

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme

D'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer

Option : Halieutique

Thème

**Estimation des paramètres du modèle bioénergétique DEB
(*Dynamic Energy Budget*) pour étudier la croissance et la
reproduction de quelques espèces de Sparidae et de Soleidae
des côtes algériennes**

Réalisé par : ZEROUAL Hanane

Soutenu le 28/10/2018 à 12h30 devant le jury composé de :

Mr KABRANE A.	Maître assistant A	ENSSMAL	Président
Mme BOUGHAMOU N.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice
Mr KASSAR A.	Maître assistant A	ENSSMAL	Examineur
Mme BOUFESSAOUI S.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Promotrice

Année universitaire : 2017 - 2018

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme

D'Ingénieur d'état en Sciences de la Mer

Option : Halieutique

Thème

**Estimation des paramètres du modèle bioénergétique DEB
(*Dynamic Energy Budget*) pour étudier la croissance et la
reproduction de quelques espèces de Sparidae et de Soleidae
des côtes algériennes**

Réalisé par : ZEROUAL Hanane

Soutenu le 28/10/2018 à 12h30 devant le jury composé de :

Mr KABRANE A.	Maître assistant A	ENSSMAL	Président
Mme BOUGHAMOU N.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice
Mr KASSAR A.	Maître assistant A	ENSSMAL	Examineur
Mme BOUFESSAOUI S.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Promotrice

Remerciements

Mes premiers remerciements vont au bon dieu le tout puissant, pour la force, la volonté et la patience qu'il m'a donnée pour mener à bien ce travail.

*J'apprécie vivement l'honneur que me fait Monsieur **KABRANE A.**, Maître-assistant A à l'ENSSMAL, d'avoir accepté de présider ce jury en dépit de ses occupations.*

*Je tiens à remercier vivement Mme **BOUGHAMOU N.**, Maître de conférences B à l'ENSSMAL, d'avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de mes plus sincères remerciements*

*C'est avec un immense plaisir que je remercie Mr **KASSAR A.**, Maître-assistant A à l'ENSSMAL, qui me fait l'honneur de juger ce mémoire et pour ses précieux conseils ; qu'il trouve ici l'expression de mes vifs remerciements.*

*Je tiens tout particulièrement à remercier Mme **BOUFFERSAOUI S.** qui m'a donnée la chance de réaliser ce travail de fin d'études. J'ai beaucoup appris et réellement apprécié ses conseils.*

Je tiens ensuite à remercier chaleureusement Mr Bas Kooijman de l'université d'Amsterdam, qui m'a aimablement guidée par sa mise à ma disponibilité de son livre sur la théorie de DEB, et aussi pour sa disponibilité et son aide à répondre à nos interrogations sur cette nouvelle théorie.

J'adresse mes plus vifs remerciements et mes sincères reconnaissances et gratitude à tous les enseignants de l'ENSSMAL qui ont contribué à ma formation ; le personnel de la bibliothèque pour leurs patience, collaboration et gentillesse.

Avec une énorme joie et infini plaisir, je remercie les prunelles de mes yeux, aux deux personnes les plus chères de ma vie, pour leur soutien, leur amour et leur patience : mes chers parents qui m'ont guidé depuis mon enfance vers le chemin du savoir.

Un grand merci pour ma famille, mon cher frère et mes deux adorables sœurs qui ont toujours été à mes côtés.

Merci aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, ma sœur Samia, mes collègues d'étude, et frères de cœur.

Chapitre I. Données générales

Introduction	1
1. Présentation de la zone d'étude : le bassin algérien	4
2. Présentations des espèces étudiées	4
2.1. Position systématique	5
2.2. Description morphologique	5
2.2.1. <i>Lithognatus mormyrus</i> (Linnaeus, 1758)	5
2.2.2. <i>Pagellus acarne</i> (Risso, 1827)	6
2.2.3. <i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)	6
2.2.4. <i>Microchirus azevia</i> (de Brito Capello, 1867)	7
2.2.5. <i>Dicologlossa cuneata</i> (Moreau, 1881)	7
2.3. Répartition et reproduction des espèces	8
2.3.1. <i>Lithognatus mormyrus</i> (Linnaeus, 1758)	8
2.3.2. <i>Pagellus acarne</i> (Risso, 1826)	8
2.3.3. <i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)	9
2.3.4. <i>Microchirus azevia</i> (de Brito Capello, 1867)	9
2.3.5. <i>Dicologlossa cuneata</i> (Moreau, 1881)	10
2.4. Noms vernaculaires	10

Chapitre II. Matériel et méthodes

1. Echantillonnage	12
2. Présentation et description du modèle DEB	12
2.1. Définition des variables du modèle DEB	14
2.2. Définition des paramètres DEB	16
2.3. Description des données d'entrées pour l'obtention des paramètres DEB	19
2.3.1. Données à variation nulle (<i>Zero variate data</i>)	19
2.3.1.1. Age et taille à la puberté (première maturité sexuelle)	19
2.3.1.2. Age, longueur et poids maximaux	19
2.3.1.3. Age et poids à la naissance	20
2.3.1.4. Reproduction maximale par jour (Ri)	20
2.3.2. Données uni-variées (Univariate data)	21
2.3.2.1. Données taille-poids	21

