



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
التعليم

MINISTERE DE L'ESNSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER
LABORATOIRE BIORESSOURCES MARINES

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat

Spécialité : Sciences de la mer
Option: Environnement littoral et ressources vivantes

**Les Sphyraenidés des côtes de l'Est algérien.
Biologie et dynamique de
Sphyraena sphyraena (LINNAEUS, 1758) et
Sphyraena viridensis (CUVIER, 1829)**

Par

Nadjette BOUREHAIL

Devant le Jury composé de:

Présidente: M^{me} Lamy CHAOUI, Professeur, UBMA, Laboratoire Bioressources Marines
Directeur: M. M. Hichem KARA, Professeur, UBMA, Laboratoire Bioressources Marines
Examineur: M. Farid DERBAL, Professeur, UBMA, Laboratoire Bioressources Marines
Examineur: M. Michel BARICHE, Professeur, Université américaine de Beyrouth, Liban
Examineur: M. Farid HEMIDA, Professeur, ENSSMAL, Alger
Examineur: M. Rachid AMARA, Professeur, ULCO, France

Année universitaire: 2020-2021

BOUREHAIL N. (2021) Les Sphyraenidés des côtes de l'Est algérien. Biologie et dynamique de *Sphyraena sphyraena* (LINNAEUS, 1758) et *Sphyraena viridensis* (CUVIER, 1829). Thèse de doctorat, spécialité Sciences de la mer, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 145 pp.

Remerciements

Préalablement à la présentation de ces travaux de thèse, je souhaite remercier nombre de personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Cette étude a été réalisée au sein de Laboratoire Bioressources Marines (Université Badji Mokhtar Annaba). Je souhaite tout d'abord exprimer ma reconnaissance à son directeur M. le Professeur Mohamed Hichem KARA, pour m'avoir accueilli au sein de sa structure d.e recherche et avoir permis la réalisation de ce travail. Merci pour m'avoir encadré, orienté, soutenu et encouragé tout au long de ces années de recherche.

Je tiens à remercier les membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail et qui me font l'honneur de participer.

Je souhaite exprimer ma reconnaissance à Mme Lamya CHAOUI, Professeur à l'Université Badji Mokhtar (Annaba), d'avoir présidé le jury de cette thèse.

J'exprime ma sincère gratitude à Mr Michel BARICHE, Professeur à l'Université américaine de Beyrouth Liban, qui a répondu favorablement à notre invitation pour s'associer au jury de soutenance en qualité d'examineur.

J'assure de ma sincère reconnaissance Mr Rachid AMARA, Professeur à l'ULCO, France, pour m'avoir fait l'honneur de participer à la commission d'examen et de juger ce travail.

J'apprécie vivement l'honneur que me fait Mr Farid HEMIDA, Professeur à l'ENSSMAL (Alger) en acceptant de juger ce travail. Qu'il me soit permis de l'assurer de ma profonde gratitude.

Je suis redevable à Mr Farid DERBAL, Professeur à l'Université d'Annaba qui, inlassablement, a répondu à mes nombreuses requêtes d'informations. Je tiens aussi à le remercier pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Une partie de cette thèse a été réalisée au sein de Laboratoire d'Ichtyologie Tropicale et Méditerranéenne, EPHE-CNRS, Université de Perpignan (France). Je souhaite adresser un immense merci à Dr Raymonde LECOMTE-FINIGER, Chargée de Recherche au CNRS pour sa particulière disponibilité et son soutien ainsi que pour les nombreuses discussions que nous avons eues, et qui m'ont permis de surmonter bon nombre de questions au cours de mes travaux de thèse.

Une guirlande de remerciements aux vrais amis qui m'ont soutenu tout au long de cette phase de ma vie.

Merci aux membres de ma famille pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de la préparation de mon doctorat: cette thèse leur est dédiée.

Enfin merci à toutes les personnes que je n'ai pas citées ici et qui se reconnaîtront dans ces quelques lignes.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Position géographique, bathymétrie (a) et sédimentologie (b) du Golfe d'Annaba.	5
2	Répartition géographique de la famille des Sphyraenidae	11
3	Distribution géographique de quelques espèces de la famille des Sphyraenidés en Méditerranée.	12
4	Caractères métriques prises.	15
5	Spécimen de <i>S. sphyraena</i> (LT = 34,5 cm) (a) avec présence d'écailles sur le preopercule (b) et spécimen de <i>S. viridensis</i> (LT = 83,6 cm) avec des bandes transversales grises sur les flancs (b).	18
6	Comparaison de la hauteur de la première nageoire dorsale (H1) et la hauteur de la deuxième nageoire dorsale (H2) par classe de tailles chez <i>S. sphyraena</i>	21
7	Analyse canonique discriminante (ACD) appliquée aux caractères biométriques de deux Sphyraenidae: <i>S. sphyraena</i> et <i>S. viridensis</i> .	25
8	Outils utilisés pour prise de photos	30
9	Otolithes sagittae droit (R) et gauche (L) de <i>S. sphyraena</i> (LT = 37 cm) et de <i>S. viridensis</i> (LT = 64 cm), capturés dans le golfe d'Annaba.	35
10	Relation métrique entre l'otolithe droit et la longueur totale de <i>S. sphyraena</i> (♀) et de <i>S. viridensis</i> (♂)	35
11	Moyenne du pourcentage cumulé de la puissance de Fourier en fonction du nombre d'harmoniques décrivant le contour de l'otolithe des deux espèces.	37
12	Progression de la reconstruction du contour d'origine de l'otolithe par transformation inverse des descripteurs de Fourier en fonction du nombre d'harmonique.	38
13	Analyse discriminante basée sur les coefficients de Fourier des treize premières harmoniques calculés sur l'otolithe gauche (×) et droites (○) de <i>S. sphyraena</i> et sur l'otolithe gauches (+) et droites (△) de <i>S. viridensis</i>	39
14	Distribution des fréquences de tailles de la population de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	59
15	Variations du sex-ratio (SR) en fonction des mois (A) et de la taille (B) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	60
16	Répartition mensuelle des différents stades macroscopiques de maturité sexuelle chez les mâles (A) et les femelles (B) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	61
17	Variations mensuelles du rapport gonado-somatique (RGS) chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba	62
18	Variations mensuelles du rapport hépato-somatique (RHS) chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	63
19	Variations mensuelles de l'adiposité chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	64
20	Fréquence des individus matures en fonction de la taille chez les mâles (a) et les femelles (b) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	65
21	Distribution des ovocytes en fonction de leur taille chez 5 femelles (a, b, c, d, e) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	67

22	Variations mensuelles du coefficient de vacuité stomacale de <i>S. sphyraena</i> dans le Golfe d'Annaba.	68
23	Variations saisonnières du régime alimentaire de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	69
24	Résultats de la recherche des cohortes par la méthode de Bhattacharya chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	70
25	Écaille avec cal granuleux (a) et écaille illisible (b) à cause de ses anneaux surnuméraires chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	71
26	Évolution mensuelle de l'accroissement marginal (AM) mesuré sur les écailles de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	72
27	Partie antérieure de l'otolithe sagitta de <i>S. sphyraena</i> examinée sous une lumière réfléchie (LT = 20,3 cm, Lo = 6,75 mm).	72
28	Otolithe sagitta de <i>S. sphyraena</i> observé dans l'essence d'anis sous une lumière réfléchie.	74
29	Évolution mensuelle de l'accroissement marginal (AM) mesuré sur les otolithes de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	74
30	Croissances linéaires observée (♣) et théorique (♠) et accroissement annuel théorique (♣) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	78
31	Relation taille-poids chez <i>Sphyraena sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	80
32	Croissance pondérale théorique (♣) et accroissement annuel (♣) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	80
33	Variations du coefficient de condition "K" en fonction de la taille chez les mâles (♣) et les femelles (♣) de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	81
34	Variations mensuelles de coefficient de condition de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	81
35	Détermination de Z à partir de la méthode de Powell-Wetherall et par courbe de captures (Pauly, 1984) chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	82
36	Ponçage d'un otolithe en coupe transversale	89
37	Répartition de la taille de <i>Sphyraena viridensis</i> échantillonnés dans le Golfe d'Annaba.	93
38	Aspect général des gonades mâle (LT = 76 cm) et femelle (LT = 105 cm) de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba	93
39	Variations mensuelles (A) et par classe de tailles (B) du sex-ratio de <i>Sphyraena viridensis</i> dans le golfe d'Annaba.	94
40	Variations mensuelles du rapport gonado-somatique (RGS) chez les femelles et les mâles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	95
41	Variations mensuelles du rapport hépato-somatique (RHS) chez les femelles et les mâles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	96
42	Variations mensuelles de l'adiposité chez les femelles et les mâles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	97
43	Variation mensuelle du coefficient de condition (K) chez les femelles et les mâles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	98
44	Variations du coefficient de condition (K) en fonction des classes de tailles chez les femelles et les mâles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba	99
45	Taille à la première maturité sexuelle chez les femelles et les mâles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	100
46	Évolution mensuelle du coefficient de vacuité stomacal (Cv %) chez <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba. (n: nombre total d'estomac examinés par mois).	101

47	Evolution saisonnière du coefficient de la vacuité stomacale chez <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	101
48	Principaux items ingérés par <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba	102
49	Variations saisonnière des items ingérés par <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba	102
50	<i>Sagitta</i> gauche (à gauche) et droite (à droite) de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba (LT = 64 cm) en face proximale.	103
51	Coupe transversal d'un otolithe <i>sagitta</i> d'un Barracuda <i>Sphyraena viridensis</i> âgé de 7 ans (LT = 751 mm) du Golfe d'Annaba	104
52	Relation entre la longueur totale du corps (LT) et le rayon total (Rt) de l'otolithe chez <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	104
53	Evolution mensuelle de l'accroissement marginale des otolithes de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	105
54	Courbe de la croissance linéaire chez <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba	110
55	Croissance pondérale théorique de <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	110
56	Relation taille-poids chez <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	112
57	Détermination de Z et M à partir de la méthode de Powell-Wetherall et par courbe de captures (Pauly, 1984) chez <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	113
58	Otolithe <i>Sagitta</i> d'un juvénile <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba (LT = 27 cm).	114
59	Aspect général d'une coupe d'otolithe d'un juvénile de <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba (LT = 320 mm).	114
60	Patron de croissance sur l'otolithe d'un juvénile <i>Sphyraena viridensis</i> (250 mm TL, 72 jours) du Golfe d'Annaba.	115
61	Relation Taille-âge chez les juvéniles <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba	116
62	Relation poids-âge chez les juvéniles <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	116
63	Estimation de la date du fraie de <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba, obtenue à partir de la fréquence mensuelle de la longueur individuelle, de l'RGS et du temps d'échantillonnage.	117

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Caractères distinctifs de <i>Sphyraena sphyraena</i> et de <i>Sphyraena viridensis</i> (D'après Relini et Orsi- Relini (1997)).	9
2	Distribution et comparaison des caractères numériques étudiés chez <i>S. sphyraena</i> et chez <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	19
3	Equations de régression et coefficients de corrélation des caractères mesurés en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique de <i>Sphyraena sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	20
4	Equations de régression et coefficients de corrélation des caractères mesurés en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	22
5	Test d'égalité des variances, comparaison de la pente et de la position des droites de régression chez les mâles et les femelles de <i>S. sphyraena</i> et de <i>S. viridensis</i> .	24
6	Pourcentages d'individus correctement classés pour chaque population de <i>S. sphyraena</i> et de <i>S. viridensis</i>	25
7	Indices de forme établis à partir des mesures morphométriques de l'otolithe (modifié d'après Tuset et al., 2003 a, b)	31
8	Moyennes des indices de forme entre les otolithes gauches et droits de <i>S. viridensis</i> (N = 27) et de <i>S. sphyraena</i> (N = 24).	36
9	Récapitulatif des résultats des analyses discriminantes des 52 descripteurs de Fourier, réalisées entre les otolithes gauches et droits des deux espèces.	39
10	Aspect macroscopique et microscopique des différents stades de maturité sexuelle (d'après Aboussouan & Lahaye, 1979).	44
11	Fécondité absolue et fécondité relative de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	68
12	Composition qualitative et quantitative du régime alimentaire du <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	69
13	Résultats des lectures des otolithes sagittae en fonction du milieu d'observation.	73
14	Clé âge-longueur de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba d'après la lecture directe des otolithes et des écailles	75
15	Longueurs moyennes rétrocalculées à l'apparition de chaque anneau d'arrêt de croissance de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	76
16	Comparaison des longueurs totales (en cm) observés et rétrocalculées chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	77
17	Résultats comparatifs des tailles (en cm) aux différents âges déterminés par les différentes méthodes d'âgeage chez <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	77
18	Expressions mathématiques de la relation taille - poids chez la population totale de <i>Sphyraena sphyraena</i> du Golfe d'Annaba.	79
19	Mortalités et taux d'exploitation de <i>S. sphyraena</i> du Golfe d'Annaba	82
20	Comparaison des paramètres de la relation taille-poids de <i>Sphyraena sphyraena</i> dans différentes régions.	86

21	Clé âge-longueur de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba d'après la lecture des otolithes.	106
22	Longueurs moyennes rétrocalculées à l'apparition de chaque anneau d'arrêt de croissance de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	108
23	Comparaison de la longueur observée et de la longueur rétro-calculée chez <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba	109
24	Expressions mathématiques de la relation taille - poids chez la population totale de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	111
25	Mortalités et taux d'exploitation de <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba	113
26	Caractéristiques statistique des mesures effectuées sur les otolithes des juvéniles de <i>Sphyraena viridensis</i> du Golfe d'Annaba.	114
27	Répartition mensuelle des tailles des jeunes moins d'une année (< 57cm) de <i>S. viridensis</i> du Golfe d'Annaba durant la période d'échantillonnage.	117

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	----------

PARTIE I. Généralités

1. Zone d'étude.....	4
1. 1. Bathymétrie et sédimentologie	4
1. 2. 1. Les courants	6
1. 2. 2. Les houles	6
1. 3. Caractères physico-chimiques	6
1. 4. Biodiversité	7
1. 4. 1. Le Phytoplancton	7
1. 4. 2. Le zooplancton	7
1. 4. 3. L'ichtyofaune.....	8
2. Présentation de la famille des Sphyraenidae.....	8
2. 1. Position systématique	8
2. 2. Caractères de la famille	9
2. 2. 1. Critères de différenciation morphologique de <i>S. sphyraena</i> et de <i>S. viridensis</i>	9
2. 3. Le brochet de mer <i>Sphyraena sphyraena</i>	10
2. 4. Distribution géogographique	10
2. 5. Biologie et écologie.....	11

PARTIE II. Discrimination de deux espèces de Sphyraenidés: *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*

Chapitre I. Caractérisation morpho-somatique et différenciation de <i>Sphyraena sphyraena</i> et <i>Sphyraena viridensis</i>	13
---	-----------

Introduction	13
---------------------------	-----------

1. Matériels et méthodes.....	13
1. 1. Caractères numériques.....	13
1. 2. Caractères métriques.....	14
1. 2. 1. Dimorphisme sexuel	16
2. Résultats	17
2. 1. Caractères numériques	18
2. 2. Caractères métriques	19
2. 3. Dimorphisme sexuel.....	23
3. Discussion	26

Chapitre II. Discrimination par l'analyse de forme des otolithes de <i>Sphyraena sphyraena</i> et <i>Sphyraena viridensis</i>	29
Introduction	29
1. Matériels et méthodes	30
1. 1. Extraction des <i>sagittae</i>	30
1. 2. Mesure de la forme des otolithes.....	30
1. 2. 1. Descripteur de distance	30
1. 2. 2. Descripteur du contour de l'otolithe	31
1. 3. Analyse statistique.....	33
2. Résultats	34
2. 1. Discrimination par la masse des otolithes	36
2. 2. Indice de forme.....	36
2. 3. Descripteurs de Fourier elliptiques	37
2. 3. 1. Puissance de Fourier.....	37
2. 3. 2. Transformation inverse des descripteurs de Fourier	37
2. 4. Discrimination des espèces	38
2. 4. 1. Analyse discriminante	38
3. Discussion	40
4. Conclusion	41

PARTIE III. Biologie et écologie de *Sphyraena sphyraena* et de *Sphyraena viridensis*

CHAPITRE I. Biologie et dynamique de l'espèce <i>Sphyraena sphyraena</i>	43
Introduction	43
1. Matériels et méthodes	43
1. 1. Reproduction	43
1. 1. 1. Echelle de maturité sexuelle	44
1. 1. 2. Sex-ratio	45
1. 1. 3. Le rapport gonado-somatique	45
1. 1. 4. Le rapport hépatosomatique	45
1. 1. 5. Adiposité.....	46
1. 1. 6. Taille et âge à la première maturité sexuelle.....	46
1. 1. 7. Fécondité	47
1. 2. Régime alimentaire	48
1. 2. 1. Analyse quantitative	48
1. 2. 1. 1. Le coefficient de vacuité.....	48
1. 2. 1. 2. Le pourcentage en nombre d'une proie (Cn%)	48
1. 2. 1. 3. Le pourcentage en poids d'une proie (Cp%)	49

1. 2. 1. 4. Le nombre moyen des proies par estomac (Nm)	49
1. 2. 1. 5. Le poids moyen des proies par estomac.....	49
1. 2. 1. 6. Fréquence d'une proie	49
1. 2. 2. Classement des proies	49
1. 2. 3. Variation du régime alimentaire en fonction de la taille et de la saison	50
1. 3. Etude de l'âge.....	50
1. 3. 1. Méthode indirecte de détermination de l'âge.....	51
1. 3. 2. Méthode directe de détermination de l'âge	52
1. 3. 2. 1. Relation longueur totale du poisson-rayon totale de la pièce calcifiée	53
1. 3. 2. 2. La clé âge-longueur par la lecture directe de la pièce calcifiée	53
1. 3. 2. 3. Méthode de retrocalcul.....	53
1. 3. 3. Etude de la croissance	54
1. 3. 3. 1. Croissance linéaire de von Bertalanffy (1938).....	54
1. 3. 3. 2. Détermination des paramètres de croissance.....	55
1. 3. 3. 3. Relation taille-poids	55
1. 3. 4. Etudes des mortalités.....	56
1. 3. 4. 1. Détermination de la mortalité totale (Z).....	57
a. Méthode de Powell-Wetherall (1987 <i>in</i> Gayanilo et <i>al.</i> , 2002).....	57
b. Méthode de Pauly (1984).....	57
1. 3. 4. 2. Détermination de la mortalité naturelle (M)	57
a. Méthode de Pauly (1980).....	57
b. Méthode de Djabali et <i>al</i> (1993)	58
1. 3. 4. 3. Détermination de la mortalité par pêche (F)	58
2. Résultats	59
2. 1. Reproduction.....	59
2. 1. 1. Sex-ratio	59
2. 1. 1. 1. Variations temporelles du sex-ratio	59
2. 1. 1. 2. Variations du sex-ratio en fonction de la taille.....	59
2. 1. 2. Répartition mensuelle des différents stades de maturité sexuelle	60
2. 1. 3. Le rapport gonado-somatique	62
2. 1. 4. Le rapport hépato-somatique	63
2. 1. 5. Adiposité.....	64
2. 1. 6. Taille à la première maturité sexuelle.....	65
2. 1. 7. Fécondité	66
2. 2. Régime alimentaire.....	68
2. 2. 1. Coefficient de vacuité.....	68
2. 2. 2. Variations saisonnières du régime alimentaire	69

2. 3. Age et croissance	70
2. 3. 1. Détermination de l'âge	70
2. 3. 1. 1. Méthode indirecte de Bhattacharya	70
2. 3. 1. 2. Méthode directe	71
2. 3. 1. 2. 1. Scalimétrie	71
2. 3. 1. 2. 2. Otolithométrie	72
2. 3. 1. 2. 3. Clés âge-longueur	75
2. 3. 1. 2. 3. Rétro-calcul des tailles aux différents âges	76
2. 3. 2. Croissance linéaire absolue	77
2. 3. 3. Relation taille-poids.....	78
2. 3. 4. Croissance pondérale absolue.....	80
2. 3. 5. Coefficient de condition K	81
2. 3. 6. Etude des mortalités	82
3. Discussion	82

CHAPITRE II. Biologie et dynamique de l'espèce *Sphyraena viridensis*

Introduction	87
1. Matériels et méthodes	87
1. 1. Etude de la reproduction	87
1. 2. Régime alimentaire	87
1. 3. Etude de la croissance	88
1. 3. 1. Estimation de l'âge annuel	88
1. 3. 1. 1. Relation taille du poisson–rayon de l'otolithe et rétro calcul des tailles par âge annuel	90
1. 3. 2. Estimation de l'âge journalier des individus 0+	90
2. Résultats	93
2. 1. Distribution des fréquences de taille	92
2. 2. Cycle sexuel	93
2. 2. 1. Sex-ratio	93
2. 2. 2. Rapport gonado-somatique	95
2. 2. 3. Rapport hépato-somatique	96
2. 2. 4. Adiposité.....	97
2. 2. 5. Indice de condition.....	98
2. 2. 5. 1. Variation saisonnière de l'indice de condition	98
2. 2. 5. 2. Variation de l'indice de condition selon la taille	99
2. 2. 6. Taille à la première maturité sexuelle	100

2. 3. Régime alimentaire	101
2. 3. 1. Vacuité digestive	101
2. 4. Etude du la croissance	103
2. 4. 1. Détermination de l'âge annuel.....	103
2. 4. 1. 1. Rétro-calcul des tailles aux différents âges	104
2. 4. 1. 2. Croissance linéaire absolue	109
2. 4. 1. 3. Croissance pondérale absolue.....	110
2. 4. 1. 4. Relation taille-poids.....	111
2. 4. 2. Etude des mortalités.....	113
2. 4. 3. Détermination de l'âge des 0+.....	113
2. 4. 3. 1. Relation biométrique otolithe-corps	114
2. 4. 3. 2. Interprétation de la structure du nucleus.....	115
2. 4. 3. 3. Nombre de stries journalières	115
3. Discussion	118
Conclusion générale	122
Références bibliographiques	124
Articles scientifiques	137
Résumé	142

INTRODUCTION GENERALE

Semi clos, le bassin méditerranéen est un océan miniature, où le réchauffement de l'eau devrait se manifester plus tôt et être plus prononcé que dans d'autres océans plus ouverts (Astraldi *et al.*, 1995; Bethoux *et al.*, 1999; Walther *et al.*, 2002; Coll *et al.*, 2010). De ce fait, la région a été identifiée comme un «point chaud» du changement climatique et devrait connaître des impacts environnementaux considérablement, supérieurs à ceux de nombreux autres endroits dans le monde (Nykjaer 2009; Durrieu de Madron *et al.*, 2011). En effet, les modèles climatiques prédisent que le bassin méditerranéen sera l'une des régions les plus touchées par la tendance actuelle au réchauffement et par une augmentation des événements extrêmes (Parry 2000).

Les effets potentiels du changement global agissent à différents niveaux d'organisation biologique, depuis les perturbations physiologiques des individus jusqu'à la modification de l'organisation des communautés et le fonctionnement des écosystèmes. Ce qui s'exprime par des extinctions locales et/ou des extensions de certaines espèces (Hughes 2000; Parmesan et Yohe 2003; Root *et al.*, 2003). De nombreux éléments témoignent du fait que les changements climatiques contribuent déjà à modifier les caractéristiques terrestres et marines de la Méditerranée, en altérant les écosystèmes et les habitats, mais aussi en créant des conditions favorables à la prolifération d'espèces exotiques et envahissantes.

La mer Méditerranée est considérée comme un haut lieu de la biodiversité marine, étant donné la diversité exceptionnelle d'espèces dont elle regorge (Coll *et al.*, 2010). Une évaluation estime à plus de 8500 le nombre d'espèces marines présentes en Méditerranée, soient 4 à 18% des espèces marines mondiales (Bianchi et Morri 2000). On y dénombre actuellement plus de 600 espèces de poissons marins (Abdul Malak *et al.*, 2011). C'est un chiffre remarquable si l'on considère que la mer Méditerranée ne représente que 0,82% en superficie et 0,32% en volume par rapport à la superficie et au volume total de l'ensemble des océans (Bianchi et Morri 2000).

L'ensemble des changements physico-chimique induits par le changement climatique conduit à une évolution des aires de distribution, de la phénologie, des mouvements migratoires, de l'abondance et des interactions interspécifiques pour de nombreuses espèces marines (Marzloff *et al.*, 2018; Poloczanska *et al.*, 2016; Moullec, 2019). Une conséquence directe du réchauffement de la Méditerranée est l'augmentation simultanée de l'abondance des espèces thermophiles et la diminution ou la disparition d'espèces sténothermes froides, ce qui peut entraîner des effets en cascade sur les réseaux

alimentaires et des changements dans l'alimentation des espèces. Un des exemples du processus de méridionalisation des eaux de la Méditerranée est le barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829). Ce top-prédateur a largement étendu son aire de distribution au cours des trois dernières décennies. Originellement, l'espèce était confinée dans la partie orientale de la Méditerranée, devient plus en plus abondantes notamment dans la partie ouest du bassin (Azzurro *et al.*, 2011; Lejeusne *et al.*, 2010).

En Méditerranée, le genre *Sphyraena* comprend quatre espèces: *S. sphyraena* (Linné, 1758), *S. chrysotaenia* (Klunzinger, 1884), *S. flavicauda* (Rüppell, 1838) et *S. viridensis* (Cuvier, 1829) (Tortonese, 1979; Ben Tuvia, 1986; Fisher *et al.*, 1987; Fredj et Maurin, 1987; Quignard et Tomasini, 2000; Golani *et al.*, 2002). La première se trouve également en Atlantique Est, du Golfe de Gascogne à l'Angola, et Ouest, des Bermudes au Brésil (Fisher *et al.*, 1987). La seconde est une espèce indo-pacifique, considéré comme une migrante lessepsienne, et rencontrée uniquement dans le bassin oriental (Golani, 1996). La troisième est signalée par Golani (1992) sur les côtes d'Israël. La quatrième espèce, *Sphyraena viridensis* est connue sur les côtes du Liban (George *et al.*, 1971; Ben Tuvia, 1986) et d'Égypte (Allam *et al.*, 2004) et elle est occasionnelle en Israël (Tortonese, 1979). Pastore (2009) a décrit une nouvelle espèce de Sphyraenidé *Sphyraena intermedia* sp. nov. dans le golfe de Taranto en Méditerranée centrale. Cette dernière se distingue de ses congénères par la forme de son corps, ses otolithes, sa dentition et ses caecums pyloriques.

Récemment, plusieurs références ont fait état d'une plus large répartition de *Sphyraena viridensis*, aussi bien dans le nord de la Méditerranée (Bizsel et Cihangir, 1996; Relini et Orsi-Relini, 1997; Dul i et Soldo, 2004; Kožuul *et al.*, 2005; Psomadakis *et al.*, 2006; Dul i *et al.*, 2009) que dans le sud (Corsini et Economidis, 1999; Vacchi *et al.*, 1999; Kara et Bourehail, 2003). Sa présence au Sud est restée longtemps incertaine (Fischer *et al.*, 1987) et les deux espèces *S. viridensis* et *S. sphyraena* sont restées longtemps considérées comme les formes juvénile et adulte de la même espèce *S. sphyraena* (Bini, 1969; Tortonèse, 1975; Bauchot et Pras, 1980).

Ce travail est consacré à la famille des Sphyraenidés, notamment aux deux espèces qui cohabitent sur les côtes Est de l'Algérie: *S. sphyraena* (Linnaeus, 1758) et *S. viridensis* (Cuvier, 1829). Il est organisé en trois parties:

- La première partie présente l'environnement de la zone d'étude, la systématique et la répartition des espèces de la famille des Sphyraenidés.

- La deuxième partie est consacrée à la différenciation des deux espèces *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis* dans le Golfe d'Annaba. Le but étant de lever la confusion concernant le statut de ces espèces en utilisant deux méthodes: (1) la caractérisation morpho-somatique basée sur les caractères numériques et métriques, (2) l'analyse de la forme des otolithes, notamment les transformées elliptiques de Fourier.

- Dans la troisième partie, nous avons étudié la biologie de *S. sphyraena* et de *S. viridensis*. Il s'agit de l'étude du régime alimentaire du point de vue qualitatif et quantitatif, par sexe et par saison, de la reproduction en précisant le cycle sexuel, la taille à la première maturité sexuelle, le sex-ratio et la fécondité. L'étude de l'âge par des méthodes directe et indirecte, ainsi que la modélisation de la croissance linéaire et pondérale de ces deux espèces ont été réalisées.

La conclusion générale donne une synthèse des résultats acquis, tout en formulant des recommandations pour mieux gérer le stock de ces deux espèces dans les eaux algériennes.

PARTIE I

1. Zone d'étude

Les frontières maritimes de l'Algérie s'étendent sur plus de 1200 km. Elles sont caractérisées par des baies largement ouvertes et peuplées nombreuses. Le Golfe d'Annaba forme l'aile orientale de la côte algérienne. Il est situé à environ 670 km d'Alger, délimité par Ras El Hamra à l'ouest ($36^{\circ}58'02''\text{N} - 7^{\circ}47'49''\text{E}$) et Ras Rosa à l'est ($36^{\circ}57'03''\text{N} - 8^{\circ}14'35''\text{E}$) (Fig. 1(a)).

Le golfe d'Annaba s'étend sur 2.337 km², le plateau continental du rivage à 100 m de profondeur représente une superficie de 1.048 km². Le bord supérieur du talus continental de 100 à 500 mètres de profondeur s'étend sur 733 km² et la partie inférieure du talus continental de 500 à 1.000 m de profondeur représente 556 km².

Le linéaire côtier s'étend sur 80 km, où il forme un demi cercle de Ras El Hamra à l'oued Mafragh ouvert aux houles nord-est et de l'oued Mafragh à Ras Rosa, il est orienté sud sud ouest à nord nord-est.

Dans le Golfe d'Annaba se jette deux oueds:

- Oued Seybouse, un des plus importants oueds de la côte algérienne avec une longueur de 255 km drainant un bassin versant de 5.900 km² avec débit liquide moyen de 13,4 m³/s. Cet oued constitue l'un des collecteurs de tous les polluants issus des activités humaines de l'agglomération d'Annaba.

- Oued Mafragh, qui s'étend sur une longueur de 2 km et il est l'aboutissement de l'oued Bounamoussa qui le prolonge sur 15 km à travers une vaste dépression de marécage et de terres basses de 15.000 ha.

1. 1. Bathymétrie et sédimentologie

La figure 1(a) présente la bathymétrie de -100 à -1000 m entre les latitudes $36^{\circ} 52'$ et $37^{\circ} 16'$. Le plateau continental est étroit et nettement restreint au nord du Cap de Garde (4,5 milles), puis s'élargit dans le Golfe jusqu'à 14,5 milles. Il se rétrécit légèrement au niveau du Cap Rosa (Vaissiere et Fredj, 1963).

D'une manière générale, le fond débute par du sable fin, auquel succède une chaîne d'herbiers de posidonies, installée sur un substrat rocheux qui se continue par des vases terrigènes mélangées à du sable ou à des débris coquillées. Au dessus de l'isobathe -1000 m, le détritique côtier apparaît plus important. Au-delà, dans le prolongement du Golfe vers la vallée de Tabarka (Tunisie), on rencontre un substrat constitué surtout de vase terrigène gluante (Vaissiere et Fredj, 1963) (Fig. 1(b)). De nombreux bancs ou écueils

rocheux s'étendent jusqu'à -100 m au maximum sur lesquels s'installent des biomasses coralligènes.

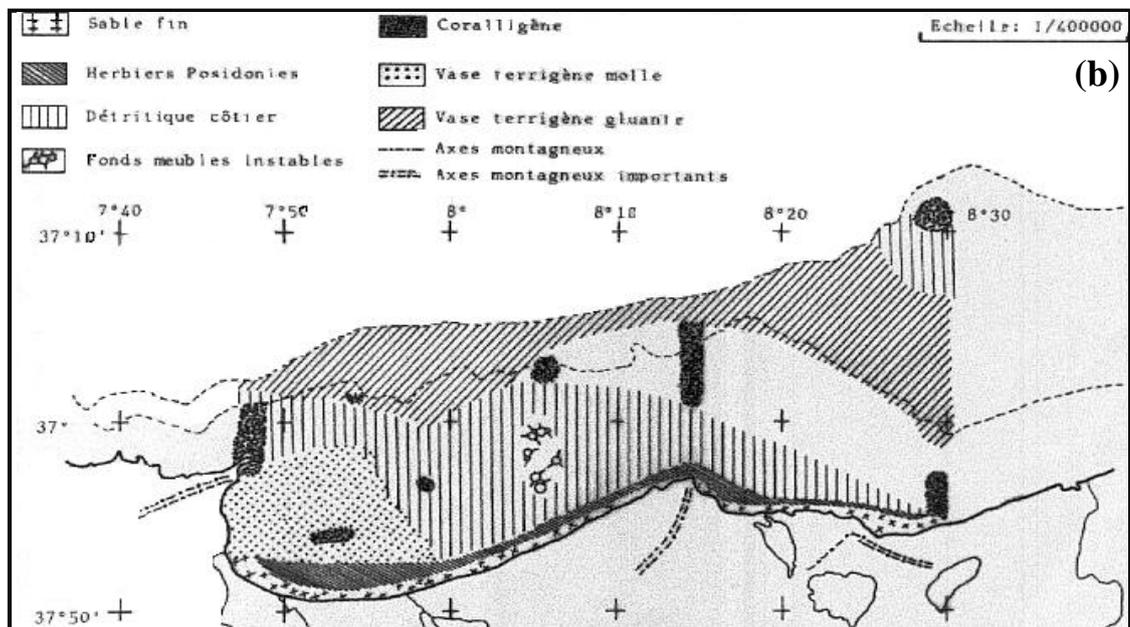
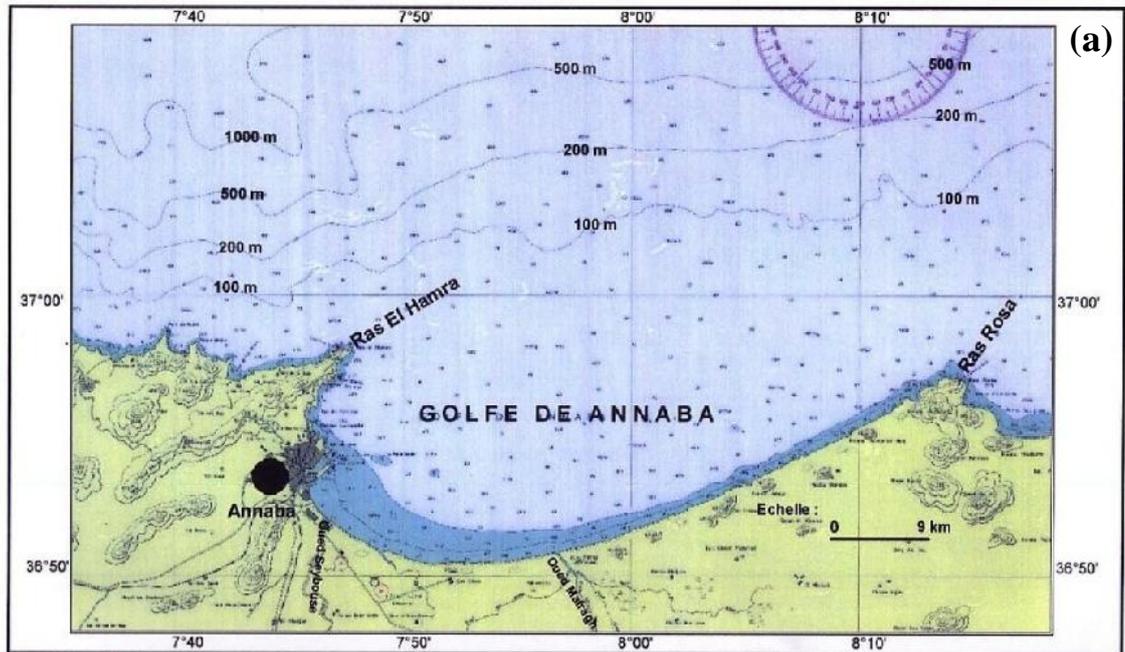


Figure. 1. Position géographique, bathymétrie (a) et sédimentologie (b) du Golfe d'Annaba.

1. 2. 1. Les courants

Allain (1960) distingue sur les côtes algériennes un courant principal en été; ce dernier débute de la côte oranaise pour atteindre les côtes algéroises et le Cap Bougaroun. Les travaux de Lacombe (1982) sur l'aspect physique des eaux méditerranéennes montrent que la vitesse du courant atlantique circulant dans cette mer est de 0,5 à 0,7 m.s⁻¹ le long des côtes algériennes. Ainsi l'écoulement des eaux d'origine atlantique le long des côtes algériennes appelé "courant algérien", est initialement structuré en une veine qui coule vers l'Est, puis devient plus large et se détache à la côte (Benzohra, 1993).

Les travaux du laboratoire central d'hydraulique de France (LCHF, 1976 *In* Ounissi et al., 1998) sur la courantologie du Golfe d'Annaba, montre que l'entrée de ce dernier est caractérisée par une circulation générale méditerranéenne, permanente, d'orientation 100° -120°. Au voisinage du Cap de Garde, un courant principal résiduel progresse vers la côte (150° - 180°) avec une vitesse de 0,25 à 0,35 m/s. Au sud, le courant s'affaiblit de 0,1 à 0,25 m/s et il se dirige vers l'Est. Les relevés des courants en 1973 par le même laboratoire, ont permis de déduire que les courants généraux dans le Golfe d'Annaba ne constituent pas un facteur physique important et ne produisent pas de risques quant à la navigation.

1. 2. 2. Les houles

D'après le laboratoire d'hydraulique (LCHF, 1976), les houles que reçoit le Golfe d'Annaba sont des directions suivantes :

- deux directions du large Nord-Est et Est-Nord-Est, avec une amplitude variant de 1,2 à 6 m.
- deux directions Ouest et Ouest-Nord-Ouest, avec une amplitude variant de 1 à 5 m (fréquence 50 % de l'année).
- 20 % des houles allant de 1 à 2 m d'amplitude, proviennent de différentes directions.

1. 3. Caractères physico-chimiques

Les teneurs en sels nutritifs et en chlorophylle *a* sont anormalement élevées dans le Golfe d'Annaba et traduisent une eutrophisation qui s'accroît en période de confinement estival. Cette eutrophisation se répartit dans l'espace selon un fort gradient côte-large et la tranche d'eau transparente est toujours inférieure au 1/3 de la colonne d'eau (Ounissi et Frehi, 1999).

D'après Ayada *et al.* (2018) la température moyenne des eaux du sud Est de la baie d'Annaba varie entre 14,5°C en hiver et 30°C en été avec une amplitude de 15,5°C. Comme pour la température, la salinité diffère entre les deux secteurs, les valeurs varient entre 35 à 37,5 psu avec une amplitude de 2,5 psu. Au Nord-Ouest, la salinité est sensiblement stable et varie entre 36,5 et 37,5 psu avec une amplitude réduite de 1 psu.

Ces variations de salinité entre les deux régions sont dues aux rythmes du débit des oueds Seybouse et Boudjemâa. Par ailleurs, Ounissi *et al.* (1998) rapportent que l'écart thermique entre l'eau de surface et celle située à 50 m, dépasse 4°C. Quand à la salinité, la différence entre l'eau de surface et celle des profondeurs n'excède pas 1 psu.

1. 4. Biodiversité

1. 4. 1. Le Phytoplancton

Le Golfe d'Annaba abrite des peuplements phytoplanctoniques avec de fortes fluctuations d'abondance, allant de quelques dizaines à plus de 10^6 cellules .l⁻¹. Au total, 43 taxons phytoplanctoniques ont été identifiés (Ounissi *et al.*, 1998). Les diatomées y sont toujours abondantes (21 taxons) formées principalement par *Coscinodiscus radiatus*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros spp.* et *Rhizosolenia spp.* La prolifération de *Pseudo-nitzschia multiseriis* au printemps s'étend à l'ensemble du secteur et s'exprime par des densités allant de $1,63.10^5$ à $1,03.10^6$ cellules. l⁻¹. Les dinoflagellés qui sont au nombre de 22 taxons dominent les zones exposées aux intrusions des eaux marines. Ils sont assez fréquents en hiver, représentés en particulier par *Ceratium fusus*, *C. massiliense* et *Protoperdinium spp.*

1. 4. 2. Le zooplancton

D'après les travaux de Ounissi *et al.* (1998), le secteur ouest du Golfe d'Annaba est une frange côtière soumise à la fois aux influences des apports continentaux et aux intrusions d'eau néritiques externes. Dans ces conditions, le zooplancton développe des populations denses (17.461 à 202.085 ind. m⁻³), constituées principalement de taxons microphages: Copépodes, Tintinidés, Appendiculaires et Cladocères. Les copépodes, représentés par 73 espèces sont largement dominants. En revanche, ce peuplement se réduit en été à une dizaine d'espèces, dominées par des populations d'eau côtière eutrophe. Les Tintinidés sont abondants en toutes saisons et forment une fraction importante du

zooplancton, avec des fluctuations qui varient entre 0,001 et 183 ind. l⁻¹. Les Cladocères ne sont fréquents qu'à partir de l'été (Ounissi et Fréhi, 1999).

1. 4. 3. L'ichtyofaune

Un inventaire qualitatif de la faune ichtyologique est réalisé dans la baie d'Annaba, sur des fonds hétérogènes, rocheux (à herbiers coralligènes) et meubles (sableux, vaseux, sablo vaseux, coquilliers), dans la tranche bathymétrique comprise entre 0 et 50 m.

Un total de 165 espèces de poissons a été identifié, dont 139 téléostéens et 26 sélaciens. Cinquante et une familles de poissons composent le premier super-ordre, dont 21 appartiennent aux perciformes qui regroupent 66 espèces. Les Sélaciens sont numériquement moins importants et englobent sept familles de Pleurotrèmes (13 espèces) et cinq familles d'hypotrèmes (12 espèces).

2. Présentation de la famille des Sphyraenidae

Les Sphyraenidae, appelés aussi "barracudas" ou "brochets de mer" sont des prédateurs voraces dont certaines espèces atteignent ou dépassent deux mètres de long. On les rencontre dans toutes les mers chaudes du globe et en Méditerranée. Quelques espèces rentrent dans les estuaires et les eaux saumâtres. La famille, très homogène, ne comprend qu'un seul genre.

2. 1. Position systématique

Du point de vue taxonomique, les Sphyraenidae se situent dans la classification de Linnaeus (1758) comme suit:

- **Embranchement:** Vertébrés
- **Classe:** Ostéichtyens
- **Sous classe:** Actinoptérygiens
- **Super ordre:** Téléostéens
- **Ordre:** Perciformes
- **Famille:** Sphyraenidae
- **Genre:** *Sphyraena*

2. 2. Caractères de la famille

Les Sphyraenidae se caractérisent par un corps allongé et légèrement comprimé, une grande tête qui se termine par un grand museau pointu, une grande bouche horizontale dont la mâchoire inférieure dépasse toujours la supérieure. Elle est munie de fortes dents dirigées vers l'intérieur, caniniformes sur les mâchoires et les palatins.

Comme les mugilidés, les Sphyraenidae possèdent deux nageoires dorsales courtes et largement séparées. La première a cinq fortes épines, insérées à peu près à l'opposé des nageoires pelviennes. La seconde a une épine et neuf rayons mous, opposés à la nageoire anale. Cette dernière est composée de deux épines dures et de huit rayons mous. Quant à la nageoire pectorale, elle est plus courte que la tête. La nageoire caudale est puissante et permet au poisson d'effectuer de vives accélérations. La ligne latérale est bien développée. La coloration est généralement grise à bleue vert sur le dos avec des reflets argentés. Parfois, le corps porte des taches sombres ou des bandes longitudinales jaunes, avec des barres verticales ou obliques. (Fisher *et al.*, 1987).

2. 2. 1. Critères de différenciation morphologique de *S. sphyraena* et de *S. viridensis*

En plus des caractères qui peuvent être utilisés avec facilité pour distinguer *S. sphyraena* et *S. viridensis*: (1) l'absence ou la présence d'écailles sur les préopercules, (2) l'absence ou la présence de bandes transversales grises sur les flancs, nous présentons dans le tableau 1, des critères plus discrets permettant cette séparation.

Tableau 1. Caractères distinctifs de *Sphyraena sphyraena* et de *Sphyraena viridensis*
(D'après Relini et Orsi- Relini (1997)).

<i>Sphyraena sphyraena</i>	<i>Sphyraena viridensis</i>
Coloration sombre en haut et argentée en bas, séparée par la ligne latérale.	Bandes transversales sur les flancs.
Nageoire anale entièrement blanchâtre.	Nageoire anale grise, parfois aux bords blanchâtres.
Les écailles continuent sur les fronts et les préopercules.	Absence d'écailles sur le front et les parties latérales de la tête.
13 rayons à la nageoire pectorale.	15 rayons à la nageoire pectorale.
15 à 17 lignes d'écailles au dessus de la ligne latérale.	21 à 22 lignes d'écailles au dessus de la ligne latérale.
137 à 150 écailles de la ligne latérale.	144 à 160 écailles de la ligne latérale.
Taille maximale 53 cm.	Taille maximale 82 cm

2. 3. Le brochet de mer *Sphyraena sphyraena*

Le brochet de mer *Sphyraena sphyraena* diffère des autres espèces de la famille des Sphyraenidae par certaines particularités morphologiques. Il possède un corps subcylindrique dont la hauteur mesure 10 % de sa longueur standard, un long museau pointu, une mâchoire inférieure proéminente et charnue à son extrémité, avec de fortes dents caniniformes sur les mâchoires et la voûte buccale. Les branchiospines sont absentes chez cette espèce.

Les préopercules ont un bord extérieur arrondi. Les deux nageoires dorsales sont très espacées. La première à 5 épines, la seconde à une épine et 9 rayons mous. Les nageoires pelviennes sont insérées sous la première nageoire dorsale. Les pectorales sont courtes, avec des pointes qui n'atteignant pas les nageoires pelviennes. La nageoire caudale est profondément fourchue. De petites écailles couvrent complètement le corps, l'opercule et le préopercule. Entre 127 et 145 écailles s'étendent le long de la ligne latérale, dont 30 à 32 en avant de l'origine de la première nageoire dorsale.

Le corps est argenté. Le dos est d'une coloration gris bleuâtre à verdâtre plombé, passant ventralement au blanc argenté. La partie supérieure de la tête et du maxillaire est noirâtre. Les pelviennes ont le bord antérieur blanc. Chez les spécimens frais, on voit une bande longitudinale jaune pâle, parallèle à la ligne latérale. (Fisher *et al.*, 1987).

2. 4. Distribution géographique

Les bécunes et les barracudas sont des poissons pélagiques côtiers des mers tropicales, sub-tropicales et tempérées chaudes. Ces poissons de pleine eau vivent entre 0 et 75 m de profondeur. Ils fréquentent tous les types de biotopes: les eaux côtières, les estuaires et les lagunes, les ports et les barrières coralliennes à la recherche de la nourriture (Fig. 2).

La famille des sphyraenidés comprend plus de vingt espèces différentes mais morphologiquement assez proches. Il n'existe qu'un seul vrai barracuda (*Sphyraena barracuda*) que l'on reconnaît à ses tâches noires au dessous de la ligne latérale.

Les autres espèces que nous reconnaissons bien en Méditerranée ou en Afrique de l'Ouest devraient porter le nom commun de bécune. Le grand Barracuda, capturé généralement autour des îles caraïbes et dans le Nord du Brésil, atteint une longueur totale de 2,5 m pour un poids de 50 Kg, tandis que les quatre petites bécunes de la Méditerranée (*Sphyraena chrysotaenia*, *Sphyraena flavicauda*, *Sphyraena sphyraena*, *Sphyraena viridensis*) mesurent respectivement 45 cm, 60 cm et plus de 100 cm.

Le barracuda européen *Sphyraena sphyraena*, vit dans la Mer Noire, en Méditerranée et sur la côte atlantique de l'Espagne et du Portugal. En Méditerranée, cette espèce coexiste avec trois autres, *Sphyraena chrysothenia* qui se reconnaît à sa nageoire pelvienne insérée sous le milieu des nageoires pectorales. C'est une espèce indo-pacifique, considérée comme une migrante lessepsienne, et rencontré uniquement dans le bassin oriental.

L'espèce *Sphyraena flavicauda* est signalée par Golani (1992) sur les côtes d'Israël. La quatrième espèce, *Sphyraena viridensis*, est connue sur les côtes du Liban et elle est occasionnelle en Israël. Elle se caractérise par des bandes transversales grises sur le corps et par l'absence des écailles sur ces préopercules (Fig. 3)

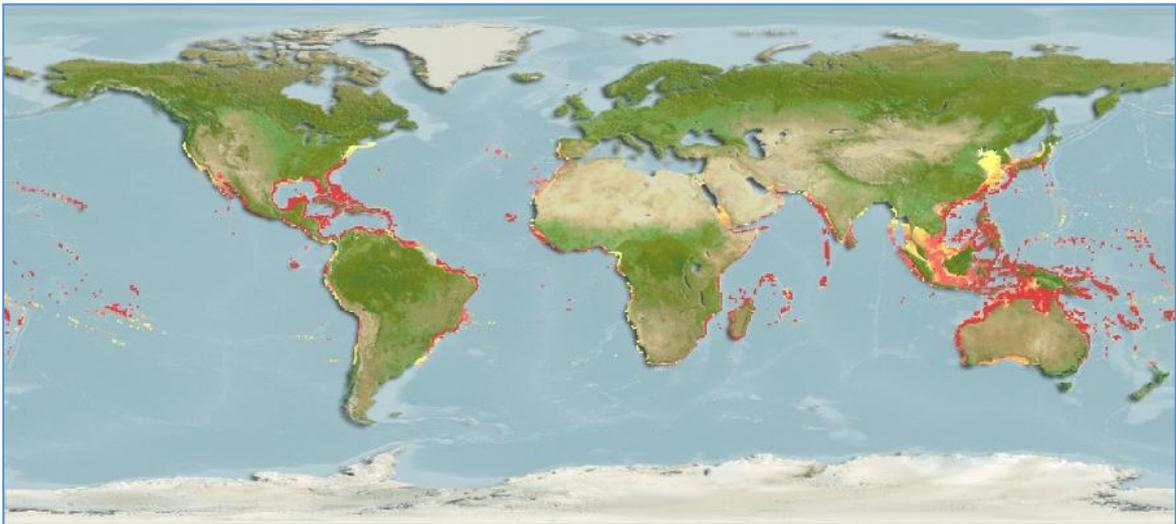


Figure 2. Répartition géographique de la famille des Sphyraenidae.

2. 5. Biologie et écologie

Les Sphyraenidés sont des prédateurs voraces dans les mers tropicales ou tempérées chaudes, surtout dans les eaux côtières, mais parfois jusqu'à des profondeurs de 100 m. Le comportement grégaire est surtout observé chez les jeunes poissons qui se réunissent en bancs alors que les adultes sont surtout solitaires.

Généralement pêchés à la traîne, aux filets maillants et aux sennes coulissantes, les Sphyraenidae font l'objet d'une pêche artisanale ou sportive. Leur chair est commercialisée fraîche, leur production a atteint plus de 1800 tonnes en 2018 (FAO, 2020). Leur reproduction a lieu à la fin du printemps et en été et pondent des œufs planctoniques. Ils se nourrissent surtout de poissons, mais aussi de céphalopodes et de crustacées (Fisher et *al.*, 1987).

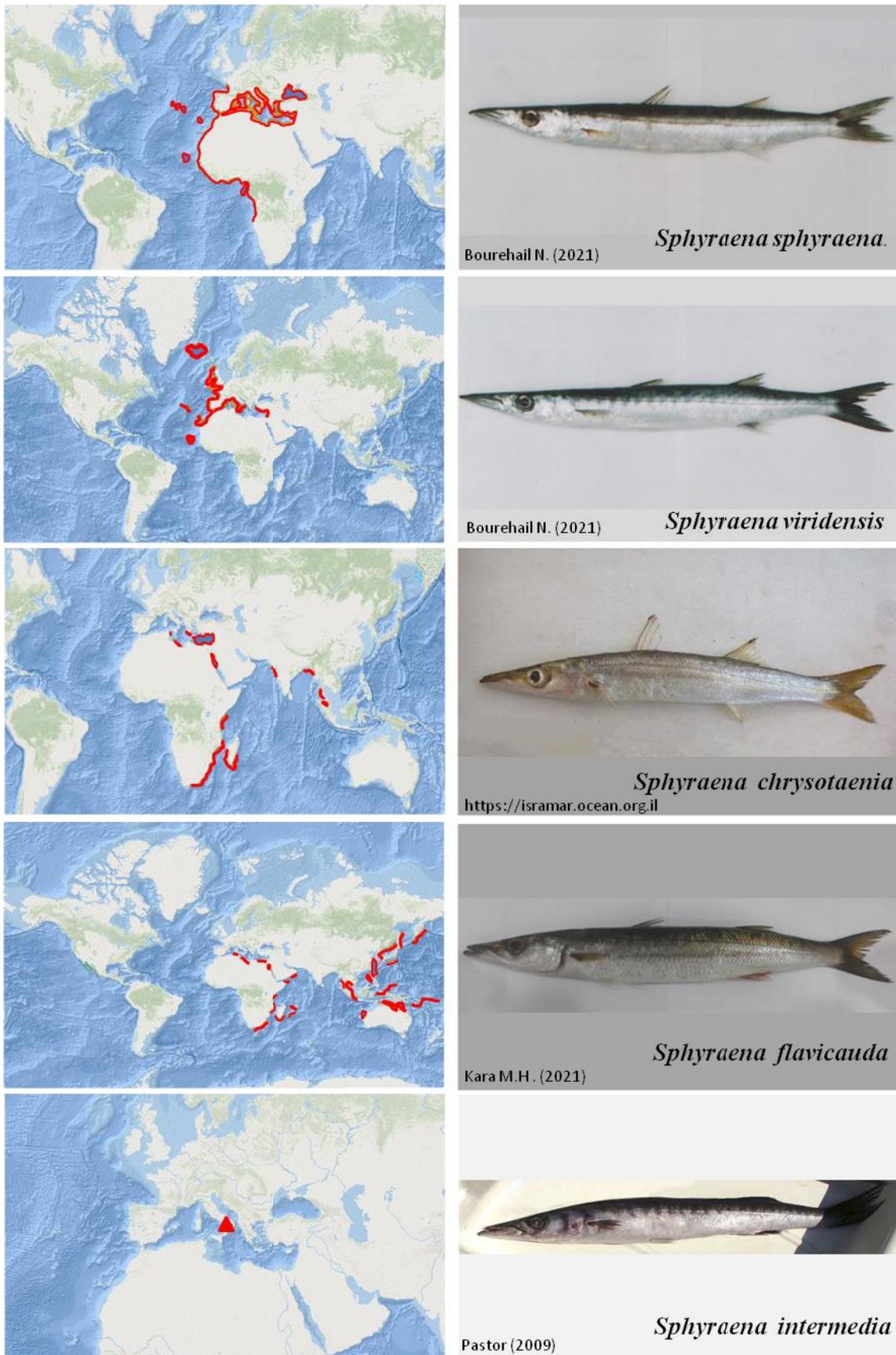


Figure 3. Distribution géographique de quelques espèces de la famille des Sphyraenidés en Méditerranée.

