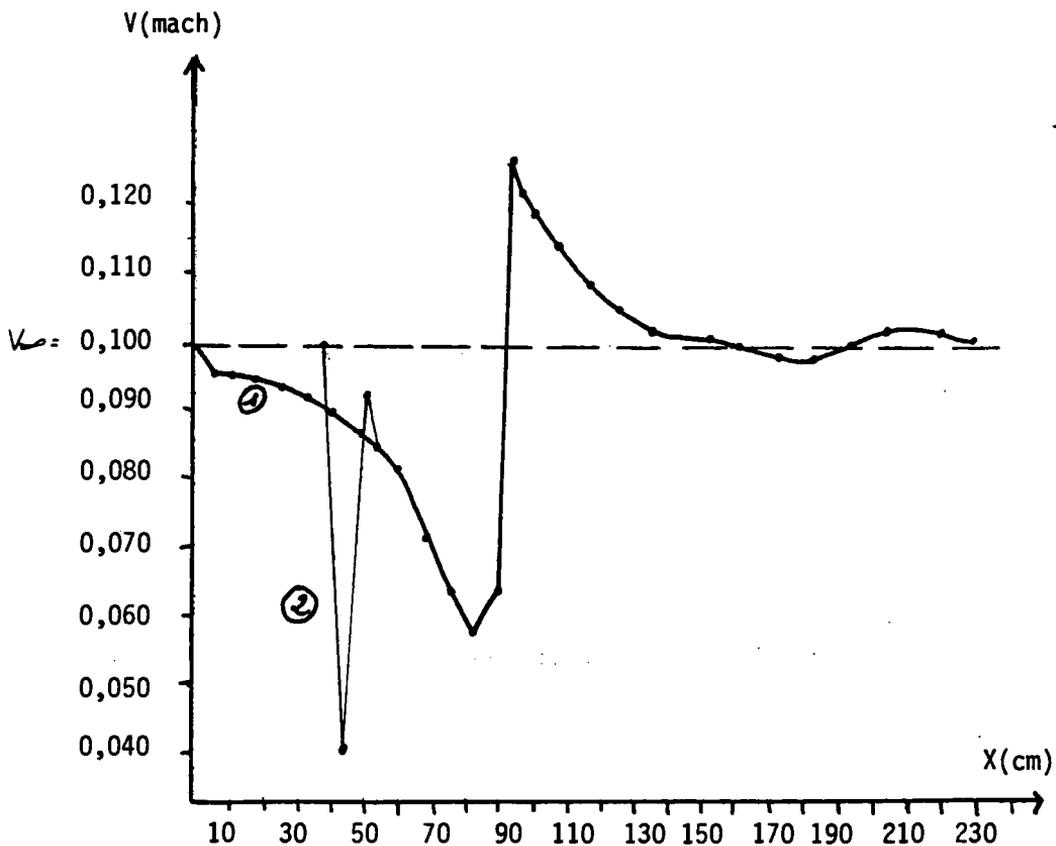
* Gradients de vitesse:

Il est intéressant d'étudier l'évolution des vitesses le long du corps car l'on a montré qu'en fluide réel les gradients de vitesse (ou de pression) ont une grande importance dans le passage d'une couche limite de l'état laminaire à l'état turbulent. En examinant la représentation en couleur, on remarque que la zone où les C_p varient le plus rapidement est située, pour les deux formes, au sommet du front. Nous pouvons figurer sur une courbe les variations de vitesse d'une particule se déplaçant à la surface du corps dans le voisinage du plan sagittal (y voisin de 0).

PAGE CI CONTRE :représentation sur le corps d'un marlin de la valeur des C_p . A chaque C_p est associé une couleur .
Pour une vitesse inférieure à V_∞ : C_p positif
Pour une vitesse supérieure à V_∞ : C_p négatif

($V_\infty = \text{mach } 0,100$)





Vitesse d'une particule à la surface du corps
dans le plan saggital-

1-avec rostre

2-sans rostre

à partir de $x=5,7$ les deux courbes
sont identiques

Sur la forme avec rostre une telle particule diminuera progressivement jusqu'à un minimum pour accélérer ensuite brutalement et retrouver enfin la vitesse d'origine.

Pour la forme sans rostre, les phénomènes suivants ont lieu:

- décélération brutale
- accélération brutale
- décélération progressive
- accélération à nouveau très brutale
- décélération progressive.