2.3.2.2. Données âge-longueur	21
2.3.3. Procédure de calcul sur Matlab	22
2.3.4. Calcul statistique « La méthode de la covariation ».....	23

Chapitre III. Résultats et discussions

1. Présentation des données d'entrée.....	26
2. Estimation des paramètres DEB	30
2.1. Taille et forme individuelle	30
2.2. Nourriture et assimilation	31
2.3. La maintenance.....	33
2.4. Fraction d'allocation à la croissance et à la maintenance somatique	35
3. Modélisation bioénergétique de la croissance.....	36
4. Etude bioénergétique de la reproduction.....	39
Conclusion.....	42
Références bibliographiques.....	44
Annexe	51
Résumé	54

Liste de figures

Figure I. 1. Carte montrant les subdivisions du bassin algérien et les zones d'échantillonnage.	4
Figure I. 2. Morphologie et critères de reconnaissance de <i>Lithognathus mormyrus</i>	6
Figure I. 3. Morphologie et critères de reconnaissance de <i>Pagellus acarne</i>	6
Figure I. 4. Morphologie et critères de reconnaissance de <i>Boops boops</i>	7
Figure I. 5. Morphologie et critères de reconnaissance de <i>Microchirus azevia</i>	7
Figure I. 6. Morphologie et critères de reconnaissance de <i>Dicologlossa cuneata</i>	8
Figure II. 1. Flux d'énergie à travers un individu au stade adulte suivant la théorie DEB.	15
Figure III. 1. Présentation des données univariées taille-âge et taille-poids pour les cinq espèces étudiées.....	29
Figure III. 2. Les valeurs de la conductance énergétique ($T_{ref} = 20 \text{ }^\circ \text{C}$) en fonction de la longueur structurelle maximale des espèces de la famille des Sparidae et des Soleidae.....	32
Figure III. 3. Coût pour la structure [EG] et coût somatique spécifique [P_M] en fonction de la longueur structurelle maximale pour 7espèces de Sparidés et 3 espèces de Soleidés.....	35
Figure III. 4. La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique κ pour l'ensemble des espèces de Sparidae et de Soleidae	36
Figure III. 5. Présentation des courbes de croissance de von Bertalanffy modélisées par le modèle DEB de <i>B. boops</i> , <i>P. acarne</i> , <i>L. mormyrus</i> , <i>D. cuneata</i> et <i>M. azevia</i>	38
Figure III. 6. Histogramme des fréquences du diamètre ovocytaire chez <i>Boops boops</i>	41
Figure III. 7. Histogramme des fréquences du diamètre ovocytaire chez <i>M. azevia</i>	41

Liste des tableaux

Tableau II. 1. Nombre d'effectifs échantillonnés par espèce et pour chaque étude	12
Tableau II. 2. Définition des paramètres du modèle DEB standard (Meer <i>et al.</i> , 2014).....	16
Tableau II. 3. Description des données d'entrée du modèle DEB standard	18
Tableau III. 1 : les données d'entrée : données à variation nulle (<i>zero variate data</i>), les pseudos données obtenu pour : <i>B. boops</i> , <i>L. mormyrus</i> , <i>P. acarne</i> , <i>D. cuneata</i> et <i>M. azevia</i>	28
Tableau III. 2 : facteur accélérateur, facteur de forme et facteur de zoom de quelque espèces de Sparidés et de Soliedés ($T_{ref} = 20^{\circ}C, f=1$).....	31
Tableau III. 3. Le facteur d'accélération de 7 espèces de Sparidés et 3 espèces de Soleidés avec leur habitat marin, la saison de frai et la température moyenne de l'eau au frai en Méditerranée.....	33
Tableau III. 4. Les coûts énergétiques pour de la maintenance somatique PM , les coûts pour la structure (E_G) et les valeurs de l'investissement énergétique dans les transitions du cycle de vie EHb , EHj et EHp pour 7 espèces de Sparidés et 3 espèces de Soleidés.	34
Tableau III. 5- présentation des données de la croissance observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez les cinq espèces étudiées	38
Tableau III. 6. Présentation des données de la reproduction observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez les cinq espèces étudiées.....	41

Introduction

La plupart des poissons marins y compris ceux qui fréquentent la Méditerranée, se caractérisent par des cycles de vie complexes comprenant plusieurs stades de développement distincts (œuf, larve, juvénile, adulte). La durée entre chaque deux stades dépend de l'espèce et des conditions environnementales. Les stades larvaire et juvénile peuvent avoir une influence critique sur la structure et la dynamique des populations des poissons (Di Franco *et al.*, 2013) et sur le succès de la culture des espèces (Ronnestad *et al.*, 2013). Le développement larvaire est grandement affecté par les conditions biotiques (par exemple, la disponibilité des proies) et abiotiques (par exemple, la température). Au stade larvaire, les organismes subissent des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques extrêmes pour se transformer en juvéniles (Pittman *et al.*, 2006). Comme on l'observe généralement pour la plupart des téléostéens marins, au cours du développement précoce, les larves subissent trois stades différents : le stade autotrophe de l'éclosion à l'ouverture buccale, durant lequel la larve se développe à partir de nutriments et d'énergie provenant du sac vitellin ouverture à l'épuisement complet des réserves de vitellus (stade très court ou absent chez certaines espèces) et stade exotrophe pendant lequel les larves doivent trouver et capturer des proies planctoniques. À mesure que la larve grandit, elle développe des écailles, des nageoires et des capacités sensorielles.