PARTIE II

Caractérisation morpho-somatique et différenciation de *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*

Introduction

L'étude biométrique en croissance relative a pour objectif d'établir des relations sous forme d'équations mathématiques entre différents paramètres linéaires et pondéraux d'une espèce donnée. Cette étude permettra d'avoir une idée sur la croissance relative des diverses proportions du corps et les changements qui peuvent affecter l'animal au cours de son développement. En effet, il est admis généralement que les variables morphologiques des individus peuvent traduire ou correspondre à certaines variations biologiques. Ces variations morphologiques et biologiques sont induites, totalement ou partiellement, par les conditions du milieu comme cela a été démontré entre autres chez les poissons.

1. Matériels et méthodes

L'étude morphologique est réalisée sur un échantillon de poissons composé de 486 individus, réparti entre 340 spécimens pour l'espèce *Sphyraena sphyraena* (158 femelles, 84 mâles et 58 individus immatures), et 146 spécimens chez l'espèce *Sphyraena viridensis* (50 femelles, 45 mâles et 51 individus immatures).

La longueur totale des poissons est comprise entre 14,5 et 44,9 cm pour la première espèce, et entre 25,4 et 88 cm pour la deuxième espèce.

1. 1. Caractères numériques

Les caractères numériques considérés sont au nombre de sept. Il s'agit du:

- nombre de lignes d'écaillés au dessus de la ligne latérale.
- nombre d'écaillés sur la ligne latérale.
- nombre d'épines dures de chacune des deux nageoires dorsales.
- nombre de rayons mous de la deuxième nageoire dorsale.
- nombre de rayons durs et mous de la nageoire anale.
- nombre de rayons durs et mous de la nageoire ventrale.
- nombre de vertèbres.

Le comptage se fait sous une loupe binoculaire pour les deux premiers caractères. La répartition de chaque caractère est décrite par sa moyenne, son mode et par ses valeurs limites.

Nous avons comparé les deux échantillons de *S. sphyraena* et de *S. viridensis* par le test "t" de Student pour savoir si les 2 populations sont différentes. Deux moyennes sont considérées comme différentes au seuil $\alpha = 0,001$ lorsque "t" calculé aura une valeur égale ou supérieure à celle lue dans la table de Student en fonction du nombre de degrés de liberté.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{(S_1^2 / N_1) + (S_2^2 / N_2)}}$$

\bar{X} : valeur moyenne du caractère étudié

S^2 : variance de l'échantillon

N: nombre de poissons contenus dans l'échantillon.

Lorsqu'il y a une différence entre les deux échantillons, nous avons calculé le coefficient de différence (CD) de Mayr, Linsley, Usinger (Quignard, 1966) pour connaître leur niveau taxonomique respectif:

$$CD = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_1 + S_2}$$

où:

\bar{X} : valeur moyenne du caractère étudié

S: écart-type de la moyenne

Il est généralement admis (Géry, 1962) que lorsque 75 % des individus d'une population diffèrent par un ou plusieurs caractères de 75 % des individus d'une autre population ($CD > 0,67$), nous sommes en présence de différences raciales entre ces deux populations. Lorsque 75 % des individus d'une population diffèrent de 97 % de ceux d'une autre population ($CD > 1,28$), ces deux populations diffèrent sub-spécifiquement.

1. 2. Caractères métriques

Vingt et un caractères métriques sont mesurés, en millimètre près à l'aide d'un ichtyomètre ou d'un compas à pointes sèches. La planche 4 montre les différentes mesures effectuées auxquelles il faut rajouter:

- L'épaisseur du corps (EC), mesurés entre les points des flancs définis par l'intersection de la ligne latérale avec le plan normal à l'axe longitudinal du poisson.
- L'espace inter orbitaire (LIO), mesuré entre les bords supérieurs des deux orbites.
- La hauteur du deuxième rayon dur de la première nageoire dorsale chez *S. sphyraena*.
- La hauteur de la première épine de la deuxième nageoire dorsale chez *S. sphyraena*.

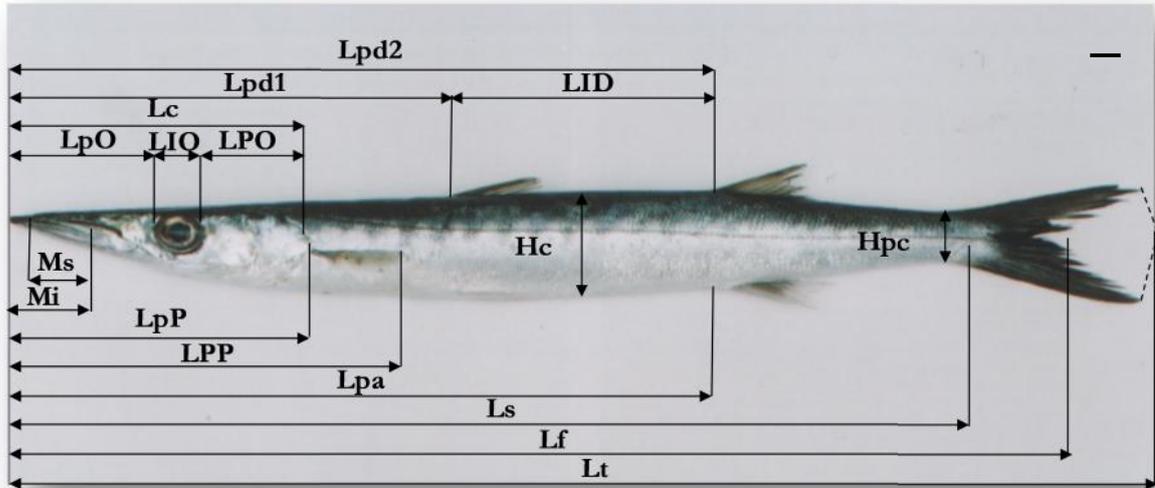


Figure 4. Caractères métriques prises.

Lt: Longueur totale, **Lf**: Longueur à la fourche, **Ls**: Longueur standard, **Hc**: Hauteur du corps, **Ec** Epaisseur du corps, **Lpd1**: Longueur pré-dorsale 1, **Lpd2**: Longueur pré-dorsale 2, **LID**: Longueur inter dorsale, **LIO**: Longueur inter orbitaire, **Lpa**: Longueur pré-anale, **Ms**: Longueur du maxillaire inférieur, **Hpc**: Hauteur du pédoncule caudal, **Lpp**: Longueur pré-pectoral, **DO**: Diamètre orbitaire, **Hd₁**: Hauteur de la 2^{ème} épine dure de la 1^{ère} dorsale, **Lpp**: Longueur post-pectoral, **Mi**: Longueur du maxillaire supérieur, **Hd₂**: Hauteur du 1^{er} rayon mou de la 2^{ème} dorsale, **Lc**: Longueur céphalique, **LpO**: Longueur post orbitaire, **Lpo**: Longueur prés-orbitaire

Pour mieux décrire les changements éventuels de la croissance du poisson, les différents critères métriques sont exprimés en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique. Afin de mettre de manière plus expressive les changements relatifs de ces dimensions, nous avons utilisé l'équation de régression de type axe majeur réduit, préconisée par Teissier (1948) pour les études d'allométrie et dont la formule est:

$$Y = aX^b$$

avec

a: constante

b: coefficient d'allométrie.

La comparaison statistique du coefficient d'allométrie avec la valeur 1 est réalisée par le test *t* de Student (Dagnelie, 1998). C'est un test d'égalité des écarts-types ou des variances de deux variables aléatoires éventuellement corrélées, selon la formule:

$$t_{\text{obs}} = \frac{|b^2 - 1| \sqrt{n - 2}}{2b \sqrt{1 - r^2}}$$

avec

b: coefficient d'allométrie.

r : coefficient de corrélation

n : effectif de l'échantillon considéré.

C'est à partir de la comparaison de la valeur de t_{obs} avec la valeur théorique $t_{1-\alpha/2}$ de la distribution de Student (à n-2 ddl), que nous avons déterminé le type d'allométrie.

L'hypothèse est rejetée au niveau α lorsque $t_{\text{obs}} \geq t_{1-\alpha/2}$. Trois cas peuvent se présenter:

- Si $b = 1$: il y a une isométrie.
- Si $b > 1$: il y a une allométrie majorante.
- Si $b < 1$: il y a une allométrie minorante

1. 2. 1. Dimorphisme sexuel

Pour déceler un éventuel dimorphisme sexuel, nous avons comparé pour chaque caractère les équations des droites de régression entre les deux sexes. Pour cela, nous avons utilisé le test t de Student adapté aux axes majeurs réduits (Mayrat, 1959). On compare tout d'abord les pentes des deux axes en comparant une différence à son erreur standard:

$$t_1 = \frac{a_1 - a_2}{[V (a_1 - a_2)]^{1/2}}$$

à n-4 degrés de liberté, où

a_1 et a_2 : pente des deux droites

n : nombre total des couples

Si la différence de pente n'est pas significative, on compare alors la position des deux droites sur toute leur longueur et non pas simplement à leur origine. On remplace les deux droites expérimentales par deux droites « auxiliaires parallèles » passant par les centres de gravité des échantillons mais de pente intermédiaire commune. On calcule une variance commune autour de ces parallèles; c'est une régression combinée « tpo »:

$$t_1 = \frac{y_{1p} - y_{2p}}{[V (y_{1p} - y_{2p})]^{1/2}} = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_2| - a_p(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{S^2 y_p \left[\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \times \left(\frac{2}{1 + R_p} \right) + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{N^2 x_p} \right]}}$$

Où :

$Y_{1p} - Y_{2p}$: distance entre les droites auxiliaires

$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$: moyenne des Y des droites expérimentales

\bar{x}_1 et \bar{x}_2 : moyenne des X des droites expérimentales

a_p : pente de la droite auxiliaire

R_p : coefficient de corrélation moyen

$\frac{1}{n_1}(S^2 y_p)$ e $\frac{1}{n_2}(S^2 y_p)$: variation de $\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$ considérées comme moyennes de $Y_{1p} - Y_{2p}$.

$NS^2 X_p$: covariance de X_p

N : nombre total de couples

Avant d'effectuer le test de Student adapté aux axes majeurs réduits (Mayrat, 1959), sera préférable de contrôler la validité de l'hypothèse d'égalité des variances résiduelles:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Ce test peut se faire par le test F:

$$F_o = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_2^2} \quad \text{dont} \quad \begin{cases} \hat{\sigma}_1^2 = \frac{S_{yx1}}{n_1-1} \\ \hat{\sigma}_2^2 = \frac{S_{yx2}}{n_2-1} \end{cases}$$

L'hypothèse d'égalité des variances résiduelles doit être rejetée au niveau α lorsque:

$$F_o \geq F_{1-\frac{\alpha}{2}} \quad \text{pour} \quad \begin{cases} \alpha = 0,05 \\ K_1 = (n_1 - 1)d \\ K_2 = (n_2 - 1)d \end{cases}$$

Où:

SCE_{yx1} : somme des carrées des écarts du premier échantillon

SCE_{yx2} : somme des carrées des écarts du deuxième échantillon

n_1 : effectif total de premier échantillon

n_2 : effectif total de deuxième échantillon

2. Résultats

En nous basant sur les critères de diagnose proposés par Relini et Orsi-Relini (1997), il s'avère que deux espèces composent la famille des Sphyraenidae du Golfe d'Annaba: *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*. L'utilisation des deux critères les plus pratiques, à savoir la présence d'écaillés sur le front et sur le bord postérieur du préopercule chez *Sphyraena sphyraena* et la présence d'une vingtaine de petites bandes verticales sombres sur les flancs de *Sphyraena viridensis* (Fig. 5), nous a permis d'estimer la fréquence relative de ces deux espèces au niveau de la pêcherie de la ville d'Annaba, à l'occasion de visites fréquentes (deux par semaine) au cours d'un cycle annuel. Il s'avère que les deux espèces sont présentes tout le long de l'année avec une nette dominance de *Sphyraena sphyraena* qui représente environ 70 % du total observé.



Fig. 5. Spécimen de *S. sphyraena* (LT = 34,5 cm) (a) avec présence d'écaillés sur le preopercule (b) et spécimen de *S. viridensis* (LT = 83,6 cm) avec des bandes transversales grises sur les flancs (b).

2. 1. Caractères numériques:

Les caractères numériques comptés et leurs caractéristiques statistiques sont représentés dans le tableau 2 pour *S. sphyraena* et pour *S. viridensis*.

Chez les deux espèces étudiées, deux caractères numériques ne varient pas d'un individu à l'autre ou d'une espèce à l'autre: le nombre des rayons de la nageoire ventrale (6) et le nombre des vertèbres (25). Cependant, le nombre de rayons durs de la 1^{ère} nageoire dorsale varie entre IV – VI chez *S. sphyraena* et reste fixe (V) chez *S. viridensis*.

Le nombre de lignes d'écaillés aux dessous de la ligne latérale chez *S. sphyraena* et *S. viridensis* varie entre 13 et 23 avec des moyennes respectives de 15,71 et 18,35. La comparaison de ces deux valeurs par le test de Student indique une différence significative.

Le nombre d'écaillés sur la ligne latérale de *S. sphyraena* est compris entre 127 et 150, celui de *S. viridensis* va de 137 à 150, les moyennes respectives sont de 137 et 141. Le test utilisé atteste de la distinction entre ces chiffres.

Tableau 2. Distribution et comparaison des caractères numériques étudiés chez *S. sphyraena* et chez *S. viridensis* du Golfe d'Annaba.

Caractères		Nombre d'observations	Moyenne	Mode	Valeurs extrêmes	t _{obs}	CD
rayons durs de la 1 ^{ère} nageoire dorsale	<i>S. s</i>	447	4,998	V	IV – VI	0,577	0,027
	<i>S. v</i>	398	5	V	V		
rayons mous de la 2 ^{ème} nageoire dorsale	<i>S. s</i>	447	10,004	I-9	I-8, II-9	0,816	-0,038
	<i>S. v</i>	244	10	I-9	I-9		
rayons de la nageoire anale	<i>S. s</i>	447	9,997	II-8	I-8, II-9	0,576	0,027
	<i>S. v</i>	122	10	II-8	II-8		
rayons de la nageoire ventrale	<i>S. s</i>	340	6	I-5	I-4, II-5	-	-
	<i>S. v</i>	210	6	I-5	I-4, II-5		
lignes d'écailles aux dessous de la ligne latérale	<i>S. s</i>	296	15,71	16	13 – 19	21,21*	1,072
	<i>S. v</i>	167	18,35	18	15 – 23		
écailles sur la ligne latérale	<i>S. s</i>	257	137,37	134	127 - 150	6,178*	0,275
	<i>S. v</i>	247	141,21	138	137 - 150		
vertèbres	<i>S. s</i>	175	25	25	25	-	-
	<i>S. v</i>	167	25	25	25		

2. 2. Caractères métriques

Les équations d'allométrie exprimant la relation entre les différents caractères métriques mesurés en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique du poisson, ainsi que leurs coefficients de corrélation, sont représentés dans les tableaux 3 et 4 pour la population totale des deux espèces *S. sphyraena* et *S. viridensis* respectivement.

L'examen du tableau 3 montre une corrélation significative (0,568 r 0,99; $P = 0,001$) entre les différents caractères mesurés et la longueur totale ou la longueur de la tête de *S. sphyraena*. La corrélation la plus faible est celle qui lie la hauteur de la deuxième nageoire dorsale à la longueur totale ($r = 0,568$). L'isométrie de croissance concerne cinq mesures parmi les vingt et un caractères mesurés: la longueur standard (Ls), la longueur pré-orbitaire (po), la hauteur du corps (Hc), la longueur pré-anale (Lpa) et la longueur de maxillaire inférieur (Max_{inf}). Dix mesures présentent une allométrie majorante. Il s'agit de: diamètre de l'œil (Do), la longueur post orbitaire (Po), la hauteur du pédoncule caudal (Hpc), la longueur post-pectorale, la longueur pré-dorsale 1, la longueur pré-dorsale 2, l'espace inter-dorsales, la longueur du maxillaire supérieur l'espace inter-orbitaire et l'épaisseur du corps. Des cas d'allométrie minorante sont enregistrés pour la longueur à la fourche, la longueur céphalique, la longueur pré-pectorale, la hauteur de la première nageoire dorsale et la hauteur de la deuxième nageoire dorsale.

Tableau 3. Equations de régression et coefficients de corrélation des caractères mesurés en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique de *Sphyraena sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Fonction	r	Relation d'allométrie	Valeurs limites			t _{obs}
Lf = f (Lt)	0,995	Lf = 0, 557Lt ^{0,985}	14,5 Lt	44,9	2,427	Minorante
Ls = f (Lt)	0,995	Ls = 0,472Lt ^{0,972}	14,5 Lt	44,9	0,103	Isométrie
Lc = f (Lt)	0,978	Lc = 0, 253Lt ^{0,914}	14,5 Lt	44,9	7,949	Minorante
Do = f (Lc)	0,893	Do = 0,046 Lc ^{1,177}	4,2 Lc	11,2	6,737	Majorante
po = f (Lc)	0,961	po = 0,33 Lc ^{0,988}	4,2 Lc	11,2	0,793	Isométrie
Po = f (Lc)	0,939	Po = 0,12 Lc ^{1,117}	2,1 Po	6	5,959	Majorante
Hc = f (Lt)	0,891	Hc = 0,078 Lt ^{0,998}	4,2 Lc	11,2	0,07	Isométrie
Hpc = f (Lt)	0,827	Hpc = 0,02 Lt ^{1,138}	1,3 po	4,6	4,251	Majorante
Lpd ₁ = f (Lt)	0,773	Lpd ₁ = 0,088 Lt ^{1,167}	14,5 Lt	44,9	4,513	Majorante
Lpd ₂ = f (Lt)	0,970	Lpd ₂ = 0,096 Lt ^{1,224}	1,5 Lpd ₁	11,5	11,481	Majorante
LPP = f (Lt)	0,969	LPP = 0,259 Lt ^{0,924}	14,5 Lt	44,9	5,878	Minorante
LpP = f (Lt)	0,881	LpP = 0,15 Lt ^{1,098}	4,2 LPP	15,2	3,659	Majorante
Lpa = f (Lt)	0,976	Lpa = 0,315 Lt ^{1,015}	5,7 LpP	24,7	1,344	Isométrie
Max _{inf} = f(Lc)	0,848	Max _{inf} = 0,249 Lc ^{1,032}	14,5 Lt	44,9	1,125	Isométrie
Max _{sup} = f(Lc)	0,835	Max _{sup} = 0,139 Lc ^{1,109}	4,2 Lc	11,2	3,485	Majorante
Lid = f (Lt)	0,867	Lid = 0,004 Lt ^{1,474}	0,8 Max _{sup}	4	14,713	Majorante
Lio = f (Lc)	0,623	Lio = 0,074 Lc ^{1,179}	14,5 Lt	44,9	3,897	Majorante
Ec = f (Lt)	0,918	Ec = 0,037 Lt ^{1,095}	0,7 Lio	4,3	4,117	Majorante
Hd ₁ = f (Lt)	0,663	H ₁ = 0,158 Lt ^{0,787}	4,2 Lt	44,9	3,667	Minorante
Hd ₂ = f (Lt)	0,568	H ₂ = 0,248 Lt ^{0,643}	0,9 Ec	4,4	6,293	Minorante
			24,3 Lt	43		
			1,5 H ₁	3,8		
			24,3 Lt	43		
			1,5 H ₂	3,2		

La hauteur de la première nageoire dorsale et celle de la deuxième nageoire dorsale chez *S. sphyraena* sont significativement différentes (Fig. 6). Ceci est confirmé par le test d'égalité des moyennes appliqué sur chaque classe de taille.

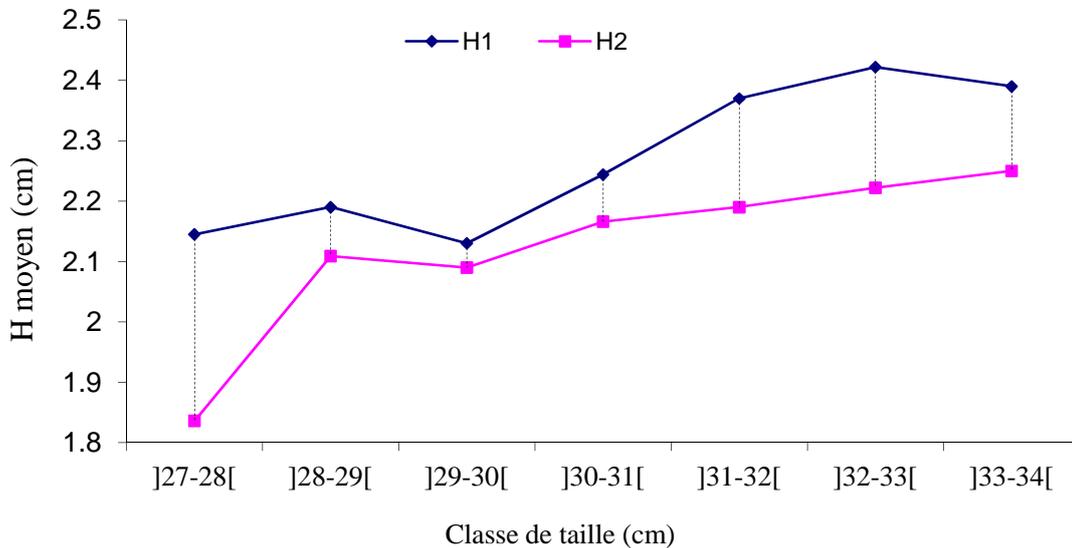


Figure 6. Comparaison de la hauteur de la première nageoire dorsale (H1) et la hauteur de la deuxième nageoire dorsale (H2) par classe de tailles chez *S. sphyraena*

L'étude morphologique de la population totale de *S. viridensis* a montré une corrélation très hautement significative ($0,876 < r < 0,998$; $p < 0,001$) entre les paramètres mesurés et la longueur totale (Lt) ou céphalique (Lc).

Parmi les paramètres étudiés, la longueur à la fourche (Lf), la longueur céphalique (Lc), le diamètre orbitaire (Do), la longueur pré-dorsale 1 (Lpd₁), la longueur pré-pectorale (LPP), la longueur pré-anale (Lpa) et la longueur du maxillaire supérieur (Max_{sup}) montrent une allométrie minorante, tandis que les autres paramètres qui présentent une allométrie majorante sont: la longueur pré-orbitaire (po), la hauteur du corps (Hc), la hauteur du pédoncule caudale (Hpc), la longueur du maxillaire inférieur (Max_{inf}), la longueur inter-dorsale (Lid), longueur inter-orbitaire (Lio) et l'épaisseur du corps (Ec). L'isométrie de croissance concerne quatre mesures: longueur standard (Ls), longueur post-orbitaire (po), la longueur pré-dorsale 2 (Lpd₂) et la longueur post-pectorale (LpP). (Tab. 4)

Tableau 4. Equations de régression et coefficients de corrélation des caractères mesurés en fonction de la longueur totale ou de la longueur céphalique de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Fonction	r	Relation d'allométrie	Valeurs limites	t _{obs}
Lf = f (Lt)	0,998	Lf = 0,992Lt ^{0,98}	25,4 Lt 88 23,2 Lf 80,2	4,852 Minorante
Ls = f (Lt)	0,997	Ls = 0,822 Lt	25,4 Lt 88 21,2 Ls 75,5	1,126 Isométrie
Lc = f (Lt)	0,993	Lc = 0,399 Lt ^{0,89}	25,4 Lt 88 6,2 Lc 23,1	11,24 Minorante
Do = f (Lc)	0,944	Do = 0,173 Lc ^{0,935}	6,2 Lc 23,1 1 Do 2,8	2,43 Minorante
po = f (Lc)	0,923	po = 0,159 Lc ^{1,359}	6,2 Lc 23,1 1,7 Po 10,6	9,763 Majorante
Po = f (Lc)	0,905	Po = 0,452 Lc ^{1,011}	6,2 Lc 23,1 3,1 po 11,2	0,335 Isométrie
Hc = f (Lt)	0,969	Hc = 0,047 Lt ^{1,2}	25,4 Lt 88 2,3 Hc 10,1	9,311 Majorante
Hpc = f (Lt)	0,965	Hpc = 0,023 Lt ^{1,16}	25,4 Lt 88 1 Hpc 4,2	7,175 Majorante
Lpd ₁ = f (Lt)	0,981	Lpd ₁ = 0,5 Lt ^{0,927}	25,4 Lt 88 10,1 Lpd ₁ 26,8	4,776 Minorante
Lpd ₂ = f (Lt)	0,962	Lpd ₂ = 0,692 Lt ^{0,964}	25,4 Lt 88 15,9 Lpd ₂ 43,1	1,584 Isométrie
LPP = f (Lt)	0,974	LPP = 0,341 Lt ^{0,94}	25,4 Lt 88 7,4 LPP 33,1	3,312 Minorante
LpP = f (Lt)	0,959	LpP = 0,329 Lt ^{1,019}	25,4 Lt 88 9 LpP 55,2	0,836 Isométrie
Lpa = f (Lt)	0,998	Lpa = 0,647 Lt ^{0,985}	25,4 Lt 88 15,7 Lpa 54,8	3,403 Minorante
Max _{inf} = f(Lc)	0,938	Max _{inf} = 0,182 Lc ^{1,24}	6,2 Lc 23,1 2,2 Max _{inf} 9,3	7,586 Majorante
Max _{sup} = f(Lc)	0,876	Max _{sup} = 0,397 Lc ^{0,921}	4,2 Lc 11,2 2,2 Max _{sup} 7,2	2,038 Minorante
Lid = f (Lt)	0,984	Lid = 0,104 Lt ^{1,122}	25,4 Lt 88 3,7 Lid 15,4	7,676 Majorante
Lio = f (Lc)	0,95	Lio = 0,125 Lc ^{1,197}	6,2 Lc 23,1 1,3 Lio 5,8	6,973 Majorante
Ec = f (Lt)	0,965	Ec = 0,025 Lt ^{1,32}	6,2 Lc 23,1 1,3 Ec 8,9	12,59 Majorante

2. 3. Dimorphisme sexuel

L'égalité des variances résiduelles entre les mâles et femelles des deux populations (*S. sphyraena* et *S. viridensis*) est confirmée par le test F (Tab. 5).

La comparaison des pentes et des ordonnées à l'origine des droites de régression indique que six caractères métriques permettent de distinguer les femelles des mâles de *S. sphyraena*: la hauteur du corps (Hc), la longueur pré-dorsale 1 (Lpd₁), la longueur pré-dorsale 2 (Lpd₂), la longueur pré-pectorale (LpP), la longueur pré-anale (Lpa) et la longueur du maxillaire inférieur (Max_{inf}).

Chez *S. viridensis*, dix caractères métriques présentent un dimorphisme sexuel: la longueur à la fourche (Lf), la longueur céphalique (Lc), le diamètre orbitaire (Do), la longueur prés-orbitaire (po), la longueur pré-dorsale 1 (Lpd1), la longueur pré-pectoral (Lpp), la longueur post-pectoral (LPp), la longueur pré-anale (Lpa), la longueur du maxillaire supérieur (Max_{sup}), et l'épaisseur du corps (Ec).

Sur l'ensemble des échantillons, le premier axe de l'analyse discriminante appliquée représente 99,2% de la variabilité ($\lambda = 0,017$, $P < 0,001$). Il permet de discriminer de manière très satisfaisante les deux espèces (*S. sphyraena* et *S. viridensis*) à partir de leurs caractères morphométriques (Fig. 7). Le test de Cohen-Kappa révèle un fort taux de reclassement au sein des groupes d'origine ($72,4 \pm 5,3\%$).

Le même résultat est obtenu pour séparer les mâles et les femelles de l'espèce *S. sphyraena* ($\lambda = 0,33$, $P < 0,001$). Par contre la discrimination entre les sexes de l'espèce *S. viridensis* est mauvaise ($\lambda = 0,78$, $P < 0,001$) et seulement 44 % des observations sont correctement classées par rapport aux groupe de référence (Tab. 6).

Tableau 5. Test d'égalité des variances, comparaison de la pente et de la position des droites de régression chez les mâles et les femelles de *S. sphyraena* et de *S. viridensis*.

Fonction	<i>Sphyraena sphyraena</i>			<i>Sphyraena viridensis</i>		
	Homogénéité des variances	Comparaison des pentes (tpe)	Comparaison des ordonnées à l'origine (tpo)	Homogénéité des variances	Comparaison des pentes (tpe)	Comparaison des ordonnées à l'origine (tpo)
	F _{obs}	t _{obs}	t _{obs}	F _{obs}	t _{obs}	t _{obs}
Lf = f (Lt)	1,015	1,053	-	1,353	9,176*	0,052
Ls = f (Lt)	1,051	1,239	-	1,3	0,974	-
Lc = f (Lt)	0,977	1,101	-	1,041	3,277*	0,042
Do = f (Lc)	0,965	1,171	-	1,01	2,078*	0,019
po = f (Lc)	0,988	1,494	-	0,367	2,534*	0,019
Po = f (Lc)	0,983	0,807	-	1,071	1,365	-
Hc = f (Lt)	1,023	2,098*	0,793	0,979	1,914	-
Hpc = f (Lt)	1,005	0,068	-	0,998	0,223	-
Lpd ₁ = f (Lt)	0,981	2,123*	1,106	1,044	4,749*	0,07
Lpd ₂ = f (Lt)	0,898	3,869*	0,116	1,034	1,319	-
LpP = f (Lt)	0,978	5,196*	0,539	1,048	4,953*	0,055
LPP = f (Lt)	0,984	0,611	-	0,792	5,924*	0,026
Lpa = f (Lt)	1,056	9,466*	0,111	1,166	3,133*	0,072
M _{inf} = f (Lc)	0,992	5,228*	1,075	0,987	1,796	-
M _{sup} = f (Lc)	1,015	0,216	-	1,094	5,415*	0,081
Lid = f (Lt)	1,033	0,658	-	1,028	1,194	-
Lio = f (Lc)	1,018	1,525	-	0,998	1,806	-
Ec = f (Lt)	1,004	0,162	-	0,867	4,125*	0,049

Lt: Longueur totale; Lf: Longueur à la fourche; Ls: Longueur standard; Lc: Longueur céphalique; DO: Diamètre orbitaire; Lpo: Longueur pré-orbitaire, LPo: Longueur post-orbitaire; Lpp: Longueur pré-pectorale; LPP: Longueur post-pectorale; Lpd₁: Longueur pré-dorsale 1; Lpd₂: Longueur pré-dorsale 2; Lpa: Longueur pré-anale; Hc: Hauteur du corps; Hpc: Hauteur du pédoncule caudal; Ec: Epaisseur du corps; Mi: Longueur du maxillaire supérieur; Ms: Longueur du maxillaire inférieur; Lid: Longueur inter dorsales; Lio: Longueur inter orbitaire; Hd₁: Hauteur de la 2^{ème} épine dure de la 1^{ère} dorsale; Hd₂: Hauteur du 1^{er} rayon mou de la 2^{ème} dorsale; AH: acceptation de l'hypothèse; RH: rejet de l'hypothèse.

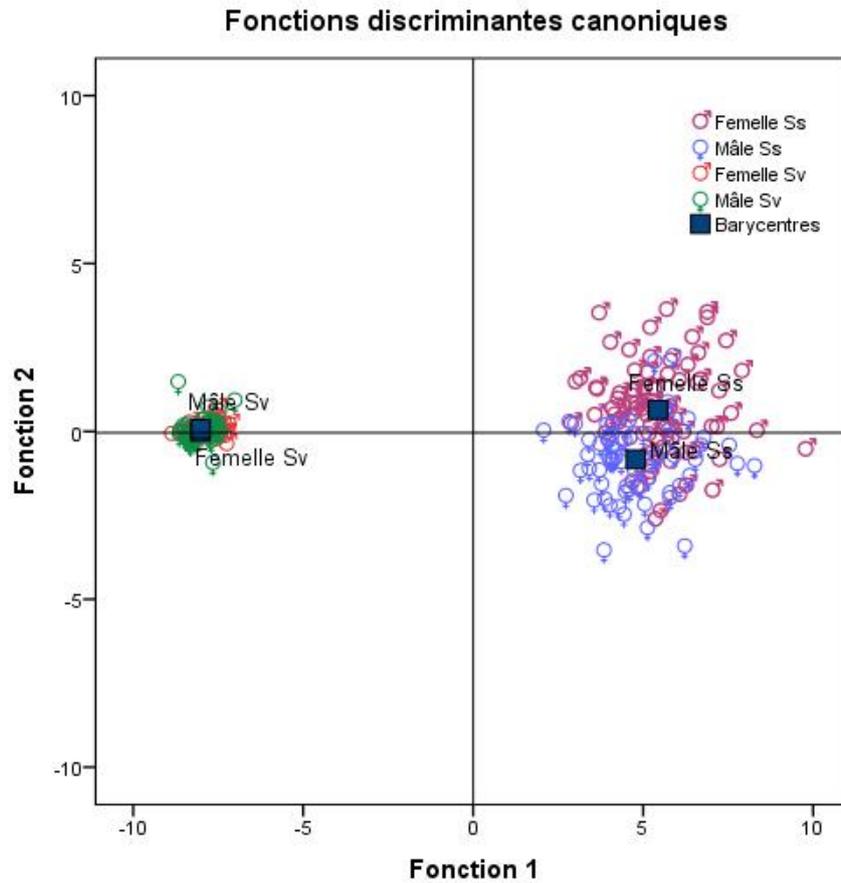


Figure 7. Analyse canonique discriminante (ACD) appliquée aux caractères biométriques de deux Sphyraenidae: *S. sphyraena* et *S. viridensis*.

Tableau 6. Pourcentages d'individus correctement classés pour chaque population de *S. sphyraena* et de *S. viridensis*

	Sexe	Classe(s) d'affectation prévue(s)				Total
		Femelle <i>S. s</i>	Mâle <i>S. s</i>	Femelle <i>S. v</i>	Mâle <i>S. v</i>	
Effectif	Femelle <i>S. s</i>	61	21	0	0	82
	Mâle <i>S. s</i>	13	53	0	0	66
	Femelle <i>S. v</i>	0	0	42	8	50
	Mâle <i>S. v</i>	0	0	25	20	45
%	Femelle <i>S. s</i>	74.4	25.6	.0	.0	100.0
	Mâle <i>S. s</i>	19.7	80.3	.0	.0	100.0
	Femelle <i>S. v</i>	.0	.0	84.0	16.0	100.0
	Mâle <i>S. v</i>	.0	.0	55.6	44.4	100.0

3. Discussion

Les caractères numériques étudiés chez *S. sphyraena* ont une amplitude de variation très différente. La moyenne et le mode ont des valeurs très proches. Le nombre d'épines dures de la première nageoire dorsale (5) est identique à celui rapporté par Fisher et *al.* (1987) et par Relini et Orsi-Relini (1997). Nous avons trouvé exceptionnellement un spécimen avec 6 épines.

La deuxième nageoire dorsale est munie d'une épine dure et de huit rayons mous. Ce résultat est identique à ce que rapportent les deux auteurs précités. La nageoire anale est formée par deux épines dures et huit à neuf rayons mous. Fisher et *al.* (1987) rapportent exactement la même chose, tandis que Relini et Orsi-Relini (1997) ne trouvent qu'une seule épine dures et neuf rayons mous. La nageoire pelvienne possède une ou deux épines dures et cinq rayons mous.

Le nombre d'écaillés de la ligne latérale est le caractère numérique le plus étendu (127-150). Il est très proche de celui trouvé par Fisher et *al.* (1987) (129-145), mais sensiblement, inférieur à celui rapporté par Relini et Orsi-Relini (1997) (137-150). Le nombre de lignes d'écaillés au dessus de la ligne latérale varie entre 14 et 17. Cette amplitude de variation est inférieure à ce qui est signalé par Relini et Orsi-Relini (1997) (15-17).

Le nombre de vertèbres correspond à celui rapporté par Aboussouan (1994), soit 25 vertèbres. Les caractères métriques examinés sont significativement corrélés à la longueur totale ou à la longueur céphalique ($0,543 < r < 0,99$; $P < 0,001$). 30 % de ces caractères présentent une croissance isométrique, 45 % présentent une croissance majorante et 25 % montrent une croissance minorante. L'isométrie de croissance concerne six mesures parmi les vingt et un caractères mesurés: la longueur à la fourche, la longueur pré-orbitaire, la hauteur du corps, la longueur pré-anale et la longueur des maxillaires inférieur et supérieur. Neuf mesures présentent une allométrie majorante. Cinq cas d'allométrie minorante sont enregistrés et concernent la longueur pré-dorsale de la deuxième nageoire dorsale, la longueur céphalique et la longueur pré-pectorale. Cependant, la longueur du maxillaire supérieur semble valable pour distinguer les mâles des femelles de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba, ces dernières auraient un maxillaire plus grand.

La hauteur de la première nageoire dorsale est plus longue que celle de la deuxième nageoire dorsale, Fisher et *al.* (1987) et Relini et Orsi-Relini (1997) rapportent exactement

la même chose. Cette différence de longueur est un caractère morphologique apparent de distinction entre les deux espèces *S. sphyraena* et *S. viridensis*.

Les caractères numériques étudiés chez le barracuda à bouche jaune *S. viridensis* ont une amplitude de variation légèrement différente. La moyenne et le mode ont des valeurs très proches. Le nombre d'épines dures de la première nageoire dorsale (5) est identique à celui rapporté par Relini et Orsi-Relini (1997).

La deuxième nageoire dorsale est munie d'une épine dure et de neuf rayons mous. Ce résultat est identique à ce que rapportent les deux auteurs précités. La nageoire anale est formée par deux épines dures et huit rayons mous. Relini et Orsi-Relini (1997) rapportent exactement la même chose. La nageoire pelvienne possède une ou deux épines dures et cinq rayons mous.

Le nombre d'écaillés de la ligne latérale est le caractère numérique le plus étendu (137-150). Il est sensiblement inférieur à celui rapporté par Relini et Orsi-Relini (1997) (151-160). Le nombre de lignes d'écaillés au dessus de la ligne latérale varie entre 15 et 23. Cette amplitude de variation est proche à ce qui est signalé par Relini et Orsi-Relini (1997) (21-22). Le nombre de vertèbres correspond à celui rapporté par Aboussouan (1994), soit 25 vertèbres.

Les caractères métriques examinés sont significativement corrélés à la longueur totale ou à la longueur céphalique ($r = 0,876$; $P < 0,001$). 22 % de ces caractères présentent une croissance isométrique, 38 % présentent une croissance majorante et 38 % montrent une croissance minorante. L'isométrie de croissance concerne quatre mesures parmi les dix-huit caractères mesurés: la longueur standard, la longueur post-orbitaire, la longueur pré-dorsale de la deuxième nageoire dorsale, la longueur post-pectorale. Sept mesures présentent une allométrie majorante. Sept cas d'allométrie minorante sont enregistrés et concernent la longueur à la fourche, la longueur céphalique, le diamètre orbitaire, la longueur pré-dorsale de la première nageoire dorsale, la longueur pré-pectorale, la longueur prés-anale et la longueur du maxillaire supérieur.

Le dimorphisme sexuel décelé, aussi bien pour l'espèce *S. sphyraena* (six caractères métriques) que pour l'espèce *S. viridensis* (dix caractères), peut-être attribué aux variations de croissance entre les femelles et les mâles des deux espèces étudiés.

Sur l'ensemble des échantillons, le premier axe de l'analyse discriminante appliquée représente 99,2% de la variabilité ($\lambda = 0,017$, $P < 0,001$). Il permet de discriminer de manière très satisfaisante les deux espèces (*S. sphyraena* et *S. viridensis*) à partir de leurs caractères morphométriques (Fig. 7). Le test de Cohen-Kappa révèle un fort taux de reclassement au sein des groupes d'origine ($72,4 \pm 5,3\%$).

Les résultats issus de cette étude ont démontré que la comparaison de la forme du corps (la morphométrie corporelle) de *S. sphyraena* et *S. viridensis* est une méthode efficace pour différencier des deux espèces.

Discrimination par l'analyse de forme des otolithes de *Sphyraena viridensis* et *Sphyraena sphyraena*

Introduction

Les otolithes sont des concrétions minéralisées de carbonates de calcium (CaCO_3), métaboliquement inertes, ne pouvant subir ni dissolution ni résorption (Campana, 1999). Ils sont situés dans l'oreille interne des Téléostéens où ils participent à la fonction mécanoréceptrice d'audition et d'équilibration (Popper et Combs, 1980). Les otolithes constituent donc des éléments de la perception de l'environnement chez les poissons. Par ailleurs, ils enregistrent les traits d'histoire de vie des individus (âge, éléments chimiques, reproduction...) et ont été décrits comme des véritables « boîte noire » (Lecomte-Finiger, 1999).

Depuis la mise en évidence des marques journalières de croissance (Pannella, 1971), ils sont utilisés en biologie, dans de nombreuses études (Campana, 2005): détermination des espèces (L'Abbée-Lund, 1988), estimation de l'âge (Cardinale *et al.*, 2004), de la croissance des individus (Baillon, 1992), estimation des stocks (Friendland et Reddin 1994; Tracey *et al.*, 2006; Gonzalez-Salas et Lenfant, 2007), détermination des régimes alimentaires de prédateurs (Barrett *et al.*, 1990; Martucci *et al.*, 1993; Velando et Freire, 1999).

La forme des otolithes est spécifique (L'Abbée-Lund, 1988; Campana et Casselman, 1993), et donc soumise « en partie » à la génétique. Leur étude représente donc un bon outil dans un but de reconnaissance, de classification et d'identification des espèces (L'Abbée-Lund, 1988; Lo-Yat, 2002; Campana, 2004; Lombarte *et al.*, 2006). En outre, des études récentes ont montré que la forme des otolithes était en étroite relation avec les conditions environnementales (Hoff et Fuiman 1993; Lombarte et Leonart 1993, Cardinale *et al.*, 2004). Ils peuvent donc être utilisés afin de caractériser diverses populations locales (Pothin *et al.*, 2006; Mérigot *et al.*, 2007; Vignon et Morat, 2010). Une population locale peut être définie comme l'appartenance d'individus d'une même espèce vivant dans un milieu donné à un instant t.

La présence au Sud de la Méditerranée de *S. sphyraena* et *S. viridensis* est restée longtemps incertaine (Fischer *et al.*, 1987) et les deux espèces sont considérées dans la littérature comme les formes juvénile et adulte de la même espèce *S. sphyraena* (Bini, 1969; Tortonèse, 1975; Bauchot et Pras, 1980). Afin de confirmer le statut de ces espèces,

nous avons tenté de les discriminer en utilisant l'analyse de forme des otolithes, notamment les transformées elliptiques de Fourier.

1. Matériels et méthodes

Les échantillons traités proviennent du Golfe d'Annaba (36°54'N, 7°45'E) (Figure 8), sur la côte Est de l'Algérie entre 2001 et 2005. Un total de 91 spécimens de *S. sphyraena* et 103 spécimens de *S. viridensis* ont été échantillonnés. Leur longueur totale est comprise entre 176 et 425 mm pour *S. sphyraena* et entre 254 et 888 mm pour *S. viridensis*

1. 1. Extraction des *sagittae*

Les paires de *sagittae* ont été extraites à l'aide de pinces fines et nettoyées à l'eau distillée, et conservées à sec dans des tubes référencés. La longueur totale (LT) du poisson a été mesurée au millimètre près (mm) et les *sagittae* pesées à 0,001 gramme près (mg).

Les changements relatifs de ces dimensions, sont étudiés en utilisant l'équation de régression de type axe majeur réduit, préconisée par Teissier (1948) pour les études d'allométrie.

1. 2. Mesure de la forme des otolithes

1. 2. 1. Descripteur de distance

Des mesures ont été réalisées sur chaque otolithe, *le sulcus acusticus* orienté vers l'observateur, à l'aide d'une loupe binoculaire (Meica WildM8) munie d'une caméra vidéo monochrome (CCD modèle XC-77CE), elle-même reliée à un ordinateur (Fig. 8).

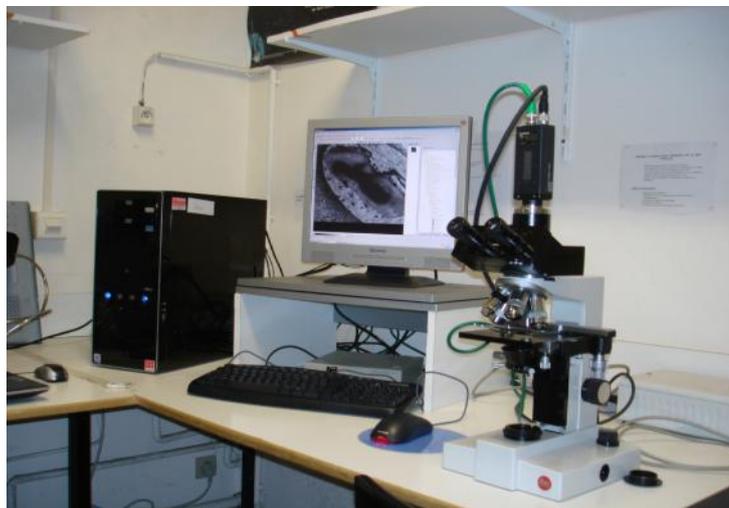


Figure 8. Outils utilisés pour prise de photos.

Le grossissement $\times 12$ ou $\times 18$ à été utilisé en fonction de la taille des otolithes. Un éclairage épiscopique par fibres optiques a permis de régler la direction et l'intensité de la lumière afin d'obtenir l'image la plus contrastée possible. L'acquisition des images et une partie du traitement ont été réalisées à l'aide du logiciel Visilog 6.1 qui calcule automatiquement l'aire (A_o), le périmètre (P_o), la longueur (L_o) et la largeur (l_o) des otolithes.

A partir de ces mesures, différents indices de formes ont été établis (Tab. 7) afin de décrire la forme des otolithes en s'affranchissant des unités et donc des différences de tailles entre otolithes.

Tableau 7. Indices de forme établis à partir des mesures morphométriques de l'otolithe (modifié d'après Tuset *et al.*, 2003 a, b)

Indices de forme	Formule
Coefficient de forme	$(4fA_o)/P_o^2$
Rondeur	$(4A_o)/(L_o^2)$
Circularité	P_o^2/A_o
Rectangularité	$A_o/(L_o \times l_o)$
Ellipticité	$(L_o + l_o) / (L_o - l_o)$

1. 2. 2. Descripteur du contour de l'otolithe

La forme d'un objet peut être décrite à divers degrés de précision en utilisant la décomposition de son contour par des séries de Fourier. Dans cette approche, le contour est fonction périodique qui s'exprime en une somme de termes d'une série trigonométrique à base de sinus et de cosinus. Cette série est caractérisée par des composés appelés harmoniques dont les coefficients peuvent servir de variables descriptives pour la forme de l'objet. Ce système permet ainsi de décrire grossièrement le contour de l'objet par des harmoniques à basse fréquences, et l'addition d'harmoniques d'ordre croissant augmente la précision. Kuhl et Giardina (1982) propose d'utiliser les séries de Fourier en travaillant en coordonnées curvilignes sur le contour par les descripteurs de Fourier elliptiques. Parmi d'autres méthodes basées sur les développements de Fourier, elle s'est montrée la plus puissante dans le domaine des descriptions taxonomiques (Rolf et Archie, 1984; Ferson *et al.*, 1985; Crampton, 1985) et sera utilisée dans ce travail.

Le principe de cette méthode est basé sur la description du contour fermé d'un objet, lequel peut être représenté par deux séries $x(t)$ et $y(t)$ correspondant aux projections

du contour sur l'axe des ordonnées d'un repère quelconque. Les projections sont fonction de la distance (t) mesurée le long du contour à partir d'un point arbitraire. Pour les projections sur les deux axes de la série x(t) et y(t), les descripteurs de Fourier elliptiques sont calculés comme suit:

$$x(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{j=1}^m (A_j \cos j\check{S}t + B_j \sin j\check{S}t)$$

$$y(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{j=1}^m (C_j \cos j\check{S}t + D_j \sin j\check{S}t)$$

Avec

- A_j, B_j, C_j, D_j coefficients de Fourier à la $j^{\text{ième}}$ harmonique
- t : Distance de l'arc mesurée le long du contour à partir d'un point de départ arbitraire. $t \in [0, T]$, T étant le périmètre du contour fermé (approximation par le polygone équivalent). T est aussi la période des fonctions x(t) et y(t), ce qui permet de définir la longueur d'onde $\lambda = 2/T$
- j : nombre d'harmoniques
- m : nombre total d'harmoniques utilisées pour approcher x(t)

A la fonction x(t) correspond la projection du contour sur l'axe des abscisses, les deux coefficients de Fourier A_j et B_j sont alors calculés par la méthode des moindres carrés.

$$A_j = \frac{T}{2f^2j^2} \sum_{p=1}^k \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} * \left(\cos \frac{2fjt_p}{T} - \cos \frac{2fjt_{p-1}}{T} \right)$$

$$B_j = \frac{T}{2f^2j^2} \sum_{p=1}^k \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} * \left(\sin \frac{2fjt_p}{T} - \sin \frac{2fjt_{p-1}}{T} \right)$$

Avec :

- k : nombre de points du contour (indexé par p)
- x_p : déplacement sur l'axe des abscisses du contour entre les points p-1 et p
- t_p : longueur du segment linéaire compris entre les points p-1 et p
- t_p : somme cumulée des longueurs de segment t_p .

Les coefficients C_i et D_i pour la projection y(t) sont calculés de la même façon. A partir d'un contour fermé, 4 coefficient par harmonique peuvent être calculés, A_n et B_n pour la projection x(t) sur l'axe des abscisses, C_n et D_n pour la projection y(t) sur l'axe des ordonnées.

A partir des photographies de chaque otolithe, le traitement informatique a été réalisé grâce au logiciel Shape version 1.2 (Iwata et Ukai, 2002) qui utilise des procédures d'invariance et de standardisation suggérées par Kuhl et Giardina (1982). Il calcule ainsi les coefficients de Fourier de manière à les rendre invariant à la position, la taille de l'otolithe ainsi qu'à son orientation et à la position de point de départ et du contour. Ceci facilite la numérisation de l'otolithe sans avoir à le placer par rapport à un repère.

De plus, la transformation inverse des descripteurs de Fourier permet de déterminer visuellement et progressivement la qualité de l'approximation du contour réel par le contour calculé en recalculant les coordonnées des k points du contour à partir des coefficients de Fourier A_n, B_n, C_n, D_n pour un nombre n d'harmoniques donné, et permet ainsi de déterminer le nombre d'harmoniques nécessaire à la description du contour de l'otolithe. En complément, la puissance de Fourier (PF) a été calculée de façon à déterminer le nombre d'harmoniques suffisamment cohérent pour la meilleure reconstruction des otolithes (Crampton, 1995):

$$PF_n = (A_n^2 + B_n^2 + C_n^2 + D_n^2) / 2$$

Avec A_n, B_n, C_n, D_n les coefficients de Fourier à la $n^{\text{ième}}$ harmonique.

En représentant graphiquement la puissance de Fourier cumulée moyenne en fonction du nombre d'harmoniques, obtenu à partir d'un sous échantillonnage de 30 otolithes pris au hasard sur l'ensemble des populations, le gain de l'information pour la description du contour à chaque harmonique a été déterminé. Un seuil de 99,99 % de la puissance de Fourier cumulée moyenne totale a été choisi afin de décider du nombre d'harmoniques suffisant pour décrire le contour des otolithes de ce sous échantillon. Ce même nombre a ensuite été considéré pour analyser l'ensemble des otolithes de cette étude.

1. 3. Analyse statistique

Des coefficients de corrélation linéaire de Pearson ont été calculés afin de détecter des redondances d'information que pourraient apporter des descripteurs (indices de forme et coefficients de Fourier), auxquels cas ils seraient éliminés, en admettant qu'un indice fortement corrélé à plusieurs est redondant. Ces conditions étant vérifiées, les analyses statistiques suivantes ont été réalisées, en particulier un test-t de Student pour comparer les moyennes des masses entre les otolithes gauches et droites, et une analyse de variance (Anova) à un facteur pour comparer les moyennes des indices de forme entre échantillons.

Une analyse discriminante, analyse multivariée d'ordination sous contrainte, a été effectuée à partir des indices de forme et des coefficients de Fourier. Elle permet de tester, à l'aide d'un certain nombre de variables quantitatives (indices de forme, coefficients de Fourier) l'appartenance des individus aux groupes définis *a priori* et la validité de ces groupes. Contrairement aux méthodes d'ordination sans contrainte (analyses en composantes principales par exemple), où les objets s'arrangent selon leurs axes de variation principaux, l'analyse discriminante vise à trouver les combinaisons linéaires des descripteurs qui maximisent la différence entre groupes connus, tout en minimisant la variabilité à l'intérieur de chaque groupe.