Ces trois derniers phénomènes sont identiques à ceux enregistrés sur la forme avec rostre (voir courbe).

Nous indiquerons quelles pourraient être les conséquences de ces résultats.

2-2-3 HYPOTHESES EN FLUIDE REEL:

Lorsque l'on passe un fluide réel, le problème du décollement de la couche limite devient essentiel.

Supposons que ce décollement se produise au même endroit pour les deux conformations. Dans ce cas, on s'aperçoit que la répartition des pressions en fluide réel est peu différente (tant que l'on n'a pas atteint le décollement) de celle calculée en fluide parfait. La répartition des pressions dans la zone de décollement sera notée P_d , l'abscisse du point de décollement x_d , de sorte que:

- forme sans rostre: pour $x < x_d$ $P_{r\text{éel}} = P_{FF} \text{ SR}$
 pour $x > x_d$ $P_{r\text{éel}} = P_d$
- forme avec rostre: pour $x < x_d$ $P_{r\text{éel}} = P_{FF} \text{ PR}$
 pour $x > x_d$ $P_{r\text{éel}} = P_d$

La pression de la forme décollée étant pratiquement identique dans les deux cas, la différence

d'effort due à la pression entre les deux modèles est uniquement liée à la différence d'effort sur la partie antérieure accessible par le calcul fluide parfait. Compte tenu des résultats déjà énoncés, on s'aperçoit que le rostre diminue donc, à priori, la traînée d'un corps par élimination de la zone de compression décelable dans la forme sans rostre.

L'interprétation précédente a été effectuée en supposant le décollement au même point. Or la présence du rostre fait qu'en un point quelconque sur le poisson, la couche limite a une origine plus lointaine dans le cas avec rostre que sans rostre. Il en résulte un nombre de REYNOLDS plus grand, favorable au passage en turbulent, passage favorisé également par l'aspect rugueux du rostre. Les travaux réalisés en fluide parfait ont montré qu'à l'amont du maître couple, il existe une zone où les gradients de pression sont très importants.

Supposons qu'en fluide réel, cette forte variation de pression, favorable à un éventuel décollement, soit situés au même endroit. Il en résulterait que pour un poisson avec rostre la couche limite soit turbulente plus tôt permettant ainsi un décollement retardé par rapport au cas du poisson sans rostre. Nous serions alors dans le cas d'une configuration pour laquelle le gain global de traînée serait favorable: CX_p diminue, CX_r augmente mais le Cx global ($Cx_p + Cx_r$) diminue. Les calculs n'ayant pu être effectués, nous en sommes réduit à ces suppositions. Les mesures en bassins d'étude sur des modèles artificiels ne semblent pas actuellement être envisageables du fait de la grandeur des vitesses atteintes. Toutefois, il semblerait que le rostre puisse être une importante adaptation morphologique pour la nage à grande vitesse, réduisant la traînée globale par une diminution de la traînée de pression et ainsi permettre au poisson d'économiser de l'énergie.

2-2-4 AUTRES PARTICULARITES ANATOMIQUES:

a) allongement de la partie postérieure du corps:

Certains auteurs (OVCHINIKOV, MARSHALL) estiment que l'allongement de la partie postérieure du corps est un

caractère important pour la réduction de la trainée. Chez les thons et l'espadon, le pourcentage entre les parties situées en amont et en aval du maître couple sont de 50%-50%. Chez les marlins, ce rapport est de 40% et 60% pour la partie postérieure. Cet allongement donne au corps un profil plus rectiligne, ce qui permettrait d'éviter un décollement prématuré de la couche limite.

b) Carènes:

Selon OVCHINIKOV, ces formations joueraient le rôle de déflecteurs. Situées vers le milieu de la nageoire caudale, elles accéléreraient le courant d'eau et réduiraient ainsi la pression dynamique à cet endroit de la nageoire. Ceci réduirait la formation des tourbillons qui se développent lors des battements latéraux des nageoires, diminuant par voie de conséquence la valeur de la trainée.

c) Revêtement cutané:

Chez les adultes, les écailles sont placées intérieurement dans l'épiderme. La rigidité de la peau est ainsi améliorée et sa surface présente une rugosité moindre.