Au cours de ces premiers stades de développement, la croissance relative des différentes parties du corps diffère, entraînant une croissance allométrique (Kendall *et al.*, 1984; Koumoundouros *et al.*, 1999). Des études montrent que malgré des similitudes importantes dans la biologie et le développement des larves, il existe des différences propres à certaines espèces et selon ces espèces, certains se développent plus rapidement que d'autres (Papadakis *et al.*, 2013; Parra et Yúfera, 2001; Yúfera *et al.*, 2011).

Pour comprendre l'effet de l'environnement vécu par un individu sur l'énergie disponible pour la reproduction et ses conséquences sur la croissance, la présente étude a été effectuée sur quelques espèces de la famille des Sparidés et des Soleidés, afin d'estimer des paramètres du modèle bioénergétique DEB (*Dynamic Energy Budget*) pour étudier la croissance et la reproduction de ces espèces qui ont des valeurs commerciales importantes dans les pêcheries algériennes.

Pour appréhender les processus métaboliques en jeu ; le modèle *Dynamic Energy Budget* est un outil particulièrement adapté ; il permet d'identifier les processus communs et les spécificités de chaque stade et comparer les modèles de développement des différentes espèces des poissons

et d'en discuter de manière écophysiological. À cette fin, nous avons estimé tous les paramètres du modèle DEB (Dynamic Energy Budget) (Kooijman, 2010), y compris l'accélération métabolique, et nous nous sommes concentrés sur la modélisation de la croissance et de la reproduction.

Ce mémoire est un des nouveautés en halieutique. Il s'agit d'un travail pionnier à l'échelle mondiale sur les espèces : *Microchirus azevia*, *Dicologlossa cuneata*, *Pagellus acarne* et *Lithognathus mormyrus*. Pour le Sparidé *Boops boops* nous avons actualisé les données de Handjar (2015).

Le manuscrit est organisé en trois grands chapitres ; nous parlerons dans le premier chapitre de la zone d'étude qui est le bassin algérien, suivie d'une présentation des espèces étudiées. Le second chapitre définit les différentes sources de données et renferme une description de la théorie DEB avec tous ses paramètres. La présentation et l'interprétation des résultats sont détaillés dans le troisième chapitre Enfin, nous terminerons par des conclusions et par des perspectives pour les travaux ultérieurs.

Chapitre I

Données générales

1. Présentation de la zone d'étude : le bassin algérien

Avec 1622 km de côtes, l'Algérie regroupe un éventail d'habitats et, grâce à la diversité biologique des espèces d'intérêt écologique et économique, la biodiversité marine algérienne est considérée parmi les plus élevées du bassin méditerranéen (Grimes *et al.*, 2004).

La côte algérienne s'étend de Ghazaouet ($35^{\circ} 11' 38''$ N $1^{\circ} 51' 37''$ W) jusqu'à El-Kala ($36^{\circ} 53' 44''$ N $8^{\circ} 26' 36''$ E). La superficie maritime sous juridiction nationale offre environ 10 millions d'hectares aux activités de pêche, mais la majeure partie de la flottille exploite seulement le plateau continental. Les bandes les plus larges se situent sur les côtés occidental (de la frontière algéro-marocaine à l'Ouest jusqu'à Ténès à l'Est) et oriental (de Dellys à l'Ouest jusqu'à la frontière algéro-tunisienne à l'Est) du littoral. Ces deux bandes sont séparées par une zone centrale (de Ténès à Dellys) où les aires de pêche sont limitées (In Hemida, 2005).

Cette côte peut être divisée en trois grands secteurs (Fig.I.1) : l'Est regroupe Béjaïa, Jijel, Skikda et Annaba ; le Centre de Ténès à Dellys englobe les zones de pêche de Zemmouri, Alger, Bouharoun et Cherchell. Quant à Mostaganem, Arzew, Oran, Beni-Saf et Ghazaouet appartiennent au secteur Ouest (In Boufersaoui, 2012).