La contribution relative des descripteurs à la discrimination finale est évaluée par les coefficients des fonctions discriminantes standardisées. De plus, l'analyse discriminante permet d'effectuer un reclassement des individus *a posteriori* sur les données ayant servies à la discrimination.

La qualité de la discrimination des différents groupes se mesure par la valeur du lambda de Wilks (λ) qui est le rapport de la variance intra-groupe et de la variance totale. Il varie entre 0 et 1, une faible valeur de lambda de Wilks indiquant une bonne discrimination.

Les analyses statistiques et discriminantes globales ont été effectuées à l'aide du logiciel R.

2. Résultats

Les sagittae des deux espèces étudiées ont une forme assez proche (Fig. 9). La forme générale est elliptique, aigüe à l'extrémité rostrale et plus émoussée sur le bord postérieur. L'antirostre est bien individualisé, le rostre est à l'extrémité pointue chez les jeunes comme chez les adultes des deux espèces. La face externe est concave. La face interne est convexe creusé longitudinalement par un sillon, le sulcus qui s'arrête avant l'extrémité postérieure, est plus profond chez les adultes.

Cette structure générale présente des variations de détail selon la taille (l'âge). Souvent les otolithes des juvéniles des deux espèces montrent des bords finement crénelés et une face externe fortement bourrelée. Au stade adulte, les bords deviennent plus émoussés, mais des saillies et excroissances typiques apparaissent; la face externe devient plus lisse. Chez des individus les plus âgés de l'espèce *Sphyraena viridensis*, les otolithes deviennent plus compactes, et toutes les structures ont tendance à s'émousser.

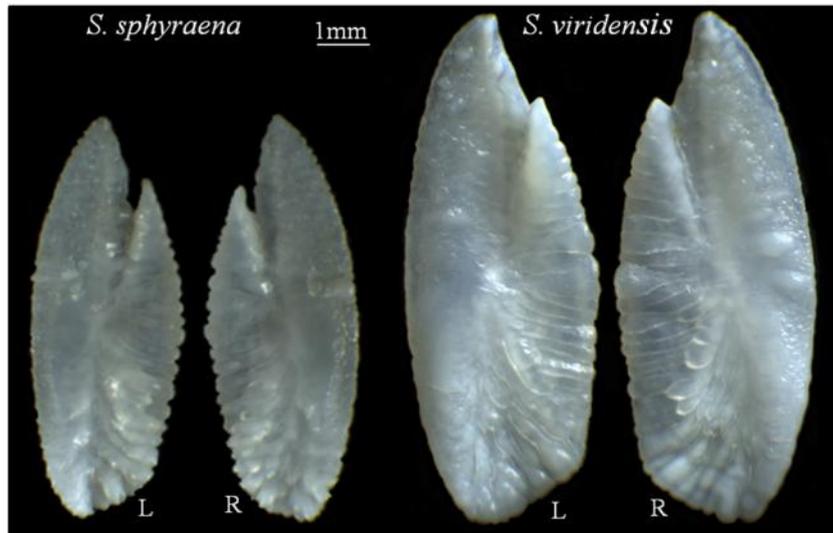


Figure 9. Otolithes sagittae droit (R) et gauche (L) de *S. sphyraena* (LT = 37 cm) et de *S. viridensis* (LT = 64 cm), capturés dans le golfe d'Annaba.

La corrélation entre les différents paramètres mesurés (longueur, largeur, épaisseur, surface) des otolithes droits et gauches et la longueur totale des poissons est significative ($0,935 < r < 0,987$; $P < 0,05$), bien que l'allométrie de croissance est minorante (Fig. 10). L'analyse des régressions montre que les otolithes droit et gauche sont identiques chez chacune des espèces *S. sphyraena* et *S. viridensis*.

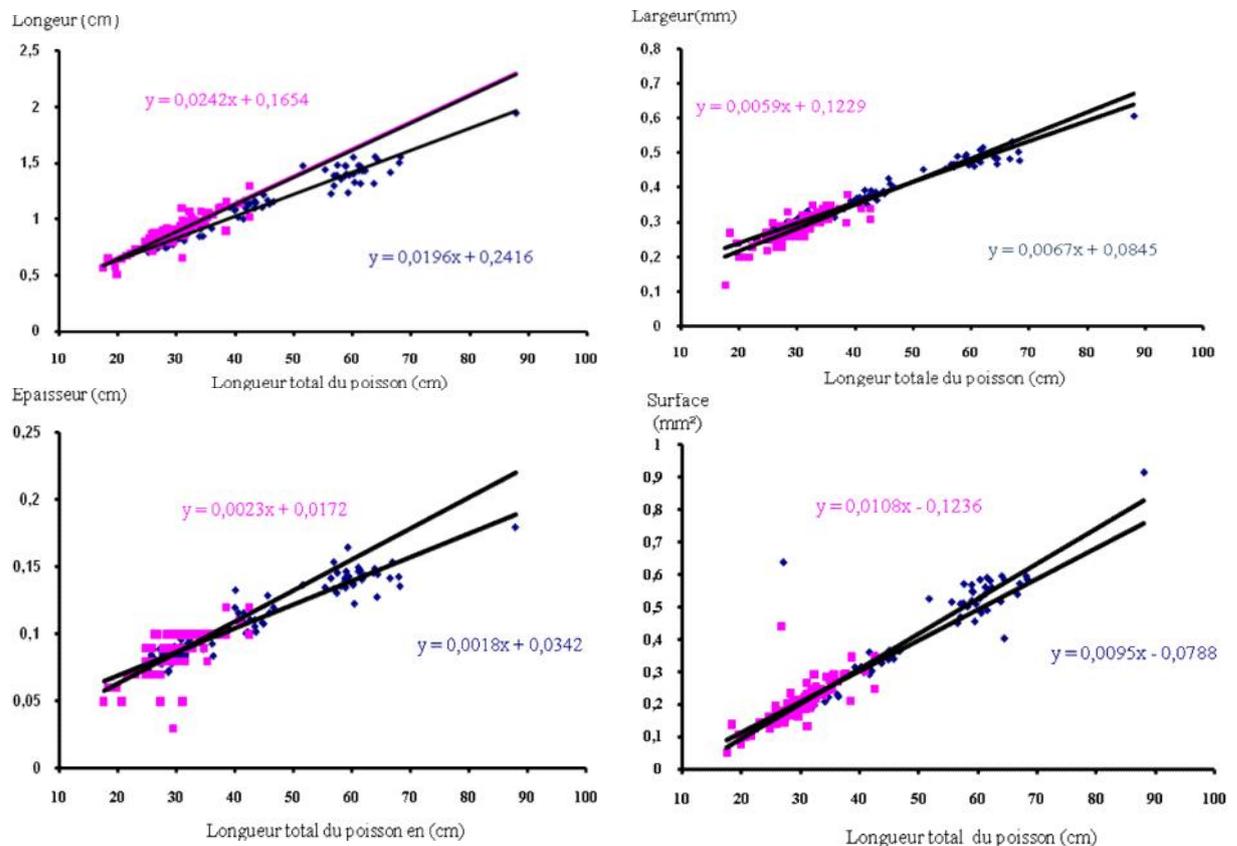


Figure 10. Relation métrique entre l'otolithe droit et la longueur totale de *S. sphyraena* (■) et de *S. viridensis* (◆)

2. 1. Discrimination par la masse des otolithes

Sur l'ensemble des échantillons, et pour les 194 individus ($n = 249$ otolithes) dont les distributions des masses des otolithes sont comprises entre 0,00690 et 0,07110 g pour l'espèce *S. sphyraena* et 0,01660 et 0,24730 g pour l'espèce *S. viridensis*, suivant une loi normale pas de différence significative (Test t de la différence des moyennes = 0,001; $t = -1,85$; Valeur de $p = 0,034$) est observé par test-t pour échantillons appariées, entre les masses des otolithes gauches et droites pour l'espèce *S. viridensis*, avec une moyenne de la masse de l'otolithe gauche ($P_{\text{moy}} = 0,05730$ g) identique à celle de l'otolithe droit ($P_{\text{moy}} = 0,05751$ g). Le même résultat est obtenu chez l'espèce *S. sphyraena* (Test t de la différence des moyennes = 0,001; $t = -9,14$, Valeur de $p = 0,000$) dont la moyenne de la masse de l'otolithe gauche ($P_{\text{moy}} = 0,0287$ g) identique à celle de l'otolithe droit ($P_{\text{moy}} = 0,0288$ g). Sur l'ensemble des échantillons traités, une homogénéité de la moyenne des masses des otolithes droits et gauches est enregistrée pour les deux espèces.

2. 2. Indices de forme

Les moyennes des indices de formes entre otolithes gauches et droites de l'espèce *S. sphyraena* sont identiques mise à part le coefficient de forme et la circularité (Tab. 8). Les moyennes des descripteurs de distances testées séparément chez les deux espèces montrent une différence significative entre les otolithes droits et gauches de l'espèce *S. sphyraena*. Par contre, aucun dimorphisme significatif n'est observé entre les otolithes droits et gauches de l'espèce *S. viridensis* (Pas de différences significatives).

Tableau 8. Moyennes des indices de forme entre les otolithes gauches et droites de *S. viridensis* ($N = 27$) et de *S. sphyraena* ($N = 24$).

Indices de forme	Espèces	Moyenne \pm Ecart type	
		Gauche	Droit
Coefficient de forme	<i>Sphyraena viridensis</i>	0,333 \pm 0,018	0,338 \pm 0,021
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	0,381 \pm 0,039	0,372 \pm 0,035
Rondeur	<i>Sphyraena viridensis</i>	0,343 \pm 0,026	0,342 \pm 0,026
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	0,332 \pm 0,019	0,333 \pm 0,017
Circularité	<i>Sphyraena viridensis</i>	37,741 \pm 2,091	37,281 \pm 2,411
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	33,340 \pm 3,586	34,010 \pm 3,466
Rectangularité	<i>Sphyraena viridensis</i>	0,718 \pm 0,015	0,722 \pm 0,013
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	0,727 \pm 0,018	0,727 \pm 0,022
Ellipticité	<i>Sphyraena viridensis</i>	0,454 \pm 0,034	0,457 \pm 0,033
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	0,471 \pm 0,020	0,470 \pm 0,020

2. 3. Descripteurs de Fourier elliptiques

2. 3. 1. Puissance de Fourier

Le calcul de la puissance de Fourier cumulée permet d'observer (Fig. 11) qu'une reconstruction du contour des otolithes à 99,99 % est obtenue à la quatorzième harmonique pour l'espèce *S. viridensis* et à partir de la seizième harmonique pour l'espèce *S. sphyraena*. Le contour des otolithes peut donc être décrit de manière satisfaisante par les quatorze premières harmoniques et par les seize premières harmoniques de l'analyse de Fourier respectivement pour *S. viridensis* et pour *S. sphyraena*.

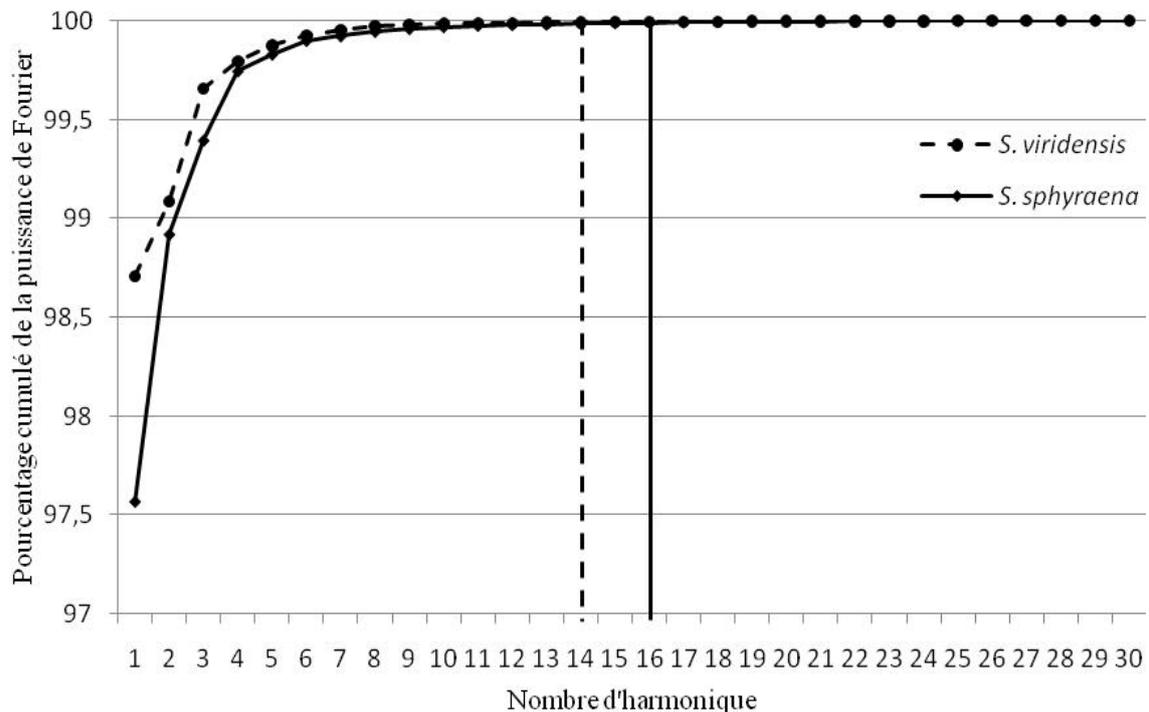


Figure 11. Moyenne du pourcentage cumulé de la puissance de Fourier en fonction du nombre d'harmoniques décrivant le contour de l'otolithe des deux espèces.

2. 3. 2. Transformation inverse des descripteurs de Fourier

La transformation inverse des descripteurs de Fourier permet de contrôler la qualité de l'approximation faite du contour réel par le contour calculé à partir des coefficients de Fourier; ceci pour les otolithes droits et gauches des deux espèces.

Le contour reconstruit à la première harmonique est une ellipse simple. Les différences entre le contour original et reconstruit s'amenuisent en augmentant le nombre d'harmoniques. Elles sont visuellement très faibles dès la dixième harmonique et quasi-

nulle à la treizième. L'utilisation de treize harmoniques pour exécuter l'analyse de Fourier elliptique sur l'ensemble des otolithes est donc confirmée (Fig. 12).

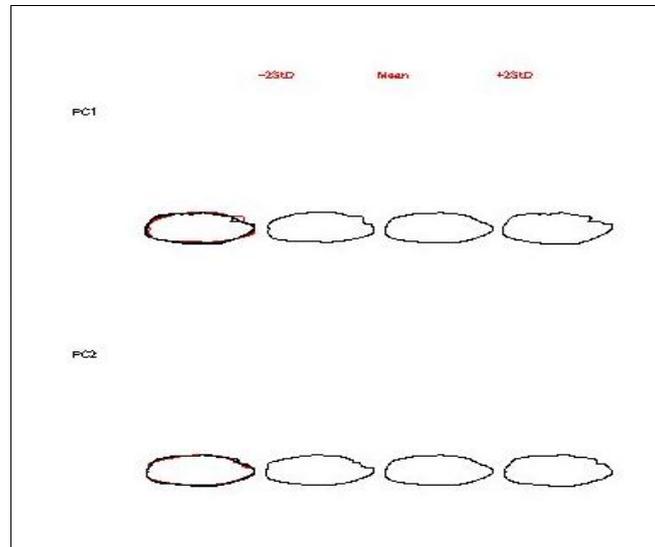


Figure 12. Progression de la reconstruction du contour d'origine de l'otolithe par transformation inverse des descripteurs de Fourier en fonction du nombre d'harmonique.

Cette méthode permet d'obtenir pour chaque otolithe 56 coefficients de Fourier (4 coefficients \times 14 harmoniques) Les coefficients issus de la première harmonique ont cependant été éliminés puisque le contour construit à partir de ceux-ci n'est qu'une simple ellipse alors que la puissance de Fourier correspondante est la plus forte. Ces coefficients risqueraient donc de masquer l'information issue des harmoniques des plus hauts rangs (Crampton, 1995). 52 coefficients de Fourier (4 \times 13 harmoniques) sont donc utilisés comme descripteurs dans les analyses multivariées.

2. 4. Discrimination des espèces

2. 4. 1. Analyse discriminante

Sur l'ensemble des échantillons, le premier axe de l'analyse discriminante représente 70,91% de la variabilité ($\lambda = 0,061$, $P < 0,001$: Tab. 9). Il permet de discriminer de manière satisfaisante les deux espèces (*S. sphyraena* et *S. viridensis*) à partir de la forme de leur otolithes. Le test de Cohen-Kappa révèle un fort taux de reclassement au sein des groupes d'origine ($85,8 \pm 5,3\%$).

Le même résultat est obtenu pour séparer les otolithes droits et gauches de l'espèce *S. viridensis* ($\lambda = 0,308$, $P < 0,001$). Par contre la discrimination entre les otolithes droits et

gauches de l'espèce *S. sphyraena* est mauvaise ($\lambda = 0,647$, $P < 0,001$) et seulement 9,63 % des observations sont correctement classées par rapport aux groupe de référence.

Tableau 9. Récapitulatif des résultats des analyses discriminantes des 52 descripteurs de Fourier, réalisées entre les otolithes gauches et droits des deux espèces.

	Descripteurs de Fourier		
	F1	F2	F3
λ	0,0615	0,308	0,647
P	<0,001	<0,001	<0,001
Pourcentage d'inertie	70,91%	19,47%	9,63%

Les analyses discriminantes simples discriminent des groupes ($P < 0,001$) au moins sur les deux premières fonctions (f1 et f2). Compte tenu des faibles λ correspondants, seules celle-ci sont présentés pour la fonction 3 (f3). La représentation graphique de la discrimination obtenue à partir de l'ensemble des descripteurs analysés sur les otolithes des deux espèces, visuellement plus explicite, est représenté sur la figure 13.

Function 2 (19.5%), $\lambda = 0.308^{***}$

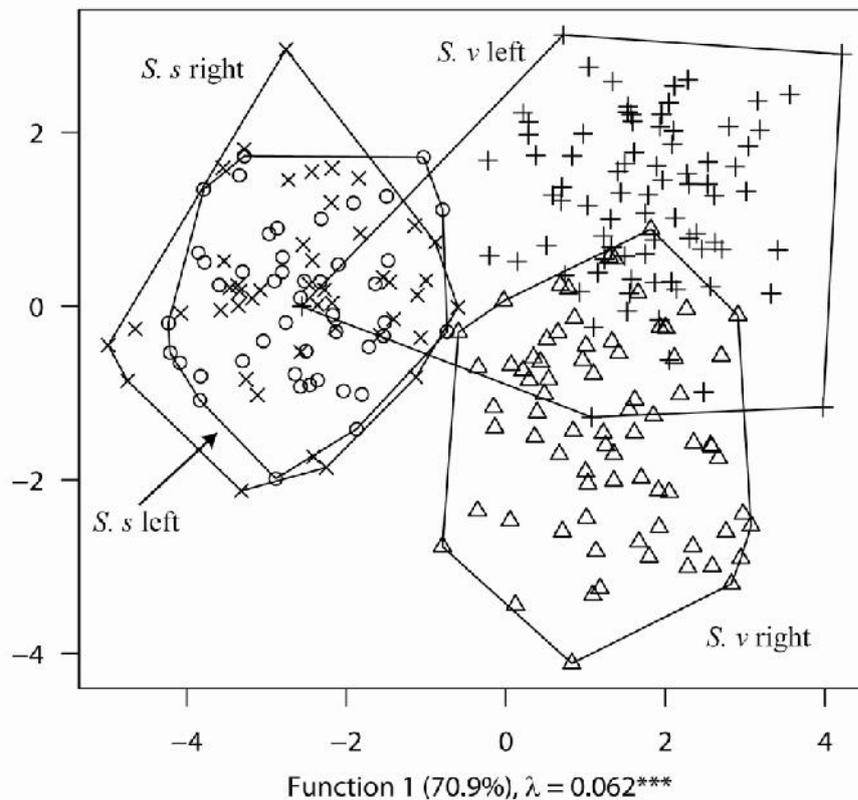


Figure 13. Analyse discriminante basée sur les coefficients de Fourier des treize premières harmoniques calculés sur l'otolithe gauche (x) et droites (O) de *S. sphyraena* et sur l'otolithe gauches (+) et droites (Δ) de *S. viridensis*.

Trois groupes principaux sont distinguables. Parmi eux, les deux échantillons représentant les otolithes droits et gauches de l'espèce *S. sphraena* font partie d'un même groupe alors que ceux de la deuxième espèce sont séparés en deux groupes distincts. La première fonction semble dissocier les deux populations en fonction de la forme des otolithes.

3. Discussion

La famille des Sphyaenidés comprends plus de vingt espèces différentes mais morphologiquement assez proches. Le grand barracuda *Sphyaena viridensis* est présent en Méditerranée au même titre que le brochet de mer *Sphyaena sphyaena*. Les deux espèces étaient considérées, et pour longtemps, comme la forme juvénile et adulte de la même espèce *Sphyaena sphyaena* à cause d'une confusion courante entre les deux espèces précitées. Cette étude visait à différencier ces deux espèces de la famille des Sphyaenidés, par l'analyse de forme des otolithes et notamment l'utilisation des transformées elliptiques de Fourier.

Les otolithes de *Sphyaena sphyaena* et de *Sphyaena viridensis* sont ressemblable (proche). Ces dernières ne montrent pas de différences significatives. 

D'un point de vue biométrique, La corrélation entre les différents paramètres mesurés (longueur, largeur, épaisseur, surface) des otolithes et la longueur totale des poissons est significative ($0,935 < r < 0,987$; $P < 0,05$), bien que l'allométrie de croissance est minorante. Par ailleurs, les otolithes des poissons pélagiques présentent des taux de croissance moins importante que ceux des poissons benthique et littoraux (Lychakov et Rebane, 2000).

On sait depuis longtemps que la forme des otolithes est particulière à une espèce, mais des travaux récents ont souligné sa valeur comme indicateur de l'identité d'un stock (Campana et Casselman, 1993), il est donc intéressant de présenter pour les sphyrènes une méthodologie de discrimination selon la forme des otolithes pour identifier les espèces confondus de cette famille de poisson.

La forme des otolithes est utilisée dans de nombreux domaines et notamment dans la discrimination des espèces. Pour les côtes de la Méditerranée, aucun travail n'a été consacré à la description des otolithes des Sphyaenidés. La description de la *sagittae* du genre *Sphyaena* de l'Indo-pacifique que donnent Jeffrey et Brooke (1971) concorde avec nos observations. Dans Loubens (1978) nous trouvons uniquement des illustrations de l'otolithe de *Sphyaena bleekeri* du Lagon Néo-Calédonien. Cette dernière est aussi

similaire aux otolithes que nous avons observé chez *Sphyraena sphyraena* et chez *Sphyraena viridensis*.

L'analyse des différences de moyennes de masses, entre les otolithes droit et gauche ainsi que leur discrimination à partir de leur contour par les coefficients de Fourier sur l'ensemble des échantillons ont montré qu'ils n'étaient pas différents, ce qui est généralement le cas pour les poissons « ronds » (Takabayashi et Ohmura-Iwasaki, 2003; Cardinale *et al.*, 2004)

Les analyses discriminantes réalisées à partir des deux otolithes (droit et gauche) des deux espèces et plus précisément à l'aide de la description du contour par les coefficients de Fourier, ont clairement mis en évidence les différences existantes entre les populations locales de barracuda et confirme l'existence des deux espèces différentes. L'utilisation des harmoniques de Fourier pour discriminer les espèces est beaucoup plus récente. Elle permet de réaliser des discriminations intraspécifiques, comme cela a été montré chez *Mulloidichthys flavolineatus* dans l'océan indien (Pothin *et al.*, 2006).

Les résultats issus de cette étude témoignent les travaux antérieurs (Kara et Bourehail, 2003; Kozul *et al.*, 2005; Relini et Orsi-Relini, 1997). En effet, la reconnaissance de l'existence de l'espèce *Sphyraena viridensis* en Méditerranée a connu une évolution depuis Relini et Orsi-Relini (1997), il est clairement à partir des critères morphométriques et méristiques que ces deux espèces coexistent en Méditerranée. D'ailleurs les signalements de présence de l'espèce *Sphyraena viridensis* continuent à succéder comme le dernier signalement en Mer Adriatique Dul i *et al.* (2009).

4. Conclusion

Depuis Dieuzeide *et al.* (1954), l'ensemble des inventaires ichtyques des côtes algériennes a montré que *Sphyraena sphyraena* était le seul représentant de la famille des Sphyraenidés dans cette zone. Cependant, de récents travaux (Kara et Bourehail, 2003) ont identifié deux espèces du genre *Sphyraena* dans le Golfe d'Annaba (Est de l'Algérie), *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis* avec une toutefois nette dominance de *S. sphyraena*.

Afin de confirmer la présence de ces deux espèces dans la zone, la morphométrie des otolithes a été étudiée. Les échantillons ont été collectés dans le Golfe d'Annaba (côte Est de l'Algérie) entre 2001 et 2005. Un total de 91 spécimens de *S. sphyraena* et de 103 *S.*

viridensis a été prélevé. Après extractions, pesées et numérisation, les otolithes droit et gauche de chaque espèce ont été comparés. Des relations métriques et pondérales ont été réalisées entre les mesures réalisées sur les otolithes et les poissons (type axe majeur réduit).

De plus une étude de forme des otolithes a été réalisée, à l'aide des transformées elliptiques de Fourier. Cette technique permet de caractériser le contour d'un objet à partir de composantes appelée harmoniques. Chaque harmonique est composée de 4 coefficients qui sont utilisés comme descripteurs en analyses statistiques. Le calcul de la puissance de Fourier a permis d'estimer que le contour des otolithes pouvait être reconstruit à 99,99% par l'utilisation de 14 harmoniques (donc 56 descripteurs).

Les régressions linéaires obtenues entre les paramètres étudiés en otolithométrie (longueur, largeur, épaisseur et masse des otolithes) et la morphométrie des poissons ont révélés de forts coefficients de corrélation ($r = 0,935$; $p = 0,05$), bien que la croissance présente une allométrie minorante. En outre, les analyses de forme menées sur les otolithes ont permis de séparer les deux espèces avec un taux de reclassement de 70,91%. L'ensemble de ces analyses confirment l'existence et la présence dans le Golfe d'Annaba de deux espèces de Sphyraenidés: *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*.

PARTIE III

Biologie et dynamique de *Sphyraena sphyraena* du Golfe d'Annaba

Introduction

L'exploitation des ressources halieutiques est un élément fondamental du développement en raison de leur caractère auto-renouvelable. Ce dernier, signifie que si ces ressources sont bien gérées, alors la durée de leur exploitation est quasiment illimitée. Cependant, l'élaboration d'une gestion saine et efficace d'un stock, demande entre autres, la connaissance des principaux paramètres biologiques de la population.

Parmi les ressources halieutiques dont dispose les côtes algériennes, la famille des Sphyraenidae, qui présente un potentiel économique considérable, due à leur excellente qualité organoleptique et à leur taille appréciable. Parmi les représentants de cette famille, *Sphyraena sphyraena*, connu sous le nom commun de brochet de mer, n'a fait l'objet que de quelques études biologiques en Méditerranée. Les données portant sur la biologie de cette espèce sont peu nombreuses et se limitent généralement à des études de description globale. Seulement 31 espèces de Sphyraenidae sont connues dans le monde et uniquement 13 sont pêchées en Méditerranée (Collette et Nauen, 1983).

1. Matériel et méthodes

1. 1. Reproduction

La connaissance des paramètres du cycle sexuel des poissons est nécessaire à l'étude de leur dynamique. L'un des aspects de l'étude du cycle reproducteur a pour objet la caractérisation des principales phases évolutives des glandes sexuelles, laquelle est basée essentiellement sur trois types de critères d'ordre morphologique, pondéral et histologique.

Devant l'absence de travaux sur la reproduction de *S. sphyraena*, nous avons commencé par une description de l'appareil génital de cette espèce, particulièrement ses gonades. Nous nous sommes tout d'abord intéressés aux critères morphologiques de ces organes, en tentant d'établir une échelle de maturité sexuelle, en nous inspirant de celle de Lahaye (1980). C'est par l'examen des gonades, après dissection, que la connaissance du sexe est possible. Les critères morphologiques sont définis d'après l'observation macroscopique des gonades. Celle-ci porte sur: (1) la coloration, (2) la consistance, (3) l'importance de la vascularisation de la paroi ovarienne (possibilité d'observation des œufs

au travers de cette paroi), (4) la forme et (5) le volume occupé par la glande dans la cavité abdominale.

Les testicules sont des organes pairs, allongés, divergents dans la région antérieure. Filiformes chez les immatures, leur coloration passe de transparente à rose pâle, blanchâtre à section triangulaire chez les adultes. Les ovaires sont aussi des organes pairs, fusiformes et vascularisés. Chez les immatures, ils ont l'aspect de deux cordons filiformes plus au moins transparents. Chez les femelles matures, ils se présentent sous la forme de deux cylindres rosâtres en période de repos à jaune orangé en phase d'activité sexuelle, où la vascularisation devient plus importante.

1. 1. 1. Echelle de maturité sexuelle

Plusieurs auteurs ont établi des échelles de maturité pour de nombreuses espèces de poissons. Bougis (1952) pour le rouget, Fantana (1969) pour la sardinelle etc... Dans le tableau 10, Aboussouan et Lahaye (1979) proposent une échelle utilisable chez les espèces à ponte saisonnière unique. Cette dernière décrit bien l'évolution de l'aspect macroscopique des gonades de *Sphyraena sphyraena* que nous avons observé durant un cycle annuel. Nous l'avons donc adopté.

Tableau 10. Aspect macroscopique et microscopique des différents stades de maturité sexuelle (d'après Aboussouan et Lahaye, 1979).

Stade	Aspect macroscopique
I	Ovaires immatures (vierges ou au repos): les ovaires sont très petits, souvent presque filiformes. Les ovocytes sont de petite taille. Leur cytoplasme est dépourvu de vitellus. Le noyau est relativement gros.
II	Début de la maturation: le volume de l'ovaire s'accroît légèrement. Certains ovocytes ont commencé leur croissance. L'ensemble est hétérogène et aucune vitellogénèse n'est visible.
III	Développement de la gonade: le poids augmente sensiblement. Une irrigation importante est visible dans l'ovaire qui change souvent de couleur. Chez certains ovocytes, la vitellogénèse est commencée. Mais il reste, dans l'ovaire, un nombre important de petits ovocytes qui ne participeront pas à la prochaine ponte.
IV	La maturation: l'ovaire est plus gonflé, coloré plus vivement (souvent en jaune). Des ovocytes visibles à l'œil nu font saillie à la surface. Ces ovocytes ont atteint leur taille maximale. Le cytoplasme est surchargé de vitellus. Le follicule comporte une «zona radiata» épaisse.
V	La ponte: une légère pression abdominale suffit à faire sortir les œufs.
VI	La post ponte: les ovaires sont flasques et vides, cependant, quelques œufs murs peuvent subsister. L'étude histologique révèle l'existence de follicules atrésiques correspondant à des œufs qui n'ont pas achevé leur maturation et qui vont dégénérer, à côté des nombreux petits ovocytes qui n'ont pas participé à l'évolution.

1. 1. 2. Sex – ratio

Le sex-ratio (SR) est un indice qui exprime la répartition numérique des deux sexes. Nous avons choisi de l'exprimer par la formule ci dessous (Quartas et Quignard, 1984).

$$Sr = \left[\frac{N \text{ mâles}}{N \text{ femelles}} \right] \times 100$$

L'écart des valeurs observées du sex-ratio par rapport à la proportion théorique 50 % est évalué par un test de chi-deux (χ^2) (Dagnelie, 1975). L'hypothèse nulle H_0 : sex-ratio = 50 % est testé par le calcul de la quantité

$$\chi^2 = \left[\frac{m^2}{F} \right] + \left[\frac{f^2}{F} \right] - n$$

où :

m: nombre de mâles.

f: nombre de femelles.

n: m+f : nombre de mâles et de femelles dans l'échantillon.

F = n / 2 : fréquence absolue théorique pour chaque sexe.

L'hypothèse nulle est rejetée au niveau de signification α lorsque χ^2_{obs} est supérieur ou égal à la valeur théorique $\chi^2_{1-\alpha}$ de la distribution du χ^2 à 1 degré de liberté. Ce test n'est valable que pour des effectifs mâles ou femelles supérieurs à 5.

1. 1. 3. Le rapport gonado-somatique

Caractérisant l'état de maturation des gonades, le rapport gonado-somatique est la proportion du poids des gonades par rapport au poids du poisson (Bougis, 1952):

$$RGS = \left[\frac{Pg}{Pe} \right] \times 100$$

Afin d'éliminer la variabilité due à l'état de réplétion de l'estomac, le poids du poisson éviscéré (Pe) a été utilisé de préférence au poids total.

1. 1. 4. Le rapport hépato- somatique

Le rapport hépato-somatique (RHS) exprime le pourcentage du poids du foie par rapport au poids du poisson éviscéré:

$$\text{RHS} = \left[\frac{\text{Pf}}{\text{Pe}} \right] \times 100$$

Il donne une idée du métabolisme des corps gras et il est souvent en relation avec le cycle sexuel qui demande, surtout chez les femelles, le transport des réserves lipidiques vers les gonades (Bougis, 1952).

1. 1. 5. Adiposité

Les variations des graisses mésentériques du poisson sont suivies pendant un cycle annuel, en s'inspirant de l'échelle empirique à 4 niveaux de Nikolski (1963):

- Unité 0: pas de graisse.
- Unité 1: quelques cordons graisseux au niveau des anses intestinales.
- Unité 2: les cordons graisseux s'étalent sur tout l'intestin.
- Unité 3: l'intestin est complètement couvert d'épais cordons graisseux

1. 1. 6. Taille et âge à la première maturité sexuelle

Ces paramètres permettent de connaître la contribution des poissons de petite taille à la reproduction. Pour estimer cette taille, on trace la courbe représentative des variations du pourcentage des individus matures en fonction de la longueur des poissons. La parallèle à l'axe des abscisses d'ordonnée 50 % coupe la courbe en un point dont l'abscisse est la taille recherchée.

Pour la détermination des pourcentages de maturité sexuelle, les femelles aux stades IV à VII de maturité ayant des gonades « actives » sont prises en compte ainsi que les mâles aux mêmes stades de maturité sexuelle (Dunn, 1972; Gwahaba, 1978; Moreau, 1979). Selon Tweddle et Turner (1977), la taille de première maturité (L_{50}) est celle atteinte par 50% des individus des deux sexes matures pour la première fois. En général, la relation entre le pourcentage de maturité estimé (P) et la taille (Lt) est de type sigmoïde. L'équation de la courbe sigmoïde déterminée d'après le modèle logistique est donnée selon Dagnelie (1973) par la formule: $P = X / (1+X)$ avec $X = e^{(a+bLt)}$.

a et b étant des paramètres du modèle. La transformation logarithmique de l'équation a permis de la mettre sous la forme : $\ln(P/(1-P)) = a + bLt$ et, P = 50% dans l'équation, la L_{50} est obtenue par: $L_{50} = -a / b$.

Ce modèle logistique de la taille de première maturité est déterminé au moyen du logiciel Minitab (V.18).

1. 1. 7. Fécondité

La fécondité a connu plusieurs définitions selon les auteurs. Pour Wootton (1979), elle désigne le nombre d'ovocytes produits par une femelle et par an. Elle représente " la capacité féconde " ou la " puissance prolifique " qui permet au poisson de pulluler, selon les termes de Roule (1940). Aboussouan et Lahaye (1979) limitent la fécondité au nombre d'ovocytes destinés à la ponte.

La technique utilisée dans l'évaluation de la fécondité de *S. Sphyraena* est inspirée du travail de Le Bec (1985). Sur chacune des 14 femelles retenues au stade de pré-ponte (stade IV de l'échelle macroscopique de Aboussouan et Lahaye, 1979), une fraction d'ovaire (5 à 15 g) est prélevée et pesée au centième de gramme près, puis conservée dans une solution de formol à 10 %. Ce dernier permet la dissociation du tissu conjonctif de l'ovaire et l'isolement des ovocytes, indispensable pour les comptages ultérieurs. Le renouvellement du milieu chaque dizaine de jours favorise cette dissociation. Les ovocytes sont ensuite lavés à l'eau pour éliminer le formol et les détritres concentrés dans le surnageant, puis dilués dans un volume de 1 litre d'eau et soumis à une agitation magnétique. A l'aide d'une pipette étalonnée, trois sous échantillons d'un volume de 1 ml sont prélevés. Le nombre d'ovocytes dans chacun d'eux est compté dans une cuve de Dolfuss et une moyenne est déterminée. La mesure du diamètre des ovocytes est réalisée sur un échantillon aléatoire d'une centaine d'unités à l'aide d'un microscope muni d'un micromètre.

La fécondité individuelle absolue est déterminée selon la formule de Le Bec (1985)

$$F = \left[n \cdot \frac{V_d}{V_{se}} \times \frac{P_g}{P_e} \right]$$

où

n: moyenne des trois sous échantillons

Vd: volume de dilution

Vse: volume d'un sous échantillons, ici $V_{se} = 1\text{ml}$

Pg: poids des ovaires (gramme).

Pe: poids de l'échantillon d'ovaire (gramme).

Elle est exprimée en fonction de la longueur totale du poisson (Lt), de son poids totale (Pt), de son poids éviscéré (Pe) et du poids de ses gonades (Pg), en utilisant l'équation de régression de type axe majeur réduit, préconisée par Teissier (1948). La fécondité relative est également déterminée. Il s'agit du nombre d'œufs susceptibles d'être pondus par unité de poids frais.

1. 2. Régime alimentaire

Les estomacs sont prélevés sur 583 poissons fraîchement pêchés. L'isolement de chaque estomac se fait par dissection du tube digestif au niveau de l'œsophage, près de la cavité buccale et au niveau de la valvule pylorique. Conservé dans du formol à 10 %, chaque estomac est sectionné longitudinalement et vidé de son contenu dans une boîte de Pétri. Les différentes proies examinées à la loupe binoculaire ou à l'œil nu, sont déterminées, comptées et pesées à 10^{-3} g près, en se basant sur des critères morphologiques apparentes, qui sont essentiellement des pièces squelettiques (écailles, vertèbres ou arêtes).

1. 2. 1. Analyse quantitative

1. 2. 1. 1. Le coefficient de vacuité

C'est le pourcentage du nombre d'estomacs vides (Ev) par rapport au nombre total d'estomacs examinés (Et).

$$CV(\%) = \left[\frac{E_v}{E_t} \right] \times 100$$

1. 2. 1. 2. Le pourcentage en nombre d'une proie (Cn%)

C'est le pourcentage en nombre qui représente l'importance d'une proie par rapport au nombre total des proies recensés dans l'ensemble des estomacs examinés.

$$C_n(\%) = \left[\frac{n_i}{N_t} \right] \times 100$$

où

ni: nombre d'individus de la proie i

Nt: nombre totale des diverses proies ingérées.

1. 2. 1. 3. Le pourcentage en poids d'une proie (Cp%)

Le pourcentage en poids, représente le rapport entre le poids total d'un ordre ou de classe de proies et le poids total des différentes proies ingérées par un prédateur.

$$Cp_i(\%) = \left[\frac{P_i}{P_t} \right] \times 100$$

avec:

pi: poids des individus de la proie i.

pt: poids total des diverses proies ingérées.

1. 2. 1. 4. Nombre moyen des proies par estomac (Nm)

Il représente le rapport entre le nombre total des proies ingérées (Nt) et le nombre d'estomacs pleins examinés (Ep).

$$N_m = \frac{N_t}{E_p}$$

1. 2. 1. 5. Le poids moyen des proies par estomac

C'est le rapport entre le poids total des proies ingérées (Pt) et le nombre total d'estomac pleins examinés (Ep).

$$P_m = \frac{P_t}{E_p}$$

1. 2. 1. 6. Fréquence d'une proie (F)

La fréquence d'une proie est le pourcentage d'estomacs contenant une proie (Ei) par rapport au nombre total d'estomacs pleins examinés (Ep).

$$F(\%) = \frac{E_i}{E_p} \times 100$$

1. 2. 2. Classement des proies

L'importance des différentes proies ingérées est déterminée par le coefficient alimentaire Q de Hureau (1970) qui permet une bonne appréciation de l'importance relative

des différentes proies en tenant compte à la fois de leur poids et de leur nombre. Il s'exprime comme suit:

$$Q = \% C_N \times \% C_P$$

où

C_N : pourcentage en nombre d'une proie.

C_P : pourcentage en poids d'une proie.

D'après les valeurs de Q, les proies sont classées comme suit:

- Q > 200: proies préférentielles.
- 20 < Q < 200: proies secondaires.
- Q < 20: proies accessoires.

Geistdoerfer (1975) propose un autre classement en utilisant conjointement l'indice "Q" et l'indice de fréquence "F" des différentes proies. Le classement des différentes proies devient comme suit:

- Q > 100: proies principales, préférentielles si F > 30 % et occasionnelles si F < 30 %.
- 10 < Q < 100: proies secondaires, fréquentes si F > 10 % et accessoires si F < 10 %.
- Q < 10: proies complémentaires du 1^{er} ordre si F > 10 % et de 2^{ème} groupe si F < 10 %.

1. 2. 3. Variations du régime alimentaire en fonction de la taille et de la saison

Nous avons étudié les variations du régime alimentaire en fonction de la taille des poissons et de leur saison de pêche. En raison de la répartition hétérogène des effectifs, nous avons regroupé arbitrairement les poissons dans trois classes de tailles d'amplitude variable: petits (10 à 25 cm LT), moyens (25 à 35 cm LT) et grands (35 à 45 cm LT).

1. 3. Etude de l'âge

Classiquement, deux types de méthodes sont utilisés pour déterminer l'âge des poissons: les méthodes statistiques et les méthodes individuelles (Panfili, 1992).

Les méthodes statistiques sont basées sur l'utilisation de la distribution en taille d'échantillons afin d'identifier des cohortes. Les méthodes individuelles reposent sur l'observation des marques de croissance inscrites sur les pièces minéralisées de chaque individu. La croissance des poissons est continue et en tant que poïkilothermes, leurs activité métabolique est fonction des conditions environnementales. Ainsi, dans les zones à hiver marqué, les rythmes saisonniers de croissance se distinguent dans les pièces calcifiées telles que les écailles ou les otolithes par des zones caractéristiques (Baglinière et Le Louarn, 1987).

Dans un premier temps, nous avons utilisé la méthode indirecte afin d'estimer l'âge de *S. sphyraena*. Ce choix s'est imposé, afin de comparer les deux approches. L'effectif et la composition en tailles des échantillons étant convenables pour réaliser cette analyse.

1. 3. 1. Méthode indirecte de détermination de l'âge

Les méthodes indirectes de détermination de l'âge ou les méthodes statistiques, permettent la recherche des modes successifs dans une distribution de fréquence d'un caractère métrique, en l'occurrence la longueur totale lorsque les marques de croissance sont inexistantes ou difficiles à interpréter.

Dans le présent travail, parmi les méthodes indirectes, nous avons choisi celle de Bhattacharya (1967). Cette méthode se base sur les distributions de fréquences de tailles. On regroupe les données de fréquences en classes de tailles d'égale amplitude « h » et de point milieu « x », puis on construit un graphique portant en ordonnée pour chaque abscisse x, la quantité:

$$\text{Log } Z = \log Z(x+h) - \log Z(x)$$

$Z(x+h)$ et $Z(x)$ étant les effectifs de classe de point milieu « x + h » et « x ».

Sur le graphique, on recherche des points qu'il est possible d'aligner plus ou moins sur une droite de pente négative. Les droites obtenues, correspondent au nombre de composantes, autrement dit aux âges. Les moyennes de ces composantes, c'est à dire les tailles moyennes aux différents âges, sont ensuite estimés par la formule suivante:

Avec:

h: intervalle de classe (amplitude).

: abscisse du point d'intersection de chaque composante avec l'axe des abscisses.

L_{moy} : taille moyenne de la composante (groupe d'âge).

Les conditions qui doivent être vérifiées afin de pouvoir appliquer cette méthode, sont:

- la distribution ne doit pas comporter de classes vides.
- l'intervalle « h » doit être petit par rapport à chacun des écarts-types.

- **Calcul de précision (p)**

Les limites de confiance inférieures et supérieures sont respectivement obtenues au moyen des expressions suivantes: $L_{\text{moy}} - p$ et $L_{\text{moy}} + p$

Avec:

s.d: écart type; N: effectifs; $t = 1,96$ pour $\alpha = 5\%$.

1. 3. 2. Méthode directe de détermination de l'âge

Les méthodes d'estimation de l'âge individuel sont très nombreuses. Elles sont fondées sur le fait que la croissance des poissons est continue, et que le taux de métabolisme de ces vertébrés poïkilothermes est fonction des conditions environnementales biotiques et abiotiques. Les pièces calcifiées du poisson se comportent alors comme des enregistreurs des variations de la croissance, capables théoriquement de rendre compte du "curriculum vitae" de l'animal à un moment quelconque.

Une estimation de l'âge par scalimétrie est relativement aisée à effectuer du fait des caractéristiques intrinsèques de cette pièce osseuse qui fait partie du squelette (Meunier, 1987). Étant minéralisées, les écailles constituent un important réservoir de minéraux, spécialement de calcium (Simkiss, 1974; Takagi *et al.*, 1989), qui peut être fortement sollicité sous certaines conditions physiologiques (Mugiya et Watabe, 1977; Persson, 1997, *inter alia*). Parmi les différentes fonctions des écailles, nous citerons également leur rôle protecteur et leur rôle hydrodynamique (Burdak, 1979).

Pour les otolithes peu épais, et plus particulièrement les *sagittae* des poissons, il est possible de dénombrer les *annuli* sans avoir recours à une préparation. Les otolithes sont individuellement immergés dans de l'eau, de l'alcool ou dans de l'huile essentielle végétale et observés directement en utilisant une lumière transmise ou réfléchie.

Une large gamme de substances à éclat gras est utilisée pour «éclaircir» la lisibilité ou réduire les reflets de la surface observée des pièces calcifiées (les huiles essentielles, les

huiles d'immersion comme l'essence d'Anis). Une source de lumière froide est recommandée pour éviter l'évaporation de l'huile pendant l'observation.

1. 3. 2. 1. Relation longueur totale du poisson-rayon totale de la pièce calcifiée

Il existe une relation étroite entre la longueur totale du poisson (LT) et le rayon de la structure osseuse (écaille et otolithe) utilisée (R_t), exprimée par la fonction linéaire suivante:

$$LT = b R_t + a$$

Avec :

b: pente de la droite

a: ordonnée à l'origine

Pour mettre en évidence cette relation de proportionnalité chez *S. sphyraena*, nous avons utilisé un ajustement par la méthode des moindres carrés des couples LT et R_t .

1. 3. 2. 2. La clé âge longueur par la lecture directe de la pièce calcifiée

Nous avons observé les otolithes *sagittae* sous une loupe binoculaire et avons dénombré les anneaux d'arrêt de croissance en les immergeant dans différents fluides (eau distillé, éthanol, l'huile d'anis et acide acétique). L'essence d'anis a donné la meilleure résolution.

1. 3. 2. 3. Méthode du rétrocalcul

L'examen des pièces calcifiées est pratiqué sous une loupe binoculaire (x20) munie d'un micromètre oculaire permettant de mesurer les différents rayons des anneaux de ralentissement de croissance, à partir de centre de nucleus comme indiqué dans la figure 15.

Inspirée de Lea (1910), cette méthode consiste à retrouver la taille du poisson aux âges antérieurs à son âge de capture. La taille du poisson à la formation de chaque anneau s'écrit comme suit:

$$L_i = \frac{LT}{R_t} \times R_i$$

Avec:

- LT: Longueur du poisson (mm).
- R_t : Rayon de l'otolithe (mm).
- L_i : Longueur du poisson à la formation de l'anneau (mm).
- R_i : Rayon de l'anneau i (mm).

Selon Lee (1920), le poisson a déjà une longueur et lorsque l'écaille apparaît sur son corps, par conséquent la relation devient:

$$L_i = \left[\left(\frac{LT - e}{R_t} \right) \times R_i \right] + e$$

"e" est l'ordonné à l'origine de la droite de régression qui exprime la relation entre le rayon de l'écaille et la taille du poisson.

1. 3. 3. Etude de la croissance

La croissance d'un poisson est le résultat de deux processus opposés: l'un augmentant le poids du corps (anabolisme), l'autre tendant à le diminuer (catabolisme) (Pauly et Moreau, 1997). La croissance consiste essentiellement à établir une relation entre une variable mesurable (taille ou poids) caractérisant un individu et l'âge de cet individu. La clé âge-longueur obtenue a permis de calculer les paramètres du modèle mathématique de la croissance considéré (linéaire, relative ou pondérale).

1. 3. 3. 1. Croissance linéaire de von Bertalanffy (1938)

L'étude de la croissance consiste essentiellement à établir une relation entre une variable mesurable (taille ou poids), caractérisant un individu et l'âge de cet individu. Le modèle le plus utilisé est le modèle de von Bertalanffy (1938, *in* Sparre et Venema, 1996), Il décrit la relation entre l'âge et la croissance en taille du poisson:

$$LT = L (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

LT: longueur du poisson au temps t

L : longueur asymptotique (cm)

t_0 : âge hypothétique (ans^{-1})

K: coefficient de croissance, il représente la façon dont la vitesse de croissance diminue quand la taille du poisson augmente (Bebars, 1981).

Les paramètres de croissance L , K et t_0 varient en fonction de l'espèce et du milieu.

1. 3. 3. 2. Détermination des paramètres de croissance

Les paramètres L , K et t_0 de cette équation peuvent être déterminés par différentes méthodes en particulier celles de Ford (1933) et Walford (1946), de Gulland (1969) et de Tomlinson et Abramson (1961). Les deux premières techniques sont basées sur une transformation linéaire du modèle et supposent la connaissance des longueurs atteintes par le poisson à différents âges séparés par un intervalle de temps constant.

La méthode de Tomlinson et Abramson (1961), décrite par le programme de Abramson (1971) est basée sur un principe d'ajustement de type moindres carrés de la courbe de Von Bertalanffy (Sparre, 1987). Elle considère toutes les valeurs observées, alors que les deux autres méthodes éliminent la dernière valeur. De plus, elle permet de mieux apprécier les estimations des paramètres en minimisant la somme des carrés des écarts des points observés par rapport à la courbe ajustée.

Cette méthode a été conçue pour donner les meilleures estimations pour les trois paramètres (L , k , t_0) de von Bertalanffy, à l'aide du programme Fishparm.

1. 3. 3. 3. Relation taille-poids

La relation liant le poids total d'un poisson (P_t) à sa longueur totale (LT) s'écrit:

$$P_t = a LT^b$$

Avec:

P_t : poids total en gramme.

LT : longueur totale en centimètre.

a : constante.

b : coefficient d'allométrie.

Après linéarisation la fonction devient:

$$\ln(P_t) = b \ln(LT) + \ln(a)$$

Trois cas peuvent se présenter:

- $b < 3$, allométrie minorante, le poids croit moins vite que la longueur totale.
- $b = 3$, isométrie entre le poids et la longueur, c'est-à-dire le poids croit comme le cube de la longueur totale.
- $b > 3$, allométrie majorante; le poids croit plus vite que la longueur totale.

Pour mesurer le degré d'ajustement à partir des tailles théorique et calculées, nous avons utilisé le coefficient de corrélation (r) de la régression linéaire entre tailles calculées selon la relation taille-poids déterminée ci-dessus et l'expression théorique équivalente ($b=3$). Plus le coefficient de corrélation est proche de 1, meilleur est l'ajustement.

Un test de conformité doit-être fait afin de confirmer la valeur du paramètre b , basé sur la comparaison entre une pente calculée et une pente théorique (Schwartz, 1992).

$$\text{Avec} \quad SPo = \sqrt{\frac{(\frac{S}{s})^2 - P^2}{n-2}}$$

$P = 3$: pente théorique ;

P_0 : pente observée ;

$S^2(Y)$: variance de ($y = \text{Ln PT}$); et

$S^2(X)$: variance de ($x = \text{Ln LT}$) ;

$n-2$: degré de liberté (d.d.l = $n-2$, =5%).

On compare le t calculé avec le t de la table:

- Si $t_{\text{cal}} < 1,96$: la différence n'est pas significative.
- Si $t_{\text{cal}} > 1,96$: la différence est significative.

Le traitement des données a été réalisé sous le logiciel Fishparm.

1. 3. 4. Etude des mortalités

La mortalité est définie comme étant le nombre d'individus disparus durant un intervalle de temps bien déterminé. La variation instantanée du nombre d'individus constituant un stock est décrite par la relation de Gulland (1969):

$$dNt / dt = -Z Nt$$

Z : coefficient instantané de mortalité totale exprimé en an^{-1}

Nt : effectif des individus au temps t .

La solution de cette équation est :

$$Nt = N_0 e^{-Zt}$$

Avec

No: effectif initial de la population au temps $t = t_0 = 0$ /an

La valeur de Z est considérée comme un indice relatif indiquant la rapidité avec laquelle l'effectif d'une population étudiée décroît. Le coefficient de régression de l'équation liant le logarithme népérien de Nt au temps t donne cette valeur:

$$\ln N_t = \ln N_0 - Z.t$$

1. 3. 4. 1. Détermination de la mortalité totale (Z)

La mortalité totale Z est la somme de deux causes de mortalité, la mortalité par pêche F et la mortalité naturelle M. Z est estimée par deux méthodes:

a. Méthode de Powell (1979)-Wetherall (1986) (in Gayanilo et al., 2002)

Elle permet l'estimation de Z/K. Connaissant la valeur de K, celle de Z en est déduite.

b. Méthode de Pauly (1984)

Elle présente un double avantage: en plus de l'estimation de Z, elle permet l'évaluation de la taille de sélection.