De plus les marlins synthétisent un mucus recouvrant et lubrifiant la surface de la peau, ce qui limite les forces de frottement.

Contrairement à la peau des dauphins, celle des marlins n'a pas encore été l'objet d'étude particulière.



CONCLUSION

CONCLUSION

Cette étude sur les marlins nous a permis de souligner quelques unes des originalités de ces poissons. Toutefois, les travaux scientifiques effectués sur ces animaux n'ayant pas été l'objet d'approfondissements particuliers, nous avons été parfois contraint de soulever des questions sans pouvoir apporter de réponses satisfaisantes. Mais ceci ne fait qu'accroître le caractère fascinant de ces créatures.

Leur adaptation à la nage rapide nous a conduit à rechercher les particularités anatomiques qui concouraient à la réalisation de telles performances. Leur corps effilé et comprimé latéralement était le premier signe laissant présager une grande aptitude pour la vitesse. Nous avons montré que la longueur et la rigidité du pédoncule caudal, actionné par les puissants muscles blancs agissant sur une nageoire caudale à grand allongement, permettaient d'améliorer la puissance des mouvements propulsifs.

Quant au rôle hydrodynamique du rostre, si nos travaux ne permettent pas d'apporter une réponse catégorique, ils indiquent comment cet organe pouvait contribuer à diminuer les phénomènes de résistance qui s'opposent à l'avancement dans le milieu aquatique. Ce travail constitue la première partie d'une étude qui pourrait être poursuivie en bassin d'étude. Le caractère onéreux de ces expérimentations, ne justifie peut être pas de telles recherches à l'heure actuelle. Pourtant, l'intérêt croissant consacré à l'exploitation des océans pourrait susciter une étude hydrodynamique approfondie de ces animaux dont le profil semble être le plus performant à de grandes vitesses.

Il manquerait, peut être, pour une meilleure connaissance de ces poissons, une partie consacrée à la pêche sportive. Notre piètre expérience dans ce domaine nous aurait conduit à ne proposer qu'un misérable plagiat de l'oeuvre savoureuse de Pierre Clostermann sur la grande pêche sportive: "Des poissons si grands". Les amateurs de ce sport trouveront dans l'ouvrage du héros de la seconde guerre mondiale, les renseignements qu'ils recherchent.

Nous souhaitons néanmoins, que les pêcheurs puissent trouver dans notre travail des détails leur permettant d'apprécier encore davantage ces créatures merveilleuses.

Qui sont ces fous qui osent s'attaquer à de tels animaux? " Des vicieux heureux " selon Pierre Clostermann. Des rêveurs ou des optimistes irréductibles qui n'ont certainement pas honte de s'adonner aux plaisirs de la surenchère lyrique: avec les marlins les grands mouvements de bras ne suffisent plus pour décrire ces animaux; ici on vous parle en mètres et en centaines de kilogrammes.

Laissons à Pierre Clostermann le soin de décrire leurs motivations:

"chaque être humain est peu ou prou, consciemment ou non, à la recherche d'un quelque chose parfois indéfinissable, souvent absurde aux yeux des autres, mais toujours merveilleux pour lui...

Pour vivre, un homme du vingtième siècle doit conserver, malgré les murs, les cadenas, les barreaux, un peu de ce désir de conquête impossible. La vocation n'est qu'un idéal d'activité quotidienne. C'est en somme le choix de la cage dont la clef reste le rêve. Pas plus l'évasion que la victoire ne sont jamais complète. Du faite d'une montagne on découvre toujours une plus haute...

Et bientôt il faut chercher, plus loin, plus haut, plus grand.

Les échecs - moins amers que les succès - ne sont que des étapes. Le vrai, le pur sportif sait surmonter les déceptions, en tirer des enseignements, des souvenirs qui renforcent le désir, le respect et l'amour.

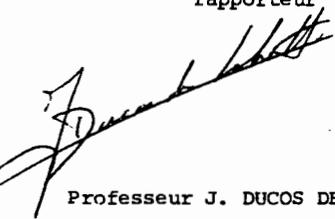
Deux fois j'ai failli à saisir mon rêve personnel de pêcheur au travers des portes entrouvertes par le hasard. La première fois c'était en Nouvelle Zélande..."