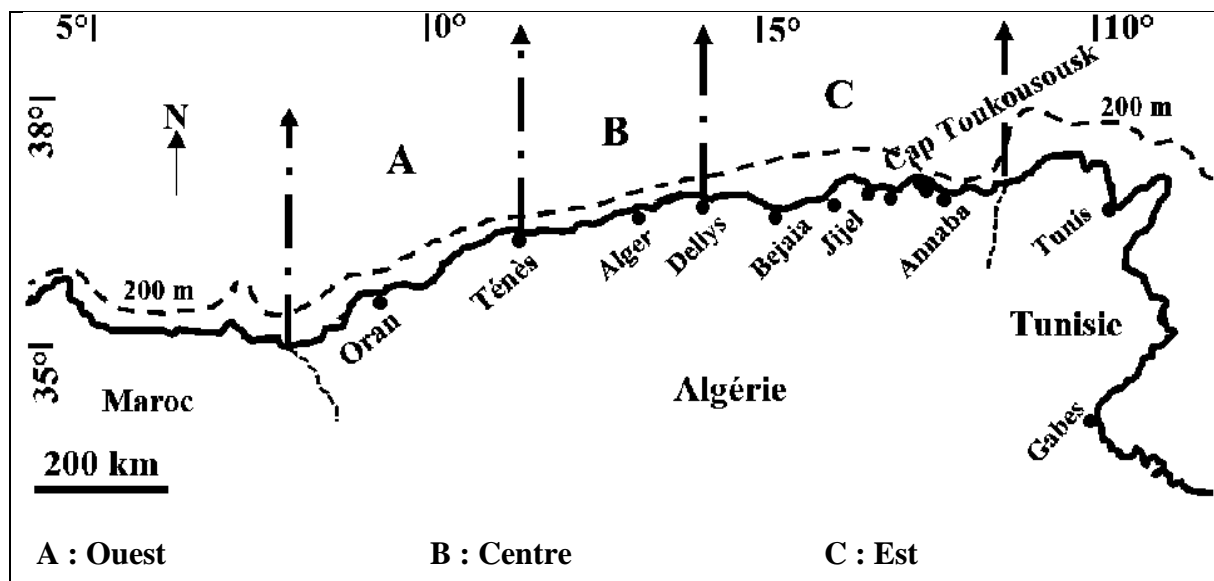


Figure I. 1. Carte montrant les subdivisions du bassin algérien (Hemida, 2005) et les zones d'échantillonnage.

2. Présentations des espèces étudiées

Le présent travail a été réalisé sur 5 espèces d'Ostéichthyens disponibles dans le marché algérien ; trois appartiennent à la famille des Sparidés : le marbré *Lithognathus mormyrus*, le pageot blanc *Pagellus acarne* et la bogue *Boops boops*. Les deux autres espèces ce sont des soleïdés : la sole-perdrix juive *Microchirus azevia* et le Céteau *Dicologlossa cuneata*.

2.1. Position systématique

Les classifications traditionnelles (linnéennes et darwiniennes) tendent à être remplacées par la systématique phylogénétique plus récente tirée de *WoRMS Editorial Board (2018)*, la classification des espèces étudiées est présentée au tableau suivant :

Phylum	<i>Chordata</i>
Sous-phylum	<i>Vertebrata</i>
Super-classe	<i>Gnathostomata</i>
Classe	<i>Actinopterygii</i>
Ordre	<i>Perciformes</i>
Sous-ordre	<i>Percoidei</i>
Famille	<i>Sparidae</i> (Rafinesque, 1818)
Genres	<i>Lithognathus</i> (Swainson, 1839) <i>Pagellus</i> (Valenciennes, 1830) <i>Boops</i> (Cuvier, 1814)
Espèces	<i>Lithognathus mormyrus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Pagellus acarne</i> (Risso, 1827) <i>Boops boops</i> (Linnaeus, 1758)

Pour les espèces de poissons plats la position prend la différence à partir de l'ordre

Ordre	<i>Pleuronectiformes</i>
Famille	<i>Soleidae</i> (Bonaparte, 1833)
Genres	<i>Microchirus</i> (Bonaparte, 1833) <i>Dicologlossa</i> (Chabanaud, 1927)
Espèces	<i>Microchirus azevia</i> (de Brito Capello, 1867) <i>Dicologlossa cuneata</i> (Moreau, 1881)

2.2. Description morphologique

2.2.1. *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758)

Selon Fischer *et al.*, (1987), la daurade marbrée *Lithognathus mormyrus* est une espèce de poisson ayant un profil de la tête presque rectiligne à museau allongé et pointu ; l'œil est petit ; la narine postérieure en fente, la bouche est basse et subhorizontale munie d'épaisses lèvres ; en avant de chaque mâchoire une rangée externe de dents coniques doublées intérieurement de plus petites dents en bande, dents latérales molariformes en 3 à 6 rangés supérieurs et 2 à 4 rangées inférieurs. Ces auteurs ajoutent que cette espèce à un corps gris argenté, marbré par

quatorze à quinze bandes noirâtres qui descendent verticalement du dos et dépassent de beaucoup la ligne latérale (Fig.I.2).



Figure I. 2. Morphologie et critères de reconnaissance de *Lithognatus mormyrus* (Boufersaoui, 2016).

2.2.2. *Pagellus acarne* (Risso, 1827)

L'espèce possède un corps allongé de couleur rose rougeâtre ou brunâtre, argenté sur les flancs. Le profil de la tête est comprimé au-dessus de l'œil. Le diamètre oculaire est plus petit que la longueur du museau. Porte à l'aisselle de la nageoire pectorale une tache noire rougeâtre caractéristique de l'espèce (Fig. I.3). La mâchoire est garnie en avant de dents en cardes et de molaires (Parenti et Poly, 2004 ; Fischer *et al.*, 1987).