La distribution des fréquences des tailles est utilisée avec un intervalle de classe constant. L'auteur propose de représenter sur un graphique le logarithme népérien de la fréquence relative (% ni) en fonction de l'âge relatif (t_i'), soit:

$$\ln (\%n_i) = a t_i' + b$$

où

n_i : l'effectif des individus pêchés dans la classe de taille de rang i (fréquence relative),

t_i' : l'âge relatif par classe de taille,

a et b: paramètres de la droite de régression.

t_i' est calculé à partir de l'expression de von Bertalanffy avec la valeur de $t_0 = 0$ (facultatif dans l'estimation de Z), soit :

$$t_i' - t_0 = - (1 / k) [\ln (1 - L_i) / L]$$

L_i' : le centre de classe de taille.

1. 3. 4. 2. Détermination de la mortalité naturelle (M)

La mortalité naturelle M est due à plusieurs facteurs, physiologiques, environnementaux ou ceux dues au hasard (Ursin., 1967). Les méthodes utilisées sont:

a. Méthode de Pauly (1980)

Pauly (1980) indique une corrélation entre le taux de mortalité naturelle, le taux de croissance, la taille maximale et la température moyenne du milieu dans lequel vit l'espèce étudiée. L'auteur passant en revue les paramètres de croissance et de mortalité naturelle de 175 populations de poissons vivants dans des eaux de températures moyennes différentes, a établi une relation générale:

$$\text{Log (M)} = - 0,066 - 0,279 \text{ Log (L)} + 0,6543 \text{ Log (K)} + 0.4634 \text{ Log (T}^\circ\text{)}$$

T° : température moyenne annuelle en degrés Celsius, Elle est de 24°C en Méditerranée,

b. Méthode de Djabali et al (1993)

Ces auteurs ont proposé une relation empirique spécifique aux poissons de la Méditerranée.

$$\text{Log (M)} = - 0,0278 - 0,1172\text{Log (L)} + 0,5092\text{Log (K)}$$

La méthode de Djabali *et al* (1993) a été établie sur la base des paramètres de croissance de 56 stocks de poissons vivants en Méditerranée dont *S. sphyraena*.

1. 3. 4. 3. Détermination de la mortalité par pêche (F)

Connaissant Z et M, F peut être déduit de la relation:

$$Z = F + M$$

2. Résultats

2. 1. Reproduction

2. 1. 1. Sex-ratio

Sur 583 poissons disséqués, 132 sont des mâles et 300 sont des femelles; soit un sex-ratio (SR) de 69,44 % en faveur des femelles. Cette valeur est significativement supérieure à 50 % ($\chi^2 = 27$; P = 0,01) (Fig. 14).

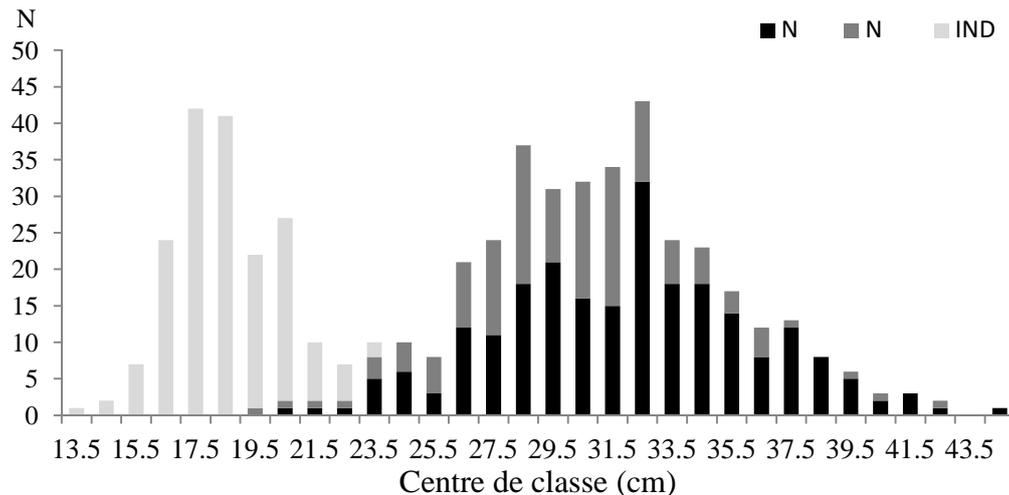


Figure 14. Distribution des fréquences de tailles de la population de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 1. 1. 1. Variations temporelles du sex-ratio

Exprimés graphiquement par la figure 15 a, les variations mensuelles du sex-ratio enregistrent une valeur nulle en décembre, puis augmentent progressivement et irrégulièrement jusqu'à la valeur maximale (75,67 %) en août où les mâles dominent. Cependant, les femelles sont plus fréquentes que les mâles durant la majeure partie de l'année. L'évolution du sex-ratio en fonction des saisons, montre une augmentation progressive de ce rapport de l'hiver vers l'été. Les valeurs de l'automne et de l'hiver sont proches.

2. 1. 1. 2. Variations du sex-ratio en fonction de la taille

Les variations du sex-ratio en fonction de la taille des poissons montrent une quasi-dominance des femelles. Sa valeur la plus élevée est enregistrée pour la classe de taille 180 – 210 mm (SR = 45,05) (Fig. 15 B). A partir de cette dernière taille, les faibles effectifs des mâles interdisent l'utilisation du test χ^2 . Cependant, nous pouvons admettre que les femelles dominent nettement (0 SR = 33,3).

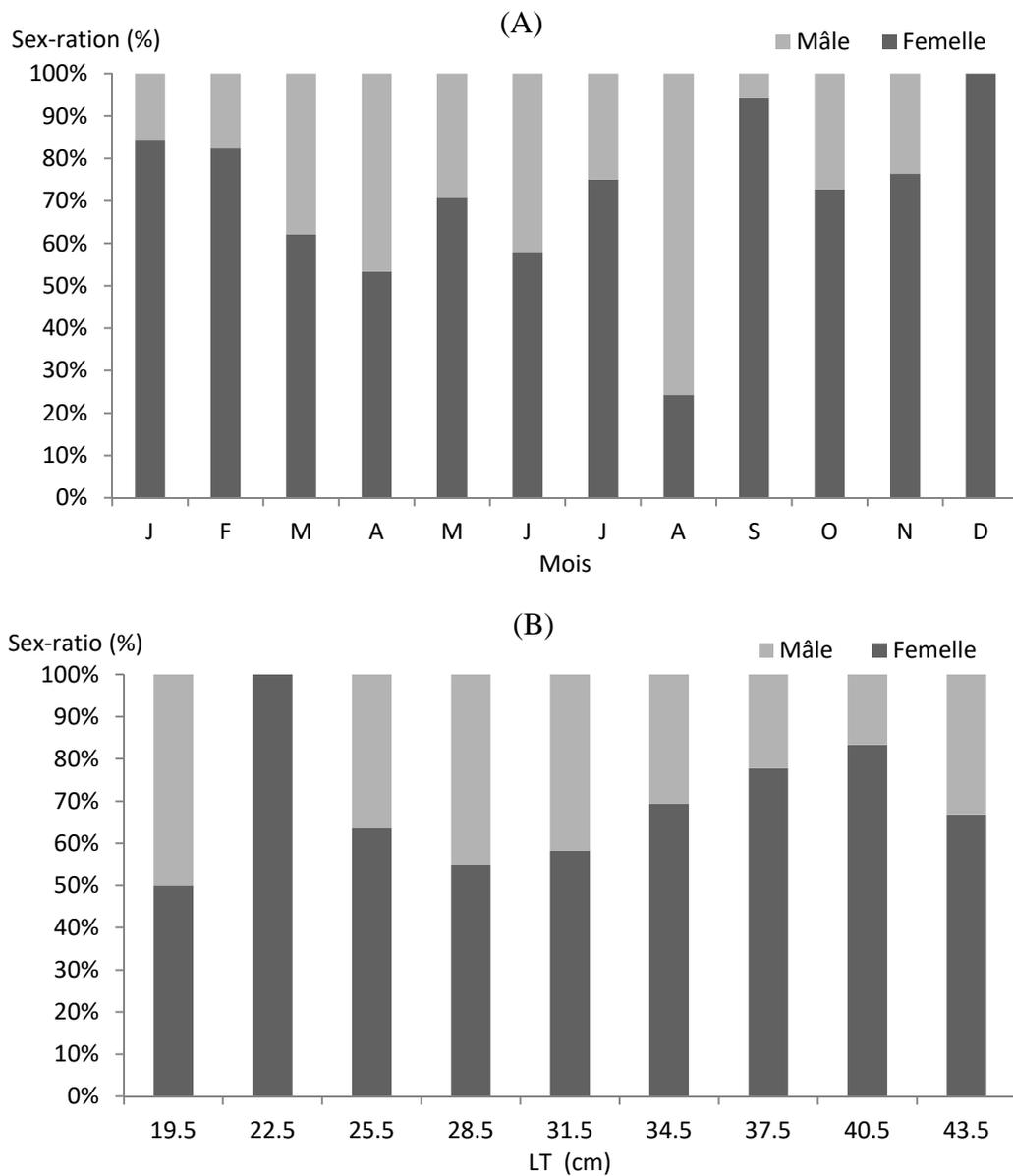


Figure 15. Variations du sex-ratio (SR) en fonction des mois (A) et de la taille (B) de

S. sphyraena du Golfe d'Annaba.

2. 1. 2. Répartition mensuelle des différents stades de maturité sexuelle

La figure 16 présente la succession et la répartition des différents stades macroscopiques de maturité sexuelle des gonades de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba chez les mâles (Fig. 16(A)) et les femelles (Fig. 16(B)).

Chez les mâles, la durée du stade V (émission des gamètes) est longue et se prolonge de mai jusqu'à août. Pendant ce dernier mois, 3,44 % des individus sont en post-poncte, avant d'accéder à la phase de repos sexuel qui débute en septembre (100 %).

En avril, une bonne partie de la population femelle (25 %) présente des ovaires granuleux (Stade III) et 18,75 % sont en pré-ponte, alors que la majorité des mâles (64,28 %) sont encore au repos. En mai, en plus des stades de début de développement qui sont toujours observés (47,82 %), 30,43 % des femelles sont en pré-ponte (Stade IV) et 34,78 % sont au stade V. Chez les mâles, seulement 6,25 % sont en pré-ponte, alors que 33,33 % sont spermiant à cette période. En juin, une grande partie de la population femelle (67,64 %) est au stade de ponte, alors que seulement 8,82 % des mâles sont à ce même stade (Fig. 16(A)). En juillet, 75 % des mâles et 66,66 % des femelles sont au stade IV (pré-ponte). Les femelles pondent entre mai et juillet et entrent en phase de repos sexuel à partir d'août où 77,77 % des individus sont au stade I (Fig. 16(B)).

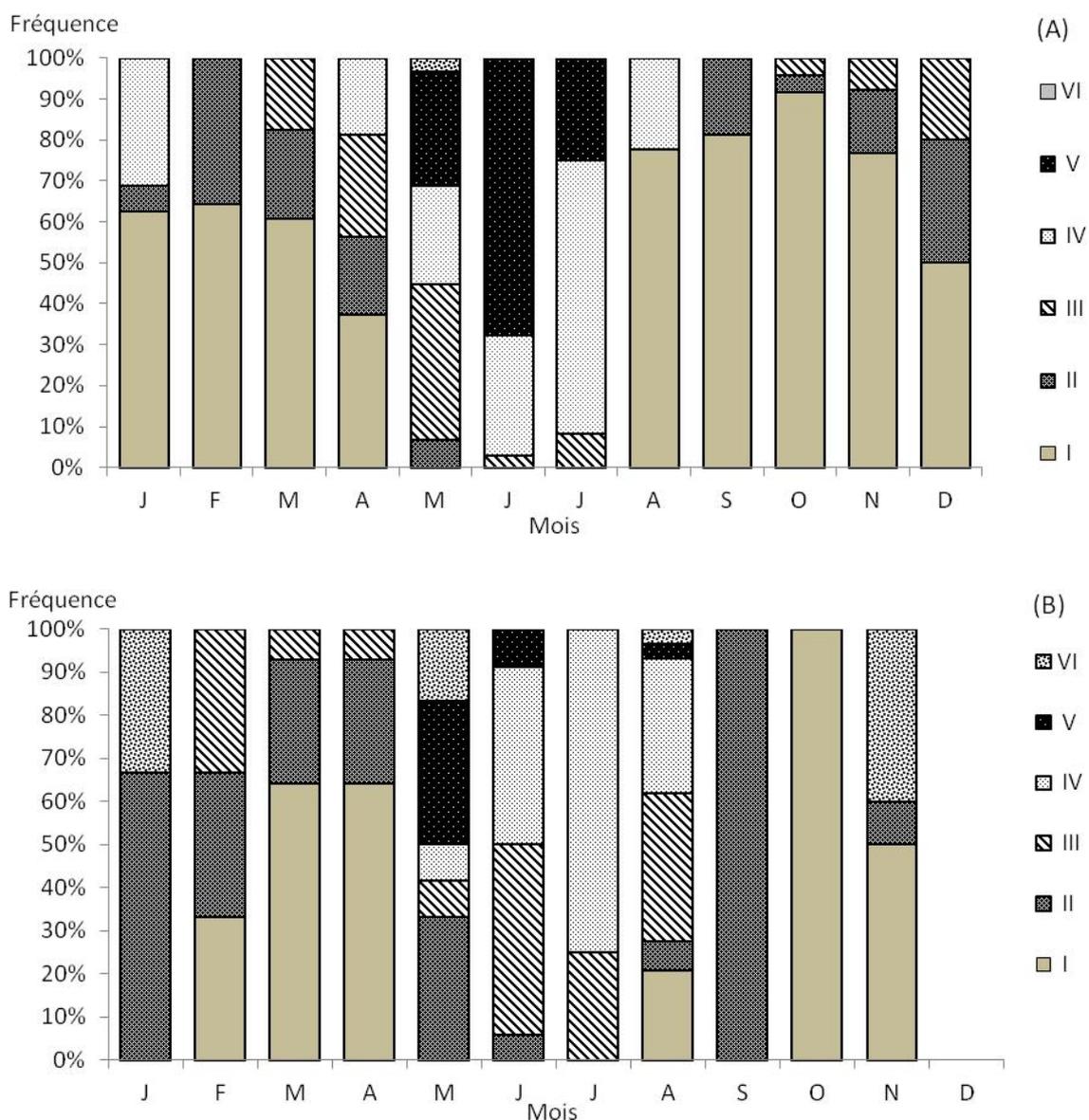


Figure 16. Répartition mensuelle des différents stades macroscopiques de maturité sexuelle chez les mâles (A) et les femelles (B) de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 1. 3. Le rapport gonado-somatique

L'étude des variations mensuelles de rapport gonado-somatique (RGS) (Fig. 17), montre que les valeurs de ce rapport sont faibles de novembre jusqu'à mars. Le RGS augmente rapidement à partir d'avril pour atteindre son maximum en juin (RGS moyen = 7,78 %). Il diminue à partir de juin jusqu'au mois d'octobre. Généralement le RGS est supérieur chez les femelles par rapport aux mâles. Cette différence est très marquée en période de reproduction, notamment en juin (RGS femelles = 10,67 %; RGS mâles = 4,83 %). L'application de l'ANOVA a montré l'existence d'une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes du RGS (: F = 69,12; : F = 58,251; p < 0,001). Le test de comparaison des moyennes deux à deux (test de Newman-Keuls, SNK) a démontré d'autre part que les valeurs moyennes obtenues en avril, mai, juin et juillet sont différentes par rapport à celles des autres mois, et la valeur de juin est différente par rapport à celles de ces trois mois. Ces différences concernent les deux sexes.

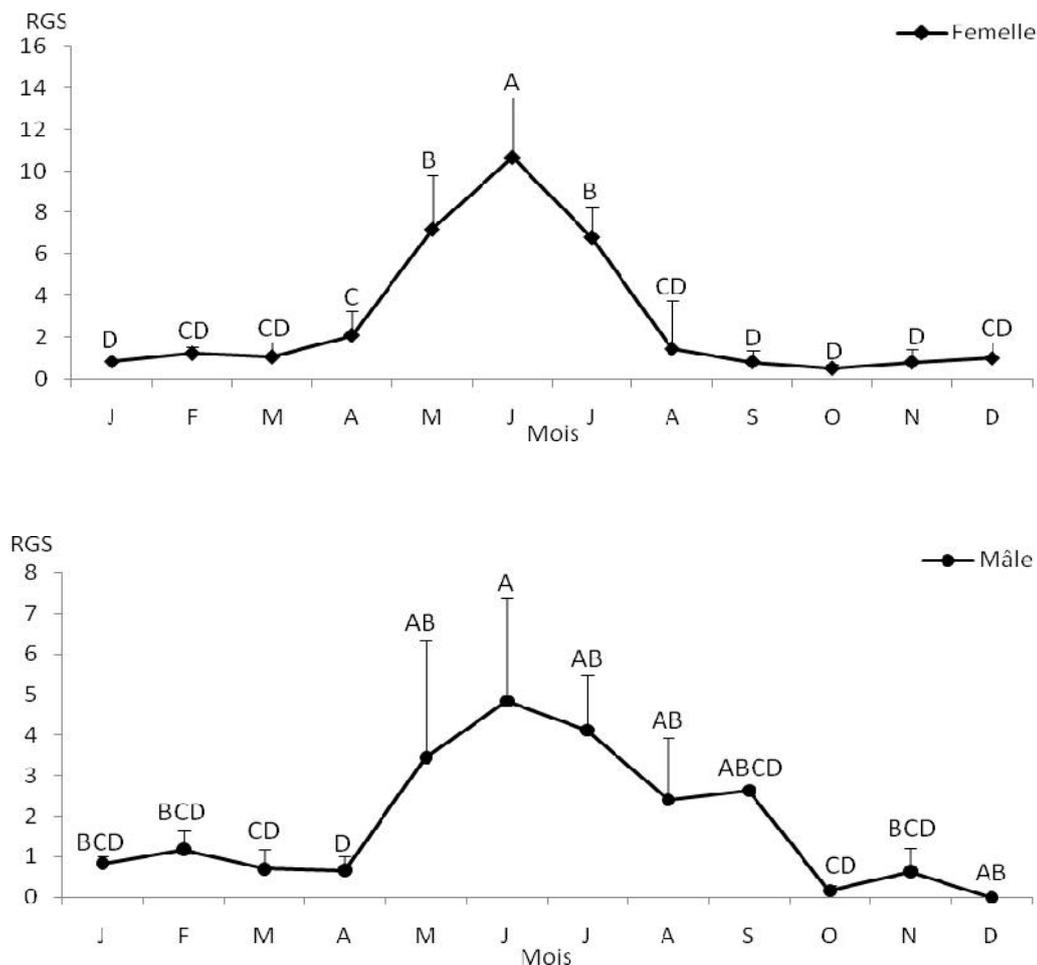


Figure 17. Variations mensuelles du rapport gonado-somatique (RGS) chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba

2. 1. 4. Le rapport hépato-somatique

Les valeurs du RHS varient entre 1,17 % et 2,23 % chez les mâles et entre 1,28 % et 3,63 % chez les femelles. Quelque soit le sexe, une augmentation de ce rapport est enregistrée à partir du mois d'avril pour atteindre une valeur maximale (RHS_{femelles} = 3,63 %, RHS_{mâles} = 1,81 %) en juin, suivie d'une chute brutale qui s'achève en septembre chez les femelles. Signalons la similitude de l'évolution de ce rapport avec celle du RGS (Fig. 18).

Le test de la variance (ANOVA) a montré qu'il y a une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes du RHS (: F = 59,86; : F = 48,98; p < 0,001). La valeur obtenue en mars est différente des autres valeurs aussi bien pour les femelles que pour les mâles.

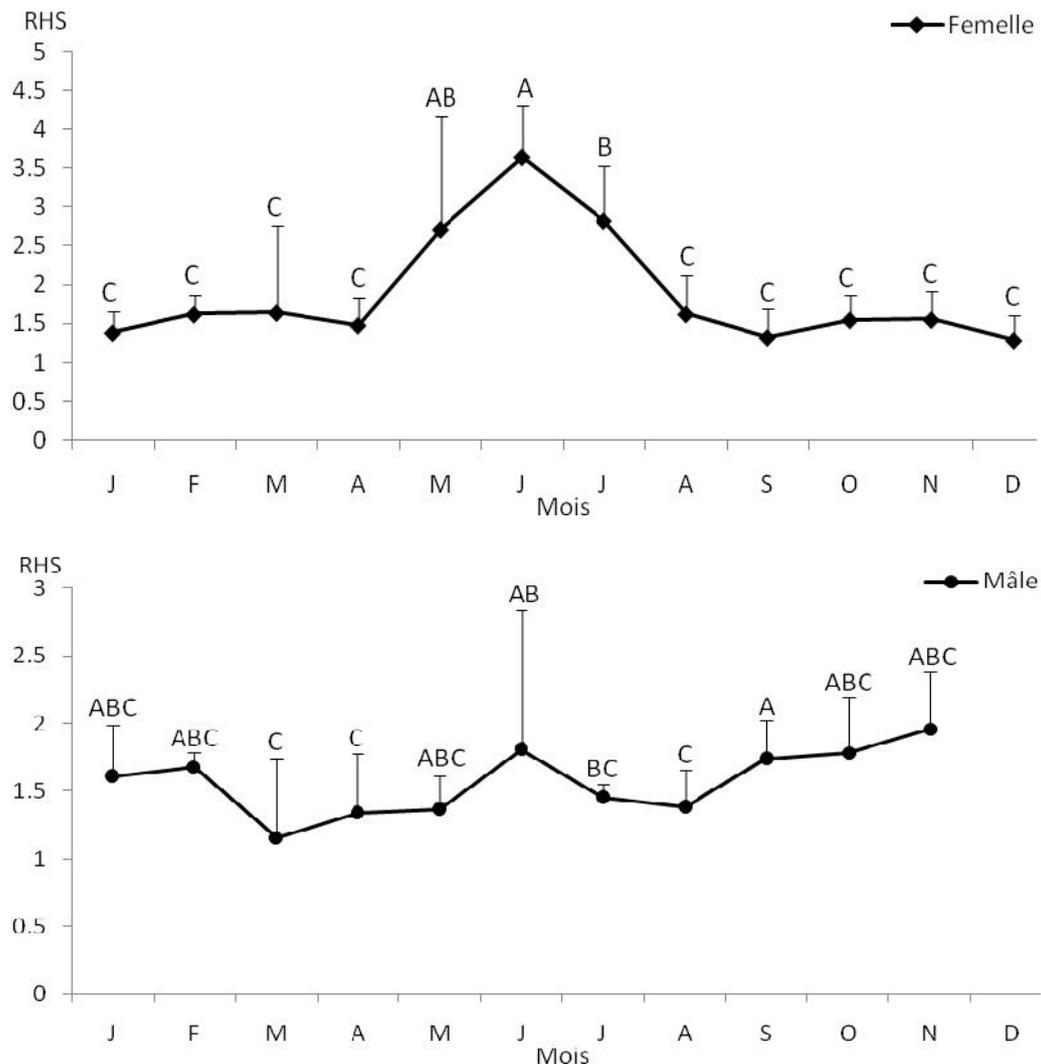


Figure 18. Variations mensuelles du rapport hépato-somatique (RHS) chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 1. 5. Adiposité

Les moyennes mensuelles de l'adiposité ont été calculées pour chaque sexe, sont exprimés graphiquement par la figure 19. Les variations des graisses mésentériques évoluent presque de la même manière chez les deux sexes avec des valeurs généralement plus élevés chez les femelles. L'adiposité est plus élevée à la fin de l'été, en automne et au début de l'hiver, alors qu'elle enregistre des valeurs minimales au cours des mois de mai à juillet.

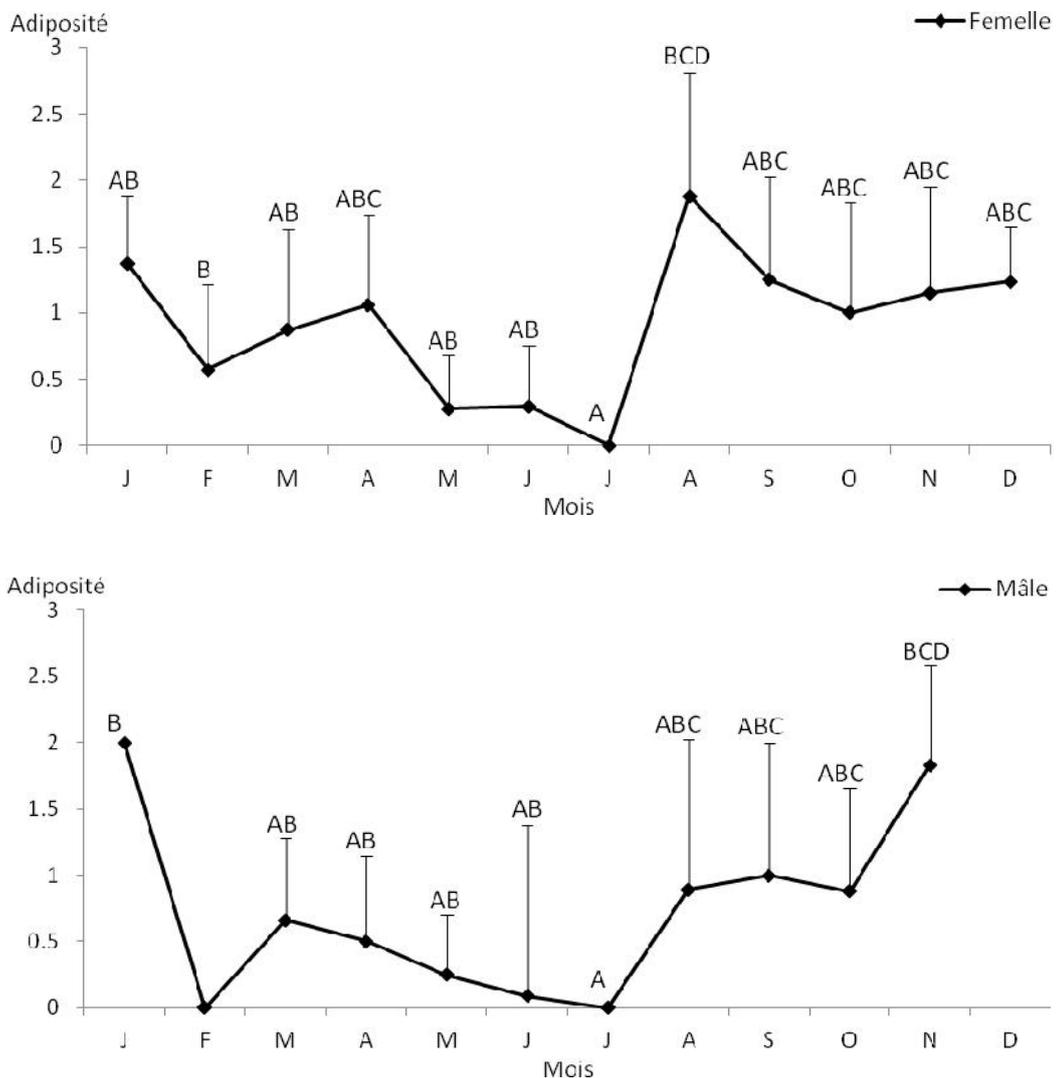


Figure 19. Variations mensuelles de l'adiposité chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 1. 6. Taille à la première maturité sexuelle

L'évolution du pourcentage des individus matures en fonction de la taille chez les mâles et les femelles (Fig. 20 a, b) permet de déterminer la taille à la première maturité sexuelle pour laquelle 50 % des individus sont aptes à se reproduire. Les mâles sont matures à une longueur totale de 30,2 cm; les femelles le sont à une taille inférieure (26,1 cm).

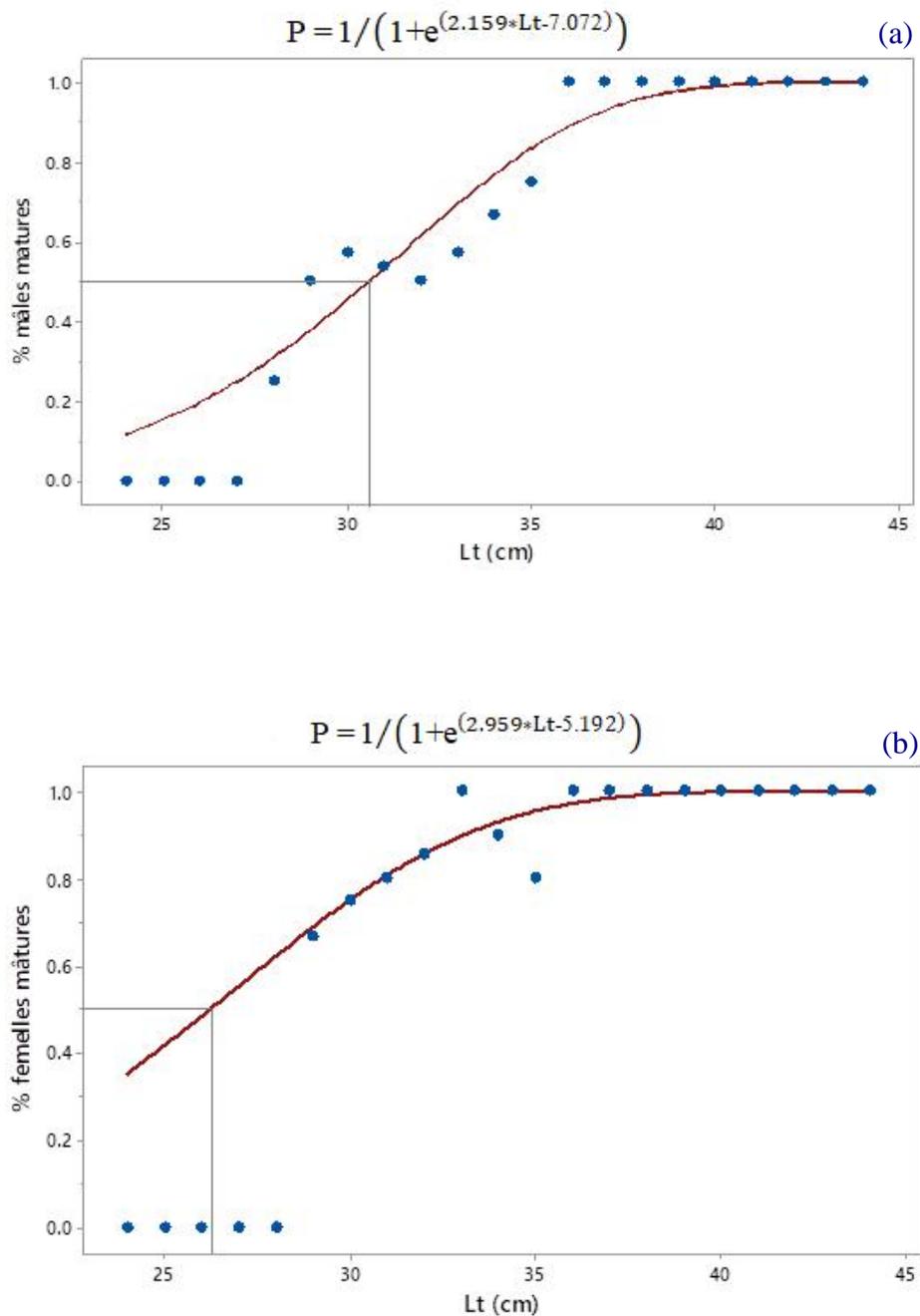


Figure 20. Fréquence des individus matures en fonction de la taille chez les mâles (a) et les femelles (b) de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 1. 7. Fécondité

Pour étudier la distribution des fréquences des tailles des ovocytes, dans un premier temps en faisant abstraction des tailles individuelles et des périodes de captures, il est possible de présenter un classement évolutif de quelques uns des histogrammes obtenus (Fig. 21). Dès le début de la vitellogenèse, l'ensemble des ovocytes peut être scindés en deux lots dont les modes respectifs sont 492 μm et 656 μm (Fig. 21 a). Au cours de l'ovogenèse, ces derniers se séparent de plus en plus (Fig. 19 b) et on obtient un mode de 410 μm marquant la fin de la vitellogenèse et un autre à 656 μm (Fig. 21 c). Le lot le plus avancé atteint environ un diamètre de 697 μm (Fig. 21 c) et cet accroissement se poursuit jusqu'à atteindre un mode de 820 μm (Fig. 21 e). Les ovocytes du premier lot restent bloqués autour de 450 μm . Il s'agit probablement d'un stock qui ne sera pas pondus. De ce fait, les ovocytes qui le constituent ne seront pas pris en compte dans le calcul de la fécondité.

Le tableau 11 montre que la fécondité absolue (Fa) se situe entre 23000 et 105000 œufs pour des femelles de longueur totale comprise entre 32,6 et 40,9 cm. La fécondité relative de *S. sphyraena* est exprimée en fonction de la longueur totale du poisson (LT), de son poids total (Pt); de son poids éviscéré (Pe) et du poids de ses gonades (Pg) par les équations suivantes:

- $\text{Log } F = 1,86 \text{ Log } LT + 1,712$ $r = 0,212; P = 0,408$
- $\text{Log } F = 0,563 \text{ Log } Pt + 3,361$ $r = 0,174; P = 0,551$
- $\text{Log } F = 0,075 \text{ Log } Pe + 4,487$ $r = -0,036; P = 0,902$
- $\text{Log } F = 1,061 \text{ Log } Pg + 3,388$ $r = 0,804; P = 0,00$

La fécondité absolue moyenne est de 49979,64 œufs, tandis que la fécondité relative moyenne est de 255,99 œufs. g^{-1} , avec un maximum de 526,77 œufs. g^{-1} pour un poids de 200,33 g et une taille de 38,3 cm. Au-delà, une chute est enregistrée.

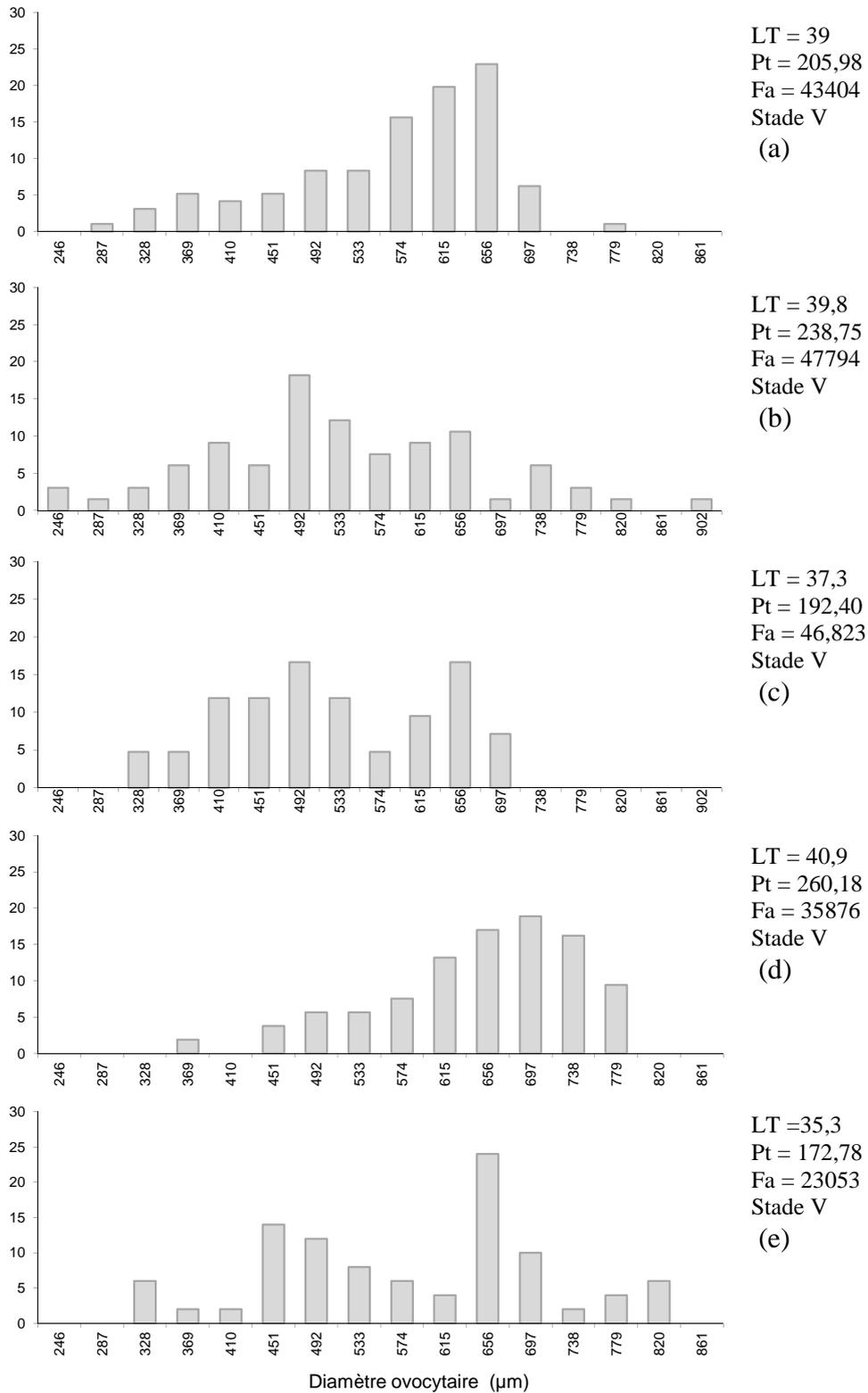


Figure 21. Distribution des ovocytes en fonction de leur taille chez 5 femelles (a, b, c, d, e) de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Tableau 11. Fécondité absolue et fécondité relative de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

LT (cm)	Pt (g)	Pe (g)	Pg (g)	Fécondité absolue	Fécondité relative
32,6	124,24	104,42	10,514	38975	368,38
35,3	172,78	150,95	9,245	23053	133,425
35,3	176,46	138,37	19,485	72789	412,49
37,2	195,51	155,49	11,61	27441	140,36
37,3	192,4	154,38	15,62	46823	243,36
37,5	204,53	163,01	18,149	31861	155,77
37,7	185,9	158,08	10,28	24834	133,58
38	202,66	175,03	16,228	52845	260,75
38,3	200,53	153,22	25,01	105529	526,77
39	205,96	174,85	14,22	43404	210,719
39,5	228,94	167	30,22	87337	381,48
39,5	219,46	183,76	13,36	61154	278,66
39,8	238,75	183,94	22,501	47794	200,186
40,9	260,18	217,64	14,85	35876	137,89

2. 2. Régime alimentaire

2. 2. 1. Coefficient de vacuité

Sur 583 poissons examinés au cours d'un cycle annuel, 312 ont l'estomac vide; ce qui correspond à un coefficient de vacuité stomacale (CV) de 53,51 %. Les variations mensuelles de ce coefficient sont représentées graphiquement par la figure 22. Le coefficient de vacuité stomacale évolue autour d'une valeur de 90 % entre novembre et mars puis diminue brutalement pour atteindre 1,78 % en juillet. Au-delà, il augmente de nouveau jusqu'à sa valeur maximale en décembre (CV = 70,84 %).

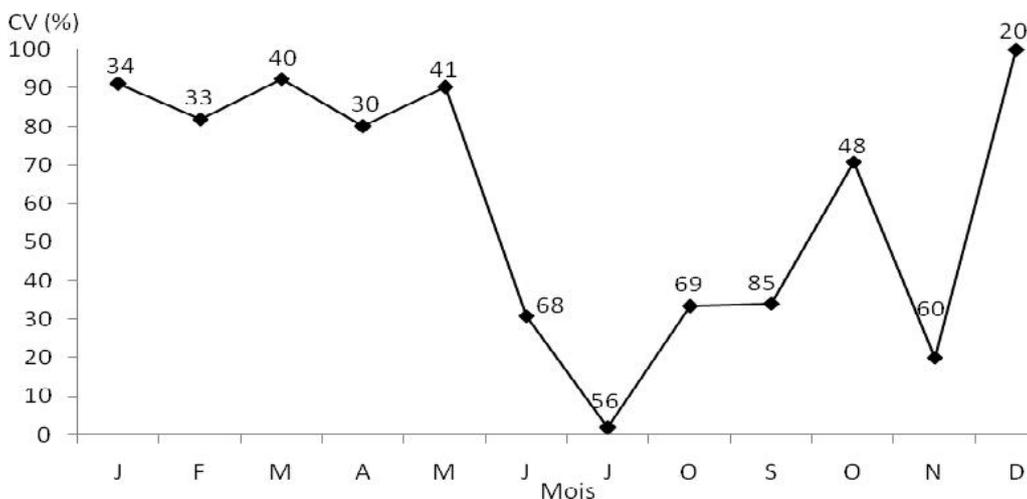


Figure 22. Variations mensuelles du coefficient de vacuité stomacale de *S. sphyraena* dans le Golfe d'Annaba.

Au total, 292 proies ont été identifiées, soit en moyenne une proie par estomac plein examiné, ce qui correspond à 4,07 g d'aliment par estomac. Les résultats relatifs aux indices alimentaires des différentes proies ingérées sont consignés dans le tableau 12.

Les proies trouvées et identifiées sont des poissons, souvent dans un état de digestion avancé. Ainsi, l'identification n'a pas pu dépasser le niveau de la famille dans la plupart des cas. Les proies ont donc été regroupées sous des unités systématiques plus générales (famille, ordre).

Tableau 12. Composition qualitative et quantitative du régime alimentaire du *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Indices	Groupe taxonomique	Nombre	Poids	Fi	Cni	Cpi	Q	
	Poisson Téléostéens	283	1099,42	104,81	99,3	100,03	9932,97	
	• Poissons Clupéidés	107	471,04	39,62	36,51	35,53	1297,2	
	- Clupéidés identifiés	15	80,45	5,55	5,11	7,23	37,47	
		<i>S. Pilchardus</i>	13	74,4	4,814	4,43	6,77	29,99
		<i>S. aurita</i>	2	6,04	0,74	0,68	0,55	0,37
	- Clupéidés non identifiés	15	390,58	30,37	31,39	35,53	1115,28	
	• Poissons Engraulidés	15	89,24	3,703	5,11	8,11	41,56	
	Poissons Téléostéens non identifiés	161	539,13	59,62	57,67	49,05	2828,88	

2. 2. 2. Variations saisonnières du régime alimentaire:

Quelque soit la saison, l'alimentation de *S. sphyraena* ne présente pas de grandes variations. Les poissons clupéidés semblent représenter la base de son alimentation. Bien que peu nombreux, les poissons Engraulidés apparaissent en été et en automne (Fig. 23).

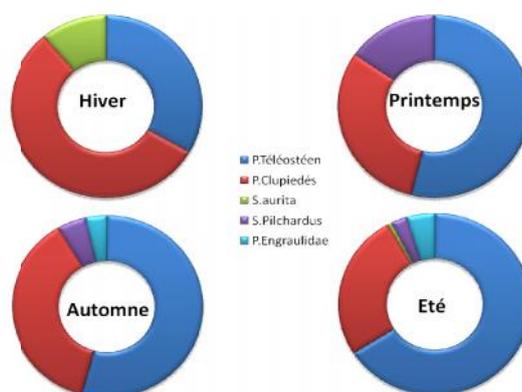


Figure 23. Variations saisonnières du régime alimentaire de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 3. Age et croissance

2. 3. 1. Détermination de l'âge

2. 3. 1. 1. Méthode indirecte de Bhattacharya

A partir d'un échantillon instantané de 1452 individus, cette méthode indique l'existence de quatre sous populations dans l'échantillon global (Fig. 24), mais seulement 3 chez les femelles et les mâles pris séparément.

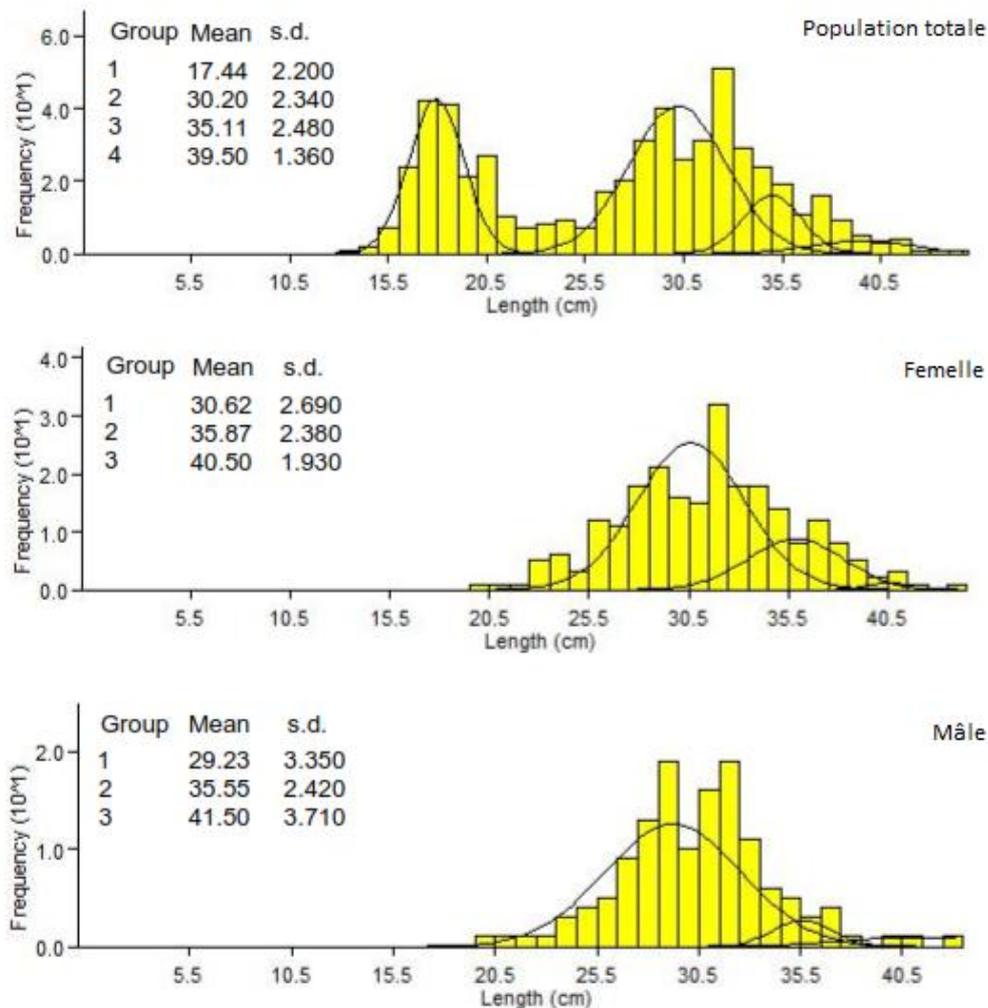


Figure 24. Résultats de la recherche des cohortes par la méthode de Bhattacharya chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Les valeurs de l'indice de séparation sont supérieures à 2, ce qui montre une bonne décomposition de la population de *S. sphyraena*. A l'âge de 1 an, le brochet de mer du Golfe d'Annaba mesure 17,44 cm et atteint 39,50 cm à 4 ans. Le taux de croissance annuel passe de 13,9 cm entre la première et la deuxième année à 8,39 cm entre la deuxième et la troisième année. Les classes d'âge 1 et 2 sont les mieux représentées.

2. 3. 1. 2. Méthodes directes

2. 3. 1. 2. 1. Scalimétrie

De nombreuses difficultés sont apparues lors de l'utilisation des écailles dans la détermination de l'âge. D'abord, elles ne sont pas toujours présentes; ensuite, leur lisibilité est très variable et incertaine, en plus de la fréquence des écailles régénérées (Fig. 25 a, b). Par ailleurs le lieu de prélèvement des écailles n'a pas pu être le même en raison de la fréquence des surfaces nues. Les écailles étant très petites et se détachant très facilement.

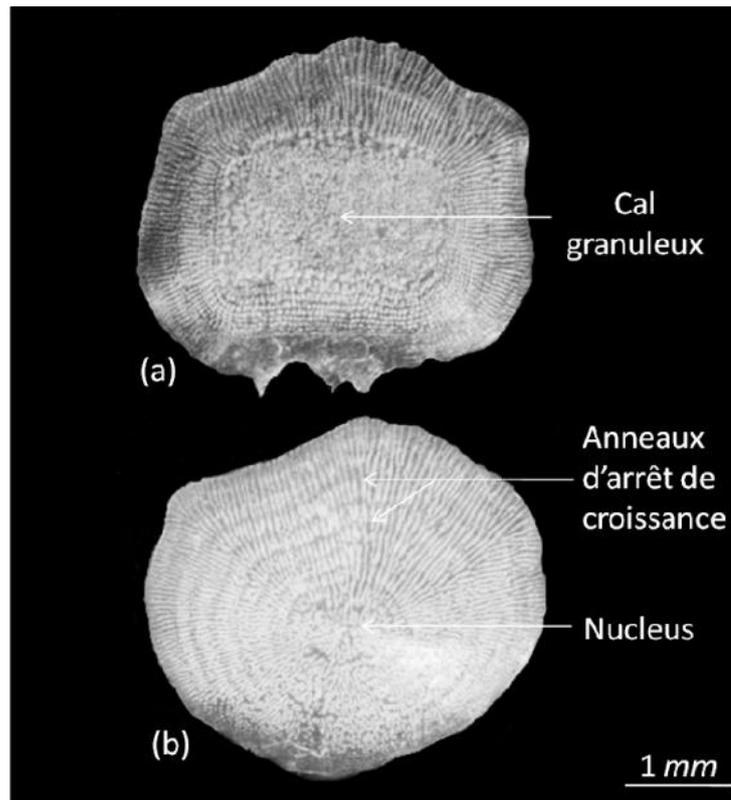


Figure 25. Ecaille avec cal granuleux (a) et écaille illisible (b) à cause de ses anneaux surnuméraires chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Le suivie mensuelle de l'allongement marginale mesuré sur les écailles de *S. sphyraena* présente deux minimums, l'un en janvier-février traduisant l'apparition d'anneau d'arrêt de croissance hivernal et l'autre en juin-juillet correspondant à la période de ponte. La comparaison des valeurs moyennes mensuelles successives de l'accroissement marginal des écailles par l'analyse de la variance a montré une différence significative ($F = 1,42$; $P < 0,05$) entre seulement deux mois consécutifs: Janvier et Février (Fig. 26).

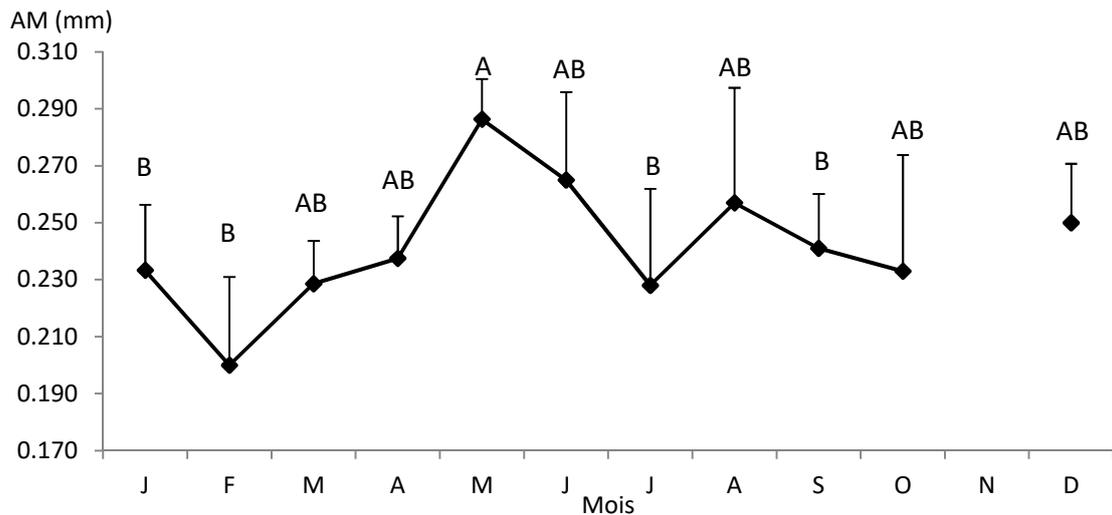


Figure 26. Evolution mensuelle de l'accroissement marginal (AM) mesuré sur les écailles de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 3. 1. 2. 2. Otolithométrie:

L'otolithe *Sagitta* de *S. sphyraena* est elliptique, aigue à l'extrémité rostrale et plus émoussée sur le bord postérieur. L'antirostre est bien individualisé, le rostre est à extrémité pointue chez les jeunes comme chez les adultes. La face externe est concave. La face interne est convexe, creusée longitudinalement par un sillon. Le sulcus qui s'arrête avant l'extrémité postérieure est plus profond chez les adultes (Fig. 27)..

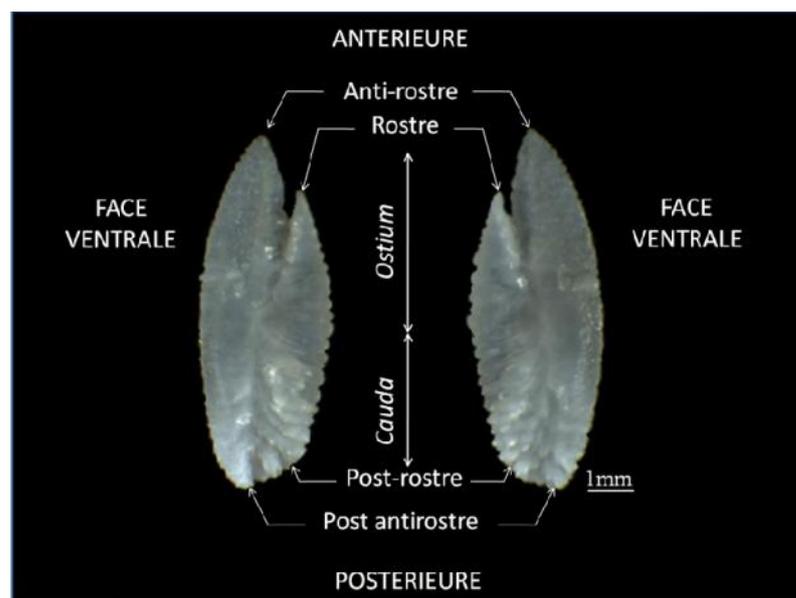


Figure 27. Partie antérieure de l'otolithe *sagitta* de *S. sphyraena* examinée sous une lumière réfléchie (LT = 20,3 cm, Lo = 6,75 mm).