Pour mieux cerner la psychologie de ces pêcheurs citons l'éternelle question affichée en grandes lettres d'or au dessus du bar du Catalina Fishing Club:

"Tous les pêcheurs sont-ils des menteurs ou n'y a-t-il que les menteurs qui pêchent?"

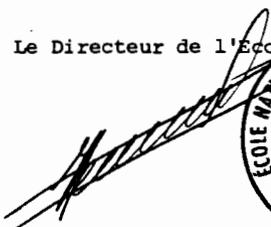
Soyez clément: si un jour, vous avez l'occasion d'écouter l'un d'entre eux raconter une histoire merveilleuse, souvenez-vous qu'un vrai pêcheur ne ment jamais, il exagère, tout au plus.

VU : Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire
rapporteur



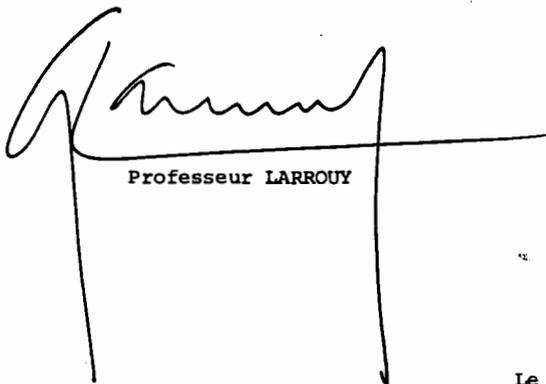
Professeur J. DUCOS DE LAHITTE

VU : Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire



Professeur J. FERNEY

VU : Le Président de la Thèse



Professeur LARROUY

VU et PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le *11 Février 1987*
Le Président de l'Université Paul Sabatier



- J. CONTE

- MERRETT N.R. Gonad development in billfishes (*Istiophoridae*) from the Indian Ocean.
1970 J. Zool., London, 160: 355-370.
- Aspects of the biology of billfishes (*Istiophoridae*) from the equatorial western Indian Ocean.
1971. J. Zool. London 163: 351-395.
- NAKAMURA I. Some aspects of the systematics and distribution of billfishes. 1974
NOAA Tech. Rep. NMFS (Spec. Sci. Rep. Fish. Ser.), (675) Part 2: 45-53.
- Systematics of the billfishes (*Istiophoridae* and *Xiphiidae*). 1985
Publ. Seto Mar. Biol. Lab., 28 (5/6): 255-396
- FAO species catalogue. Vol. 5 Billfishes of the world.
An Annotated and illustred catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. 1985.
E.A.O. Fish. Synop., (125) Vol. 5 : 65 p
- OVCHINIKOV V.V. Swordfishes and billfishes in the Atlantic Ocean. Ecology and functional morphology. 1970
Kalingrad, Atlantic Scientific Research Institute for fisheries oceanography. Translated into English by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 77 p, (1971)
- RIVAS L.R. Synopsis of biological data on blue marlin, *Nakaira nigricans*.
Lacepede, 1802. NOAA Tech. Rep. NMFS (spec. sci. Rep. Fish. Ser.) (675) Part 3: 1-16.
- UEYANAGI S. and WARES P.G.
Synopsis of biological data on striped marlin, *Tetrapturus audax* (Philippi), 1887.
NOAA Tech. Rep. NMFS (Spec. Sci. Rep. Fish. Ser.) (675) part 3: 132-159. 1975.

NOM : HEBRAUD

PRENOM : FREDERIC

TITRE: CONTRIBUTION A L'ETUDE DES MARLINS DU GENRE
MAKAIRA ET DE L'ESPECE *TETRAPTURUS AUDAX*

RESUME:

Les marlins étudiés sont les animaux capables de nager les plus rapides. Nous avons étudié successivement leur morphologie, leur répartition géographique et quelques aspects de leur biologie.

Suit une analyse de leur appareil locomoteur ainsi qu'une étude de l'influence du rostre sur l'hydrodynamique de ces poissons. Nous avons montré qu'en fluide parfait la différence de C_x entre une forme avec rostre et une forme sans rostre était de 18,5%, la forme sans rostre étant la moins performante.

Ces résultats nous ont conduit à formuler quelques hypothèses sur le comportement de ces modèles en fluide réel.

MOTS CLES:

MARLINS - LOCOMOTION - ROSTRE - HYDRODYNAMIQUE