Figure I. 3. Morphologie et critères de reconnaissance de *Pagellus acarne* (Boufersaoui, 2016).

2.2.3. *Boops boops* (Linnaeus, 1758)

Selon Bauchot et Pras (1980) et Fisher *et al.* (1987), la bogue est caractérisée par un corps allongé subcylindrique, le dos est d'une coloration verdâtre, avec des flancs à reflets argentés ou dorés marqués de 3 à 5 lignes dorées (Fig.I.4), toutes ses dents sont incisives.

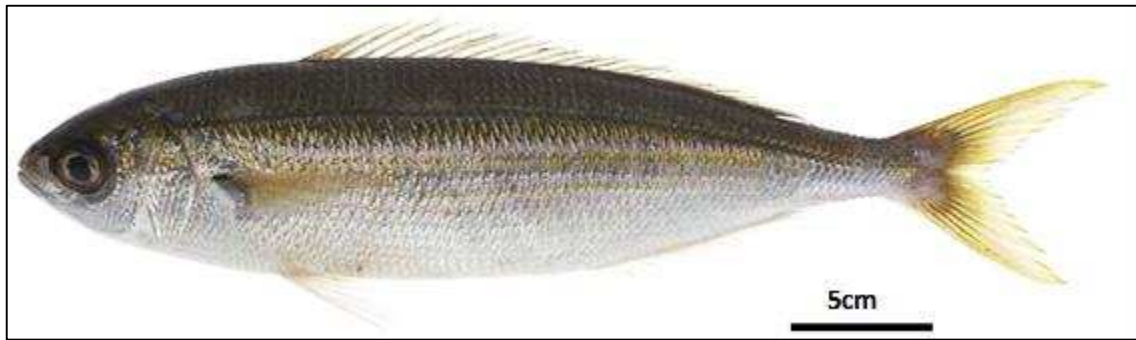


Figure I. 4. Morphologie et critères de reconnaissance de *Boops boops*.

2.2.4. *Microchirus azevia* (de Brito Capello, 1867)

Selon Fisher *et al.*, 1987, *Microchirus azevia* se caractérise par la présence de petits ocelles marron foncé bordés de clair chez les jeunes individus dans la face dorsale, sa ligne latérale est de couleur marron sur l'extrémité des nageoires anale et dorsale chez les adultes, ces dernières sont de même couleur, mais parfois plus sombres, la nageoire caudale et anale sont bordées d'un fin liséré blanc (Fig.I.5). La face aveugle (nadirale) comporte des nageoires dorsales et anales noirâtres, tous ces critères les séparent des deux autres espèces (*M. ocellatus* et *M. variegatus*).



Figure I. 5. Morphologie et critères de reconnaissance de *Microchirus azevia*.

2.2.5. *Dicologlossa cuneata* (Moreau, 1881)

Selon Fisher *et al.*, (1987), l'espèce est caractérisée par un corps ovale, allongé, effilé vers l'arrière. Les deux yeux sont situés sur le côté droit, celui supérieur est séparé du profil dorsal par une distance inférieure à son diamètre. La narine antérieure de la face oculée est tubulaire n'atteignant pas le bord antérieur de l'œil inférieur, cependant la narine du flanc aveugle est non élargie. Le museau est grossièrement arrondi, la bouche infère est très arquée. Le préopercule à bord postérieur et est caché sous la peau. La face oculée est de coloration brun chocolat à brun-gris avec de petites taches bleuâtres. La face aveugle est d'une coloration blanchâtre, sur cette face la pectorale est tacheté de noire en son centre (Fig.I.6).

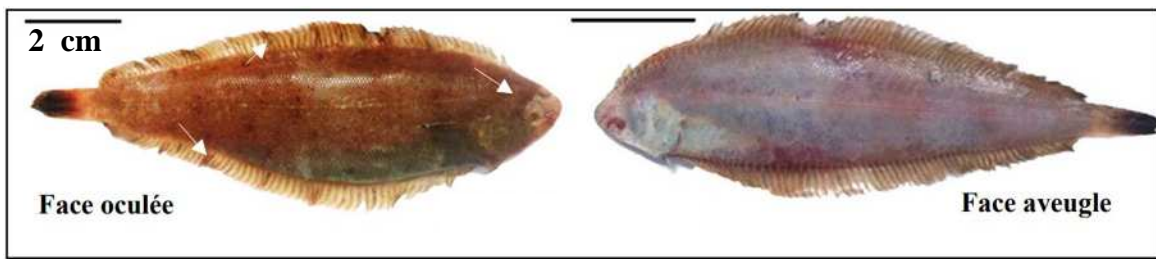


Figure I. 6. Morphologie et critères de reconnaissance de *Dicologlossa cuneata* (Benzaoui, 2016)

2.3. Répartition et reproduction des espèces

2.3.1. *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758)

Lithognathus mormyrus fréquent l'Est de l'Atlantique (le golfe de Gascogne et le détroit de Gibraltar), la Méditerranée, la mer Noire, la mer d'Azov, l'océan Indien occidental, la mer Rouge et à l'Est de l'Afrique tropicale (Smith *et al.*, 1986). Elle est trouvée aussi aux îles Canaries, le Cap-Vert (Bauchot et Hureau, 1986, Fischer *et al.*, 1987) et à Madère (Wirtz *et al.*, 2008)

Selon une étude récente de Boufersaoui (2016) sur la biologie de l'espèce, le marbré est un poisson hermaphrodite protandre ; les individus bisexués sont à prédominance mâle à la naissance puis s'inversent à la fin de leur vie.