Les différents liquides employés pour éclaircir et faciliter la lecture des otolithes ont donné des résultats très variables selon des qualités que possède chaque liquide (Tab. 13). L'essence d'anis s'est révélé être le meilleur milieu d'observation.

Tableau 13. Résultats des lectures des otolithes *sagittae* en fonction du milieu d'observation.

Milieu d'observation	Observation	Résultats
Eau distillée	La lecture est assez claire pour les plus petits individus, devient impossible chez les plus grands	illisibles
Immersion dans l'essence de camomille	La coloration jaunâtre rend la vision ambiguë	illisibles
Couche de l'huile d'anis	Zones opaques et hyalines difficilement discernables les unes des autres	illisibles
Bain d'HCL et rinçage puis coloration en bleu de Toluidine	Structures très difficiles à interpréter	illisibles
Brûlage selon la méthode de Moller-Chritsensens	Vision ambiguë	illisibles
Immersion dans du Glycérol	Vision ambiguë	illisibles
Immersion dans un mélange d'Alcool et de glycérine	Vision ambiguë	illisibles
Immersion dans de l'essence d'anis	Les anneaux d'arrêt de croissance apparaissent de couleur opaque	Lisibles

L'alternance des zones hyalines et des anneaux opaques se poursuit jusqu'au bord de l'otolithe (Fig. 28). Les zones hyalines, d'abord très larges, deviennent plus étroites, alors que la largeur des anneaux varie peu. Les zones hyalines et les anneaux sont visibles dans tout le champ sauf dans le secteur antéro – supérieur correspondant à l'ostrium. Ils sont à peu près parallèles au bord de l'otolithe.

Des problèmes d'interprétation sont aussi apparus avec la méthode retenue. Il s'agit des anneaux très rapprochés (anneaux doubles) dans une séquence où l'intervalle interannulaire est beaucoup plus grand. Il y a aussi des anneaux incomplets, c'est-à-dire visibles dans une partie du champ seulement et des anneaux semi-opaques. Les difficultés décrites entraînent un pourcentage d'échec croissant avec la taille. Ce pourcentage, nul pour les petits individus (<200 mm), atteint 11,4 % pour les plus grands individus (>300 mm).

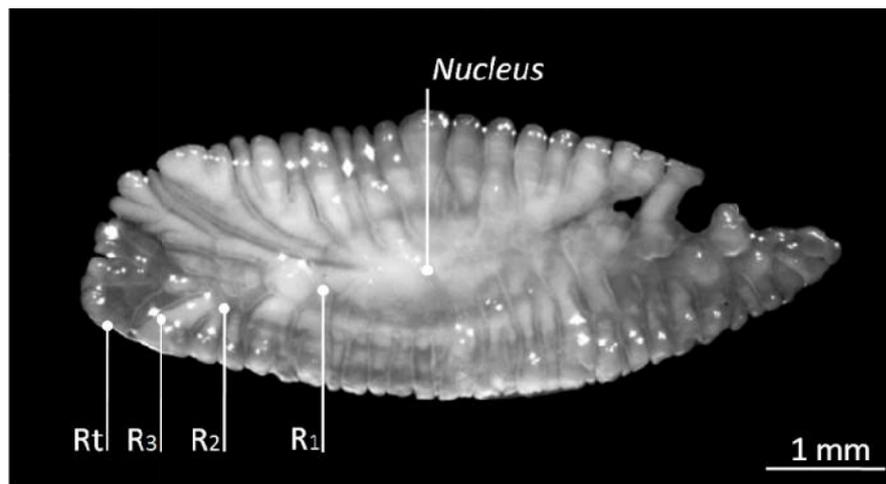


Figure 28. Otolithe *sagitta* de *S. sphyraena* observé dans l'essence d'anis sous une lumière réfléchie.

R_1 : rayon du premier anneau d'arrêt de croissance (mm)

R_2 : rayon du deuxième anneau d'arrêt de croissance (mm)

R_t : rayon de l'otolithe (mm)

Le suivi mensuel de l'allongement marginal, indique des valeurs minimales en février et juillet. Nous n'avons pas enregistré de doublets d'anneaux d'arrêt de croissance lors de la lecture des otolithes, ce qui nous permet de considérer la formation d'un seul anneau par an pendant l'hiver (Fig. 29).

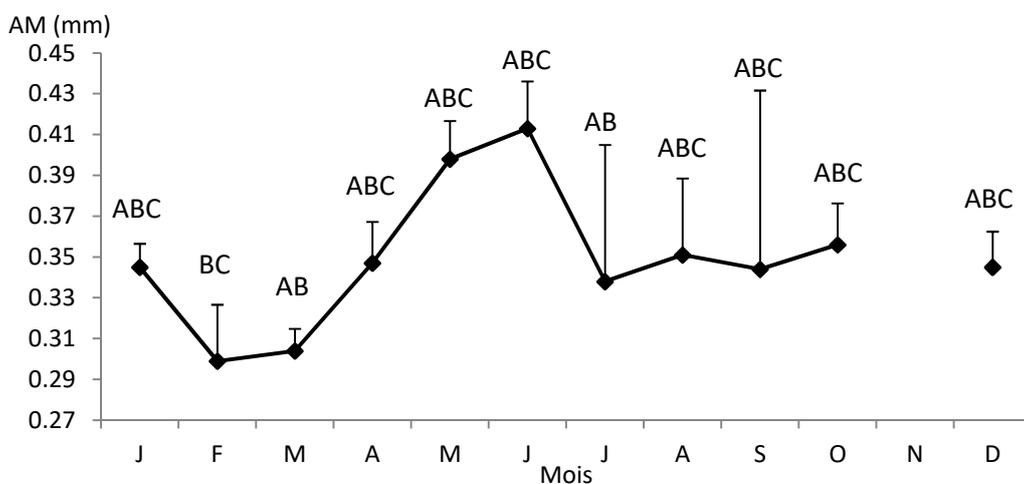


Figure 29. Evolution mensuelle de l'accroissement marginal (AM) mesuré sur les otolithes de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 3. 1. 2. 3. Clés âge-longueur

La détermination des âges individuels des poissons à partir de la lecture directe des otolithes et des écailles, nous a permis d'établir deux clés âge-longueurs (Tab. 14). Sur la base de ces observations, quatre groupes d'âge ont été définis par otolithométrie. Le premier est représenté par les individus de longueur totale comprise entre 151 et 238 mm. Le groupe d'âge II par ceux qui ont une taille comprise entre 292 et 332 mm. Les individus du groupe d'âge III ont une taille comprise entre 333 et 377 mm, alors que le groupe d'âge IV est représenté par deux individus ayant 400 et 420 mm. Bien que la scalimétrie révèle la même structure de la population totale (4 groupes d'âge), une différence de 2 cm fait la dissimilitude entre les moyennes correspondantes pour chaque groupe.

Tableau 14. Clé âge-longueur de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba d'après la lecture directe des otolithes et des écailles

Classe de taille (cm)	Otolithométrie				Scalimétrie			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
15-16	1							
16-17	6							
17-18	14							
18-19	11							
19-20	11							
20-21	2							
21-22	2							
22-23								
23-24								
24-25	1							
25-26								
26-27	4				1			
27-28	3	3			2	1		
28-29	1	4				8		
29-30	1	3				11		
30-31		3				6		
31-32	2	4				8		
32-33		9	2					2
33-34		5	3					13
34-35		1	1					5
35-36		1	3					6
36-37		1	1					7
37-38			1					2
38-39			3					9
39-40							1	1
40-41				1				2
41-42								4
42-43				1				1
<i>Total</i>	49	34	14	2	3	34	45	11
<i>LT(cm) ±</i>	19,51 ± 4,31	31,21 ± 1,99	35,5 ± 2,22	41,7 ± 5,82	21,6 ± 2,44	28,63 ± 2,7	34,04 ± 2,52	40,17 ± 1,05
<i>Pt(g) ±</i>	81,33 ± 23,7	114,3 ± 47,7	168,9 ± 29,1	248,7 ± 16,1	90,02 ± 19,3	121,8 ± 32,9	155,5 ± 29,1	256,1 ± 44,3

2. 3. 1. 2. 4. Rétro-calcul des tailles aux différents âges

Le tableau 15 résume les résultats des longueurs moyennes rétrocalculées par scalimétrie et otolithométrie pour chaque âge chez la population totale.

La comparaison statistique (test t de Student) des longueurs totales observées avec celles rétrocalculées déterminées à partir des otolithes ou des écailles, a été montré qu'il n'y avait pas des différences significatives entre ces longueurs (Tab.16).

Tableau 15. Longueurs moyennes rétrocalculées à l'apparition de chaque anneau d'arrêt de croissance de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Age	Paramètres	R1	R2	R3	R4
Ecailles					
1	<i>N</i>	3			
	<i>M</i>	246.63			
	<i>SD</i>	10.24			
2	<i>N</i>	34	34		
	<i>M</i>	227.43	301.97		
	<i>SD</i>	17.07	18.02		
3	<i>N</i>	47	47	47	
	<i>M</i>	203.14	273.21	340.12	
	<i>SD</i>	24.12	26.93	27.34	
4	<i>N</i>	9	9	9	9
	<i>M</i>	199.65	265.98	341.12	401.72
	<i>SD</i>	15.53	13.7	8.32	10.56
Totale	<i>N</i>	93	90	56	9
	<i>M</i>	213.09	283.35	341.28	401.72
	<i>SD</i>	24.49	27.01	25.21	10.56
Otolithes					
1	<i>N</i>	12			
	<i>M</i>	193.8			
	<i>SD</i>	44.62			
2	<i>N</i>	34	34		
	<i>M</i>	198.9	304.3		
	<i>SD</i>	35.27	28.12		
3	<i>N</i>	14	14	14	
	<i>M</i>	163.1	262.9	343.9	
	<i>SD</i>	35.02	27.52	22.15	
4	<i>N</i>	2	2	2	2
	<i>M</i>	191.7	275.9	314.7	406.7
	<i>SD</i>	8.2	16.6	2.92	18.6
Totale	<i>N</i>	62	50	16	2
	<i>M</i>	199.7	291.5	340.2	406.5
	<i>SD</i>	44.9	33.11	22.92	18.67

Tableau 16. Comparaison des longueurs totales (en cm) observés et rétrocalculés chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Méthode de lecture	Age	Longueur observé	Longueur retrocalculé	t	P
Otolithométrie	1	19,51	19,97	0,42	0,29
	2	31,21	29,15	0,56	0,35
	3	35,5	34,02	1,08	1,35
	4	41,7	40,65	0,83	0,66
Scalimétrie	1	21,3	21,6	0,38	0,91
	2	28,63	28,33	0,71	1,13
	3	34,04	34,12	0,96	1,52
	4	40,17	40,1	0,39	0,57

2. 3. 2. Croissance linéaire absolue

Afin de faciliter la comparaison des résultats obtenus, les tailles moyennes aux différents âges, données par les trois méthodes employées (lecture directe des otolithes et des écailles et indirecte de Bhattacharya) sont rassemblées dans le tableau 17.

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont assez proches, sauf à 1 an où la méthode de Bhattacharya indique une taille inférieure.

Tableau 17. Résultats comparatifs des tailles (en cm) aux différents âges déterminés par les différentes méthodes d'âgeage chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Méthode utilisée	Age			
	1	2	3	4
Otolithométrie	19,51	31,21	35,55	41,7
Scalimétrie	21,3	28,33	34,04	40,17
Méthode de Bhattacharya	17,44	30,20	35,11	39,5

Le modèle de croissance de Von Bertalanffy est construit à partir des résultats du rétrocalcul des tailles aux différents âges déterminés par otolithométrie. Ce choix est justifié par la précision qu'offre cette méthode compte tenu du fait que la taille estimée coïncide exactement avec le dépôt de l'anneau d'arrêt de croissance correspondant.

Les paramètres de croissance obtenus ont permis de décrire la croissance linéaire comme suit:

$$L_t = 42,45 [1 - e^{-0,67(t-0,28)}]$$

A partir de ce modèle, nous avons établi les valeurs théoriques de la longueur totale pour chaque d'âge, ainsi que l'accroissement moyen annuel. La figure 30 présente les courbes correspondantes.

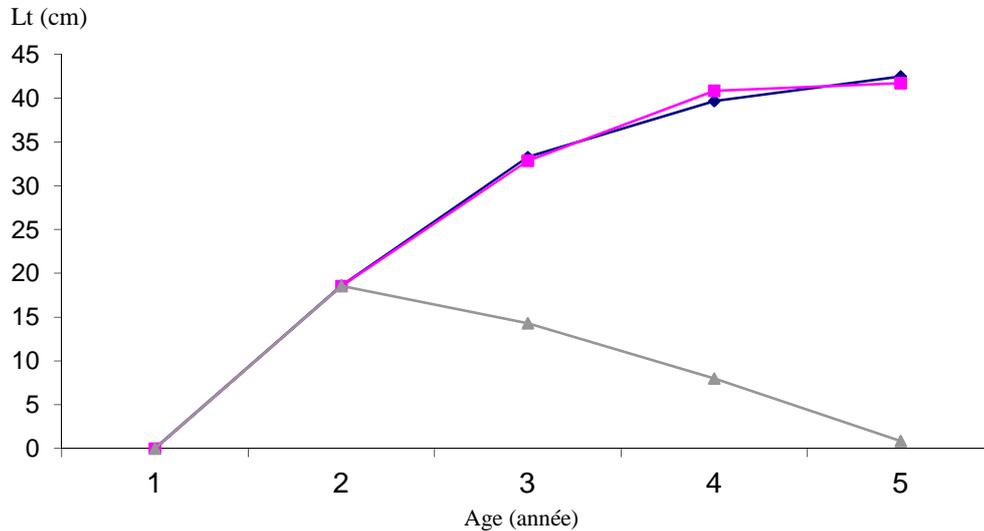


Figure 30. Croissances linéaires observée (■) et théorique (▲) et accroissement annuel théorique (▲) de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Les accroissements moyens annuels (Fig. 30), montrent un allongement corporel très important durant la première année de vie (18,55 cm). Entre la deuxième et la troisième année, cet accroissement diminue de 1/3 (environ 13 cm) et de 2/3 entre la troisième et la quatrième année.

2. 3. 3. Relation taille-poids

La relation taille-poids est établie mensuellement pour les mâles, les femelles et les sexes confondus. Les résultats mettent en évidence, au seuil $\alpha = 0,05$, une forte corrélation entre ces deux paramètres chez la population totale ($0,6 < r < 0,99$), chez les femelles ($0,85 < r < 0,99$) et chez les mâles ($0,81 < r < 0,99$).

Dans l'échantillon global, l'allométrie entre la taille et le poids est minorante (Fig. 31). Toutefois, des cas d'isométrie sont constatés en décembre, février, mai, juin et novembre. Aucun cas d'allométrie majorante n'est enregistré (Tab. 18).

Tableau 18. Expressions mathématiques de la relation taille - poids chez la population totale de *Sphyraena sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Mois	Effectif	Relation taille -poids	t_{obs}	Valeurs limites		r	
Novembre 2001	34	$P = 0,0116 L^{2,692}$	4,862 Minorante	26,2 74,16	LT Pt	44,9 325,08	0,992
Décembre	20	$P = 0,001 L^{3,328}$	1,757 Isométrie	24,7 534,3	LT Pt	38,2 272	0,968
Janvier 2002	34	$P = 0,0127 L^{2,646}$	2,911 Minorante	24 55	LT Pt	41,5 248	0,970
Février	33	$P = 0,0266 L^{2,442}$	1,441 Isométrie	21,5 34,55	LT Pt	43 217,42	0,6
Mars	40	$P = 0,0179 L^{2,531}$	2,272 Minorante	24,3 50,04	Lt Pt	42,5 237,32	0,914
Avril	73	$P = 0,0074 L^{2,786}$	2,166 Minorante	25,2 54,39	LT Pt	39,4 210	0,957
Mai	41	$P = 0,0055 L^{2,890}$	1,309 Isométrie	27,9 83,40	LT Pt	41,6 274,37	0,984
Juin	68	$P = 0,0038 L^3$	0 Isométrie	26,3 67,67	LT Pt	39,8 238,75	0,974
Juillet	56	$P = 0,0067 L^{2,824}$	3,763 Minorante	14,5 12,11	LT Pt	39,8 219,46	0,993
Août	69	$P = 0,02 L^{2,514}$	11,739 Minorante	17,6 20,61	LT Pt	37,5 213,41	0,936
Septembre	85	$P = 0,021 L^{2,475}$	5,133 Minorante	17,6 21,76	LT Pt	31,1 127,03	0,882
Octobre	48	$P = 0,011 L^{2,686}$	3,141 Minorante	23,1 48,95	LT Pt	34,4 157,04	0,971
Novembre	25	$P = 0,0066 L^{2,839}$	0,802 Isométrie	24,1 52	LT Pt	37,6 178,16	0,944
Global	628	$P = 0,0104 L^{2,702}$	9,861 Minorante	14,5 12,11	LT Pt	44,9 325,08	0,964

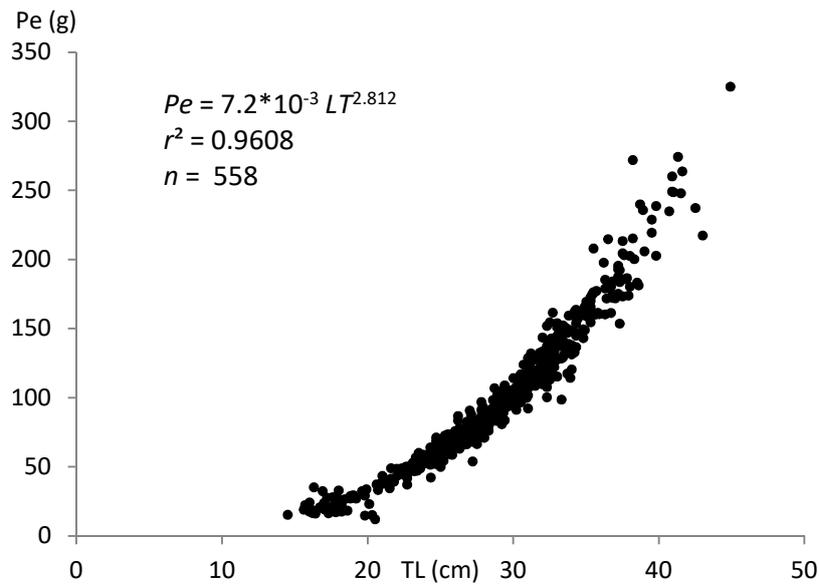


Figure 31. Relation taille-poids chez *Sphyraena sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 3. 4. Croissance pondérale absolue

Connaissant les paramètres du modèle de Von Bertalanffy ($L = 42,45$ cm, $K = 0,63$ et $t_0 = 0,28$) et le coefficient d'allométrie de la relation taille-poids ($b = 2,702$), le modèle de croissance pondérale absolue s'écrit comme suit:

$$P_t = 298 (1 - e^{-0,63 (t - 0,28)})^{2,702}$$

Le poids asymptotique $P = 298$ g est nettement supérieur au poids maximal échantillonné ($P_{\max} = 250$ g). La figure 32 représente l'évolution du poids corporel et l'accroissement annuel correspondant.

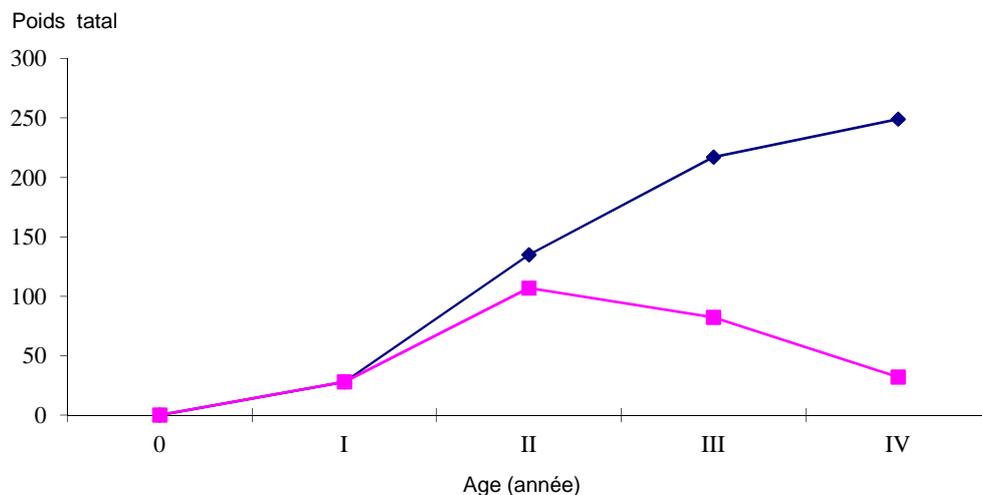


Figure 32. Croissance pondérale théorique (♦) et accroissement annuel (■) de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 3. 5. Coefficient de condition K

Le coefficient de condition (K) ne présente pas de tendance claire en fonction de la taille des poissons, (Fig. 33). Sa valeur évolue autour d'une moyenne de 0,38 chez les mâles et les femelles.

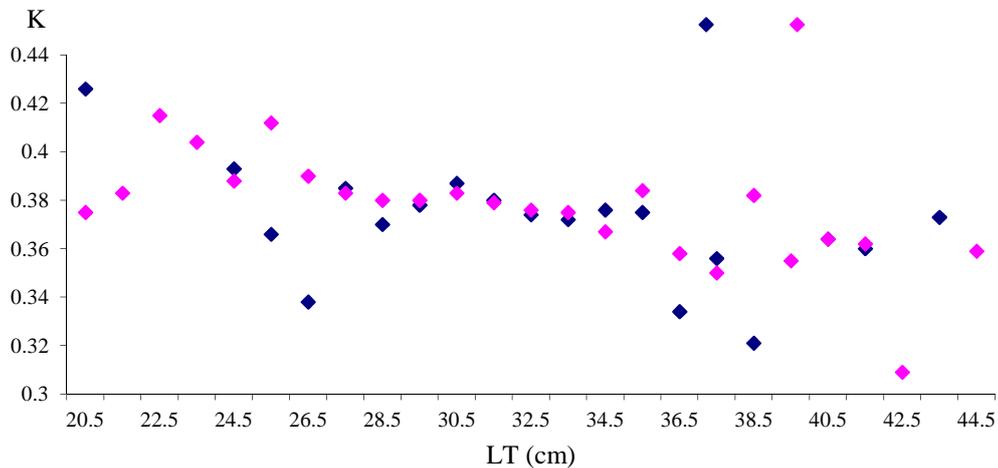


Figure 33. Variations du coefficient de condition "K" en fonction de la taille chez les mâles (♦) et les femelles (♦) de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

Les valeurs mensuelles du coefficient de condition K sont relativement stables et évoluent entre 0,3 et 0,4. Cependant, au cours du mois d'août, K dépasse la valeur de 0,5 (Fig. 34).

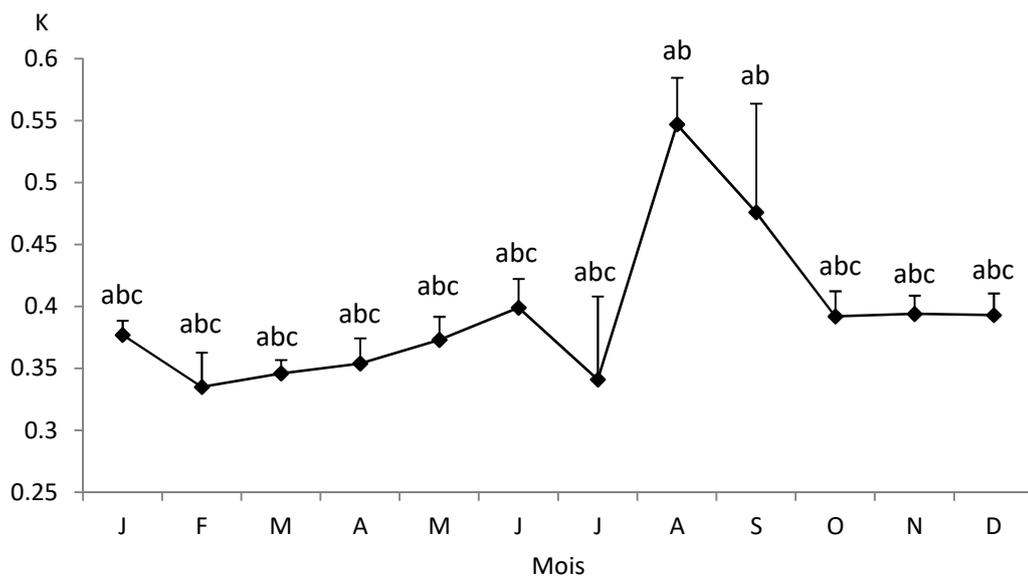


Figure 34. Variations mensuelles de coefficient de condition de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

2. 3. 6. Etude des mortalités

Le tableau 19 et la figure 35 résument les valeurs des mortalités obtenues selon diverses méthodes et du taux d'exploitation pour l'ensemble de la population.

Tableau 19. Mortalités et taux d'exploitation de *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba

Z			M			F	E
Powell-Wetherall (1987)	Pauly (1984)	Moy	Pauly (1980)	Djabali et al, (1993)	Moy	F = Z - M	F/Z
1,38	1,00	1,19	1,16	0,494	0,826	0,363	0,305

Les résultats du coefficient instantané de mortalité totale obtenus selon les deux méthodes varient entre 1 et 1,38 an⁻¹ avec une moyenne de 1,19 an⁻¹.

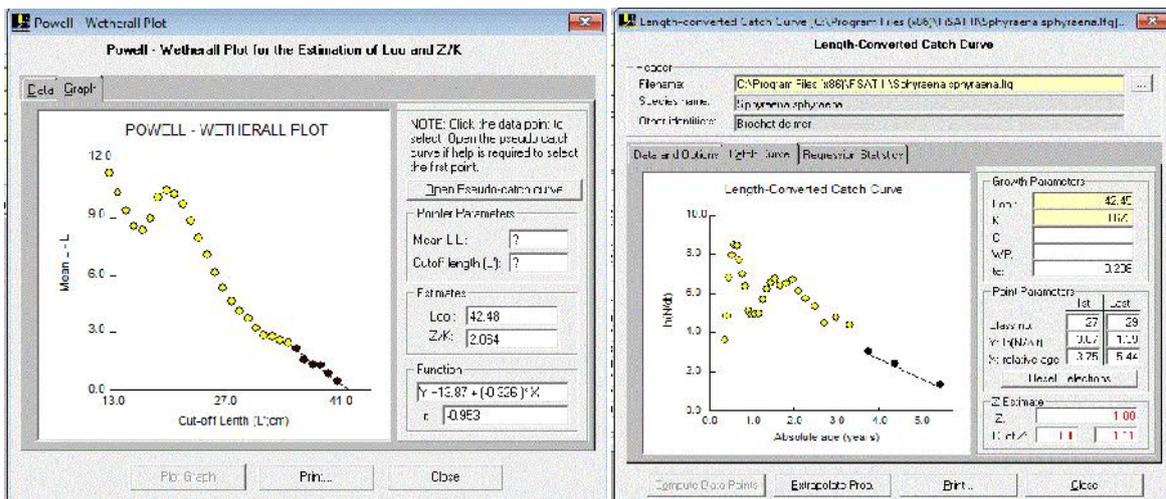


Figure 35. Détermination de Z à partir de la méthode de Powell-Wetherall et par courbe de captures (Pauly, 1984) chez *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba.

3. Discussion

3. 1. Reproduction

Avec une moyenne annuelle de 36,36 %, le sex-ratio de la population de *S. sphyraena* des côtes d'Annaba est généralement en faveur des femelles. L'égalité numérique n'est enregistrée qu'une seule fois en juin. La dominance des mâles dans les captures en août coïncide avec le début de la ponte. Les femelles seraient alors moins accessibles aux engins de pêche, ce qui laisse supposer un comportement différent des

mâles et des femelles pendant cette période. La dominance numérique des femelles chez *S. sphyraena* est aussi confirmée par Chemmam *et al.* (2007) sur les côtes tunisiennes. Selon Kartas et Quignard (1984), les variations de dominance en faveur d'un sexe, peuvent être dues à une ou plusieurs causes telles que la maturité précoce des femelles et/ou leur croissance plus faible.

L'évolution mensuelle du rapport gonado-somatique (RGS) montre globalement trois phases chez les deux sexes. Une phase de repos sexuel de la fin de l'été jusqu'au printemps (d'août à avril), une phase de maturation des gonades au début de l'été (fin mai à début juin) et une phase de ponte au cours des mois de juillet et août, ce qui est confirmé par la fréquence mensuelle des différents états de maturité sexuelle, établis d'après l'aspect macroscopique des gonades. C'est aussi le cas d'autres populations en Méditerranée, comme en Tunisie (Chemmam *et al.*, 2007), en Egypte (Allam *et al.*, 2004) et en Espagne (Villegas-Hernández *et al.*, 2014) et en Atlantique (Eli, 2006; Cadenat, 1964).

Les variations mensuelles du rapport hépato-somatique (RHS) montrent qu'il tend à augmenter progressivement d'avril à juin puis chute brusquement au moment de la ponte. La similitude de cette évolution avec celle du RGS atteste de l'accumulation et de l'utilisation graduelle des réserves graisseuses, accumulées dans le foie et mobilisées pour les besoins de la maturation des gonades. Les graisses mésentériques commencent à diminuer avec le début de la maturation des gonades, jusqu'à s'épuiser au mois de juillet, lorsque les ovocytes sont émis. L'évolution de l'adiposité est inversement proportionnelle à celle du RGS. L'alimentation du poisson pendant la période chaude se traduirait par la croissance corporelle des individus et par le dépôt des réserves graisseuses mésentériques. Ces dernières, résorbées au moment de la vitellogénèse, transitent par le foie et induisent une forte oscillation du RHS entre mai et juillet.

S. sphyraena se reproduit à partir de l'âge de 2 ans. Les femelles sont matures à une taille de 26,1 cm (LT). Les mâles le deviennent à partir de 30,2 cm. L'écart est considérable entre les deux sexes (4 cm). En Egypte, la taille de maturité sexuelle de cette espèce est estimée à 26,7 cm de longueur totale pour les mâles et de 27,6 cm pour les femelles (Allam *et al.*, 2004). En Tunisie, la taille de première maturité sexuelle est aussi atteinte à une taille de 26 cm chez les 2 sexes (Chemmam *et al.*, 2007). Par contre, elle est plus tardive en Espagne (27,16 et 29,5 cm pour les mâles et les femelles respectivement), en raison probablement des températures plus faibles au nord de la Méditerranée.

3. 2. Régime alimentaire

Le coefficient de vacuité stomacale moyen annuel est de 53,5 %. Il reflète le caractère vorace de l'espèce. Il est nettement supérieur à celui de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba (CV = 22 %) (Bourehail *et al.*, 2018), des Açores (CV = 34 %) (Barreiros *et al.*, 2002), mais reste sensiblement proche de *S. sphyraena* des côtes Grecques (CV = 59 %) (Kalogirou *et al.*, 2012). Le caractère vorace de ces deux espèces est déjà signalé par Patersen (1998) au Îles Turks et Caïques (Atlantique Nord) et par Barreiros *et al.*, (2002) au Açores. Avant la ponte, entre avril et août, le coefficient de vacuité stomacale diminue traduisant une intense activité trophique qui aboutit au stockage des réserves nécessaire à l'élaboration des gamètes. Ceci s'exprime effectivement par des valeurs élevées du RHS et de la quantité de graisses mésentériques pendant cette période.

Le régime alimentaire est composé uniquement de poissons. Ce régime est comparable à celui noté chez l'espèce voisine *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba (Bourehail *et al.*, 2018) ainsi que celle des Açores (Barreiros *et al.*, 2002). Parmi les 292 proies ingérées, 181 (61,98 %) sont des poissons téléostéens indéterminés. Il s'agit probablement de poissons clupéidés et engraulidés difficiles à déterminer à cause de leur état de digestion avancée. La comparaison de l'alimentation entre les différentes saisons fait apparaître l'invariabilité du régime alimentaire, avec cependant l'apparition des engraulidés en été et en automne.

3. 3. Age et croissance

Les écailles sont très petites et se détachent du poisson facilement. Celles que nous avons prélevées proviennent de différentes parties du corps, ce qui compromet leur utilisation dans le cas du retro-calcul. En effet, chez *Salmo trutta*, les tailles rétrocalculées avec le même modèle sont différentes selon le site de prélèvement des écailles (Ombredane et Richard, 1990).

Dans son travail sur la biologie des poissons du lagon néo-calédonien, Loubens (1992) classe les otolithes des Sphyraenidés en troisième position par ordre de difficulté décroissante, après les Lethrinidae et les Nemipteridae. Chez *S. sphyraena*, les otolithes appartenant aux plus petits poissons étaient plus faciles à lire.

Les résultats obtenus par otolithométrie dévoilent l'existence de quatre groupes d'âges. La taille correspondant à un an est de 19,51 cm. A 4 ans, le poisson atteint 41,7 cm. La méthode des différences logarithmiques nous a permis de décomposer la population en quatre cohortes âgées de 1 à 4 ans.

Les résultats obtenus par ces 2 méthodes se confirment mutuellement pour les deux premiers âges. La taille à l'âge 3, déterminée par l'otolithométrie est assez proche de celle correspondant à l'âge 2. Ces longueurs correspondraient aux 2 sexes de même âge (2 ans). La taille des poissons à l'âge 4 est révélée par les otolithes bien lisibles de 2 individus de grande taille (40 et 42 cm).

La description de l'évolution du poids théorique en fonction de l'âge indique qu'à un an, *S. sphyraena* pèse 24,61 g et qu'à quatre ans, il arrive à peser 259,73 g. Le meilleur taux de croissance est observé entre la deuxième et la troisième année (108,16 g). Le poids asymptotique $P = 298$ g est nettement supérieur à la valeur maximale enregistrée ($P_t = 250$ g)

L'analyse statistique de la relation taille-poids montre que le poids de l'espèce *S. sphyraena* du Golfe d'Annaba tend à évoluer moins vite que sa taille. En effet, le coefficient d'allométrie "b" est inférieur à 3 indiquant qu'il existe une croissance de type allométrie minorante entre les deux paramètres.

L'analyse biogéographique de la relation taille-poids de *S. sphyraena* a montré des différences entre les zones (Tab. 20). Le mode de croissance était similaire dans la Méditerranée orientale, dans les eaux égyptiennes et à Ghana, mais était plus élevé dans d'autres régions. Ces divergences peuvent être attribuées à la combinaison d'un ou plusieurs facteurs, tels que les différences de taille de l'échantillon et l'intervalle de taille des espèces capturées (Moutopoulos et Stergiou 2002).

Petrakis et Stergiou (1995) suggèrent que l'utilisation de la relation longueur-poids doit être limitée à l'intervalle de taille utilisé pour évaluer les paramètres de régression linéaire. Sinon, ces variations sont surtout le reflet des conditions environnementales de chaque localité, telles que la température, la salinité de l'eau de mer, la disponibilité de la nourriture et les modifications des stades de maturité.

Table 20. Comparaison des paramètres de la relation taille-poids de *Sphyraena sphyraena* dans différentes régions.

Auteurs	Régions	TL (cm)			Paramètres de la relation Taille-poids		
		n	min	max	a	b	r ²
Kalogirou <i>et al.</i> , (2012)	Méditerranée orientale	354	-	-	0.0040	2.974	0.96
Allam <i>et al.</i> , (2004)	Egypte	627	-	-	0.005	2.915	0.984
Petrakis & Stergiou., (1995)	Greece	22	33.5	49.8	0.00031	2.32	0.96
Aggrey-Fynn <i>et al.</i> , (2013)	Ghana	75	7.2	26.1	0.0067	2.909	0.992
Présente étude	Méditerranée occidentale	628	14.5	44.9	0.01	2.702	0.964

Les variations mensuelles du coefficient de condition K sont marquées par un maximum en été (Août: K= 0,547) coïncide avec une importance activité trophique. En effet, l'étude des changements mensuels de la vacuité stomacale de *S. sphyraena*, indique que celle-ci s'alimente d'avantage en été, lorsque le coefficient de vacuité stomacale est à son plus bas niveau (CV = 1,78 %).

Biologie et dynamique de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba

Introduction

La détermination du sexe et de la suite des changements du stade de maturité au cours de l'année; est d'une très grande importance pour édifier une connaissance précise de la biologie générale d'un stock exploité. Les résultats sont à l'origine de la détermination de l'âge et de la taille auxquels les poissons atteignent leur maturité sexuelle, la période et le lieu de ponte. Toutes ces informations constituent des données indispensables pour l'évaluation de l'âge optimum de première capture, l'estimation de la dimension d'un stock et son potentiel de renouvellement.

1. Matériels et méthodes

Au total, 698 individus de longueur totale comprise entre 18,4 cm à 121 cm, correspondant à des poids variant de 25,06 g à 7125 g ont été examinés. Ils ont été récoltés dans les poissonneries de la ville d'Annaba.

1. 1. Etude de la reproduction

L'estimation courante des stades de maturité est effectuée en attribuant aux individus des stades selon des caractères qui peuvent être différenciés à l'œil nu. Pour la présente étude, la détermination de l'échelle macroscopique de maturité s'est basée sur l'échelle des reproducteurs à ponte saisonnière unique, proposée par Aboussouan et Lahaye (1979) (Tableau 10 du chapitre I - Partie II).

Les rapports gonado-somatique ($RGS = (Pg/Pe) \times 100$) et hépato-somatique ($RHS = (Pf/Pe) \times 100$) ont été étudiés. Les proportions numériques des sexes sont exprimées en pourcentage et sont étudiées en fonction des mois. Le taux de féminité (% femelles = nombre des femelles \times 100 / nombre total des mâles et des femelles) est utilisé pour l'étude de la sex-ratio. L'état de maturité est déterminé à partir de l'examen macroscopique des gonades: forme et volume des gonades par rapport à la cavité viscérale, coloration et degré de vascularisation selon les stades de développement gonadique.

1. 2. Régime alimentaire

Un total de 698 spécimens ($18,4 < LT \text{ (cm)} < 121$; $25 < PT \text{ (g)} < 7125$), provenant du Golfe d'Annaba, a été examiné entre juillet 2010 et juin 2011. Les variations du régime alimentaire de *S. viridensis* ont été recherchées en fonction de la taille du poisson (petits:

18 LT 30 cm; moyens: $30 < LT \leq 60$ cm; grands: $60 < LT \leq 120$ cm) et des saisons de capture. Les indices alimentaires étudiés sont la vacuité digestive (V%) et l'importance numérique et pondérale des différentes proies ingérées en utilisant l'indice d'importance relative (Pinkas et al., 1971). (Voir chapitre I partie II).

1. 3. Etude de la croissance

1. 3. 1. Estimation de l'âge annuel

Pour déterminer l'âge des spécimens échantillonnés, et en raison de la difficulté de la lisibilité des écailles, nous avons opté pour la lecture des otolithes.

Parmi les trois paires d'otolithes présentes dans l'oreille interne, nous avons utilisé les *sagittae* pour cette étude car ce sont les pièces les plus grandes et qui sont présentes depuis l'éclosion de l'œuf. Elles sont donc susceptibles de contenir les informations sur les traits d'histoire de vie d'un individu depuis sa naissance jusqu'à sa capture.

Dans un premier temps, tous les otolithes ont été pesés puis mesurés. Les pesées (en g) sont faites grâce à une balance de précision (1/1000). Les *sagittae* sont placées sous une loupe binoculaire. Une image est obtenue à partir d'une caméra fixée sur la loupe binoculaire et branchée à un ordinateur, une photographie est alors prise. Plusieurs mesures ont été effectuées grâce au logiciel Visilog (6.1) dont la longueur antéro-postérieure de l'otolithe qui correspond à la plus grande longueur de la pièce calcifiée.

La détermination de l'âge a été faite à partir de coupes transversales d'otolithes. Des lames portes objets sont chauffées à l'aide d'une plaque chauffante, afin de faire fondre de la colle (Crystal bonde) sur le bord de la lame afin de fixer l'otolithe, *sulcus* orienté vers l'observateur (Fig. 36(a)). Le nucleus doit approcher le bord de la lame sans toutefois le dépasser, au risque de réaliser un mauvais plan de coupe. Le ponçage est pratiqué en supprimant le rostre grâce à des disques de ponçage de gros grains (1200 puis 1000 μm) (Fig. 36(b)). Le ponçage est effectué délicatement en faisant des « 8 » avec de l'eau (Fig. 36(c)). Il est important de suivre régulièrement l'état d'avancement du ponçage à la loupe binoculaire. Le ponçage final s'effectue grâce à des disques de ponçage à granulométrie très fine (9, 6, 1 et 0,33 μm) jusqu'à ce que le plan de coupe soit parallèle au bord de la lame (Fig. 36(d)). Le disque de granulométrie la plus fine (0,33 μm) a pour but de supprimer les traces de ponçage laissées par les disques de granulométrie plus importante. La lame est de nouveau chauffée pour faire fondre la colle et l'otolithe est redressé afin que la face du plan de coupe soit posée sur la lame (la *sagitta* est alors placée perpendiculairement à la lame). Le ponçage s'effectue de la même manière que

précédemment et avec les mêmes disques de ponçage, sauf que l'état d'avancement du ponçage s'effectue au microscope optique (grossissements $\times 10$ et $\times 25$). Les lames obtenues sont étiquetées puis conservées au réfrigérateur en raison de la thermosensibilité de la colle.

L'étude fût menée sur des coupes de *sagittae* dont les anneaux concentriques pouvant être interprétés comme des marques de croissance. Les marques de croissance observées, peuvent être traduites en terme de durée et donc en terme d'âge (Poisson et Taquet, 2001).

La lecture des lames a été effectuée au microscope optique (Fig. 36(e)). Toutes les mesures ont été prise par le logiciel Visilog (version 6.1, Néosis), nous avons mesuré le rayon de l'otolithe (lt), du nucleus à l'extrémité du bord antérieur et les longueurs ($lt_1, lt_2, lt_3, \dots, lt_n$) correspondant au début de la formation du premier, deuxième, troisième....dernier anneaux hyalin.

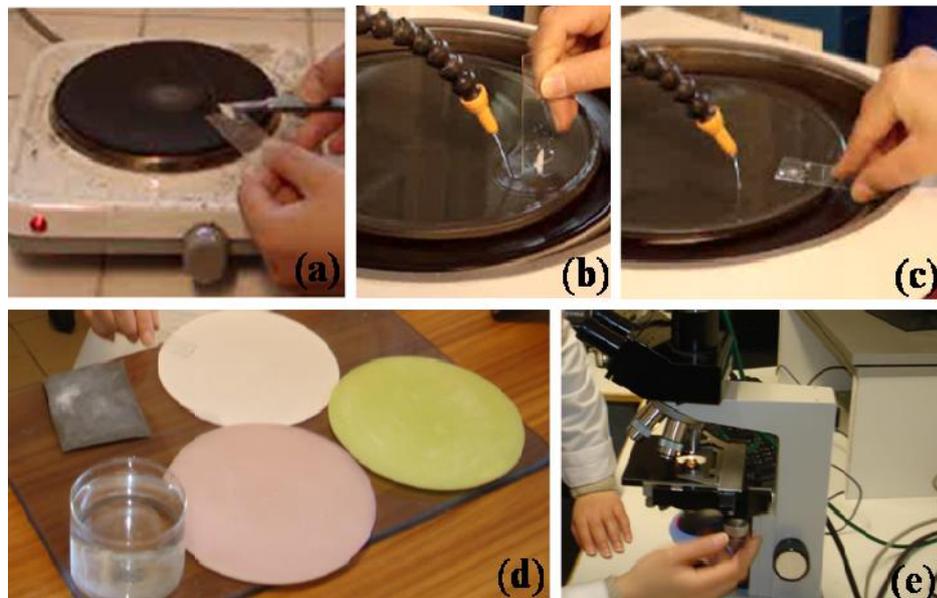


Figure 36. Ponçage d'un otolithe en coupe transversale.

La connaissance de la date de naissance d'un poisson donné et l'évolution de la structure de la *sagitta* en fonction du temps nous ont permis de déterminer la période d'apparition des anneaux opaques et hyalins sur l'otolithe. Le dénombrement de ces deux types de marques naturelles a permis l'estimation de l'âge.

1. 3. 1. 1. Relation taille du poisson – rayon de l’otolithe et rétro calcul des tailles par âge annuel

La croissance des structures minéralisées est proportionnelle à la croissance en longueur du poisson (Lea, 1910). La relation liant la taille du poisson à celle de la pièce calcifiée peut être de type linéaire, exponentiel ou puissance. Celle retenue dans la présente étude est la forme linéaire dont la formulation mathématique est la suivante: $LT = c + d R$ avec c et d paramètres; LT : longueur totale et R : rayon total de la section de l’otolithe.

Pour rétro-calculer la taille du poisson à la formation de chaque zone hyaline, le modèle de Lee (1920) est utilisée. Si Lt_i est la longueur du poisson à la formation de la $i^{\text{ème}}$ zone hyaline on a:

$$Lt_i = \frac{R_i}{R} (Lt - c) + c$$

où:

Lt_i : Longueur du poisson à la formation de la $i^{\text{ème}}$ zone hyaline;

Lt : longueur du poisson à la capture.

R_i : Rayon de la $i^{\text{ème}}$ zone hyaline

R : Rayon total de la coupe de l’otolithe

c, d : ordonnée à l’origine et pente de la relation liant la taille du poisson à celle de l’otolithe.

1. 3. 2. Estimation de l’âge journalier des individus 0⁺

Une fois les poissons mesurés (longueur totale, au mm près) et pesés (à 0,1 mg près), les *sagittae* ont été extraites. Des trois paires d’otolithes, les *sagittae* sont les plus volumineuses et leurs marques faciles à interpréter. Elles ont donc été choisies parce qu’elles offrent un plus grand poids et un plus grand axe de croissance et qu’elles sont les premières pièces minéralisées formées chez la larve du poisson (Campana, 1992). Après extraction, les otolithes ont été mesurés à 0,1 mm près, à l’aide d’un logiciel d’analyse d’image (Visilog 6.1, Noésis). Les différentes mesures réalisées sont: la longueur de l’otolithe (Lo), la largeur de l’otolithe (l), et l’épaisseur de l’otolithe (Eo). À ces mesures s’ajoutent des pesées d’otolithes (Po) à 0,01 mg. Pour éviter tout biais, seuls les otolithes intacts ont été pris en compte. En effet, une altération, même très légère, peut entraîner des erreurs importantes.

Un otolithe par poisson a été utilisé pour les coupes d'otolithes ($n = 32$). Les *sagittae* ont été montées et fixées sur des lames de verre grâce à un polymère thermoplastique (Crystal Bond). Les otolithes fixés ont ensuite été ponçés sur du papier abrasif de granulométrie progressive (600 mm puis 1000 mm) de façon à obtenir une fine section transversale passant par le nucleus. La finition du ponçage a été effectuée avec des disques de ponçage de granulométrie très fine (3 μm , 1 μm et 0,3 μm). Un contrôle visuel est réalisé fréquemment sous microscope pour approcher au plus près la section contenant le primordium. Les montages ont ensuite été observés et photographiés sous microscope à travers le logiciel Visilog. Les marques de croissances journalières de chaque individu ont été dénombrées du nucleus jusqu'au bord de l'otolithe. Les marques sont ensuite comptabilisées et inscrites sur l'image afin de pouvoir revenir sur les données comptées.

Les marques journalières ont été dénombrées le long de l'axe ventro-dorsal. Les données ont été considérées comme valides seulement si des comptages identiques avaient été obtenus par deux lecteurs indépendants. Panfili et al. (2002) ont décrit les types de marque d'installation (ou de transition) rencontrées chez les poissons. Cette zone de transition correspond en général à un changement majeur de la densité optique le long de l'axe de croissance maximale de l'otolithe. C'est ainsi que nous repérons la marque sur les otolithes des juvéniles. La durée de vie larvaire est ensuite estimée en comptant les marques à partir du nucleus jusqu'à la marque d'installation. Les accroissements au-delà de la marque d'installation correspondent à la phase postinstallation et sont utilisés pour estimer la croissance lors de cette phase. L'estimation de l'âge a été assignée au poisson sur la base des accroissements journaliers comptés sur toute la préparation, du noyau au bord. Afin d'évaluer la croissance, des relations entre les mesures des poissons et des otolithes ont été établies.

Le degré de symétrie entre otolithes droits et gauches a été vérifié afin de savoir s'ils pouvaient être utilisés indifféremment dans le cadre d'une modélisation reliant leur taille ou leur masse à la taille des individus. Pour cela le test t de Student pour échantillons appariés a été réalisé en ne prenant en compte que les spécimens pour lesquels les otolithes droits et gauches étaient présents et entiers.

L'ensemble des lectures effectuées sur les otolithes des juvéniles nécessite une analyse statistique pour vérifier la reproductibilité des évaluations de l'âge, et cela, à partir du calcul du coefficient de variation (CV) (Chang, 1982), et du pourcentage d'erreur moyen annuel (IAPE, Beamish et Fournier, 1981):

$$IAPE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ii} - X_j|}{X_j} \right]$$

$$CV = 100 \times \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^R (X_{ii} - X_j)^2}{R - 1}} / X_j \right]$$

Avec:

X_{ij} : la $i^{\text{ème}}$ estimation d'âge du $j^{\text{ème}}$ poisson.

X_j : l'âge moyen du $j^{\text{ème}}$ poisson.

R : nombre de fois que l'on donne un âge à chaque poisson.

Le taux de croissance journalier observé a été calculé en divisant la longueur du poisson par son âge en jours. Les différences de taux de croissance individuelles ont été recherchées par l'analyse des K-means (MacQueen, 1967). Le taux de croissance journalier théorique (mm.j^{-1}) a été déterminé à partir des pentes d'une régression linéaire (aux moindres carrés) réalisée entre l'âge total (N jours) et la taille totale du poisson (mm). Le taux de croissance correspond à la pente de la droite de la régression obtenue:

$$LT = a + b \times \text{âge}(j)$$

Avec:

LT: la taille totale du poisson en mm;

b: taux de croissance journalier en cm/ Jour;

j: Nombre total de jours de vie;

a: l'ordonnée à l'origine de la droite

2. Résultats

2. 1. Distribution des fréquences de tailles

La structure en tailles de l'échantillon de *Sphyraena viridensis* est illustrée par la figure 37. La gamme de tailles capturées oscille entre 18,4 et 121 cm, avec une moyenne de $56,82 \pm 15,32$ cm pour les femelles et de $56,05 \pm 14,79$ cm pour les mâles. La population est largement dominée par les juvéniles et les immatures.

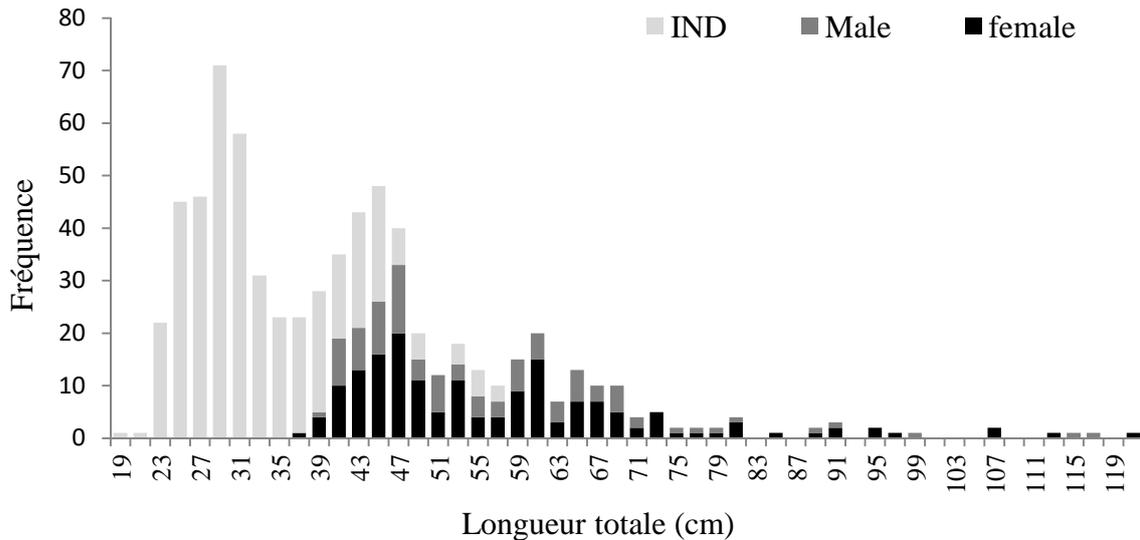


Figure 37. Répartition de la taille de *Sphyraena viridensis* échantillonnés dans le Golfe d'Annaba.

2. 2. Cycle sexuel

2. 2. 1. Sex-ratio

L'étude du sex-ratio a porté sur 698 individus: 169 femelles (37,9 $LT_{(cm)}$ 121, 192 $PT_{(g)}$ 7125), 102 mâles (39,5 $LT_{(cm)}$ 116,5 ; 226 $PT_{(g)}$ 5155) et 427 indéterminés (18,4 $LT_{(cm)}$ 56,7 ; 25 $PT_{(g)}$ 685) (Fig. 38).



Figure 38. Aspect général des gonades mâle ($LT = 76$ cm) et femelle ($LT = 105$ cm) de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba

Les résultats obtenus, par saison, pour les valeurs du sex-ratio sont analysés et illustrés par la figure 39 (A). Nous constatons que, dans l'ensemble, les femelles dominent en toute saison. On distingue cependant une tendance à l'équilibre en été ce qui laisserait supposer un regroupement pour l'accouplement.