Loir *et al.* (1999) et Maître-Allain et Louisy (2002) signalent que les larves restent dans le plancton durant environ un mois, avant de se métamorphoser et de rejoindre la côte et les fonds sableux de faible profondeur. Durant les mois de juillet et d'août, il est possible d'observer de très grands bancs de marbré adultes en pleine eau, même si aucune étude n'a été menée à ce sujet, nous pouvons penser que ces rassemblements de géniteurs potentiels sont en relation avec la reproduction. L'espèce fraie de la fin du printemps (mai) à la fin de l'été (Boufersaoui, 2016).

2.3.2. *Pagellus acarne* (Risso, 1826)

Le pageot blanc (*Pagellus acarne*) fréquente l'Atlantique du golfe de Gascogne au Nord du Sénégal et en particulier les côtes nord-ouest africaines (Lamrini, 1996). En Méditerranée, l'espèce est commune dans le bassin occidental qu'oriental.

Au niveau des côtes algériennes, la période de reproduction de *P. acarne* est étalée dans le temps, elle se produit d'avril à juin. Cependant, l'observation de spécimens aux stades III (pleine maturité) et IV (pré-ponte) durant l'automne renseigne sur l'existence d'une deuxième période de ponte au mois d'octobre. Cette dernière, ne touchant qu'un nombre réduit d'individus, est secondaire par rapport à la première (Boufersaoui, 2016).

Le pageot blanc est une espèce dont la proportion relative des sexes est dépendante de la présence d'individus bisexuels, ces derniers, dont la proportion est inférieure au quart de la population étudiée reste non dominante (Boufersaoui, 2016). La maturité sexuelle apparaît à une taille un peu plus petite chez les femelles (16,22 cm) que chez les mâles (16,95 cm). Les femelles issues de l'inversion sexuelle, sont plutôt retrouvées dans les grandes tailles. Ceci est cohérent avec un hermaphrodisme protandre. Le pourcentage des poissons pêchés n'ayant pas atteint la taille de maturité sexuelle est de 45%, laissant penser à une intense activité de pêche sur les immatures (Boufersaoui, 2016).

2.3.3. *Boops boops* (Linnaeus, 1758)

La bogue est très ré pondue en Méditerranée, le long des côtes africaines du Cap-Vert jusqu'à l'Angola ; également dans l'Atlantique oriental dans la Scandinavie, Angleterre et l'Ecosse, dans l'Atlantique occidental. Elle est présente sur les côtes des Caraïbes et le golf de Mexico (Fisher *et al.*, 1987)

l'espèce est caractérisée par un hermaphrodisme protogynique, atteignant une maturité sexuelle au bout d'une année en Méditerranée (Fisher *et al.*, 1987).

Généralement, chez cette ressource, la ponte a lieu en mars et s'étend sur trois mois (février à avril). Le mois de mai marque la fin de frai et les gonades retrouvent alors leur aspect de repos (Benina, 2015). Néanmoins, nous signalons que la période de ponte diffère d'une région à l'autre, ce phénomène est du à certain facteurs climatiques tels que la salinité et la Température (Benina, 2015). Au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, la ponte de la bogue débute en avril (Chali-Chabane, 1988).

2.3.4. *Microchirus azevia* (de Brito Capello, 1867)

Microchirus azevia est originaire de l'océan Atlantique oriental et de la partie occidentale de la mer Méditerranée. Dans l'Atlantique, son aire de répartition s'étend du Portugal au Sénégal, avec un seul enregistrement depuis le sud-ouest de l'Angleterre, alors que dans la Méditerranée, elle se limite aux côtes espagnoles. Le Maroc et l'Algérie. Sa profondeur va de juste en dessous de la zone littorale à environ 250 m (Marine Species Identification Portal, 2018).

Chez cette espèce, la ponte apparaisse en mois de mai, juin et septembre, la majorité des individus immatures se trouve de aout jusqu'à décembre. Pour les femelles immatures, elles sont présentes toute l'année (Afonso-Dias *et al.*, 2005).

2.3.5. *Dicologlossa cuneata* (Moreau, 1881)

Elle fréquente l'Atlantique est, du golfe de Gascogne aux côtes sud-africaines. C'est une espèce démersale, sur fonds sableux et sablo-vaseux du plateau continental de 10 à 100 m au moins de profondeur, dans des eaux de plus de 9°C (Jiménez *et al.*, 1998).

La période de ponte chez *Dicologlossa cuneata* est de janvier à mai. Les femelles atteignent la maturité sexuelle à 18 cm de long, tandis que les mâles sexuellement matures ont été observés à 15 cm de longueur (Jiménez *et al.*, 1998).