La figure 39 (B) illustre l'évolution de la proportion des sexes en fonction de la taille. On note une dominance nette des femelles pour l'ensemble des classes de tailles, excepté pour les classes 72,5-77,5 cm et 87,5-92,5 cm où on observe un sex-ratio équilibré. Les classes 97,5-102,5 cm et 107,5-112,5 cm, montrent un taux de masculinité maximal, mais il conviendra de noter que seul un individu a été observé dans ces deux gammes de tailles.

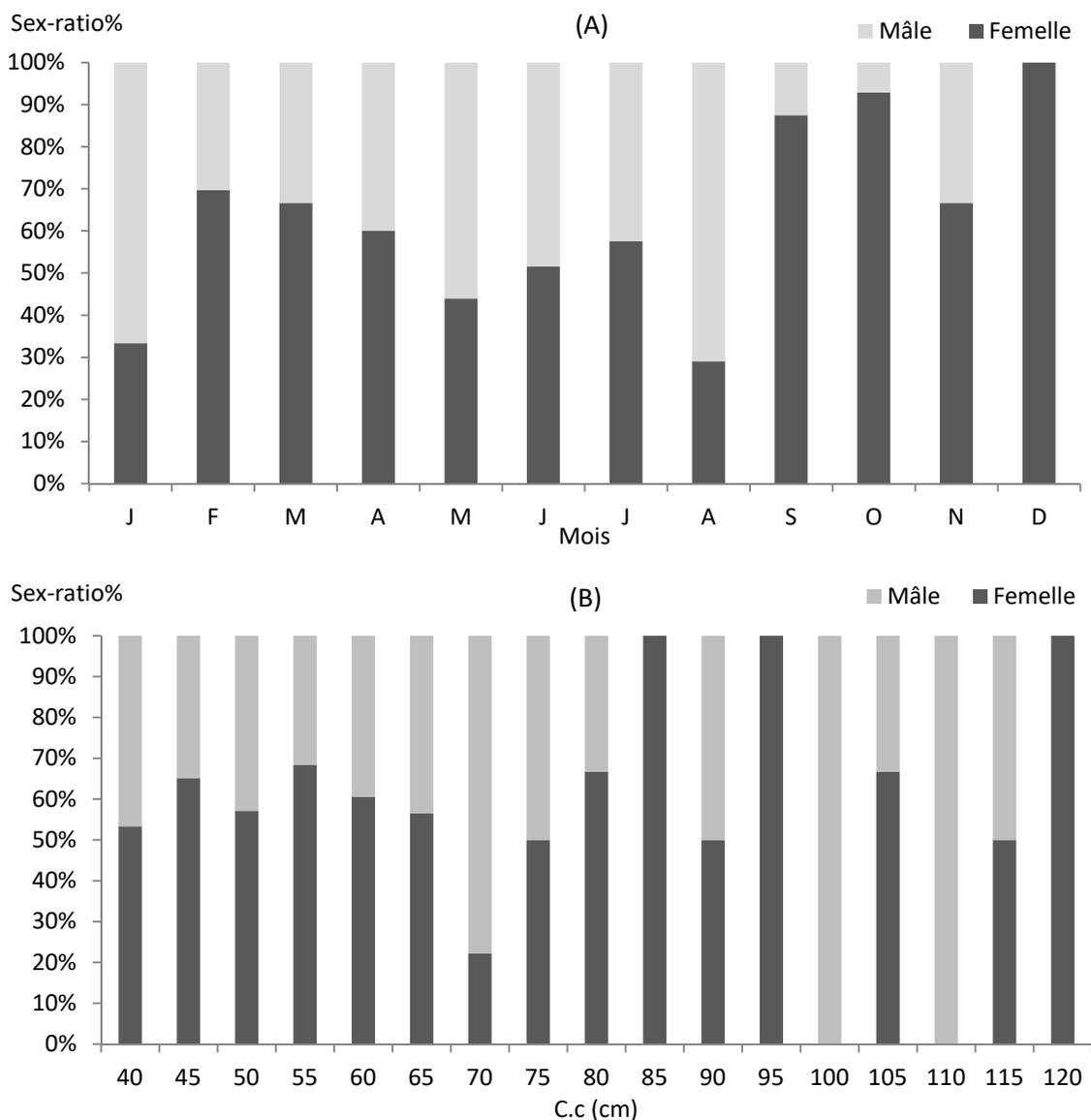


Figure 39. Variations mensuelles (A) et par classe de tailles (B) du sex-ratio de *Sphyraena viridensis* dans le golfe d'Annaba.

2. 2. 2. Rapport gonado-somatique

Le suivi mensuel du rapport gonado-somatique (RGS) a permis de déterminer la période de ponte qui est la même pour les mâles et les femelles et s'étale du mois de février au mois de mai avec un pic au mois d'avril (Fig. 40). Les gonades femelles sont plus volumineuses et plus pesantes que celle des mâles à la même période. En effet, le maximum du R.G.S. situé au mois d'avril pour les 2 sexes est de 4,94 pour les femelles et de 5,6 pour les mâles, ce maximum étant de 5,27 pour le R.G.S moyen correspondant à l'ensemble des échantillons. L'analyse de variance (ANOVA) entre les valeurs moyennes du RGS montre qu'il y a une hétérogénéité entre ces valeurs, que ce soit pour les femelles ($F_{\text{obs}} = 78,07$; $P = 0,000$) ou les mâles ($F_{\text{obs}} = 10,28$; $P = 0,000$). La comparaison des valeurs moyennes du RGS deux à deux par le test de Newman-keuls révèle que les valeurs moyennes de février à juin sont différentes des autres mois avec un pic significatif en Avril.

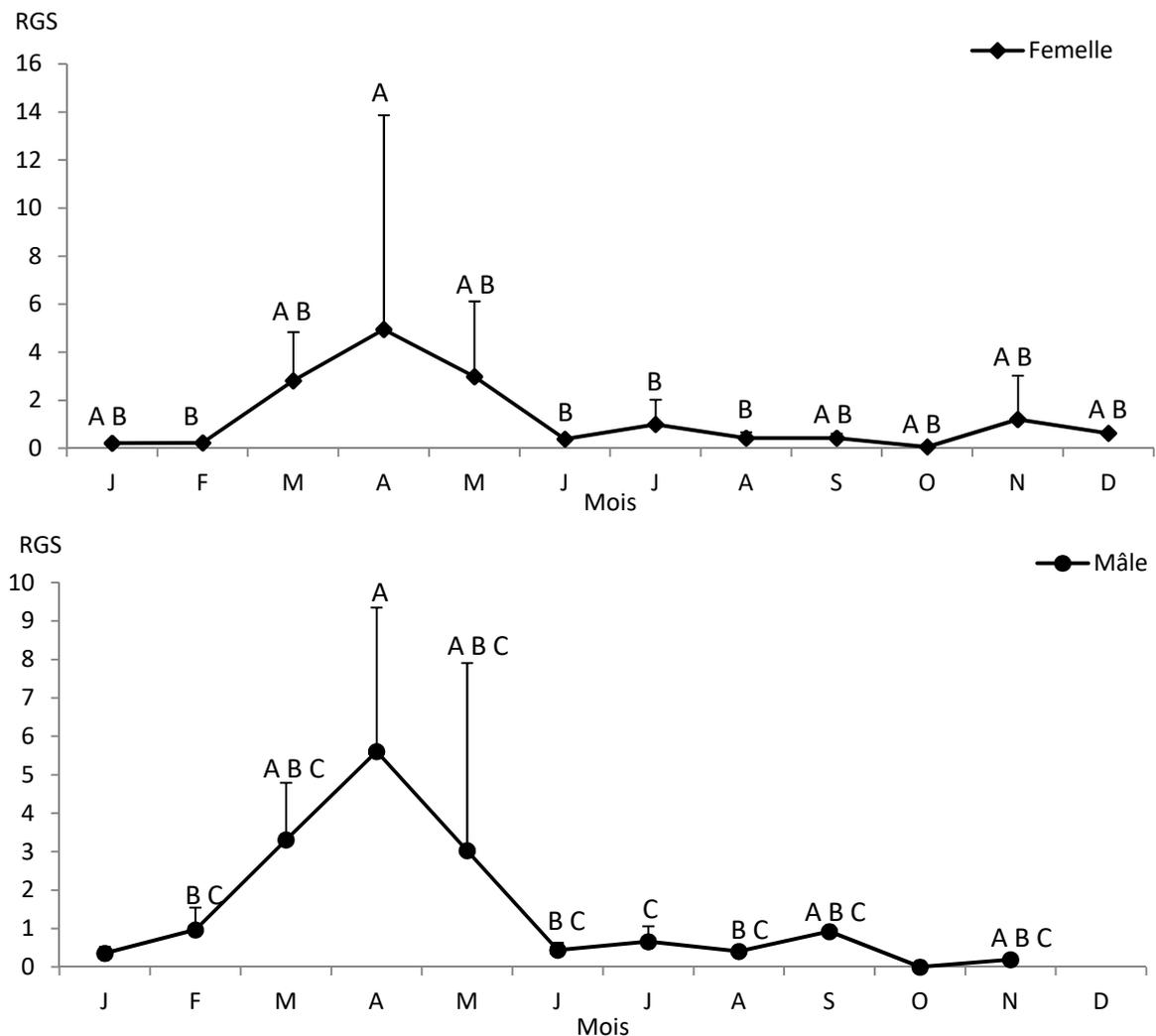


Figure 40. Variations mensuelles du rapport gonado-somatique (RGS) chez les femelles et les mâles de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 2. 3. Rapport hépato-somatique

Les valeurs du rapport hépatosomatique (RHS) augmentent graduellement entre janvier et Mai pour atteindre une valeur maximale de 1,709 ($\pm 0,71$) chez les femelles et de 1,52 ($\pm 0,612$) chez les mâles. Cette évolution se poursuit jusqu'en février (1,33 $\pm 0,52$ chez les femelles; 1,28 $\pm 0,54$ chez les mâles). L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes du RHS ($F_{\text{obs}} = 1,46$ pour les femelles $P = 0,169$; $F = 11,25$ pour les mâles; $P = 0,000$). Les valeurs obtenues en janvier et en février sont statistiquement différentes des autres valeurs que ce soit chez les femelles ou les mâles (Fig. 41).

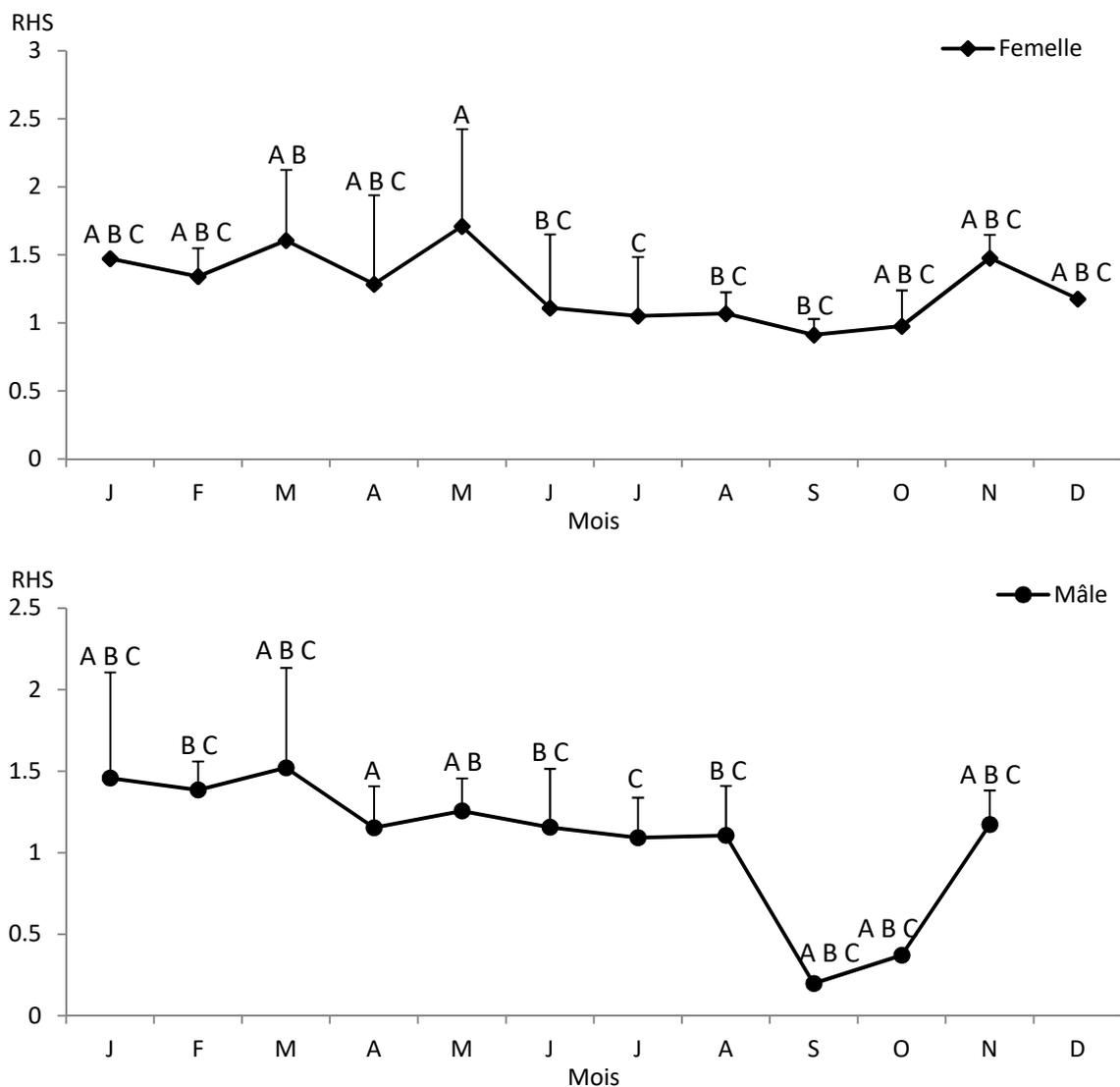


Figure 41. Variations mensuelles du rapport hépato-somatique (RHS) chez les femelles et les mâles de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 2. 4. Adiposité

Les valeurs de l'adiposité présentent un pic en janvier chez les femelles ($3,09 \pm 0,78$) et en juillet chez les mâles ($2,92 \pm 0,85$). Pendant la période de reproduction, les valeurs de l'adiposité sont réduites de mars à mai chez les mâles et les femelles. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes de l'adiposité pour les femelles ($F_{\text{obs}} = 85,2$; $P = 0,001$) et pour les mâles ($F = 65,2$; $P = 0,001$). Le test de Newman-Keuls révèle que les valeurs moyennes de l'adiposité obtenues en mars et en mai sont différentes de celles des autres mois (Fig. 42).

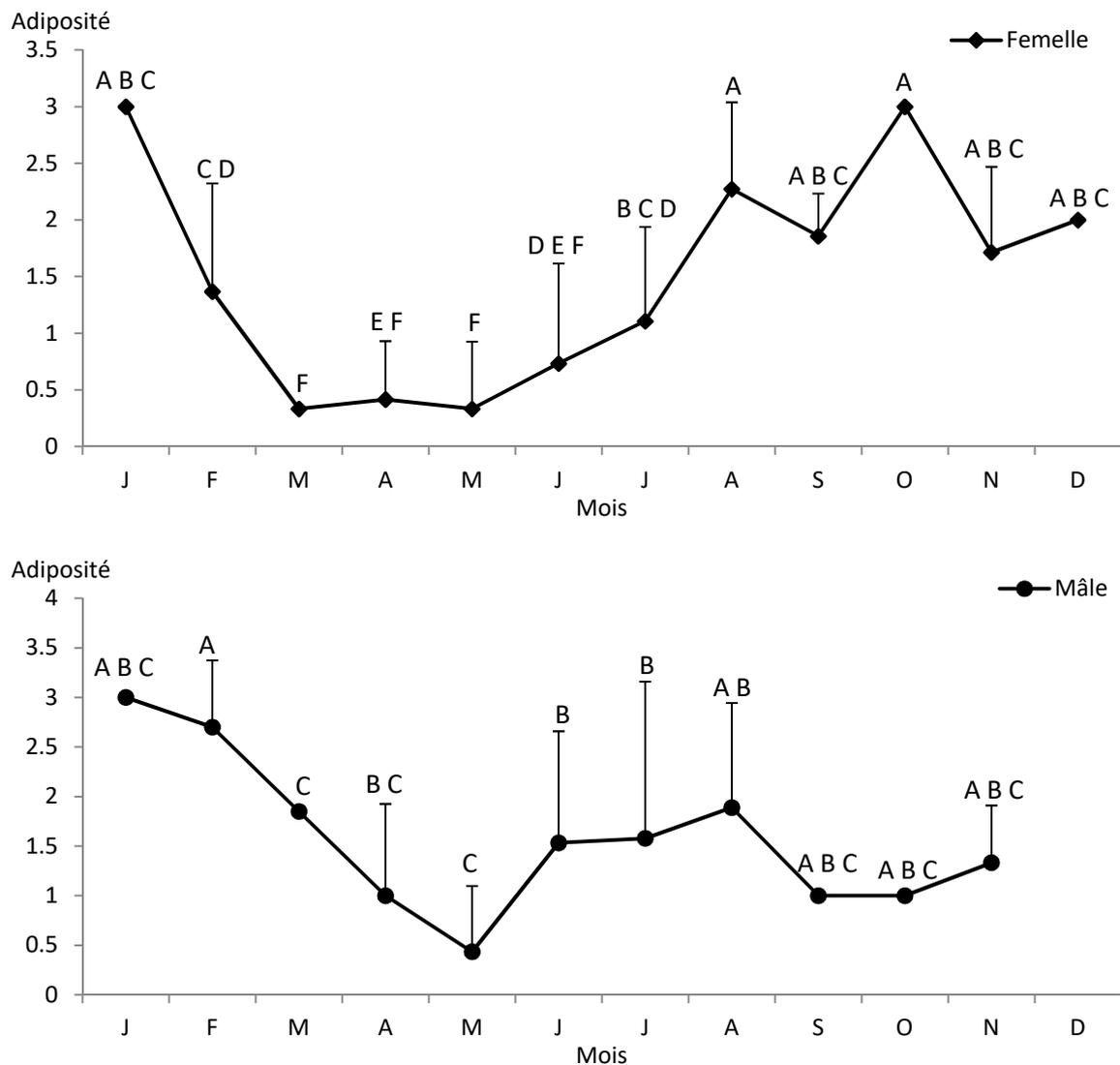


Figure 42. Variations mensuelles de l'adiposité chez les femelles et les mâles de *Sphyaena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 2. 5. Indice de condition

2. 2. 5. 1. Variation saisonnière de l'indice de condition

La représentation graphique des moyennes mensuelles (Fig. 43) montre que K présente une évolution comparable chez les deux sexes séparés. Les valeurs moyennes qui ont été trouvées pour les mâles et les femelles sont respectivement 0,338 et 0,331. L'analyse de la variance indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les valeurs moyennes du coefficient de condition des deux sexes de cette espèce ($P > 0,05$). Le coefficient de condition K est pratiquement stationnaire du mois de Mars au mois de Septembre, ensuite il passe par une période d'accroissement le reste de l'année pour atteindre la valeur la plus élevée en Janvier (0,360).

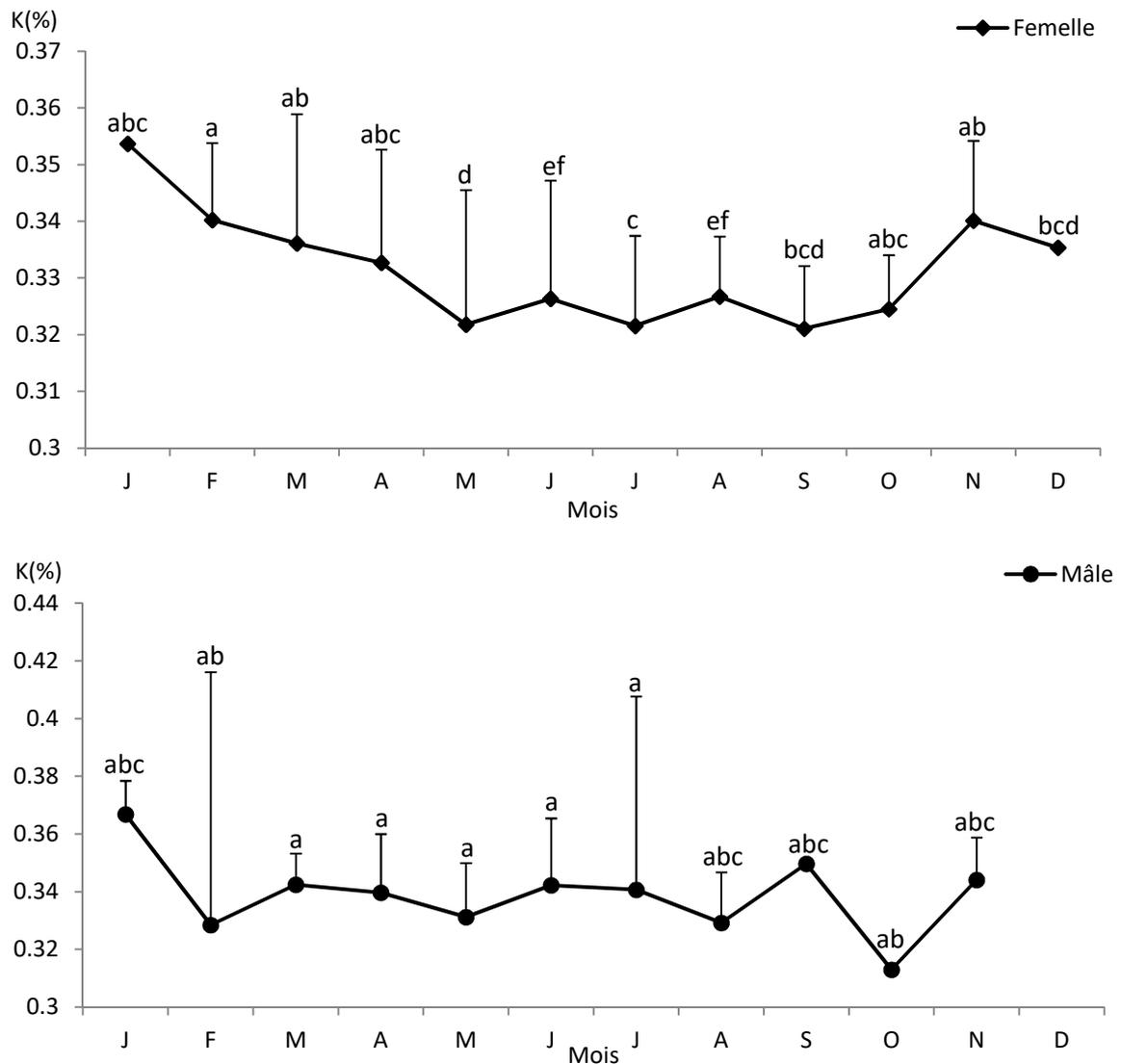


Figure 43. Variation mensuelle du coefficient de condition (K) chez les femelles et les mâles de *Sphyaena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 2. 5. 2. Variation de l'indice de condition selon la taille

La Figure 44 illustre les variations de K en fonction de la classe de taille. Le facteur de condition a varié de 0,299 à 0,367 ($K_{\text{moy}} = 0,331 \pm 0,017$) chez les femelles, et de 0,211 à 0,336 ($K_{\text{moy}} = 0,332 \pm 0,034$) chez les mâles.

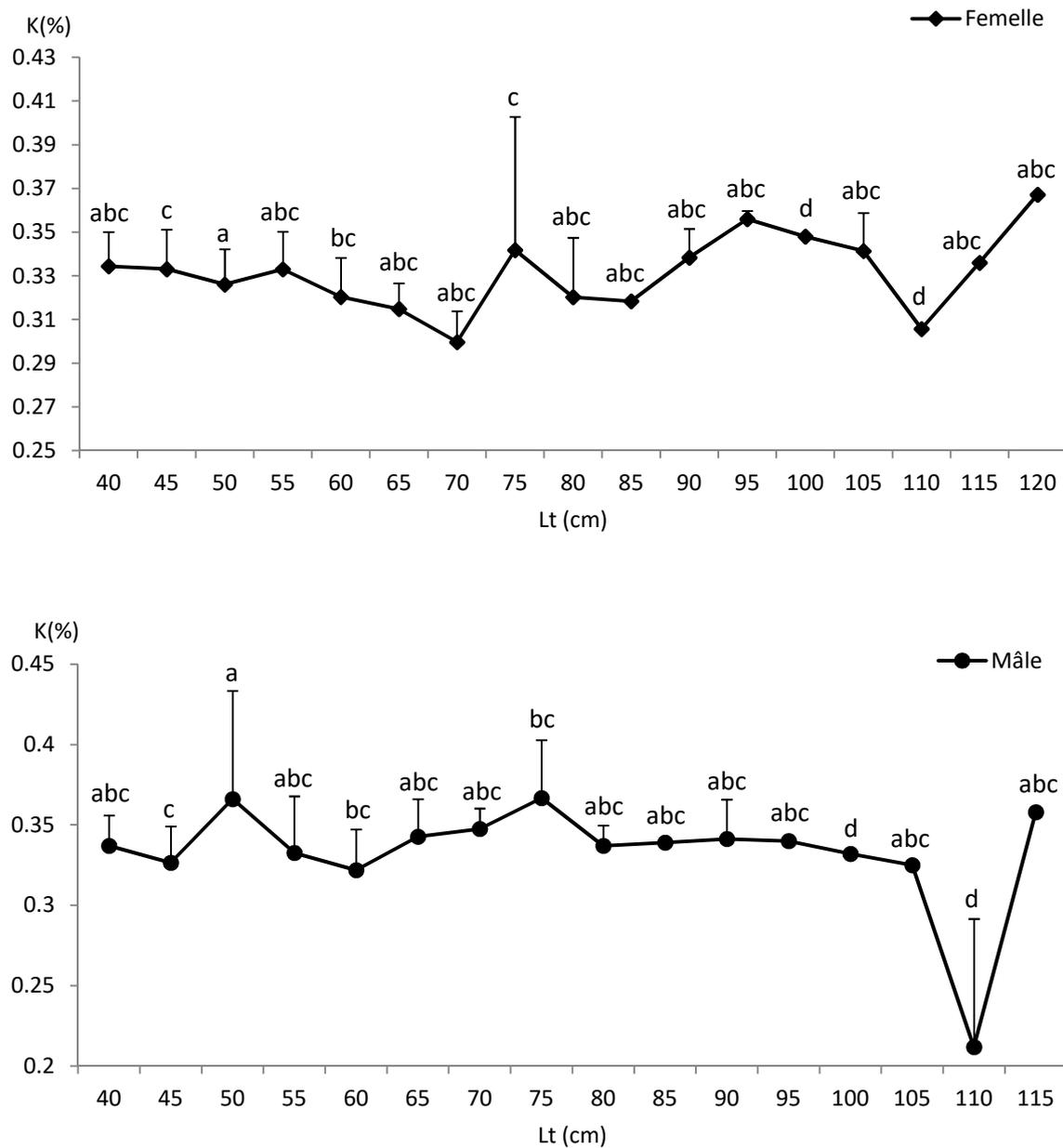


Figure 44. Variations du coefficient de condition (K) en fonction des classes de tailles chez les femelles et les mâles de *Sphyræna viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 2. 6. Taille à la première maturité sexuelle

L'examen du pourcentage de femelles matures en fonction de la taille, permet de fixer à 63 cm la taille à laquelle, dans le Golfe d'Annaba, 50 % des barracudas femelles sont aptes à se reproduire (Fig. 45 (A)) et toutes le sont à partir de 70 cm. En ce qui concerne les mâles, 62.5 cm représente la taille à laquelle 50 % de la population a atteint la maturité (Fig. 45 (B)). Au-delà de 71 cm, tous les mâles rencontrés sont adultes.

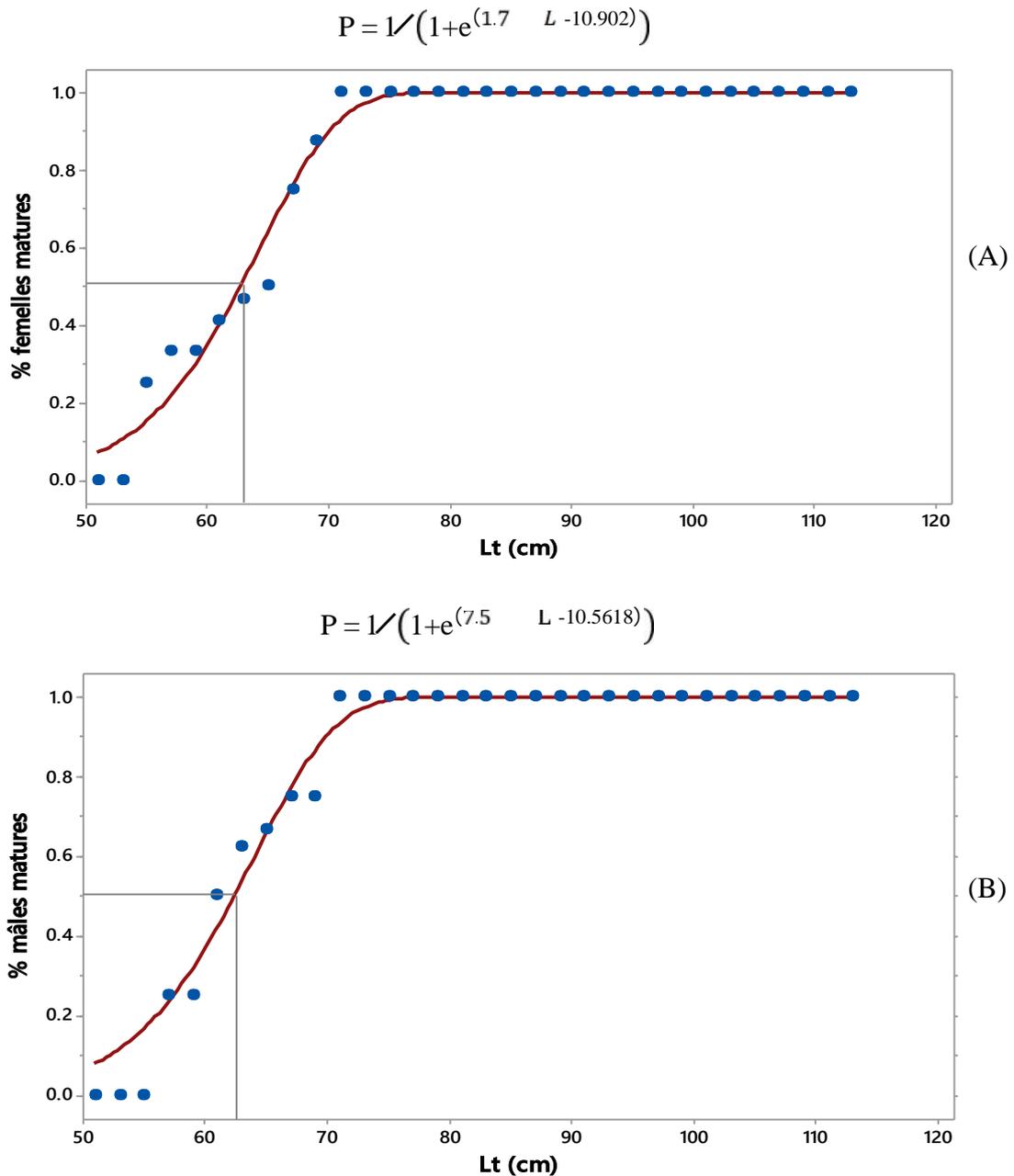


Figure 45. Taille à la première maturité sexuelle chez les femelles et les mâles de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 3. Régime alimentaire

2. 3. 1. Vacuité digestive

Un total de 698 spécimens ($18,4 < LT \text{ (cm)} < 121$; $25 < PT \text{ (g)} < 7125$), a été examiné entre juillet 2010 et juin 2011. Les variations du régime alimentaire de *S. viridensis* ont été recherchées en fonction de la taille du poisson (petits: $18 < LT < 30 \text{ cm}$; moyens: $30 < LT < 60 \text{ cm}$; grands: $60 < LT < 120 \text{ cm}$) et des saisons de capture.

Les indices alimentaires étudiés sont la vacuité digestive (V%) (Fig. 46, 47) et l'importance numérique et pondérale des différentes proies ingérées en utilisant l'indice d'importance relative (Pinkas *et al.*, 1971).

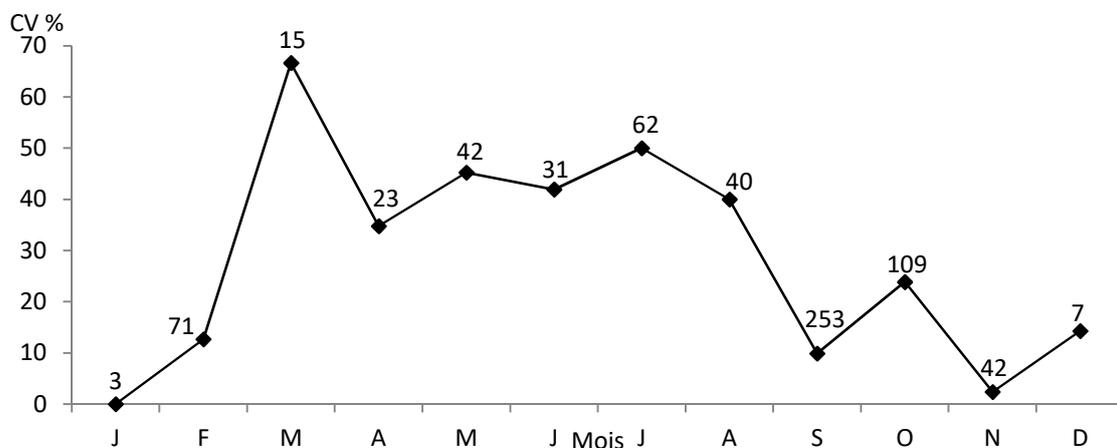


Figure 46. Evolution mensuelle du coefficient de vacuité stomacal (Cv %) chez *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba. (n: nombre total d'estomac examinés par mois).

Le coefficient de vacuité moyen annuel est égal à 22,78 % et varie entre 0 et 66,67 % au cours des différentes saisons. Chez les petits, les moyens et les grands, il est estimé respectivement à 12,84 %, 24,68 % et 37,89 %.

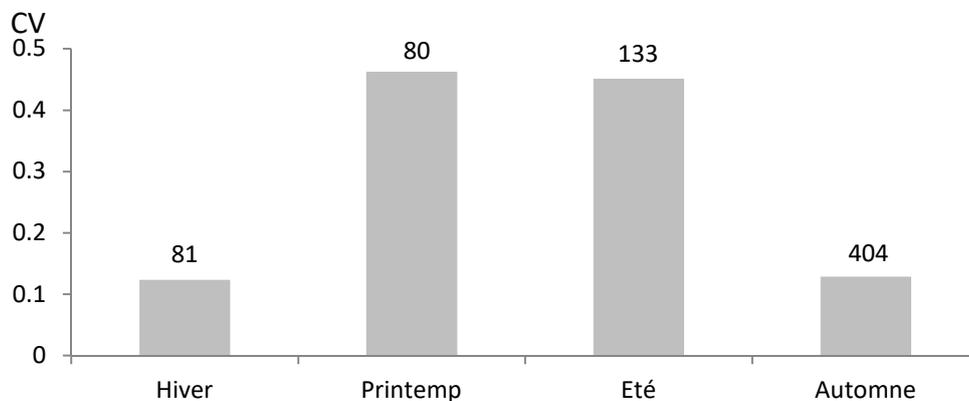


Figure 47. Evolution saisonnière du coefficient de la vacuité stomacale chez *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Ce prédateur ingère essentiellement des téléostéens (% IRI = 99,9) avec une préférence pour les Clupeidae, les Engraulidae, les Mugillidae, les Sparidés et aussi les Sphyraenidae (comportement de cannibalisme) (Fig. 48). Les autres proies sont représentées accidentellement par des amphipodes (IRI = 0,002 %) et des céphalopodes (IRI = 0,001 %).

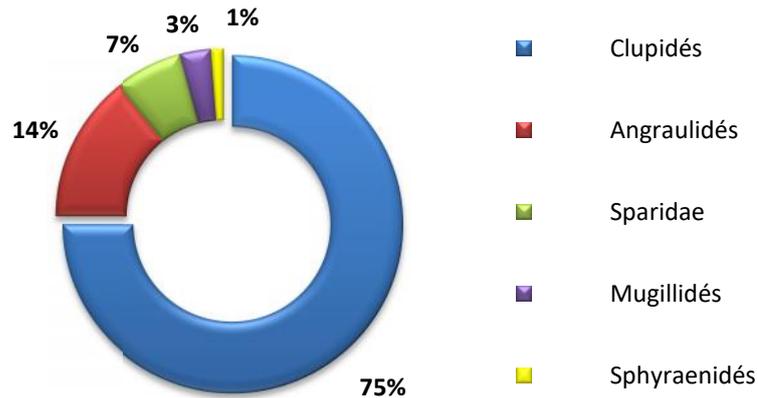


Figure 48. Principaux items ingérés par *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Sur les côtes de l'est d'Algérie, l'analyse statistique ne montre aucune variation significative du % IRI en fonction des saisons et du développement ontogénétique du prédateur (Fig. 49).

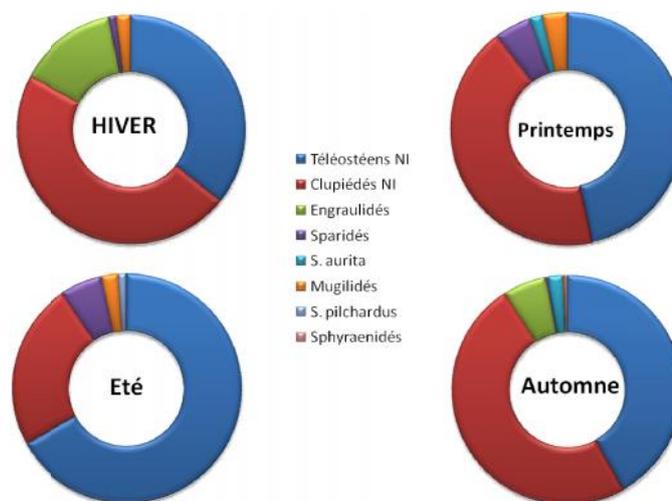


Figure 49. Variations saisonnière des items ingérés par *S. viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 4. Etude de la croissance

2. 4. 1. Détermination de l'âge annuel.

L'otolithe *sagitta* de *Sphyraena viridensis* est elliptique, aigue à l'extrémité rostrale et plus émoussée sur le bord postérieur. L'antirostre est bien individualisé, le rostre est à l'extrémité pointue chez les jeunes comme chez les adultes. La face externe est concave. La face interne est convexe creusé longitudinalement par un sillon, le sulcus qui s'arrête avant l'extrémité postérieure, il est plus profond chez les adultes (Fig. 50).

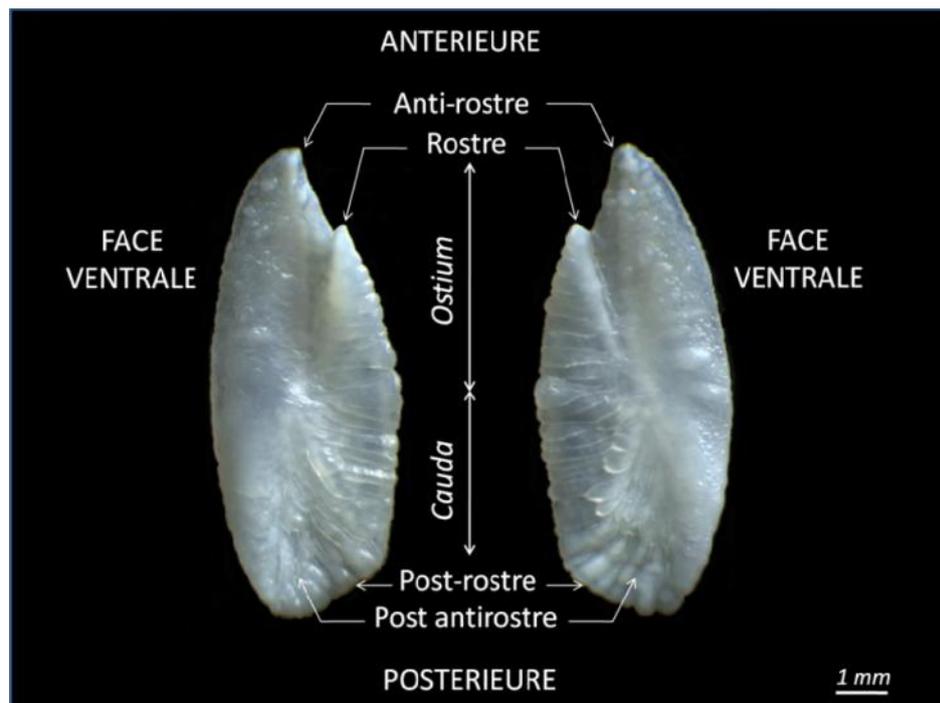


Figure 50. *Sagitta* gauche (à gauche) et droite (à droite) de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba (LT = 64 cm) en face proximale.

Au total 159 otolithes ont été préparés afin d'étudier la croissance annuelle. Il existe une succession assez nette d'anneaux hyalins sur la *sagitta* (Fig. 51). Généralement, le nucleus est très sombre est de type *pluri-nuclei*. Les anneaux opaques proches du sulcus sont bien marqués, mais à mesure que l'on s'approche de la périphérie de l'otolithe, ils deviennent moins larges, bien que les anneaux hyalins sont souvent plus larges que les anneaux opaques. L'âge a pu être estimé sur toutes les coupes préparées, soit un pourcentage de détermination de l'ordre de 100 %.

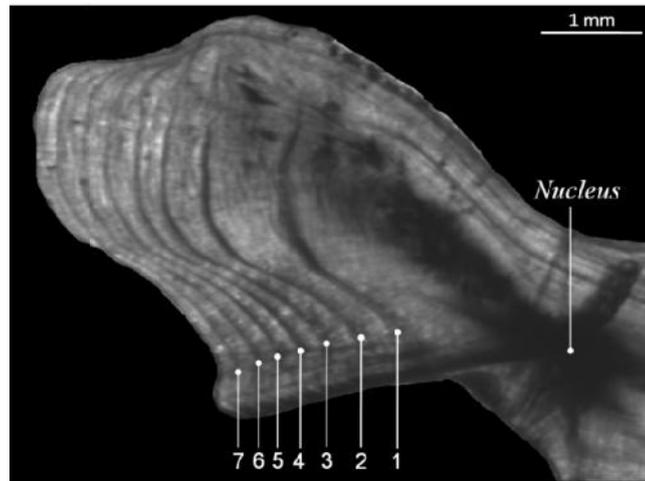


Figure 51. Coupe transversale d'un otolithe *sagitta* d'un Barracuda *Sphyraena viridensis* âgé de 7 ans (LT = 751 mm) du Golfe d'Annaba.

2. 4. 1. 1. Rétro-calcul des tailles aux différents âges

Sur la base des observations et des mesures prises sur les coupes des *sagittae*, une clé âge-longueur a été établie (Tab. 21). Une forte corrélation existe entre le rayon total de l'otolithe et la longueur totale du poisson ($r = 0,87$, $p < 0,001$) (Fig. 52). L'équation décrivant la relation longueur totale du poisson (LT en mm) au grand rayon de l'otolithe (Rt en mm) est de la forme:

$$LT = 301,5 Rt - 82,4$$

La méthode de retrocalcul nous a permis de définir neuf groupes d'âge dans la population totale, les groupes d'âge les plus représentés sont les groupes 1, 2 et 3 (Tab. 16).

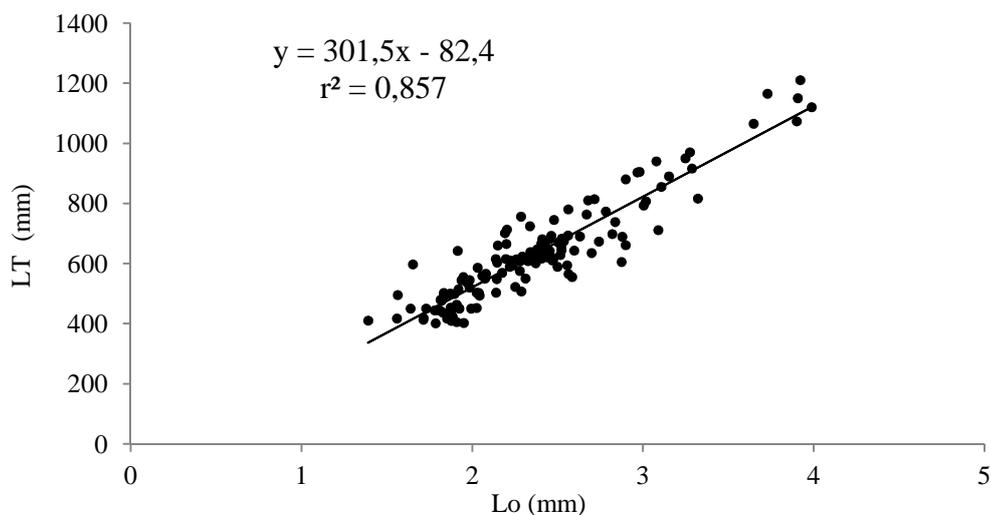


Figure 52. Relation entre la longueur totale du corps (LT) et le rayon total (Rt) de l'otolithe chez *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Nous avons calculé, pour les mâles et pour les femelles, la moyenne des rayons correspondant aux différents anneaux hyalins successifs et, à partir de l'équation précédente, nous avons déduit la longueur totale du poisson correspondant à chaque anneau hyalin (Tab. 22)

La comparaison des valeurs moyennes mensuelles successives de l'accroissement marginal des otolithes par l'analyse de la variance a montré une différence significative ($F = 4.24, P < 0.0001$) entre seulement deux mois consécutifs: Juin et Juillet (Fig. 53).

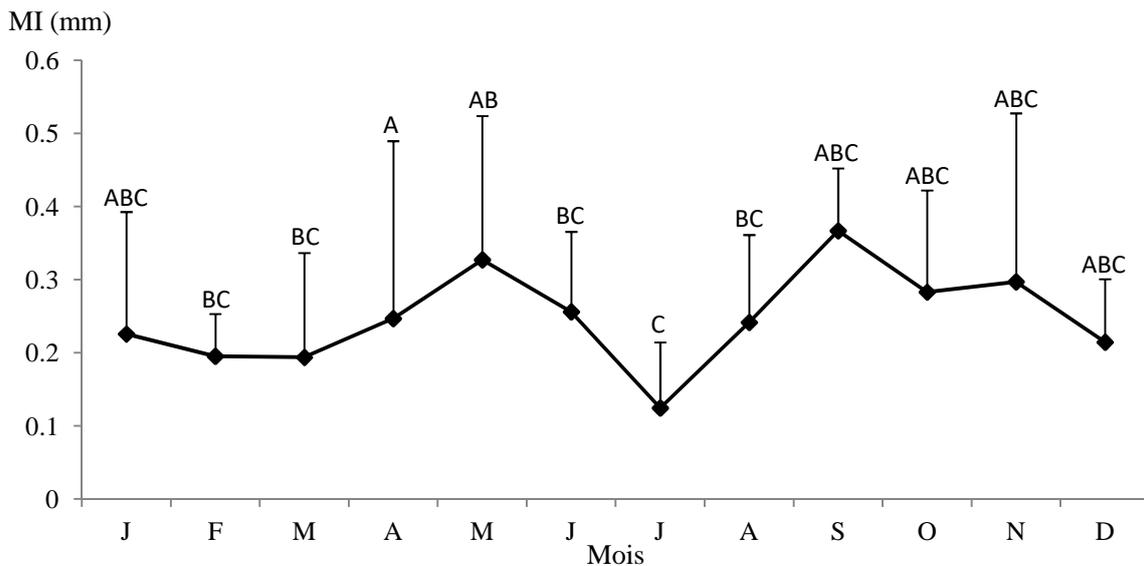


Figure 53. Evolution mensuelle de l'accroissement marginale des otolithes de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

La lecture directe des otolithes indique un âge maximal observé de 14 ans chez les mâles et de 13 ans chez les femelles. La plupart des individus sont âgés de 1 à 5 ans: 1 (23,27%), 2 (25,78%), 3 (6,29%), 4 (5,66%), 5 (2,51%) (Tab. 21). A partir de 6 ans, le nombre d'individus par tranche d'âge est très faible: 4 pour 6 ans (1 mâle 880 mm, 3 femelles 883 mm), 2 pour 7 ans (1 mâle 916 mm, 1 femelles 950 mm), 1 individu pour 8 ans (femelle, 905 mm), 1 individu pour 9 ans (femelle, 1073 mm), 1 individu pour 10 ans (femelle, 1120 mm), 2 individus pour 11 ans (1 mâle 1150 mm, 1 femelle 1065 mm), 1 individu pour l'âge de 13 ans (femelle, 1210 mm) et 1 individu pour l'âge de 14 ans (mâle, 1165 mm). Ensuite, la méthode rétro-calculée a été appliquée aux âges 1 à 6 chez les femelles et aux âges 1 à 5 chez les mâles (tableau 2). Pour les deux sexes, la croissance linéaire est très forte la première année (427 mm). Le taux de croissance annuel diminue progressivement (121,7 mm à 2 ans, 94,4 mm à 3 ans). Après la troisième année, le taux de croissance annuel moyen est de 40,8 mm.

Tableau 21. Clé âge-longueur de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba d'après la lecture des otolithes.

Classe de taille (cm)	Age (Année)						N		
	0+	1	2	3	4	5		6	
] 22 – 23 [	4							4
] 23 – 24 [	3							3
] 24 – 25 [	3							3
] 25 – 26 [	5							5
] 26 – 27 [	4							4
] 27 – 28 [	3							3
] 28 – 29 [	1							1
] 29 – 30 [	1							1
] 30 – 31 [	1							1
] 31 – 32 [								0
] 32 – 33 [	1							1
] 33 – 34 [								0
] 34 – 35 [	1							1
] 35 – 36 [	1							1
] 36 – 37 [	1							1
] 37 – 38 [	1							1
] 38 – 39 [	1							1
] 39 – 40 [								0
] 40 – 41 [		2	2					4
] 41 – 42 [		3	2					5
] 42 – 43 [			1					1
] 43 – 44 [				2	2			1
] 44 – 45 [		2	2	3	2			4
] 45 – 46 [		3	1		1			6
] 46 – 47 [			1					1
] 47 – 48 [			2	2	2			2
] 48 – 49 [				3	1			1
] 49 – 50 [		2	1		1			3
] 50 – 51 [		1	1		2			6
] 51 – 52 [								1
] 52 – 53 [				2	1			2
] 53 – 54 [				1	1			1
] 54 – 55 [								3
] 55 – 56 [								5
] 56 – 57 [								3
] 57 – 58 [								1
] 58 – 59 [					1			3
] 59 – 60 [		1						3
] 60 – 61 [					2			5
] 61 – 62 [					6	2		11
] 62 – 63 [				1	1	2		4
] 63 – 64 [				2	2	2	1	3
] 64 – 65 [				3	2	5	3	10
] 65 – 66 [					1		1	2
] 66 – 67 [					4	1		5
] 67 – 68 [					1	2		3
] 68 – 69 [					2	1	1	4
] 69 – 70 [1	1	2	4

] 70 – 71 [	1													1
] 71 – 72 [		1								1				2
] 72 – 73 [	1													1
] 73 – 74 [						1								1
] 74 – 75 [	1													1
] 75 – 76 [										1				1
] 76 – 77 [						1								1
] 77 – 78 [										1				1
] 78 – 79 [						1								1
] 79 – 80 [										1				1
] 80 – 81 [											1			1
] 81 – 82 [						1		1	1					3
] 82 – 83 [														0
] 83 – 84 [														0
] 84 – 85 [														0
] 85 – 86 [									1					1
] 86 – 87 [														0
] 87 – 88 [														0
] 88 – 89 [												1		1
] 89 – 90 [						1								1
] 90 – 91 [											1			1
] 91 – 92 [														1
] 92 – 93 [														0
] 93 – 94 [														0
] 94 – 95 [											1			1
] 95 – 96 [														0
] 96 – 97 [														0
] 97 – 98 [							1							1
N	31	14	13	20	17	27	14	7	3	2	7	3	1	159
LT (cm)	27,4	45,6	44,8	54,8	56,2	64,9	64,5	80,7	67,8	83,2	74,8	88,3	88	-
ES	5,01	5,28	3,44	5,52	4,93	3,56	3,27	9,48	2,17	3,18	4,93	6,84	-	-

N: nombre, LT: longueur totale moyenne par âge, ES: erreur standard.

La détermination des âges individuels des poissons par otolithométrie a permis d'établir une clé âge-longueur globale et par sexe (Tab. 21).

L'échantillon analysé est constitué en majorité d'individus des groupes d'âge 1 (21,25 %), 2 (29,13 %) et 3 (32,28 %) ans, tandis que les individus des groupes d'âge de 4 et 5 ans sont plus rares, principalement l'âge 6 ans qui représente 2,36 % de l'échantillon.