2.4. Noms vernaculaires

Une espèce est reconnue par la communauté scientifique selon son nom scientifique, alors que l'appellation vernaculaire voire plusieurs selon les pays et même entre les régions du même Pays, pour sa désignation commune. Les noms vernaculaires retrouvés en bibliographie des espèces étudiées sont mentionnés dans les tableaux suivants :

Tableau I. 1. Dénomination vernaculaire biogéographique des 3 espèces de Sparidae

Pays	<i>Lithognathus mormyrus</i>	<i>Pagellus acarne</i>	<i>Boops boops</i>
Algérie	El Marbre, Marbré, Asqoum, Menkous	Mafroune, Bazoug	Bougua
Tunisie		Mourjane	Sbougua
Maroc		Besoug, Bouka	Hmrouda
France	Daurade marbrée	Pageot blanc, bogue ravel, pageot espagnol, pageot acarne	Bogue
Italie		Pagello bastardo	Boga, Bogha
Espagne		Aligote, Besugo	Boga
Royaume-Uni	Striped seabream	Axillary seabream	
Références	<i>In</i> Boufersaoui (2016)	<i>In</i> Boufersaoui (2016)	<i>In</i> Benina (2015)

Tableau I. 2. Dénomination vernaculaire biogéographique des 2 espèces de Soleidae (Fisher *et al.*, 1987)

Pays	<i>Microchirus azevia</i>	<i>Dicologlossa cuneata</i>
France	Sole-perdrix juive	Céteau
Espagne	Acevia	Acedia
Royaume-Uni	Bastard sole	Wedge sole

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Echantillonnage

L'échantillonnage constitue pour le scientifique l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre afin d'obtenir des paramètres biologiques (Daget, 1976).

Dans le but de l'obtention des paramètres DEB, autre que les données tirées de la bibliographie (Taille de la larve à la naissance, âge à la naissance), des informations biologiques sur le poisson sont nécessaires. Afin de les obtenir, nous avons eu recours à échantillonner des spécimens de *Boops boops* et de *Microchirus azevia*. Ces derniers proviennent de la région centre du bassin algérien, majoritairement de la partie ouest : Tipaza, Cherchell, Bouharoun et Fouka Marine. La période des prélèvements s'est étalée sur 4 mois allant de février à mai 2018.

Cependant, nous signalons que pour les autres espèces (*Lithognatus mormyrus*, *Pagellus acarne* et *Dicologlossa cuneata*), des données nous ont été fournies par notre responsable de stage. Les effectifs par études effectuées et par espèce sont présentés dans le tableau II.1.

Tableau II. 1. Nombre d'effectifs échantillonnés par espèce et pour chaque étude

Espèce	Maturité	Fécondité	Age et croissance
<i>Boops boops</i>	155	91	223
<i>Microchirus azevia</i>	52	35	99
<i>Dicologlossa cuneata</i>	261	24	173
<i>Lithognatus mormyrus</i>	545	82	449
<i>Pagellus acarne</i>	1010	90	322

2. Présentation et description du modèle DEB

Un modèle bioénergétique établit un bilan de masse et d'énergie entre la nourriture consommée par un poisson d'une part et les différentes fonctions qu'il réalise (croissance, reproduction), l'énergie qu'il dépense sous forme de chaleur et les produits qu'il génère d'autre part (Brandt et Hartman, 1993).

La théorie *Dynamic Energy Budget* (DEB), développée par Kooijman (2000), nous fournit le formalisme l'acquisition d'énergie et son utilisation au cours du cycle de vie d'un individu, de l'embryon jusqu'à l'adulte (Pecquerie, 2007). Les trois grandes fonctions biologiques auxquels nous nous sommes intéressés sont : la croissance, le développement et la reproduction.

La théorie DEB propose un formalisme du bilan énergétique d'un individu différent de ceux classiquement utilisés en halieutique (Brandt and Hartman, 1993 ; Van Winckle *et al.*, 1997). En particulier, dans le cadre de cette théorie, la connaissance de la relation entre le poids et le taux de respiration d'un individu en milieu contrôlé n'est pas un prérequis nécessaire à la construction du modèle (Kooijman, 2000).

La théorie DEB est basée sur un ensemble d'hypothèses dont la formulation mathématique permet de décrire et de quantifier, au cours du cycle de vie d'un individu, les flux entrants et sortants de matière et d'énergie, en respectant les lois fondamentales de la thermodynamique (Kooijman, 2000).

L'un des objectifs principaux de la théorie est d'identifier les processus physiologiques communs aux organismes vivants pour permettre leur comparaison et ainsi comprendre les différentes adaptations qui ont eu lieu au cours de l'évolution.

Dans le cadre de ce travail, nous appliquons la théorie DEB à la modélisation du cycle de vie d'un poisson. La théorie DEB propose un modèle de croissance basée sur des règles de prise de nourriture et d'utilisation de l'énergie assimilée en fonction des conditions de nourriture et de température vécues par un individu.

Les processus clés de la théorie DEB sont l'ingestion, la digestion, la mise en réserve de l'énergie assimilée, la maintenance, la croissance, le développement et la reproduction. Trois stades de vie sont distingués :

- L'embryon, qui ne se nourrit ni ne se reproduit,
- le juvénile, qui se nourrit mais ne se reproduit pas,
- l'adulte qui se nourrit et se reproduit.