Tableau 22. Longueurs moyennes rétrocalculées à l'apparition de chaque anneau d'arrêt de croissance de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Age	Paramètres	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Mâles							
1	<i>N</i>	13					
	<i>M</i>	465,8					
	<i>SD</i>	54,8					
2	<i>N</i>	17	17				
	<i>M</i>	489,1	588,7				
	<i>SD</i>	51,7	67,23				
3	<i>N</i>	14	14	14			
	<i>M</i>	427,1	546,3	609			
	<i>SD</i>	57,4	53,5	45,8			
4	<i>N</i>	3	3	3	3		
	<i>M</i>	442,2	541,9	638,59	699,2		
	<i>SD</i>	129	97,95	73,26	75		
5	<i>N</i>	7	7	7	7	7	
	<i>M</i>	459,1	590,2	670,6	731,9	776,4	
	<i>SD</i>	76,5	87,6	98,4	107,9	101,1	
Totale	<i>N</i>	54	41	24	10	7	
	<i>M</i>	459,6	572,1	633,1	722,4	776,6	
	<i>SD</i>	64,1	65,9	64,4	78,44	77,65	
Femelles							
1	<i>N</i>	14					
	<i>M</i>	440,9					
	<i>SD</i>	50,9					
2	<i>N</i>	20	20				
	<i>M</i>	425,2	536,8				
	<i>SD</i>	49,6	81				
3	<i>N</i>	27	27	27			
	<i>M</i>	427,8	556,3	617,2			
	<i>SD</i>	49	53,2	51,5			
4	<i>N</i>	7	7	7	7		
	<i>M</i>	439,6	594,4	677,9	740,9		
	<i>SD</i>	60,9	54,3	66,4	89,9		
5	<i>N</i>	2	2	2	2	2	
	<i>M</i>	446,4	579,2	704,6	739,8	790,1	
	<i>SD</i>	50,4	71	75,7	77,3	91,5	
6	<i>N</i>	3	3	3	3	3	3
	<i>M</i>	433,3	538,4	621,3	700,3	765,9	814,6
	<i>SD</i>	13,3	22,9	20,5	19,9	35	30,8
Totale	<i>N</i>	73	59	39	12	5	3
	<i>M</i>	431,3	552,5	629,7	715,8	758,9	807
	<i>SD</i>	48,4	64,1	58,4	72,2	60,55	57,2

R1...R6: rayons d'arrêt de croissance, *N*: nombre, *M*: moyenne, *SD*: erreur standard.

Population totale							
Age	Paramètres	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	N	27					
	M	452,94					
	SD	53,37					
2	N	37	37				
	M	454,64	560,72				
	SD	59,44	78,50				
3	N	41	41	41			
	M	427,6	553,0	615,9			
	SD	51,4	52,9	50,1			
4	N	10	10	10	10		
	M	440,39	578,69	655,04	710,23		
	SD	78,60	68,87	88,58	116,05		
5	N	9	9	9	9	9	
	M	456,32	587,81	674,79	733,71	779,46	
	SD	68,90	80,07	92,74	97,48	93,61	
6	N	4	4	4	4	4	4
	M	431,64	548,68	628,84	703,33	764,32	808,58
	SD	11,48	27,82	22,47	17,33	28,84	27,58
Totale	N	128	101	64	23	13	4
	M	443,3	560,6	631,6	713,0	767,8	807,1
	SD	57,1	65,6	64,8	86,1	70,2	52,2

R1...R6: rayons d'arrêt de croissance, N: nombre, M: moyenne, SD: erreur standard.

2. 4. 1. 2. Croissance linéaire absolue

Les longueurs observées à différents âges ne variaient pas de manière significative par rapport aux longueurs calculées rétroactivement pour les mâles et les femelles (Tab.23). La longueur rétro-calculée à l'âge ne différait pas significativement entre les sexes (test t non apparié, $P > 0,05$).

Tableau 23. Comparaison de la longueur observée et de la longueur rétro-calculée chez *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba

Age	Sexe	N	Longueur observée (mm)	Longueur rétro-calculée (mm)	t	p
1		14	456	431,3	8,129	0,105
		13	448	459,6	4,482	0,000
2		20	548	552,5	1,64	0,113
		17	562	572,1	4,482	0,000
3		27	649	629,7	2,903	0,127
		14	645	633,1	0,647	0,584
4		7	807	715,8	0,619	0,647
		3	678	722,4	0,007	0,995
5		2	832	758,9	2,301	0,148
		7	748	776,6	1,76	0,131
6		3	883	807	0.608	0.541

Les modèles de croissance estimés de von Bertalanffy sont $LT = 1113 * (1 - e^{-0,165(t + 2,251)})$ pour les mâles et $LT = 958,3 * (1 - e^{-0,247(t + 1,422)})$ pour les femelles. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les modèles de croissance pour les deux sexes ($df = 3, p < 0,05$), donc un modèle de croissance de von Bertalanffy à sexe combiné de $LT = 980,2 * (1 - e^{-0,227(t + 1,655)})$ a été estimée (Fig. 54). L'indice de croissance (\emptyset) a été estimé à 3,33 chez les deux sexes, 3,44 chez les mâles et 3,35 chez les femelles.

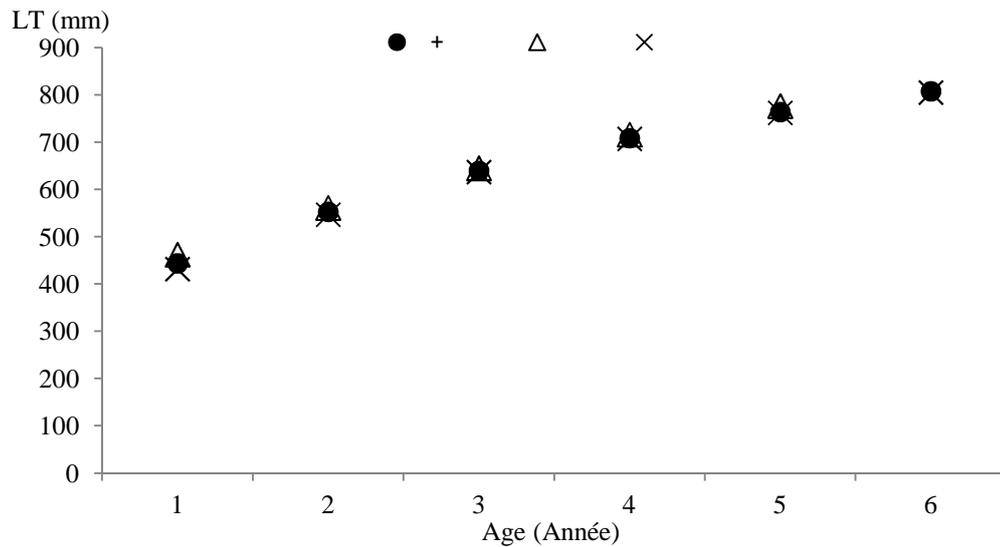


Figure 54. Courbe de la croissance linéaire chez *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 3. 4. Croissance pondérale absolue

Connaissant les paramètres du modèle de Von Bertalanffy ($L = 980,2$ mm, $K = 0,227$ et $t_0 = -1,655$) et le coefficient d'allométrie de la relation taille-poids ($b = 3,011$), le modèle de croissance pondérale absolue s'écrit comme suit:

$$Pt = 23,43 (1 - e^{-0,227(t - 1,655)})^{3,011}$$

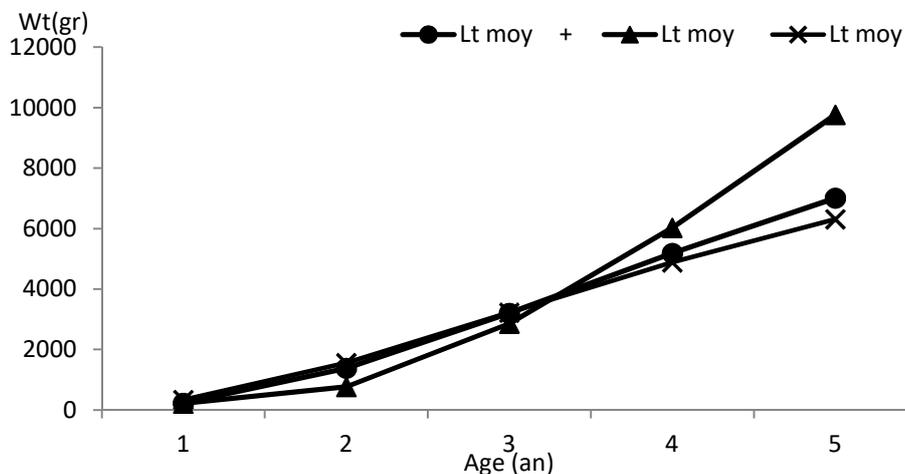


Figure 55. Croissance pondérale théorique de *S. viridensis* du Golfe d'Annaba.

Le poids asymptotique $P = 23,43$ kg est nettement supérieur au poids maximal échantillonné ($P_{\max} = 7,125$ kg). La figure 55 représente l'évolution du poids corporel chez la population totale, et séparément chez les mâles et les femelles.

2. 4. 1. 4. Relation taille-poids

La relation longueur-poids est $Pe = 3,09 * 10^{-5}LT^{3,021}$ ($r = 0,931$, $395 < LT < 1165$) chez les mâles, $Pe = 3,41 * 10^{-5}LT^{2,99}$ ($r = 0,930$, $379 < LT < 1210$) chez les femelles, et $Pe = 3,17 * 10^{-5}LT^{3,011}$ ($r = 0,874$, $184 < LT < 1210$) pour le sexe combiné. Des différences significatives ont été obtenues à partir de la comparaison entre les mâles et les femelles (ANCOVA, $F = 56,18$, $P < 0,05$). Les valeurs b des relations indiquent que le poisson croît de manière isométrique (test t , t mâle = 0,19, t femelle = 0,103, $P < 0,05$) (Tab. 24, Fig. 56).

Tableau 24. Expressions mathématiques de la relation taille - poids chez la population totale de *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Mois	Effectif	Relation taille -poids	t_{obs}	Valeurs limites			r
Janvier	3	$Pe = 0,0034 LT^{3,011}$	2,911 Minorante	57	LT 88	Pe 2444	0.999
Février	71	$Pe = 0,0122 LT^{2,668}$	1,441 Isométrie	38.9	LT 98.7	Pe 1800	0.958
Mars	15	$Pe = 0,0013 LT^{3,196}$	2,272 Minorante	60.7	LT 121	Pe 6505	0.997
Avril	23	$Pe = 0,0027 LT^{3,05}$	2,166 Minorante	40.2	LT 107.3	Pe 4370	0.997
Mai	42	$Pe = 0,0045 LT^{2,916}$	1,309 Isométrie	37.9	LT 69	Pe 1155	0.993
Juin	31	$Pe = 0,0039 LT^{2,954}$	0 Isométrie	40.5	LT 112	Pe 4295	0.99
Juillet	62	$Pe = 0,0048 LT^{2,898}$	3,763 Minorante	43.7	LT 68.1	Pe 978	0.958
Août	40	$Pe = 0,0036 LT^{2,975}$	11,739 Minorante	48.9	LT 78	Pe 1540	0.992
Septembre	253	$Pe = 0,036 LT^{2,968}$	5,133 Minorante	18,4	LT 61	Pe 705	0.979
Octobre	109	$Pe = 0,0037 LT^{2,965}$	3,141 Minorante	27,2	LT 73,8	Pe 1385	0.996
Novembre	42	$Pe = 0,0055 LT^{2,879}$	0,802 Isométrie	33	LT 45.9	Pe 350,99	0.972
Décembre	7	$Pe = 0,001 LT^{3,151}$	1,757 Isométrie	61.5	LT 97	Pe 3215	0.997
Global	698	$Pe = 0,0034 LT^{2,992}$	9,861 Minorante	18.4	LT 121	Pe 7125	0.995

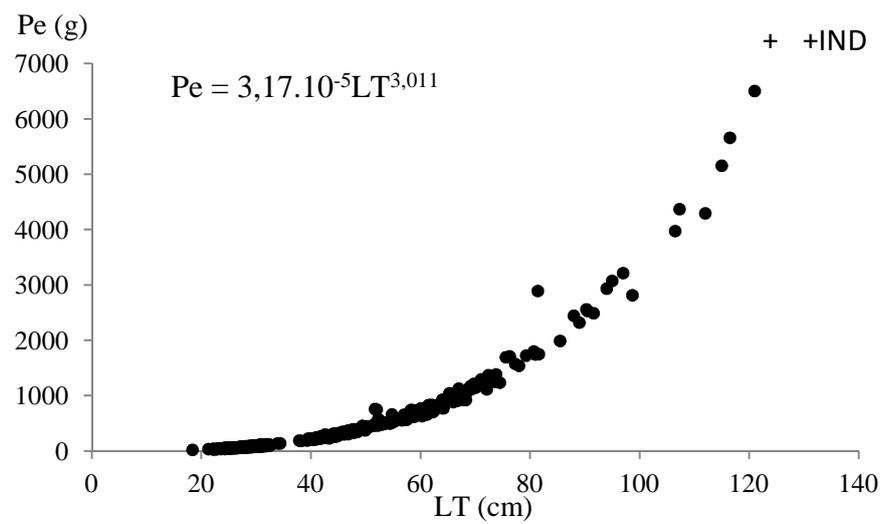
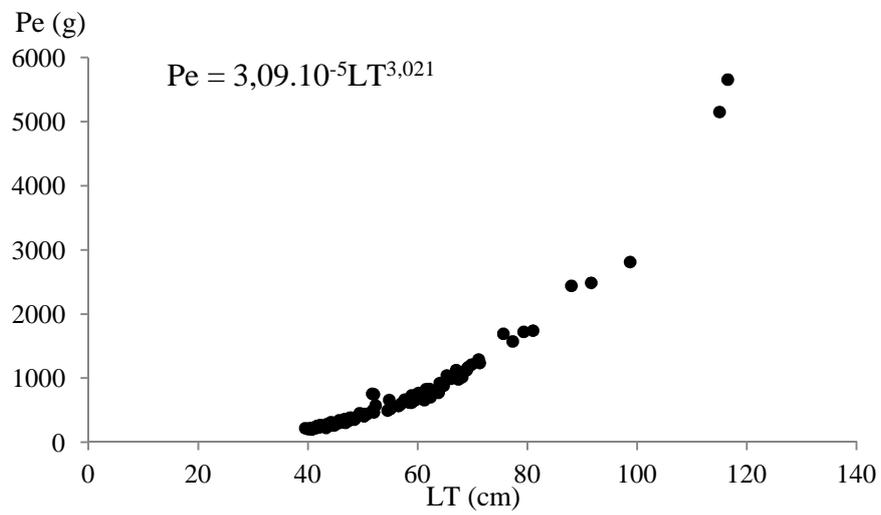
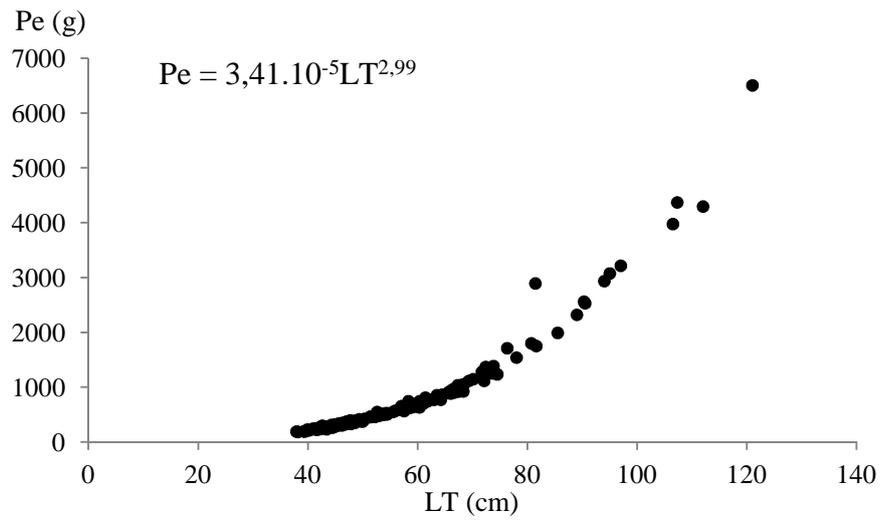


Figure 56. Relation taille-poids chez *Sphyraena viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 4. 2. Etude des mortalités

Le tableau 25 et la figure 57 résument les valeurs moyennes des mortalités obtenues, et du taux d'exploitation pour l'ensemble de la population.

Tableau 25. Mortalités et taux d'exploitation de *S. viridensis* du Golfe d'Annaba

Z	M	F	E
Powell-Wetherall (1987)	Pauly (1980)	$F = Z - M$	F/Z
0,51	0,45	0,06	0,11

La valeur moyenne de la mortalité naturelle est $M = 0,45 \text{ an}^{-1}$. Ainsi, que le coefficient de la mortalité par pêche était $Z = 0,51 \text{ an}^{-1}$.

L'estimation de la mortalité par pêche (F) était de $0,06 \text{ an}^{-1}$, et le taux d'exploitation (E) était de 0,11.

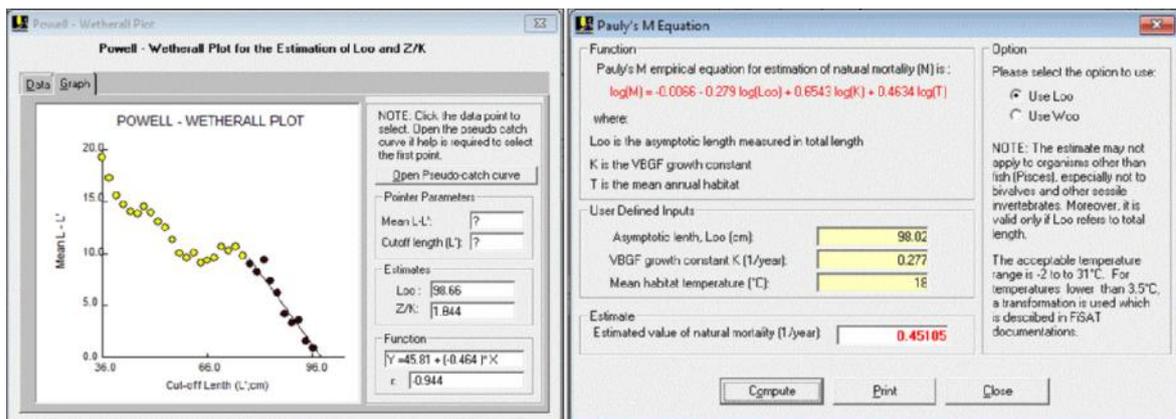


Figure 57. Détermination de Z et M à partir de la méthode de Powell-Wetherall et par courbe de captures (Pauly, 1984) chez *S. viridensis* du Golfe d'Annaba.

2. 4. 3. Détermination de l'âge des 0+.

Les juvéniles de *S. viridensis* ont des otolithes minces et lancéolés. La face intérieure est convexe et la face extérieure est plate. La marge dorsale est sinueuse. La marge postérieure est arrondie ventralement. Le sillon est ostial et la cauda a une pointe mal définie (Fig. 58).

Au total 32 *sagittae* ont été prélevées pour l'étude de la croissance journalière. Sur les otolithes de juvéniles dont la taille totale est comprise entre 15,9 cm et 38,9 cm, ont été dénombrés entre 27 et 299 accroissements journaliers.



Figure 58. Otolithe *Sagitta* d'un juvénile *S. viridensis* du Golfe d'Annaba (LT = 27 cm).

2. 4. 3. 1. Relation biométrique otolithe-corps

Les longueurs des juvéniles de *S. viridensis* sont fortement corrélées avec la largeur ($r^2 = 0,86$, $p < 0,001$), la longueur ($r^2 = 0,878$), l'épaisseur ($r^2 = 0,757$ $p < 0,001$) et le poids ($r^2 = 0,903$, $p < 0,001$) de leurs otolithes (Tab. 26).

Tableau 26. Caractéristiques statistique des mesures effectuées sur les otolithes des juvéniles de *Sphyaena viridensis* du Golfe d'Annaba.

Mesures	N	r^2	a	b	$\bar{X} \pm S.D.$	Intervalle
Longueur (Lo) (mm)	32	0,878	0,741	-0,925	$5,79 \pm 1,126$	5,79 - 11,09
Largeur (Lao) (mm)	32	0,86	0,603	-1,033	$2,71 \pm 0,324$	2,11 - 3,64
Epaisseur (Eo) (mm)	32	0,757	0,556	-1,443	$0,809 \pm 0,09$	0,61 - 1,04
Poids (Po) (g)	32	0,903	0,593	-2,812	$0,019 \pm 0,007$	0,009 - 0,047

N: effectif; SD: erreur standard.

Le primordium, considéré comme l'origine de la croissance, est clairement visible comme une tache sombre au centre du nucléus (Fig. 59).



Figure 59. Aspect général d'une coupe d'otolithe d'un juvénile de *S. viridensis* du Golfe d'Annaba (LT = 320 mm)

2. 4. 3. 2. Interprétation de la structure du nucleus

En général, les modèles de formation de micro-stries des juvéniles de *S. viridensis* (TL = 40) cm sont très particuliers, et présentent deux zones (I et II) (Fig. 60a.). Le premier s'est formé immédiatement après une zone entourant le primordium central et s'est prolongé jusqu'à environ 20 jours (Fig. 60b.). La largeur d'incrément dans la zone I, montrant une augmentation séquentielle, une apparence régulière et une absence presque complète de stries sub-journalier. La zone II est caractérisée par la présence de micro-stries plus larges (Fig. 60c.) où le patron d'accroissement est plus irrégulier, avec la présence de discontinuités de croissance.

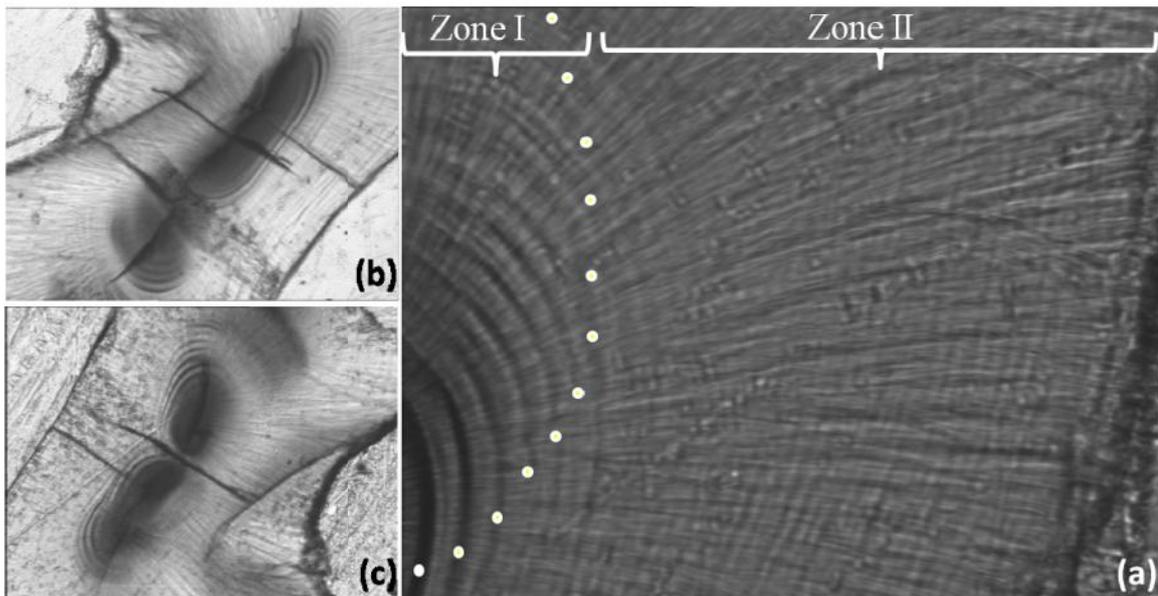


Figure 60. Patron de croissance sur l'otolithe d'un juvénile *Sphyræna viridensis* (250 mm TL, 72 jours) du Golfe d'Annaba.

2. 4. 3. 3. Nombre de stries journalières

L'âge estimé à partir de comptage de micro-stries sur les coupes de *sagittae*, vari entre 27 jours (15,9 mm LT) et 299 jours (389 mm LT). Les stries de croissance journalières se composent d'une zone d'accrétion et d'une zone discontinue et étaient clairement et facilement distingués le long d'un axe de comptage allant du noyau vers le bord ventral. Le coefficient de variation (CV) (Chang, 1982), et du pourcentage d'erreur moyen annuel sont inférieur à 10 % (APE 1,5 % et CV 1,86 %).

Le taux de croissance journalier moyen observé vari entre $1,301 \pm 1,28$ mm et $6,142 \pm 1,28$ mm (moyenne = $3,487 \pm 1,28$ mm). Deux phases de taux de croissance différents sont identifiées : $3,822 \text{ mm.jour}^{-1}$ de 159 mm (27 j) à 302 mm (299 j) et $1,596 \text{ mm.jour}^{-1}$ de 352 (172 j) à 389 mm (299 j).

Le nombre moyen de stries journalières observées sur chaque coupe fine en fonction des tailles des individus est représenté par la figure 61. Une des difficultés de lecture réside dans la détermination de la limite exacte du nucleus, ce qui peut expliquer certaines valeurs parfois élevées. Les poissons de taille inférieure à 17 cm présentent pour la plupart des otolithes à nucleus incomplètement formé (absence d'une première zone hyaline). La moyenne de 297 stries obtenue pour l'ensemble des observations correspondrait à un temps de formation de près de 10 mois.

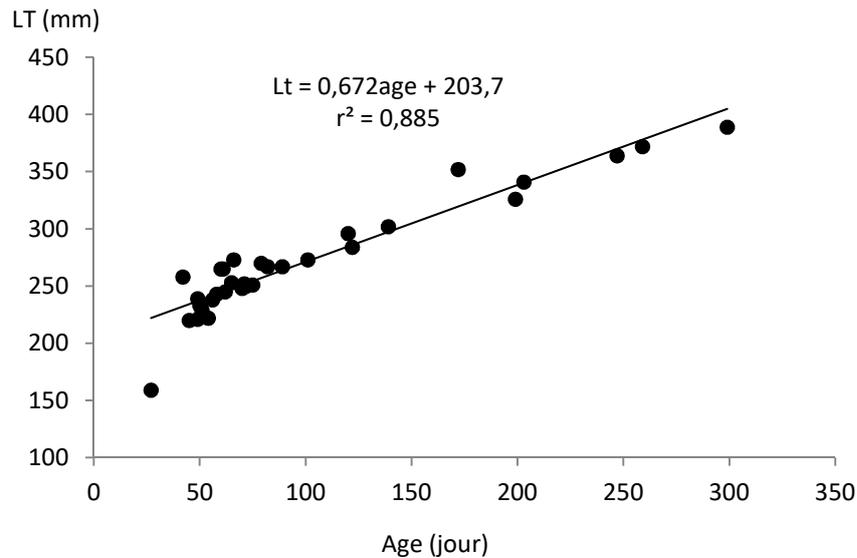


Figure 61. Relation Taille-âge chez les juvéniles *S. viridensis* du Golfe d'Annaba

La relation poids-âge est: $Pt (g) = 32,29\exp^{0,007x}$ ($r^2 = 0,833$, $p < 0,001$) (Fig. 62).

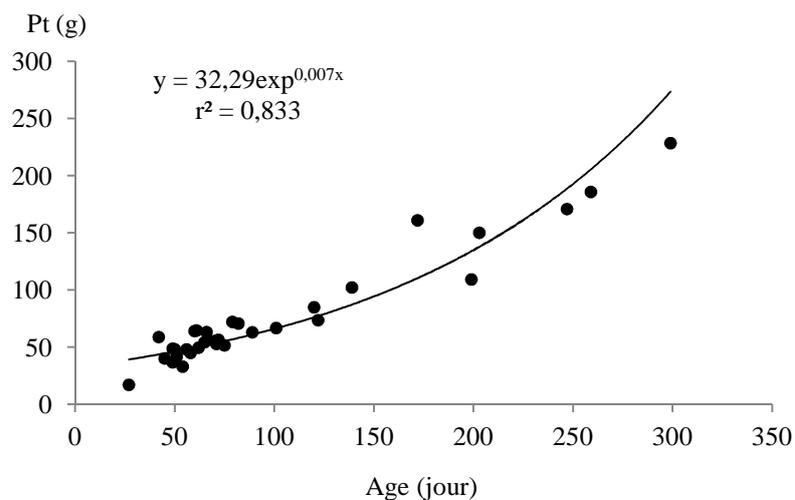


Figure 62. Relation poids-âge chez les juvéniles *S. viridensis* du Golfe d'Annaba.

Les dates de ponte estimées, basées sur l'analyse des otolithes ainsi que la répartition mensuelle des tailles des jeunes moins d'une année, durant la période d'échantillonnage, étaient du 11 avril au 3 août. La moitié des spécimens échantillonnés (50 %) ont frayé en juillet (Fig. 63, Tab. 27).

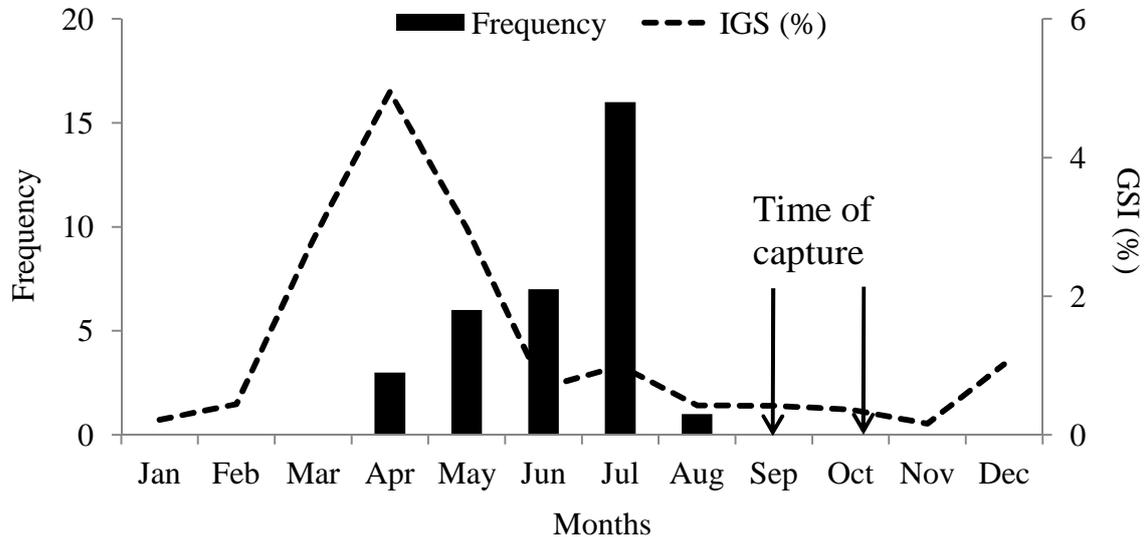


Figure 63. Estimation de la date du fraie de *S. viridensis* du Golfe d'Annaba, obtenue à partir de la fréquence mensuelle de la longueur individuelle, de l'IGS et du temps d'échantillonnage.

Tableau 27. Répartition mensuelle des tailles des jeunes moins d'une année (< 57cm) de *S. viridensis* du Golfe d'Annaba durant la période d'échantillonnage.

Mois	Cc	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou
17-19	18	1											
19-21	20												
21-23	22	9											
23-25	24	36											
25-27	26	42											
27-29	28	59	6										
29-31	30	55	10										
31-33	32	33	12										
33-35	34	5	18	1									
35-37	36	2	8	1									
37-39	38		24	3			1			1			
39-41	40		1	5			2		1				
41-43	42		1	7			7		1				
43-45	44		1	10			13		1				
45-47	46			4			10						
47-49	48						5					3	
49-51	50												1
51-53	52												2
53-55	54												3
55-57	56	3	1										3
57-59	58												
Total		245	82	31	0	0	38	0	3	1	0	3	9

3. Discussion

Cette étude est la première tentative documentée pour évaluer l'âge, la croissance, les mortalités, la reproduction et le régime alimentaire de *Sphyraena viridensis* en Méditerranée occidentale. Les seules données disponibles sur la dynamique des populations de cette espèce en Méditerranée sont fournies par Allam *et al.*, (2004) en Egypte.

Une relation linéaire significative a été trouvée entre la taille du poisson et la taille des otolithes du Barracuda à bouche jaune *S. viridensis* avec une valeur élevée de r^2 (0,857). Lorsque les relations entre la longueur des otolithes et la longueur ou le poids du poisson sont déterminées, la longueur totale, la longueur standard ou le poids d'un poisson peut être estimée en fonction de sa longueur d'otolithes, ou vice versa (Battaglia *et al.*, 2010; Yilmaz *et al.*, 2014; Zengin *et al.*, 2015).

Les otolithes *sagittae* de *S. viridensis* ont montré un modèle typique de zones alternées opaques et translucides. La cohérence, la reproductibilité et la répétabilité des résultats (APE = 2,65%, CV = 3,75%) ont confirmé la fiabilité des résultats. Selon Bourehail et Kara (2018), un seul anneau de croissance se forme par an, évidemment en hiver. Les basses températures pendant cette saison (14-18 ° C, Frehi *et al.*, 2007) réduisent l'activité alimentaire (coefficient de vacuité stomacale = 70%) et par conséquent la croissance. Cette discontinuité de croissance est observée par Kadison *et al.* (2010) pour *S. barracuda* de la Baie de Florida. Ce rythme de croissance est décrit chez un grand nombre d'espèces de poissons vivant dans les régions subpolaires, tempérées (Beckman et Wilson, 1995) et tropicales (Brothers, 1979).

Treize et quatorze classes d'âge ont été déterminées par la lecture d'otolithes respectivement chez les femelles et les mâles. L'individu le plus âgé était un mâle de 1165 mm (14 ans, 7125 g). Allam *et al.* (2004) ont trouvé une longévité de huit ans (560 mm TL) dans les eaux égyptiennes par lecture d'otolithes. L'âge maximal enregistré de Barracudas était de 18 ans pour *S. barracuda* de la baie de Floride (Kadison *et al.*, 2010) et de 11 ans pour *S. argentana* des eaux californiennes (Hart, 1973).

La répartition par âge des captures montre que les jeunes de l'année (0+) étaient représentés par des poissons de moins de 455 mm TL. Plus de 64% appartiennent à la classe d'âge I - III. Les âges V à VI étaient peu représentés (entre 9 et 4 individus selon l'âge). Dans les eaux égyptiennes, Allam *et al.* (2004) ont constaté que les individus du groupe II constituent l'essentiel des captures (30%). Le barracuda atlantique *S. barracuda*,

représente le même schéma de croissance, 50% des poissons de la population sont âgés entre I et III ans.

Au cours de la première année de vie, le barracuda à bouche jaune atteint des longueurs importantes (plus de 50% de la longueur maximale observée dans cette étude). Cette valeur est très élevée par rapport à celle enregistrée par Allam *et al.*, (2004) (plus de 26%) pour *S. viridensis* d'Égypte. Le faible taux de croissance enregistré après la première année de vie peut être associé au début de la maturité sexuelle, qui apparaît à 625 mm et 595 mm chez les femelles et les mâles, entraînant respectivement un ralentissement de la croissance (Beverton et Holt, 1957).

Étant donné que les paramètres de croissance obtenus dans cette étude représentent les premières estimations distinctes de la croissance des mâles et des femelles de *S. viridensis*, il n'a pas été possible de les comparer avec d'autres résultats. Les seules données de croissance disponibles sur cette espèce sont fournies pour les deux sexes combinés (Allam *et al.* 2004). Le coefficient de croissance observé pour les spécimens regroupés dans notre étude ($k = 0,338$) était supérieur à ceux obtenus par les auteurs mentionnés précédemment ($k = 0,089$) dans les eaux méditerranéennes égyptiennes. Ces dissimilitudes peuvent être dues aux différentes caractéristiques hydrobiologiques des zones étudiées. La longueur asymptotique estimée ($L = 889,4$ mm) se situe dans la même amplitude que les autres estimations de la Méditerranée. La valeur élevée de r^2 du modèle de croissance de von Bertalanffy selon le sexe combiné suggère que cette courbe reflète fidèlement la croissance somatique de ces poissons. Parmi les paramètres de croissance L et k , seul L différait entre les sexes ($L = 986,2$ mm chez les mâles, $L = 877,9$ mm chez la femelles), cette petite différence sera principalement due à une longévité plus élevée chez les femelles. Kadison *et al.*, (2010) n'ont signalé aucune différence significative entre les modèles de croissance des mâles et des femelles pour *S. barracuda* de la baie de Floride.

Pour comparer la dynamique de croissance de différentes espèces, en évitant tout type d'effet de confusion de taille corporelle, la meilleure méthode technique à utiliser est l'indice de performance de croissance. La valeur de ce dernier est 3,42, meilleur que celle signalée dans les eaux méditerranéennes égyptiennes (2,95), est considéré parmi l'une des plus rapide de l'écosystème pélagique (Zischke *et al.*, 2015). Les valeurs du coefficient b dans la relation longueur-poids ont montré une croissance isométrique chez les femelles et les mâles. Nos résultats sont différents de ceux trouvés par Allam *et al.*, (2004) dans les eaux égyptiennes ($b = 2,93$).

Couplées à des résultats d'enquêtes indépendantes de la pêche et à des données de prises commerciales par âge, la mortalité par pêche estimée indique que *S. viridensis* fait toujours face à un faible taux d'exploitation dans la pêcherie au chalut de fond du golfe d'Annaba.

La découverte des marques de croissance journalières sur les otolithes (Pannella, 1971), a engendré un regain d'attention pour l'otolithométrie et a ouvert de nouvelles voies de recherches. Cette technique est basée sur l'hypothèse que les accroissements se forment avec une périodicité journalière et que leur dénombrement est représentatif de l'âge du poisson. Couramment employée pour l'estimation de l'âge et de la croissance des larves et des juvéniles, les applications de la microstructure des otolithes sont nombreuses et en pleine extension.

Les coupes fines d'otolithes des 0+ *S. viridensis* montrent en leur centre un ou plusieurs noyaux, parfois jusqu'à 3 ou 4 alignés, entourés de la strie initiale. Selon Campana & Neilson (1985), il est probable que ces noyaux primordiaux calcifiés sont excrétés par les cellules de l'oreille interne. Sur les coupes fines réalisées, une marque de discontinuité apparaît au centre de l'otolithe qui semble correspondre à une périodicité d'environ 12 jours. Il est possible qu'elle reflète un évènement particulier du développement de la larve comme par exemple la résorption du sac vitellin et/ou l'ouverture de la bouche et le début de l'alimentation. Masuzawa *et al.* (1975) estiment que le début de l'alimentation intervient au bout de 7 jours; toutefois l'interprétation des premières stries est délicate. Jones & Brothers (1987) ont montré qu'elles ne correspondaient pas forcément à des stries journalières lorsque les conditions de croissance ne sont pas optimales.

En théorie, les patrons de croissance devraient être homogènes dans tous les axes d'une pièce calcifiée donnée mais, à cause de taux de croissance variables provoquant des distorsions tridimensionnelles, ils peuvent apparaître hétérogènes d'une région à l'autre. Une standardisation précise est donc obligatoire lorsque les marques de croissance sont interprétées. Ce besoin de standardisation est évident dans le cas d'otolithes de forme complexe et des épines. La sélection d'un axe de mesure sur les préparations demande les mêmes critères que pour l'interprétation des marques de croissance (Campana, 1992).

Le sex-ratio global déterminé lors du cycle annuel est constamment en faveur des femelles, que ce soit en période de reproduction (Février-mai) ou hors période de reproduction (juin-décembre). La dominance numérique des femelles est aussi confirmée chez l'espèce voisine *Sphyraena sphyraena* dans la même zone d'étude. Cette dominance des femelles peut être expliquée soit par une mortalité relative des mâles lors de la reproduction, soit par des différences de croissance en faveur des femelles (millán, 1999; amenzoui *et al.*, 2004).

La période de ponte de *Sphyraena viridensis* s'étend de mois de février jusqu'en mai avec un pic au mois d'avril. C'est le cas des populations de la Méditerranée en général (Fischer *et al.* (1987), Allam *et al.* (2004) et de l'Atlantique (Eli, 2006 ; Cadenat , 1964). D'après le suivi du coefficient de condition K, des rapports RGS et RHS tout le long de l'année, on peut déduire qu'au cours de la maturation des gonades, le poisson puise ses réserves nutritives dans le foie et non pas dans les muscles. Par conséquent le brochet est un poisson maigre. Le barracuda à bouche jaune *Sphyraena viridensis* se reproduit à partir de sa troisième année avec une taille de première maturité sexuelle de 62.5 cm de longueur totale.

Le régime alimentaire a été déterminé en utilisant l'indice d'importance relative (IRI) de Pinkas *et al.* (1971). L'indice de vacuité varie significativement entre les saisons avec des valeurs plus élevées pendant la saison chaude (45%). Au total, cinq familles taxonomiques ont été identifiées dans l'estomac de *S. viridensis*, essentiellement des poissons téléostéens, et principalement des Clupeidae, des Engraulidae, des Mugilidae et des Sphyraenidae. L'indice d'importance relative montre que l'alimentation est composée de poissons (IRI = 99,997%), d'amphipodes (IRI = 0,002%) et de céphalopodes (IRI = 0,001%). Cet indice ne varie pas entre les saisons, ni avec la taille des prédateurs.

Toutes les informations fournies ici constituent une base pour la gestion globale du Barracuda *Sphyraena viridensis* à bouche jaune dans le sud-ouest de la Méditerranée.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail relatif à l'étude de la biologie et de la dynamique des populations de deux espèces de Sphyraenidae, est à l'origine d'un apport de connaissances indispensables aux ressources halieutiques en général et plus particulièrement à la faune ichthyque de l'Algérie.

Malgré la haute valeur commerciale des Sphyrènes, la biologie et l'évaluation des stocks de ces espèces sont restées jusqu'ici méconnues en Algérie et en Méditerranée occidentale en générale. Le présent travail s'intéresse à l'étude biologique, à la dynamique des populations et à l'évaluation du stock de 2 espèces de Sphyraenidae connues sous le nom vernaculaire de Barracudas.

Le présent travail sur les Sphyraenidés des côtes de l'Est algérien comporte trois parties principales.

La première partie présente l'environnement de la zone d'étude, la systématique et la répartition des espèces de la famille des Sphyraenidés.

La deuxième partie est consacrée à la différenciation des deux espèces *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis* dans le Golfe d'Annaba. Le but étant de lever la confusion concernant le statut de ces espèces en utilisant deux méthodes: (1) la caractérisation morphosomatique basée sur les caractères numériques et métriques, (2) l'analyse de la forme des otolithes, notamment les transformées elliptiques de Fourier. En effet, parmi les 05 espèces méditerranéennes 03 espèces sont présentes sur les côtes algériennes. L'analyse des caractères morphologiques et numériques nous a permis de mieux situer ces espèces dans la famille de Sphyraenidés. Les différences morphologiques notées nous ont permis de confirmer la clef dichotomique présentée par d'autres auteurs. Ainsi le genre *Sphyraena* est représenté en Algérie par les trois espèces *Sphyraena sphyraena*, *Sphyraena viridensis* et *Sphyraena flavicauda*. Les deux premières espèces sont assez abondantes, la troisième a été récemment signalée pour la première fois sur les côtes algériennes.

La troisième partie a été consacrée à l'étude biologique à savoir la reproduction, le régime alimentaire et la croissance de ces poissons. L'étude de la stratégie de reproduction a montré que la période de ponte se déroule de mai à août chez *Sphyraena sphyraena*. Elle est précoce chez *Sphyraena viridensis* et elle s'effectue de février à mai. Chez les deux espèces de sphyrènes étudiées, les réserves vitellines sont emmagasinées au niveau du foie. Ceci

permet de considérer ces espèces comme des poissons maigres. L'analyse des variations saisonnières du sex-ratio des deux espèces montre en général une dominance apparente des femelles par rapport aux mâles. *S. sphyraena* se reproduit à partir de l'âge de 2 ans. Les femelles sont matures à une taille de 26,1 cm. Les mâles le deviennent à partir de 30,2 cm. Le barracuda à bouche jaune *Sphyraena viridensis* se reproduit à partir de sa troisième année avec une taille de première maturité sexuelle de 62.5 cm de longueur totale.

Le régime alimentaire a été étudié en analysant les contenus stomacaux de 1281 poissons. Parmi lesquels, 312 avaient l'estomac vide chez *S. sphyraena* ce qui correspond à un coefficient de vacuité stomacale de 53,5%. Par contre 159 individus seulement de *S. viridensis* avaient l'estomac vide, ce qui conduit à un coefficient de vacuité de 22,7%. L'alimentation est essentiellement à base de Clupéidés et d'anchois.

Plusieurs méthodes directes (otolithométrie et scalimétrie) et indirecte ont servis efficacement à déterminer l'âge individuel chez les deux espèces *S. sphyraena* et *S. viridensis*. Par ailleurs, une étude approfondie de la croissance des Sphyrènes a mis en évidence un taux de croissance élevé chez les jeunes individus, ce taux est plus faible chez les adultes. D'autre part aucune différence de croissance significative n'a été remarquée au sein de chaque espèce. Cependant, pour les individus de grande taille, les mâles présentent des tailles maximales relativement supérieures à celles des femelles chez *S. viridensis*.

La relation taille-masse, montrent une allométrie minorante aussi bien chez les femelles que chez les mâles de *S. sphyraena*. Cette allométrie est isométrique pour les mâles et les femelles ainsi que pour les sexes réunis de *S. viridensis*.

Cette étude nous a permis d'apporter des éléments originaux sur la biologie et la dynamique de deux espèces de Sphyraenidae peuplant les côtes Est de l'Algérie. Ces éléments constituent une base de connaissance en vue d'établir une planification de l'exploitation optimale et rationnelle de cette ressource et de gérer de façon durable les stocks disponibles.

RÉFÉRENCES BIBLIOLGRAPHIQUES

- AbdulMalak D., Livingstone S.R., Pollard D., Polidoro B.A., Cuttelod A., Bariche M., Bilecenoglu M., Carpenter K.E., Collette B.B., Francour P., Goren M., Kara M.H., Massuti E., Papaconstantinou C. and Tunesi L. (2011) Overview of the conservation status of the marine fishes of the Mediterranean Sea. Gland: IUCN. Vii.
- Aboussouan A. (1994) Intérêt des formules vertébrales pour l'identification des poissons de la mer Méditerranée. *Cybium*, **18**(2): 177-197.
- Aboussouan A. and Lahaye J. (1979) Les potentialités des populations ichtyologiques. Fécondité et ichtyoplancton. *Cybium*, **3**(6): 29-46.
- Abramson N.J. (1971) Computer programs for fish stock assessment. FAO, *Fish. tech. Pap.*, **101**: 1-154.
- Aggrey-Fynn J., Fynn-Korsah S. and Appiah N. (2013) length-Weight Relationships and Food Preference of two fishes, *Galeoides decadactylus* (Polynemidae) and *Sphyraena sphyraena* (Sphyraenidae) off Cape Coast, Ghana. *West Afr. J. Appl. Ecol* v 21(1).
- Allain C. (1960) Topographie, dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée. *Rev. Trav. Inst. Pêche marit.*, **24**(1): 121-145.
- Allam M.S., Fatas S.N. and Ragheb E. (2004) Age and growth of barracudas in the Egyptian Mediterranean waters. *Egypt. J. Aquat. Res.*, **30B**: 281-289.
- Amenzoui K., Ferhan-Tachinante F., Yahyaoui A., kifani S. and mesfioui A.K. (2004) Étude de quelques aspects de la reproduction de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) de la région de Laâyoune (Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat, Sect. Vie* 2005: 26-27.
- Astraldi M, Bianchi Cn, Gasparini Gp. and Morri C. (1995) Climatic fluctuations, current variability and marine species distribution - a case-study in the Ligurian sea (north-west Mediterranean). *Oceanologica Acta.*, **18**(2), 139-149. Open Access version: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00096/20768/>
- Ayada M., Amira A.B. and Retima A. (2018) "Distribution of the *Tripos* species (dinoflagellata) from Annaba Bay (Southwestern Mediterranean Sea." *J B E S.*, **12**(2): 40-50.
- Azzurro E, Moschella P. and Maynou F. (2011) Tracking signals of change in Mediterranean fish diversity based on local ecological knowledge. *PLoS ONE* 6, e24885.
- Baglinière J.L. and Le Louarn H. (1987) Caractéristiques scalimétriques des principales espèces de poissons d'eau douce de France *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (306) 1-39 DOI: 10.1051/kmae:1987005
- Baillon N. (1992) Otolithométrie: revue et problèmes. In: Coll. Intern. Tissus durs et âge individuel des vertébrés (Baglinière J.L., Castanet J., Conand F. & F. Meunier, eds), pp. 21-52. Bondy (France): Orstom/Inra.

- Barreiros J.P., Santos R.S. and De Borba A.E. (2002) Food habits, schooling and predatory behaviour of the yellowmouth barracuda, *Sphyraena viridensis* (Perciformes: Sphyraenidae) in the Azores. *Cybium*, **26**(2):83-88.
- Barrett R.T., Rov N., Loen J. and Montevecchi W.A. (1990) Diets of shags *Phalacrocorax aristotelis* and cormorants *P. carbo* in Norway and implications for gadoid stock recruitment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **66**: 205-218.
- Battaglia P., malara d., romeo t. and andaloro F. (2010) Relationship between otolith size and fish size in some mesopelagic and bathypelagic species from the Mediterranean Sea (Strait of Messina), Italy. *Sci. Mar.*, **74**: 605-612.
- Bauchot M.L. and Pras A. (1980) Guide des poissons marins d'Europe. Delachaux & Nestlé (eds), 427 pp, Paris, France.
- Beamish R.J. and Fournier D.A. (1981) A method for comparing the precision of a set of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **38**: 982-983.
- Bebars M.I. (1981) Exploitation rationnelle des pêcheries égyptiennes : application aux pêcheries des sardinelles (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847) de la baie de Salloum, Egypte. *Thèse Doctorat d'état*, U.S.T.L., Montpellier II : 354p.
- Beckman D.W. and Wilson C.A. (1995) Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths, p. 27-43. In: Recent Developments in Fish Otolith Research. D. H. Secor, J. M. Dean, and S. E. Campana (eds.). University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina.
- Ben-Tuvia A. (1986) Sphyraenidae. In: Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean, Vol. III (Whitehead, P. J. P., Bauchot, M. L., Hureau, J. C., Nielsen, J. and Tortonèse, E. eds),. Paris. UNESCO, pp. 1094-1096.
- Benzohra M. (1993) Les structures hydrodynamiques le long des côtes algériennes. In: Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb, INOC, Izmir: 33-46.
- Béthoux J.P, Gentili B. and Tailliez D. (1999) Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s, their possible relation to the greenhouse effect. *Geophys Res Lett.*, **25**(7):1023-1026
- Beverton R.J.H. and Holt S.J. (1957) On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. Minist. Agric. Fish. Food, G.B.* (2 Sea Fish.), 19: 533 p.
- Bhattacharya C.G. (1967) A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*, **23**: 115-135.
- Bianchi C.N. and Morri C. (2000) Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research, *Mar. Pollut. Bull.* Volume 40, Issue 5, Pages 367-376, ISSN 0025-326X,

- Bini G. (1969) Sfirenidi (Sphyraenidae). In: *Atlante dei Pesci delle Coste Italiane*, Vol. IV. pp. 19-22. Roma: Mondo Sommerso Editore.
- Bizsel K.C. and Cihangir B. (1996) A new fish record for the Turkish seas: Yellow mouth barracuda (Sphyraenidae: *Sphyraena viridensis* Cuvier, 1829). *Turk. J. Zool.*, **20**: 357-359.
- Bougis P. (1952) Rapport-hépto-somatique et rapport gonado-somatique chez *Mullus barbatus* L. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, **74** (6): 326-330.
- Bourehail N. and Kara M.H. (2018) Young-of-the-year Yellowmouth Barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) growth in Eastern Algeria based on otolith microstructure analysis. *Proceeding of the 6th International Otolith Symposium 2018, Taiwan*. P 46.
- Bourehail N. and Kara M.H. (2021) Young-of-the-year Yellowmouth barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) growth in Eastern Algeria based on otolith microstructure analysis. *Thalassas*, **37**: 107–112. <https://doi.org/10.1007/s41208-020-00256-2>
- Bourehail N., Lecomte-Finiger R. and Kara M.H. (2010) Age, croissance et reproduction du barracuda *Sphyraena viridensis* (Sphyraenidae) des côtes de l'est algérien. *Rapp Comm Int Mer Médit*. *Rapp Comm Int Mer Médit* 39, 459.
- Bourehail N., Morat F., Lecomte-Finiger R. and Kara M.H. (2015) Using otolith shape analysis to distinguish barracudas *Sphyraena sphyraena* and *Sphyraena viridensis* from the Algerian coast. *Cybium*, **39** (4): 271-278.
- Brothers E.B. (1979) Age and growth studies on tropical fishes. In Saila SB and Roedel PM (eds), *Stock Assessment for Tropical Small-scale Fisheries*. Proceedings of international workshop held Sept. 19–21, 1979, at University of Rhode Island, pp. 119–136. [Copies available from Agency for International Development. AID-DIHF/ARDA, 7222 – 47th St., Chevey Chase, MD 20815.]
- Burdak V.D. (1979) Morphologie fonctionnelle du tégument écailleux des poissons. *Cybium* 10 (suppl.), 1-147.
- Cadenat J. (1964) Notes d'ichtyologie ouest-africaine. XLII. Les "Sars" des genres *Puntazzo* et *Diplodus* des eaux tropicales ouest-africaines. *Bull. Inst. Fr. Afr. Noire.*, sér. A, **3**: 944-969.
- Campana S.E. and Casselman J.L. (1993) Stock discrimination using otolith shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**: 1062-1083.
- Campana S.E. (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **188**: 263-297
- Campana S.E. (2004) *Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean*, pp. 284. Ottawa, Ontario: NRC Re-Ottawa, Ontario: NRC Research Press.

- Campana S.E. (2005) Otolith elemental composition as a natural marker of fish stocks. pp. 227-245. In: Cadrin S X., Friedland K D., Waldman J R. (eds). Stock Identification Methods. Academic Press, N.Y.
- Campana S.E. and Neilson J.D. (1985) Microstructure of fish otoliths. *Can J Fish Aquat Sci.*, **42**:1014-103
- Campana S.E. (1992) Measurement and interpretation of the microstructure of fish otoliths. P. 59-71. In: D.K. Stevenson and S.E. Campana [eds]. Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117.
- Cardinale M., Doering-Arjes P., Kastowsky M. and Mosegaard H. (2004) Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **61**: 158-167.
- Chang W.Y.B. (1982) A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39** (8): 1208–1210.
- Chemmam-Abdelkader B., Ezzeddine-Najai S. and M.M.Kraiem., (2007) Période de ponte, sex-ratio et maturité sexuelle du Brochet de mer *Sphyræna sphyræna* (Teleostei, Sphyrænidae) au Nord et à l'est de la côte Tunisienne (Méditerranée occidentale et centrale). *Bull. Ins . Nat. Scien. Tech. Mer de Salammbô* **34**:5 – 8
- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Rais Lasram F.B., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi C.N., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froglià C., Galil, B. S., Gasol J. M., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M. S., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., López-Fé de la Cuadra C. M., Lotze H. K., Martin D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas J. I., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R. and Voultziadou E. (2010). The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS One* **5**, e11842. doi: 10.1371/journal.pone.0011842
- Collette B.B. and Nauen C.E. FAO species (1983) catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish.Synop., (125)Vol.. 2:137 p.
- Corsini M. and Economidis P.S. (1999) Distribution extension of two Lessepsian migrants found in the marine area of the island of Rhodes (Aegean Sea, Greece). *Cybium*, **23**: 195-199.
- Crampton J.S. (1995) Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves, practical consideration. *Lethaia*, **28**: 179-186.
- Dagnelie P. (1975) Théorie et méthodes statistiques. 2: Les méthodes de l'inférence statistique. Les presses agronomiques de Gembloux. 451 p.
- Dagnelie P. (1973) Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. 1, La statistique descriptive et les fondements de l'inférence statistique. Gembloux: J. Duculot, 378 p.

- Dieuzeide R., Novella M. and Roland J. (1954) Catalogue des poissons des côtes algériennes. II. Ostéoptérygiens. *Bulletin Travaux Station Aquiculture et Pêche Castiglione*, n.s., 5, 299p.
- Djabali F., Mehailia A., Koudil M. et Brahmi B. (1993b) Empirical equations for the estimation of natural mortality in Mediterranean teleosts. NAGA, the ICLARM
- Dul i J. and Soldo A. (2004) On the occurrence of the yellowmouth barracuda, *Sphyraena viridensis* Cuvier, 1829 (Pisces: Sphyraenidae), in the Adriatic Sea. *Ann. Ser. His. Nat.*, **14**: 225-228.
- Dulcic J., Kovacic M. and Dragicevic B. (2009) Range extension and additional records of the yellowmouth barracuda, *Sphyraena viridensis* (Actinopterygii: Perciformes: Sphyraenidae) in the eastern Adriatic Sea. *Acta Ichthyol. Piscat* **39**: 59-61.
- Dunn, E. (1972) Effect of Age on the Fishing Ability of Sandwich Terns *Sterna sandvicensis*. *Ibis*, Vol. 114, Issue **3**: 360-366.
- Durrieu de Madron X. and Ferré B. (2009) Chapitre 17: Impact des événements extrêmes et du chalutage sur les bilans de matière et de carbone dans le golfe du Lion. In: Quae (ed), *Le golfe du Lion : Un observatoire de l'environnement en Méditerranée*, Versailles, France, 269-275.
- Eli A., (2006) Species Summary for *Sphyraena sphyraena* European barracuda. <http://www.fishbase.org>.
- FAO (2020) FAO Fisheries and Aquaculture Department, Statistics and Information Service. FishStatJ: Universal Software for Fishery Statistical Time Series. Rome: FAO.
- Ferson S.F., Rohlf F.J. and Koehn R.K. (1985) Measuring shape variation of two-dimensional outlines: *Systematic Zoology*, v. **34**: 59-68
- Fisher W., Bauchot M.L. and Schneider M. (1987) Sphyraenidae. In: Fiches FAO d'Identification des espèces pour les besoins de la pêche (révision 1). Méditerranée et Mer Noire. Zone de pêche 37, Vol. II (Vertébrés). pp. 1377-1380. Rome: FAO.
- Fontana A. (1969) Etude de la maturité sexuelle des sardinelles *Sardinella eba* (Val.) et *Sardinella aurita* C. et V. de la région de pointe-Noire. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, **7**(2): 101-114.
- Ford E. (1933) An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924 to 1933. *J. mar. biol. Assoc., U.K.*, **19**: 305-384.
- Fredj G. and Maurin C. (1987) Les poissons dans la banque de données MEDIFAUNE. Application à l'étude des caractéristiques de la faune ichtyologique méditerranéenne. *Cybium*, **11**: 217-303.

- Frehi H., Couté A., Mascarell G., Perrette-Gallet C., Ayada M. and Kara M.H. (2007) Dinoflagellés toxiques et/ou responsables de blooms dans la baie d'Annaba (Algérie). *Comptes Rendus Biologies* **330**: 615–628.
- Friedland K.D. and Reddin D.G. (1994) Use of otolith morphology in stock discrimination of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **51**: 91-98.
- Gayanilo F.C. Jr., Sparre P. and Pauly D. (2002) The FAO-ICLARM Fish Stock Assessment Tools (FISAT II, user's guide) **2000-2004** FAO, Rome, Italie. Version 1.1.2. 173p.
- Gayanilo FC., Sparre P. and Pauly D. (2005) The FAO– ICLARM Stock-Assessment Tools II (FiSAT II). User's Guide, Revised Version. FAO Computerized Information Series (Fisheries), 8.
- Geistdoerfer P. (1975) Ecologie alimentaire des Macrouridae - Téléotéens Gadiformes. Thèse Doctorat d'Etat. 315 p. Univ. Paris VI.
- George C.J., Athanassiou V. and Tortonèse E. (1971) The presence of a third species of the genus *Sphyræna* (Pisces) in the marine waters of Lebanon. *Ann. Mus. Civ. Stor. Nat. Genova.*, **78**: 256-263.
- Lee R.M. (1920) A review of the methods of age and growth determination in fishes by means of scale. *Fishery Investigations* **2** (4): 1-32.
- Lea, E. (1910) On the methods used in the herring investigations. *Publ. Circ. Con. Int. Expl. Mer Copenhagen*, **53**: 7-175.
- Loubens G. and Panfili J. (1992) Estimation de l'âge individuel de *Prochilodus nigricans* (Teleostei, Prochilodidae) dans le Béni (Bolivie): protocole d'étude et application *Aquat. Living Resour.*, **5** (1) 41-56 DOI: 10.1051/alr:1992006
- Géry J. (1962) Le problème de la sous-espèce et de sa définition statistique. A propos du coefficient de Mayr-Linsley-Usinger. *Vie et Milieu*, **13**(3), 521-541.
- Golani D. (1992) *Rhabdosargus haffara* (Forsskal; 1775) and *Sphyræna flavicauda* Rüppell, 1883 – new Red Sea immigrants in the Mediterranean. *J. Fish. Biol.*, **40**: 139-140.
- Golani D. (1996) The marine ichthyofauna of the eastern Levant. History, inventory and characterization. *Isr. J. Zool.*, **42**: 15-55.
- Golani D., Orsi-Renili L., Massuti E. and Quignard J.P. (2002) CIESM Atlas of exotic species in the Mediterranean, Vol. I. Fishes (F. Briand, ed.), 256 p. Monaco: CIESM Publication.
- Gonzalez-Salas C. and Lenfant P. (2007) Interannual variability and intra-annual stability of the otolith shape in European anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) in the Bay of Biscay. *J. Fish Biol.*, **70**: 35-49.

- Gulland J.A. (1969) Manuel of methods for fish stock assessment. Part 1. Fish population analysis. *FAO Man. Fish. Sci.*, 4: 154 p.
- Gwahaba J.J. (1978) The biology of cichlid fishes (Teleostei) in an equatorial lake (Lake George, Uganda).—*Arch. Hydrobiol.* **83**:538-551.
- Hart J.L. (1973) Pacific fishes of Canada. *Bulletin of Fisheries Research Board Canada* 180, 740 pp.
- Hoff G.R. and Fuiman L.A. (1993) Morphometry and composition of red drum otoliths: changes associated with temperature, somatic growth rate, age. *Comp. Biochem. Physiol.*, **106**: 209–219.
- Hughes L. (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?, *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 15, Issue 2, Pages 56-61,
- Hureau J.C. (1970) Biologie comparée de quelques poissons antarctique (*Nototheniidae*). *Bull. Inst. océanogr.*, Monaco, 60, n° 1391: 244p.
- Iwata H. and Ukai Y. (2002) Shape: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on Elliptic Fourier descriptors. *J. Hered.*, 93: 384-385.
- Panfili J. (1992) Estimation de l'âge individuel des poissons: méthodologies et applications à des populations tropicales et tempérées. PhD thesis, Université de Montpellier II.
- Jones C. and Brothers E.B. (1987) Validation of the otolith increment aging technique for striped bass, *Morone saxatilis*, larvae reared under suboptimal feeding conditions. *Fish. Bull.*, U.S. **85**: 171-178.
- Kadison E., D'Alessandro E.K., Davis G.O. and Hood P.B (2010) Age, growth, and reproductive patterns of the great barracuda, *Sphyraena barracuda*, from waters of the Florida Keys. *Bull. Mar. Sci.*, **86**: 773–784.
- Kalogirou S., Wennhage H. and Pihl L. (2012) Non-indigenous species in Mediterranean fish assemblages: contrasting feeding guilds of *Posidonia oceanica* meadows and sandy habitats. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **96**: 209–218.
- Kara M.H. and Bourehail N. (2003) Présence du Barracuda, *Sphyraena viridensis* (Sphyraenidés), sur les côtes de l'est algérien. *Cybium*, **27**: 59–60.
- Kartas F. and Quignard J.P. (1984) La fécondité des poissons téléostéens. Masson. 121 p.
- Kožul V., Tutman P., Glavic N., Skaramuca B. and Bolotin J. (2005) First record of the yellowmouth barracuda, *Sphyraena viridensis* (Sphyraenidae) from Adriatic Sea. *Cybium*, **29**: 201–202.
- Kuhl F.P. and Giardina C.R. (1982) Elliptic Fourier features of a closed contour. *Comput. Graph. Image Process.*, **18**: 236-258.

- L'Abée-Lund J.H. (1988) Otolith shape discriminates between juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and brown trout, *Salmo trutta* L. *J. Fish Biol.*, **33**: 899-903.
- Lacombe H. and Richez C. (1982) The regime of strait or Gibraltar. In: hydrodynamics of semi-Enclosed seas, J.C.J. Nihoul, ed; Elsevier. Amsterdam: 13-74.
- Lahaye J. (1980) les cycles sexuels chez les poissons marins. *Océanis*, **6**: 637-654.
- LCHF. (1976) Extension du port d'Annaba. Etude générale des conditions naturelles dans le Golfe (synthèse finale du LCHF), 50 p.
- Le Bec C. (1985) Cycle sexuel et fécondité de la sole *Solea vulgaris* (QUENSEL, 1806) du golfe de Gascogne. *Rev. Trav. Inst. Pêches Maritimes*, **47**(3-4): 179-189.
- Lea, E. 1910. On the methods used in the herring investigations. Publ. Circ. Con. Int. *Expl. Mer Copenhaguen*, **53**: 7-175.
- Lee (1910) A review of methods of age and growth determination in fishes by means of scales. *Fish. Invest.* London 2-32.
- Lecomte-Finiger R. (1999) L'otolithe, la boîte noire des Téléostéens. *Ann. Biol.*, **38**: 107-122.
- Lejeusne C., Chevaldonné P., Pergent-Martini C., Boudouresque C. F. and Pérez T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends Ecol. Evol* **25**: 250–260. doi: 10.1016/j.tree.2009.10.009
- Lombarte A. and Leonart J. (1993) Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environ. Biol. Fish.*, **37**: 297-306.
- Lombarte A., Chic Ò., Parisi-Baradad V., Olivella R., Piera J. and García-Ladona E. (2006) A web-based environment from shape analysis of fish otoliths. The AFORO database (<http://www.cmima.csic.es/aforo/>). *Sci. Mar.*, **70**: 147-152.
- Loubens G. (1978) Biologie de quelques espèces de poissons du lagon Néo- Calédonien. I. Détermination de l'âge (otolithométrie). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, Vol XVI, N° 3 – 4: 263- 283.
- Loubens G. (1992) Biologie de quelques espèces de poissons du lagon Néo- Calédonien. II Sexualité et reproduction. Cahier de l'indo-pacifique, Volume 2, n° 1, p. 41-72.
- Lo-Yat A. (2002) Variabilité temporelle de la colonisation par des larves de poissons de l'atoll de Rangiroa (Tuamotu, Polynésie Française) et utilisation de l'outil "otolithe" de ces larves. *Thèse de Doctorat*, 236 p. Univ. Polynésie française.
- Lychakov D.V. and Rebane Y.T. (2000) Otolith regularities. *Hear. Res.*, **143**: 83-102.
- MacQueen J. (1967) Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, **1**: 281 297

- Martucci O., Pietrelli L. and Consiglio C. (1993) Fish otoliths as indicators of the cormorant *Phalacrocorax carbo* diet (Aves, Pelecaniformes). *Boll. Zool.*, **60**: 393-396.
- Marzloff M.P., Oliver E.C.J. and Barrett N.S. (2018) Differential vulnerability to climate change yields novel deep-reef communities. *Nature Clim Change.*, **8**: 873-878. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0278-7>
- Masuzawa T., Kurata Y. and Onishi K. (1975) Results of group study on population of demersal *Aeshes* in water from Sagami Bay to southern Izu Islands: population ecology of Japanese *alions* and other demersal *Aeshes*. Pap Fishery Res 28: 1±105 Japan Aquatic Resources Conservation Association, Tokyo, [English transl Fisheries Research Centre Library, Ministry of Agriculture and Fisheries, P. O. Box 297, Wellington, New Zealand]
- Mayrat A. (1959). Nouvelle méthode pour l'étude comparée d'une croissance relative dans deux échantillons. Application à la carapace de *Penaeus kerathurus* (Forsk.). Bull. I.F. A. N., T. XXI, série A, 1.
- Mérogot B., Letourneur Y. and Lecomte-Finiger R. (2007) Characterization of local population of the common sole *Solea solea* (Pisces, Soleidae) in the NW Mediterranean through otolith morphometrics and shape analysis. *Mar. Biol.*, **151**: 997-1008.
- Meunier F.J. (1987) Os cellulaire, os acellulaire et tissus dérivés chez les Ostéichthyens : les phénomènes de l'acellularisation et de la perte de la minéralisation. *L'Année Biologique* **26**: 201-233.
- Millán M. (1999) Reproductive characteristics and condition status of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. from the Bay of Cadiz (SW Spain), *Fish. Res.*, **41**: 73-86, [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(99\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(99)00010-7).
- Moreau M. (1979). A STRUCTURAL APPROACH TO SOCIAL WORK PRACTICE. *Canadian Journal of Social Work Education / Revue Canadienne D'éducation En Service Social*, **5**(1), 78-94. Retrieved June 7, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/41670012>
- Moullec F., Velez L., Verley P., Barrier N., Ulses C., Carbonara P. et al. (2019). Catching the big picture of the Mediterranean Sea biodiversity with an end-to-end model of climate and fishing impacts. bioRxiv, 593822. doi:10.1101/593822.
- Moutopoulos D.K. and Stergiou K.I. (2002) Length-weight and length-length relationships of fish species of the Aegean Sea (Greece). *J. Appl. Ichthyol.*, **18** (3): 200-203.
- Mugiya Y. and Watabe N. (1977) Studies of fish scale formation and resorption II. Effect of estradiol on calcium homeostasis and skeletal tissue resorption in the goldfish, *Carassius auratus*, and the killifish, *Fundulus heteroclitus*. *Comp Biochem Physiol [A]* **57**:197-202

- Nikolsky G.V. (1963) The ecology of fishes. Academic Press. 352 p.
- Nykjaer L. (2009) Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Clim. Res.*, **39**: 11–17.
- Ombredane D. & Richard A. (1990) Bull. Fr. Pêche Piscic. Détermination de la zone optimale de prélèvement d'écaillés chez les smolts de truites de mer (*Salmo trutta* L.) (319) 224-238 DOI: 10.1051/kmae:1990007
- Ounissi M. and Frehi H. (1999). Variabilité du microphytoplancton et des Tintinnidae (Protozoaires Ciliés) d'un secteur eutrophe du Golfe d'Annaba (Méditerranée sudoccidentale). *Cah. Biol. Mar.*, **40**: 141-153.
- Ounissi M., Frehi H. and Khelifi-Touhami M. (1998). Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du Golfe d'Annaba (Algérie). *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, **74** (1): 13-28.
- Panfili J. (1992) Estimation de l'âge individuel des poissons: méthodologies et applications des populations naturelles tropicales et tempérées. Thèse doctorat, Univ. Montpellier II Sci. Tech. Languedoc, France. 456 p.
- Panfili J., De Pontual H., Troadec H. and Wright P.J. (2002) Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition IFREMER-IRD, Panfili J, de Pontual H, Troadec H, Wright PJ (eds), France, 464 pp
- Pannella G. (1971) Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns. *Science*, **173**: 1124-1126
- Parmesan C. and Yohe G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, **421**: 37–42.
- Parry M.L. (2000) Assesment on Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: the Europe ACACIA Project. University of East Anglia, Norwich, UK. 320 p.
- Pastore M.A. (2009) *Sphyraena intermedia* sp. nov. (Pisces: Sphyraenidae): a potential new species of barracuda identified from the central Mediterranean Sea. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, **89**: 1299–1303.
- Paterson S.E. (1988) Group occurrence of great barracuda (*Sphyraena barracuda*) in the Turks and Caicos islands. *Bull. mar. Sci.*, **63**(3): 633-638.
- Pauly D. (1980) On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *CIEM* **39**: 175–192.
- Pauly D. (1984) Length-converted catch curves. A powerful tool for fisheries research in the tropics. (Part II). *ICLARM Fishbyte*, 2(1): 17-19.
- Pauly D. and Moreau J. (1997) Méthodes pour l'évaluation des ressources halieutiques. Collection Polytech de l'I.N.P. de Toulouse, Cépaduès-Edutions, France, p. 288.

- Pearson D.E. (1996) Timing of hyaline-zone formation as related to sex, location, and year of capture in otoliths of the widow rockfish, *Sebastes entellus*. *Fish. Bull.*, **94**: 190-197.
- Persson P. (1997) Calcium regulation during sexual maturation of female salmonids: Estradiol 17 α and calcified tissues. PhD Thesis, Göteborg University, 146 p.
- Petrakis G. and Stergiou K.I. (1995) Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fish. Res.*, **21**: 465-496.
- Pinkas L, Oliphant M.S. and Iverson I.L.K. (1971) Food habits of albacore, blue fin tuna, and bonito in California waters. Fish Bulletin 152, State of California, Department of Fish and Game, United States
- Poisson F. and Taquet M. (2001) L'espadon: de la recherche à l'exploitation durable. Programme Palangre Réunionnais, Rapport final, 248 p
- Poloczanska E.S., Burrows M. T., Brown C. J., García Molinos J., Halpern B. S., Hoegh-Guldberg O., et al. (2016). Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans. *Front. Mar. Sci.* 3. doi:10.3389/fmars.2016.00062.
- Popper A.N. and Coombs S. (1980) Auditory mechanisms in teleost fishes. *Am. Sci.*, **68**: 429-440.
- Pothin K., Gonzalez-Salas C., Chabanet P. and Lecomte-Finiger R. (2006) Distinction between *Mulloidichthys flavoneatus* juvenile from Reunion Island and Mauritius Island (southwest Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *J Fish Biol.*, **68**: 1-16
- Powell D.G. (1979) Estimation of mortality and growth parameters from the length-frequency in the catch. Rapp. P.-V. Réun. CIEM, **175**: 167-169.
- Psomadakis P.N., Scacco U. and Vacchi M. (2006) Recent findings of some uncommon fishes from the central Tyrrhenian Sea. *Cybium*, **30**: 297-304.
- Quignard J.P. and Tomasini J.A. (2000) Mediterranean fish biodiversity. *Biol. Mar. Medit.*, **7**: 1-66.
- Relini M. and Orsi-Relini L. (1997) The two species of barracuda (Sphyraenidae) in the western mediterranean. *Cybium*, **21**: 216-222.
- Roule L. (1940) Migration et fécondité des poissons. Librairie Delagrave. Paris, 256 p.
- Schwartz D. (1992) Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Flammarion (éds), Paris.
- Simkiss K. (1974) Calcium metabolism of fish in relation to ageing. In The ageing offish (Bagenal, T.B., ed.), pp. 1-12. Old Woking, Surrey, UK: Unwin Brothers Ltd.

- Sparre P. and Venema S.C. (1996) Introduction à l'évaluation des stocks de poissons tropicaux. Prem. part. Manuel. FAO Doc. Tech. Pêches, Rome: 306 (1), 401.
- Sparre P. (1987) Computer programmes for fish stock assessment. Length based Fish Stock Assessment (LFSA) for Apple II Computers. FAO Fish. Technical Paper 101, Suppl 2, 217pp.
- Takabayashi A. and Ohmura-Iwasaki T. (2003) Functional asymmetry estimated by measurements of otolith in fish. *Biol. Sci. Spa.*, **17**: 293-297.
- Takagi Y., Hirano T. and Yamada J. (1989). In vitro measurements of calcium influx into isolated goldfish scales in reference to the effects of putative fish calcemic hormones. *Zoological Science J.*, **6**: 83-89.
- Teissier G. (1948) La relation d'allométrie. Sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, **4**: 14-53.
- Tomlinson P. K. and Abramson N. S. (1961) Fitting on a Von Bertalanffy growth curve by least squares including tables of polynomials. *Fish. Bull.*, 116, 69p.
- Tortonèse E. (1975) Sphyraenidae. In: Fauna d'Italia, vol XI, Osteichthyes. Calderini (ed): 26-29.
- Tortonèse E. (1979) Sphyraenidae. In: Check-List of the Fishes of the North-Eastern Atlantic and of the Mediterranean. Clofnam I. (Hureau, J. C. & Monod, T. eds), p. 566. Paris: UNESCO.
- Tracey S.R., Lyle J.M. and Duhamel G. (2006) Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. *Fish. Res.*, **77**: 138-147.
- Tuset V.M., Lombarte A., Gonzalez J.A., Pertusa J.F. and Lorentes M.J. (2003)b Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp. *J. Fish Biol.*, **63**: 1491-1504.
- Tuset V. M., Lozano I.J., Gonzalez J.A., Pertusa J.F. and Garcia-Diaz M.M. (2003)a. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber *Serranus cabrilla* (L., 1758). *J. Appl. Ichthyol.*, **19**: 88-93.
- Tweddle D. and J.L. Turner (1977). Age, growth and natural mortality rates of some cichlid fishes of Lake Malawi. *J. Fish Biol.*, **10**(4):385-395.
- Ursin E. (1967) A mathematical model of some aspects of fish growth respiration and mortality. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **24**(11): 2355-2453. <https://doi.org/10.1139/f67-190>
- Vacchi M., Boyer M., Bussotti S., Guidetti P. and La Mesa G. (1999) Some interesting species in the coastal fish fauna of Ustica Island (Mediterranean Sea). *Cybium*, **23**: 323-331.

- Vaissiere R. and Fredj G. (1963). Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie. *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, Vol. 60. 1272, 83 p, 5 cartes.
- Velando A. and Freire J. (1999) Intercolony and seasonal differences in the breeding diet of European shags on the Galician coast (NW Spain). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **188**: 225-236.
- Vignon M. and Morat F. (2010) Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non-indigenous tropical fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **411**: 231-241.
- Villegas-Hernandez H., Munoz M. and Lloret J. (2014) Life-history traits of temperate and thermophilic barracudas (Teleostei: Sphyraenidae) in the context of sea warming in the Mediterranean Sea. *J. Fish Biol.*, **84**: 1940–1957.
- Von Bertalanffy L. (1938) A quantitative theory of organic growth. *Hum. Biol.*, **10**: 181–213.
- Walford L.A. (1946) A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull. Mar.*, **90**: 141-147.
- Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee, T.J.C. et al. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature.*, **416**: 389–395. doi:10.1038/416389a
- Wetherall J.A. (1986) A new method for estimating growth and mortality parameters from length-frequency data. *ICLARM Fishbyte*, **4** (1): 12-14.
- Wootton R.J. (1979) Energy costs of egg production and environmental determinants of fecundity in teleost fishes. *In*: Miller, P J., Fish Phenology: anabolic adaptiveness in teleosts. *Symp. zool. Soc. Lond.*, **44**: 133-159
- Yilmaz A. G., Hossain I., and Perera B.J.C. (2014) Effect of climate change and variability on extreme rainfall intensity–frequency–duration relationships: A case study of Melbourne. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **18**: 4065– 4076.
- Zengin G., Wersäll M., Nilsson S., Antosiewicz T.J, Käll M., and Shegai T. (2015) Realizing Strong Light-Matter Interactions between Single-Nanoparticle Plasmons and Molecular Excitons at Ambient Conditions. *Physical Review Letters* **114**: 157401
- Zischke M. and Griffiths S.P. (2015) Per-recruit stock assessment of wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the southwest Pacific Ocean. *Fish. Bull.*, **113**: 407–418.

ARTICLES
SCIENTIFIQUES

Using otolith shape analysis to distinguish barracudas *Sphyraena sphyraena* and *Sphyraena viridensis* from the Algerian coast

by

Nadjette BOUREHAIL (1), Fabien MORAT (2),
Raymonde LECOMTE-FINIGER (3) & M. Hichem KARA* (1)



© SFI
Received: 15 May 2015
Accepted: 23 Nov. 2015
Editor: G. Duhamel

Abstract. – Otolith shape analyses were conducted on two species of barracudas (*Sphyraena sphyraena* and *Sphyraena viridensis*) from the Gulf of Annaba (south-western Mediterranean). The otolith shape was described by elliptic Fourier descriptors from 14 harmonics and by five indices of shape (coefficient of form, roundness, circularity, rectangularity and ellipticity). The comparison through canonical discriminant analyses (CDA) was performed between species and between right and left otoliths. The CDA demonstrated strong discrimination of the two species, with significant differences and a high classification success. The percentage of well-classified individuals in predefined groups was higher than 80%. The combined use of morphometric variables (from indices) and external outlines (shape analysis through Fourier series) demonstrated the importance of otolith shape for interspecific discrimination.

Résumé. – Différenciation de deux espèces de barracudas (*Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*) des côtes de l'Est algérien par l'analyse de la forme des otolithes.

La forme des otolithes de deux espèces de barracudas (*Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*) du golfe d'Annaba (Algérie Nord-Est) est décrite par 14 harmoniques à l'aide des descripteurs elliptiques de Fourier et par cinq indices de forme (coefficient de forme, rondeur, circularité, rectangularité et ellipticité). L'analyse canonique discriminante est appliquée sur les otolithes droit et gauche de tous les individus considérés. Elle discrimine significativement les deux espèces avec un pourcentage d'individus bien classés supérieur à 80% dans les groupes prédéfinis. L'utilisation combinée de variables morphométriques (taille et forme) et des contours externes (analyse de forme à l'aide des séries de Fourier) montre l'importance de la forme des otolithes dans la discrimination interspécifique.

Key words

Sphyraenidae
Sphyraena sp.
Mediterranean
Otolith
Morphometry
Shape

In the Mediterranean Sea, the *Sphyraena* genus includes five species: *S. sphyraena* (Linnaeus, 1758), *S. chrysotaenia* Klunzinger, 1884, *S. flavicauda* Rüppell, 1838 and *S. viridensis* Cuvier, 1829 (Tortonèse, 1979; Ben-Tuvia, 1986; Fisher *et al.*, 1987; Fredj and Maurin, 1987; Quignard and Tomasini, 2000; Golani *et al.*, 2002). *Sphyraena sphyraena* is present in the eastern Atlantic from the Bay of Biscay to Angola, and in the western Atlantic from Bermuda to Brazil (Fisher *et al.*, 1987). *S. chrysotaenia* is an Indo-Pacific species, considered a Lessepsian migrant, and is encountered only in the eastern Mediterranean basin (Golani, 1996). *Sphyraena flavicauda* was recorded by Golani (1992) in Israel, by Bilecenoglu *et al.* (2002) in Turkey (Antalya Bay) and later in Libya (Ben Abdallah *et al.*, 2005). *S. viridensis* is known to be present off the Eastern Central Atlantic: Cape Verde, Canary Islands and also in Azores Islands (Barreiros *et al.*, 2002). It is reported in the eastern Mediterra-

nean, from coasts of Lebanon, Egypt and Israel (George *et al.*, 1971; Tortonèse, 1979; Ben-Tuvia, 1986; Allam *et al.*, 2004). However, its exact distribution and abundance are unknown because most published records do not separate it from *Sphyraena sphyraena*. Pastore (2009) described a new species, *Sphyraena intermedia*, in the Gulf of Taranto in the central Mediterranean Sea. The latter is distinguished from its congeners by the form of its body, its otoliths, its teeth and its pyloric caeca (Pastore, 2009).

Recently, several studies have reported a broader distribution of *Sphyraena viridensis*, in the northern Mediterranean Sea (Bizsel and Cihangir, 1996; Relini and Orsi-Relini, 1997; Dulčić and Soldo, 2004; Kožul *et al.*, 2005; Psomadakis *et al.*, 2006; Dulčić *et al.*, 2009; Kalogirou *et al.*, 2012) and in the southern Mediterranean Sea (Corsini and Economidis, 1999; Vacchi *et al.*, 1999; Kara and Bourehail, 2003). The presence of the species in the southern Mediter-

(1) Laboratoire bioressources marines, Université d'Annaba Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. [nadjetteb@yahoo.fr]

(2) IRSTEA - Centre d'Aix-en-Provence, UR RECOVER, Équipe FRESHCO, CS 40061, 3275 route de Cézanne, 13182 Aix-en-Provence CEDEX 5, France. [fabien.morat@irstea.fr]

(3) UMR 5244 CNRS-EPHE-UPVD, Biologie et écologie tropicale et méditerranéenne (récifs coralliens), Université de Perpignan, Perpignan CEDEX, France. [civelle66@gmail.com]

* Corresponding author [kara_hichem@yahoo.com]



Young-of-the-Year Yellowmouth Barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) Growth in Eastern Algeria Based on Otolith Microstructure Analysis

Nadjette Bourehail¹ · M. Hichem Kara¹

Received: 3 June 2020 / Revised: 14 August 2020 / Accepted: 7 September 2020 / Published online: 15 September 2020
© Springer Nature Switzerland AG 2020

Abstract

Age estimates were made on otoliths of 32 young-of-the-year (YOY) Barracuda, *Sphyraena viridensis* Cuvier (1829), captured in the south-western Mediterranean Sea. Increments were observed in Barracuda sagittae sectioned in a transverse plane and viewed with light microscopy. Increment counts were made for age estimation. Estimated ages ranged from 27 to 299 days of fish ranging in size from 15.9 to 38.9 cm total length (TL). The observed mean growth rate is 3.487 mm.day⁻¹. Decreasing growth performance is evidenced according to age: 3.822 mm.day⁻¹ between 159 and 302 mm (27–139 days), 1.596 mm.day⁻¹ between 352 and 389 mm (172–299 days).

Keywords Daily growth rate · Sagittae · *Sphyraena viridensis* · Eastern Algeria

Introduction

Otoliths naturally log data that record and store information in their microstructure and chemistry at different spatio-temporal scales related to growth and habitat use by fish (Kalish 1989; Campana 1999; Yamashita et al. 2000; Berg et al. 2005). Because of the information they contain, otoliths are unique and the single most important biological structure in the teleost fish body (Berg et al. 2005). The discovery of daily increments has made the interpretation of otolith microstructure a major tool for investigating the early life history of fishes (Pannella 1971). The presence of daily increments has now been verified for a wide variety of species (Jones 1986).

Family Sphyraenidae (Barracudas) contains one genus *Sphyraena* which includes twenty-one species (Nelson 2006). They are pelagic to demersal fishes, single or in schools. Four Sphyraenidae species occur in the Mediterranean Sea, two of which, *Sphyraena chrysotaenia* (Klunzinger, 1884) and *S. flavicauda* (Ruppell, 1838) are of Red Sea origin (Golani et al. 2006). *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) is an Atlanto-Mediterranean species found from Iceland to Morocco and Cape Verde, Madeira Island,

the Canaries and the Azores (Ben-Tuvia 1986; Froese and Pauly 2014). However, its exact distribution and abundance is unknown (Kara and Bourehail 2003). Golani et al. (2006) noted that it occurs mainly in the southern Mediterranean. Milana et al. (2014) reported that *S. viridensis* is a native Mediterranean species, with an occurrence no longer rare and suggested as having a north ward distributional expansion. In many reports, *S. sphyraena* (Linnaeus, 1758) and *S. viridensis* are considered as the juvenile and adult of the same species *S. sphyraena* (Relini and Orsi-Relini 1997; Vacchi et al. 1999; Golani et al. 2006). Pastore (2009) describe a new species *S. intermedia* and believe that it is not hybrid between *S. sphyraena* and *S. viridensis*. Considering otolith shape, Bourehail et al. (2015) distinguish the two species *S. sphyraena* and *S. viridensis*.

In Mediterranean, Sphyraenidae, all species combined, have an average annual production of 1000 T in 2014 (FAO 2016). In western Mediterranean, *S. viridensis* is becoming more and more present in fisheries (Azzurro et al. 2011) and has become very common on the Algerian coasts since the early 1990s where it is highly appreciated by consumers.

Despite its ecological interest as indicator of Mediterranean warming (<http://www.ciesm.org/marine/programs/tropicalization.htm>) and its economic importance, information on the biology and dynamics of *S. viridensis* is extremely limited. Only Allam et al. (2004) studied its growth in Egyptian waters. Villegas-Hernandez et al. (2014) compared its reproduction with those of *S. sphyraena* in the

✉ M. Hichem Kara
kara_hichem@yahoo.com

¹ Laboratoire bioressources marines, Université d'Annaba Badji Mokhtar, Annaba, Algeria

**FIRST RECORD OF THE INDO-PACIFIC YELLOWTAIL BARRACUDA,
SPHYRAENA FLAVICAUDA (ACTINOPTERYGII: PERCIFORMES: SPHYRAENIDAE),
IN THE WESTERN MEDITERRANEAN**

M. Hichem KARA* and Nadjette BOUREHAIL

Laboratoire Bioressources Marines, Université d'Annaba Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

Kara M.H., Bourehail N. 2020. First record of the Indo-Pacific yellowtail barracuda, *Sphyraena flavicauda* (Actinopterygii: Perciformes: Sphyraenidae), in the Western Mediterranean. Acta Ichthyol. Piscat. 50 (3): 363–366.

Abstract. One specimen of the yellowtail barracuda, *Sphyraena flavicauda* Rüppell, 1838, is recorded for the first time in the Western Mediterranean, on the eastern coast of Algeria. The specimen had a TL of 39.5 cm and was caught in February 2019. Its morphometric characteristics are described and the chronology of its spread in the Mediterranean is given. This species is the ninth Lessepsian migrant fish reported from Algeria.

Keywords: yellowtail barracuda, *Sphyraena flavicauda*, Lessepsian migration, Mediterranean, Algeria.

INTRODUCTION

The family Sphyraenidae is represented by a single genus that accommodates 28 species (Froese and Pauly 2019). Five species are found in the Mediterranean: *Sphyraena sphyraena* (Linnaeus, 1758), *Sphyraena viridensis* Cuvier, 1829, *Sphyraena chrysotaenia* Klunzinger, 1884, *Sphyraena flavicauda* Rüppell, 1838, and *Sphyraena obtusata* Cuvier, 1829. The latter three are Lessepsian migrants arrived from the Red Sea via the Suez Canal (Quignard and Tomasini 2000, Shakman and Kinzelbach 2007).

The yellowtail barracuda, *Sphyraena flavicauda*, is widely distributed in tropical and subtropical Indo-West Pacific from South Africa to Micronesia; north to southern Japan and Red Sea. However, its exact range is uncertain because of confusion with *S. obtusata* (see Senou 2001). In the Mediterranean, *S. flavicauda* was first recorded in Israel on 13 May 1991 (1 specimen, 325 mm TL) (Golani 1992) where its distribution and abundance have been estimated as limited (Golani 1998, Golani et al. 2002). In 1998, it was common and exploited in Alexandria, Egypt (Allam et al. 1999) and eastern Libya (Ben Abdallah et al. 2003). In June 2001, Bilecenoglu et al. (2002) captured two individuals (332–337 mm SL) in Antalya Bay, Turkey. Two years later, 5 individuals (224–334 mm SL) were reported around the island of Rhodes (Greece) at the depth of 30–50 m (Corsini et al. 2005). The last record in 2014 comes from Tunisia where 5 individuals (3 females and 2 males, 296–343 mm TL) were caught in the Gulf of Gabès where the species is considered to be established (Ounifi-Ben Amor et al. 2016).

Inshore-pelagic *S. flavicauda* is a commercially important species throughout its native geographical distribution area where it can reach 60 cm TL (common size = 40 cm TL). Inhabiting coral reefs or bays, it is usually seen during the day in large schools (Senou 2001) eating fish and large invertebrates (Golani et al. 2002, Osman et al. 2019). In Egyptian Mediterranean waters, it also consumes fish, especially *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) (see Allam 1999), reaches its first sexual maturity at 25.5 and 28.0 cm TL in males and females, respectively and lays its eggs between May and September with a mean fecundity between 84 197 and 260 549 eggs (28.0–40.0 cm TL) (Allam et al. 2004).

In this paper, we report for the first time the presence of the yellowtail barracuda, *Sphyraena flavicauda*, in the southwest Mediterranean, off the eastern coasts of Algeria.

MATERIAL AND METHODS

On 19 February 2019, one of the authors (KMH) collected from a fishmonger in the city of Annaba a 39.5 cm TL (258 g TW) individual of *S. flavicauda*. Caught by small trades in Chétaibi region, 60 km west of Annaba (Fig. 1), this specimen was mingled with other individuals of the same size belonging to the congener species *S. sphyraena*.

The specimen was identified to species following Golani (1992) and Senou (2001). It was distinguished from the two indigenous sphyraenids (*S. sphyraena* and *S. viridensis*) by the location of the pectoral fin above the pelvic fin and from the Red Sea immigrant *S. chrysotaenia* by the pectoral fin not reaching the vertical line of dorsal fin

* Correspondence: Prof. M. Hichem Kara, Laboratoire bioressources marines, Université d'Annaba, Annaba, Algérie, phone: +213 770 31 24 58, e-mail: (MHK) kara_hichem@yahoo.com, (NB) nadjetteb@yahoo.fr, ORCID: (MHK) 0000-0002-3634-3668, (NB) 0000-0001-5710-6912.

Original Article

Cite this article: Bourehail N, Kara MH (2021). Age, growth and mortality of the yellowmouth barracuda *Sphyraena viridensis* (Sphyraenidae) from eastern coasts of Algeria. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 1–10. <https://doi.org/10.1017/S0025315421000394>

Received: 10 September 2020

Revised: 16 April 2021

Accepted: 5 May 2021

Key words:

Annaba Gulf; growth; Mediterranean; mortality; otoliths; population dynamics

Author for correspondence:

M. Hichem Kara,

E-mail: kara_hichem@yahoo.com

Age, growth and mortality of the yellowmouth barracuda *Sphyraena viridensis* (Sphyraenidae) from eastern coasts of Algeria

Nadjette Bourehail  and M. Hichem Kara 

Laboratoire Bioressources Marines Université d'Annaba Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

Abstract

Age and growth of the yellowmouth barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) was examined in 698 individuals ($184 < TL \text{ (mm)} < 1210$; $25 < TW \text{ (g)} < 7125$), sampled monthly from commercial catches in eastern coasts of Algeria between January 2007 and January 2008. Marginal increment analysis of 159 sectioned sagittal otoliths combined with information derived from length–frequency distribution showed that annulus formation occurs between June and August. Maximum observed age of males and females is 14 and 13 years respectively. Back calculations of total length-at-age were used to fit the data to the Bertalanffy growth model: $TL = 1113(1 - e^{-0.165(t+2.251)})$ in males and $TL = 958.3(1 - e^{-0.247(t+1.422)})$ in females. The coefficient of allometry of the length weight relationship is 3.02 and 2.99 in males and females, respectively. Growth performance index $\Phi = 3.33$. Natural mortality (M) was estimated as 0.45 year^{-1} , fishing mortality (F) was 0.06 year^{-1} and the exploitation rate (E) was 0.11.

Introduction

The family Sphyraenidae consists of a single genus, *Sphyraena*, which includes 21 species (Nelson, 2006). These species exhibit a pelagic to demersal habit and both solitary and schooling behaviour. Four species occur in the Mediterranean Sea, two of which, *Sphyraena chryso-taenia* (Klunzinger, 1884) and *S. flavicauda* (Ruppell, 1838), are of Red Sea origin (Kara & Bourehail, 2020).

Sphyraena viridensis (Cuvier, 1829) is typically an Atlanto-Mediterranean species. It is known from Iceland to Morocco and Cape Verde, Madeira Island, the Canaries and the Azores (Ben-Tuvia, 1986; Froese & Pauly, 2014). However, its complete distribution remains unknown because most published works do not separate it from *S. sphyraena* (Linnaeus, 1758) (Kara & Bourehail, 2003). Several investigators have reported these two species as juveniles and adults of the same species, *S. sphyraena* (Relini & Orsi-Relini, 1997; Vacchi *et al.*, 1999; Golani *et al.*, 2006). Pastore (2009) described a new species, *S. intermedia*, and stated that it is not a hybrid between *S. sphyraena* and *S. viridensis*.

Three main morphological characteristics have been suggested to avoid misidentification between *S. viridensis* and *S. sphyraena* (Relini & Orsi-Relini, 1997; Kozul *et al.*, 2005): preoperculum scale pattern (entirely scaled in *S. sphyraena* but not in *S. viridensis*), pectoral fin rays (13 in *S. sphyraena*, 15 in *S. viridensis*) and scales above the lateral line (15–17 in *S. sphyraena*, 21–22 in *S. viridensis*). Bourehail *et al.* (2015) distinguished the two species using otolith morphology.

Sphyraena viridensis is a predatory ray-finned fish. It has a long fusiform body, a long streamlined pointed snout, a long mouth lined with two rows of sharp, fang-like teeth and a jutting lower jaw. There are numerous transverse dark bars on the dorsum that are longer, extending below the lateral line. The colouration is countershaded dark above and silvery below, and the barring fades on dead specimens. Juveniles are described as dark yellow or greenish in colour.

In the Mediterranean, Sphyraenidae (all species combined) reached an annual production of 1800 T (metric tons) in 2018 (FAO, 2020). In the western Mediterranean, *S. viridensis* is becoming increasingly present in fisheries (Azzurro *et al.*, 2011) and has become very common on the Algerian coasts since the early 1990s, where it is highly sought by consumers. It is taken from sandy bottoms (20 m) by fishermen using trammel nets and beach seines.

Despite its ecological interest as an indicator of Mediterranean warming (http://www.ciesm.org/marine/programs/Moschella_wk35.pdf) and its economic importance, very little is known about the life history and dynamics of *S. viridensis*. Allam *et al.* (2004) described its growth in Egyptian waters, Villegas-Hernández *et al.* (2014) compared its reproduction with that of *S. sphyraena* in the Roses Gulf (north-western Mediterranean), and Kalogirou *et al.* (2012) analysed the diet of specimens from the Rhodes Island coast (eastern Mediterranean). In the Atlantic, Fontes & Afonso (2017) studied the ecology of the species using underwater visual census and telemetry. However, no studies have been carried out in the south-western Mediterranean.



Communications scientifiques

1. Morphologie et caractères biologiques du Barracuda *Sphyraena sphyraena* (L, 1758) des côtes de l'Est Algérien.
Euromediterranean Workshop on Animal Ecology. Annaba novembre 22-24, 2004.
Communication affichée.
2. Présentation de trois espèces nouvelles pour l'ichtyofaune marine algérienne.
International Workshop. Marine and costal Protected Areas. Meknès 23-25 mars 2005.
Communication affichée.
3. Caractérisation morphométrique et biologie du Barracuda *Sphyraena sphyraena* (L, 1758) des côtes de l'Est Algérien.
Troisièmes rencontres de l'ichtyologie en France, RIF 2006. (Paris) du 28 au 31 mars 2006.
Communication orale.
4. Discrimination de deux poissons Sphyraenidés *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis* par l'analyse de forme de fourier appliquée aux otolithes.
Troisième Congrès franco-tunisien de Zoologie. Tabarka (Tunisie), 3-7 novembre 2006.
Communication orale.
5. Relation biométrique chez le Barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) des côtes de l'Est Algérien.
Premier Congrès Méditerranéen d'Océanologie. Alger (Algérie), 20-22 novembre 2006
Communication affichée.
6. Age, croissance et reproduction du barracuda *Sphyraena viridensis* (sphyraenidae) des côtes de l'Est Algérien.
Trente neuvième Congrès de la CIESM (Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée), Venise (Italie) du 10 au 14 mai 2010
Communication orale.
7. Régime alimentaire du Barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) des côtes de l'Est Algérien
Septièmes rencontres de l'ichtyologie en France, RIF 2018. (Paris) du 27 au 30 mars 2018.
Communication affichée.
8. Young-of-the-year Yellowmouth barracuda *Sphyraena viridensis* (Cuvier, 1829) growth in Eastern Algeria based on otolith microstructure analysis.
6th International Otolith Symposium 2018, 15 - 20 April Keelung, Taiwan
Communication affichée.

RÉSUMÉS

Résumé

L'étude taxonomique des Sphyraenidés des côtes de l'Est algérien nous a permis d'identifier deux espèces *Sphyraena sphyraena* et *Sphyraena viridensis*. Nous abordons dans ce travail la biologie de ces deux espèces, notamment la morphologie, la reproduction, l'alimentation et la croissance. Un total de 2778 spécimens a été examiné durant cette étude.

L'analyse des caractères morphologiques et numériques nous a permis de mieux situer ces espèces dans la famille de Sphyraenidés. Les différences morphologiques notées nous ont permis de confirmer la clef dichotomique présentée par d'autres auteurs. Ainsi le genre *Sphyraena* est représenté en Algérie par les trois espèces *Sphyraena sphyraena*, *Sphyraena viridensis* et *Sphyraena flavicauda*. Les deux premières espèces sont assez abondantes, la troisième a été récemment signalée pour la première fois sur les côtes algériennes.

L'étude de la stratégie de reproduction a montré que la période de ponte se déroule de mai à août chez *Sphyraena sphyraena*. Elle est précoce chez *Sphyraena viridensis* et elle s'effectue de février à mai. Chez les deux espèces de sphyrènes étudiées, les réserves vitellines sont emmagasinées au niveau du foie. Ceci permet de considérer ces espèces comme des poissons maigres. L'analyse des variations saisonnières du sex-ratio des deux espèces montre en général une dominance apparente des femelles par rapport aux mâles. *S. sphyraena* se reproduit à partir de l'âge de 2 ans. Les femelles sont matures à une taille de 26,1 cm. Les mâles le deviennent à partir de 30,2 cm. Le barracuda à bouche jaune *Sphyraena viridensis* se reproduit à partir de sa troisième année avec une taille de première maturité sexuelle de 62.5 cm de longueur totale.

Le régime alimentaire a été étudié en analysant les contenus stomacaux de 1281 poissons. Parmi lesquels, 312 avaient l'estomac vide chez *S. sphyraena* ce qui correspond à un coefficient de vacuité stomacale de 53,5%. Par contre 159 individus seulement de *S. viridensis* avaient l'estomac vide, ce qui conduit à un coefficient de vacuité de 22,7%. L'alimentation est essentiellement à base de Clupéidés et d'anchois.

Plusieurs méthodes directes (otolithométrie et scalimétrie) et indirecte ont servi efficacement à déterminer l'âge individuel chez les deux espèces *S. sphyraena* et *S. viridensis*. Par ailleurs, une étude approfondie de la croissance des Sphyrènes a mis en évidence un taux de croissance élevé chez les jeunes individus, ce taux est plus faible chez les adultes. D'autre part aucune différence de croissance significative n'a été remarquée au sein de chaque espèce. Cependant, pour les individus de grande taille, les mâles présentent des tailles maximales relativement supérieures à celles des femelles chez *S. viridensis*.

La relation taille-masse, montrent une allométrie minorante aussi bien chez les femelles que chez les mâles de *S. sphyraena*. Cette allométrie est isométrique pour les mâles et les femelles ainsi que pour les sexes réunis de *S. viridensis*.

Mots clés: *Sphyraenidae*, *Sphyraena sphyraena*, *Sphyraena viridensis*, systématique, biologie, dynamique de population, otolithe, âge, croissance journalière, Golfe d'Annaba, Algérie, Méditerranée.

مكنتنا الدراسة التصنيفية لـ Sphyraenidae سواحل شرق الجزائر من التعرف على نوعين *Sphyraena* *sphyraena* *Sphyraena viridensis* في هذا العمل ، نناقش بيولوجيا هذين النوعين ، تم فحص ما مجموعه 2778 عينة خلال هذه الدراسة.

سمح لنا تحليل الخصائص المورفولوجية والرقمية بتحديد موقع هذه الأنواع بشكل أفضل في عائلة Sphyraenidae. سمحت لنا الاختلافات المورفولوجية التي لوحظت بتأكيد المفتاح الذي قدمه مؤلفون آخرون. وهكذا يتم تمثيل جنس *Sphyraena* *Sphyraena viridensis* *Sphyraena sphyraena* *Sphyraena flavicauda*. النوعان الأولان موجودان بكثرة ، والثالث تم الإبلاغ عنه مؤخرًا لأول مرة على السواحل الجزائرية.

هزت دراسة إستراتيجية التكاثر أن فترة وضع البيض تتم من فيفري إلى ماي في *Sphyraena* *sphyraena*. إنه *Sphyraena viridensis* ويحدث من فبراير إلى مايو. sphyrenes المدروسين ، يتم تخزين احتياطيّات الحيوية . هذا يجعل من الممكن اعتبار هذه الأنواع من الأسماك الخالية من الدهون. يُظهر تحليل الاختلافات الموسمية في نسبة الجنس لكلا النوعين بشكل عام هيمنة واضحة للإناث على الذكور. *sphyraena* 2 . 26.1 . يصبح الذكور كذلك 30.2 . يتكاثر البركودا أصفر الفم *Sphyraena viridensis* عامه الثالث ويبلغ الطول الإجمالي عند النضج الجنسي الأول 62.5 . النظام الغذائي من خلال تحليل محتويات معدة 1281 . من بينهم ، 312 لديهم معدة فارغة في *S. sphyraena* وهو ما يتوافق 53.5 . من ناحية أخرى ، كان لدى 159 *S. viridensis* 22.7 . يعتمد النظام الغذائي بشكل أساسي على Clupeidae . استخدام العديد من الطرق المباشرة وغير المباشرة بشكل فعال لتحديد العمر الفردي في النوعين *S. sphyraena* *S. viridensis*. أظهرت دراسة متعمقة لنمو Sphyrenes معدل نمو مرتفع في الأفراد الشباب ، وهذا المعدل أقل عند البالغين. من ناحية أخرى ، لم يلاحظ أي اختلاف كبير في النمو داخل كل نوع. الكبار ، يكون للذكور أحجام قصوى أكبر نسبيًا من الإناث في *S. viridensis*. تظهر العلاقة بين الحجم والكتلة انخفاضًا في قياس التباين في كل من الإناث والذكور من *S. sphyraena*. هذا القياس هو متساوي القياس للذكور والإناث وكذلك *S. viridensis*.

Sphyraenidae : *Sphyraena sphyraena* *Sphyraena viridensis* ، علم الأحياء ، ديناميات ، العمر ، النمو اليومي ، خليج عنابة ، الجزائر ، البحر الأبيض المتوسط.

Summary

The taxonomic study of Sphyraenidae from the eastern coasts of Algeria enabled us to identify two species *Sphyraena sphyraena* and *Sphyraena viridensis*. In this work, the biology, including morphology, reproduction, diet and growth of these two species were discussed. 2778 specimens were examined during this study.

The analysis of morphological and numerical characters allowed us to better situate these species in the Sphyraenidae family. The observed morphological differences allowed us to confirm the dichotomous key presented by other authors. Thus the genus *Sphyraena* is represented in Algeria by the three species *Sphyraena sphyraena*, *Sphyraena viridensis* and *Sphyraena flavicauda*. The first two species are quite abundant; the third was recently reported for the first time on the Algerian coasts.

The study of reproduction strategy showed that the egg-laying period takes place from May to August in *Sphyraena sphyraena*. It is precocious in *Sphyraena viridensis* occurring from February to May. In the two studied species, the vitelline reserves are stored in the liver. This makes it possible to consider these species as lean fish.

Analysis of the seasonal variations in the sex ratio of the two species generally shows an apparent dominance of females over males. *S. sphyraena* breeds from the age of 2 years. *S. sphyraena* reproduces from the age of 2 years. Maturation of females and males takes place from a size of 26.1 and 30.2 cm, respectively. The Yellowmouth barracuda *Sphyraena viridensis* breeds from its third year with a size at first sexual maturity of 62.5 cm in total length.

The diet was studied by analyzing the stomach contents of 1281 fish. Among which, 312 had an empty stomach in *S. sphyraena*, which corresponds to a stomach emptiness coefficient of 53.5%. On the other hand, only 159 individuals of *S. viridensis* had an empty stomach, which leads to an emptiness coefficient of 22.7%. The diet is mainly based on Clupeidae and anchovies.

Several direct (otolithometry and scalimetry) and indirect methods have been used effectively to determine individual age in the two species *S. sphyraena* and *S. viridensis*. In addition, further study of the growth showed a high growth rate in young individuals, unlike in adults. On the other hand, no significant growth difference was noticed within each species. However, for large individuals, males have relatively larger maximum sizes than females in *S. viridensis*. The length–weight relationship shows a minorate allometry in both females and males of *S. sphyraena*. This allometry is isometric for males and females as well as for the sexes combined of *S. viridensis*.

Keywords: Sphyraenidae, *Sphyraena sphyraena*, *Sphyraena viridensis*, systematics, biology, population dynamics, otolith, age, daily growth, Gulf of Annaba, Algeria, Mediterranean.