Le modèle DEB standard identifie les transitions entre les stades et les modifications fondamentales du budget énergétique, c'est-à-dire le début de l'assimilation lorsqu'un embryon se transforme en investissement juvénile et imminent dans la reproduction lorsqu'un juvénile se transforme en adulte. Dans le cas des espèces accélératrices, l'accélération de la croissance au stade larvaire et son ralentissement au début de la phase juvénile suggèrent d'autres changements fondamentaux dans la répartition de l'énergie, qui justifient l'introduction de seuils de transition non standard (Jusup *et al.*, 2011).

La spécification détaillée de tous les flux d'énergie est obtenue par le modèle *abj*, qui est une extension au modèle DEB standard, il prend en compte l'accélération de la croissance au stade larvaire, le ralentissement de la croissance au début de la phase juvénile, des modifications de la forme du corps et des effets de la température sur les taux métaboliques (Jusup *et al.*, 2011).

La métamorphose a lieu avant la puberté et se produit à la maturité E_H^J , ce qui peut correspondre ou non à des changements de morphologie (DEB wiki, 2018).

Le modèle *abj* appartient aux modèles de type a qui supposent une isomorphie, mais pendant une partie du cycle de vie, le métabolisme s'accélère en suivant les règles de morphologie V1.

Notant que les valeurs des paramètres sont données avant l'accélération, car leur ampleur dépend de la densité des aliments (DEB wiki, 2018).

2.1. Définition des variables du modèle DEB

Selon Pecquerie (2007), un individu est représenté par quatre entités (variables d'état) : la structure, la réserve, la maturité et le compartiment reproduction (Fig II.1).

- La structure désigne l'ensemble des constituants de l'organisme qui sont nécessaires au fonctionnement de l'organisme et nécessitent un entretien (dégradation- synthèse des protéines par exemple).
- La réserve désigne l'ensemble des constituants de l'organisme disponibles pour un usage métabolique. Ce terme ne désigne pas une quantité de matière stockée pour une utilisation future.
- La maturité ne concerne pas seulement le système reproducteur. Le système immunitaire et le système hormonal par exemple sont des éléments que l'individu acquiert au cours de son développement. Aux stades embryon et juvénile, la structure et la réserve participent au poids de l'individu tandis que la maturité correspond à une énergie dissipée. Elle a le statut d'information et correspond à l'énergie investie par l'individu pour se complexifier jusqu'à acquérir la capacité de se reproduire au stade adulte.
- Dans le compartiment reproduction, au stade adulte, l'individu stocke de l'énergie. Ce compartiment contribue également au poids de l'individu et à la même composition que la réserve.

La composition des compartiments structure et la réserve est constante, il s'agit de l'une des règles de la théorie DEB. Cependant, la composition totale de l'individu peut varier en fonction des conditions environnementales rencontrées, mais lorsque les conditions sont constantes, le ratio réserve sur structure reste constant ; il s'agit de l'hypothèse d'homéostasie faible. Ce ratio définit la densité de réserve de l'individu, qui est une notion importante de la théorie. (Pecquerie, 2007).

En termes de dynamique, le modèle suppose en outre que les produits assimilés entrent d'abord dans un pool de réserve, à partir duquel ils sont affectés à la maintenance, à la croissance et à la reproduction.

Une partie de l'énergie contenue dans la réserve est mobilisée. Une part fixe (κ -rule) de cette énergie est allouée à la maintenance somatique et à la croissance, avec une priorité pour la

maintenance somatique. La fraction restante ($1-\kappa$) est consacrée pour la maturité et la maintenance de cette maturité aux stades embryon et juvénile. A la puberté, la maturité atteint son stade le plus élevé, et l'énergie qui était investie pour se complexifier est alors stockée en vue de la première reproduction. L'individu continue d'allouer cependant de l'énergie pour maintenir son niveau de complexité. Il est à noter que les règles d'utilisation du compartiment reproduction sont spécifiques de chaque espèce.

Dans la version standard du modèle DEB décrite par Kooijman (2000), la maturité n'est pas considérée de manière explicite. L'hypothèse est que ce seuil d'énergie investie dans la maturité est atteint pour une longueur donnée. Il n'est donc pas nécessaire de modéliser l'allocation d'énergie vers la maturité ; l'individu change de stade pour une longueur donnée à la naissance et à la puberté.

Les paramètres associés aux différents flux sont constants tout au long du cycle de l'individu dans la version standard du modèle DEB.

La théorie DEB constitue un cadre général qui nous permet d'étudier de manière déterministe le lien environnement-poisson tout en apportant un éclairage nouveau sur de nombreux processus physiologiques (e.g. croissance, métamorphose, reproduction). La physiologie d'un individu dépend de sa température corporelle. Nous travaillons sur un organisme ectotherme, nous supposons que la température corporelle est celle de la température de la masse d'eau dans laquelle se trouve le poisson. Dans le modèle DEB standard, la loi d'Arrhenius s'applique à l'ensemble des flux.

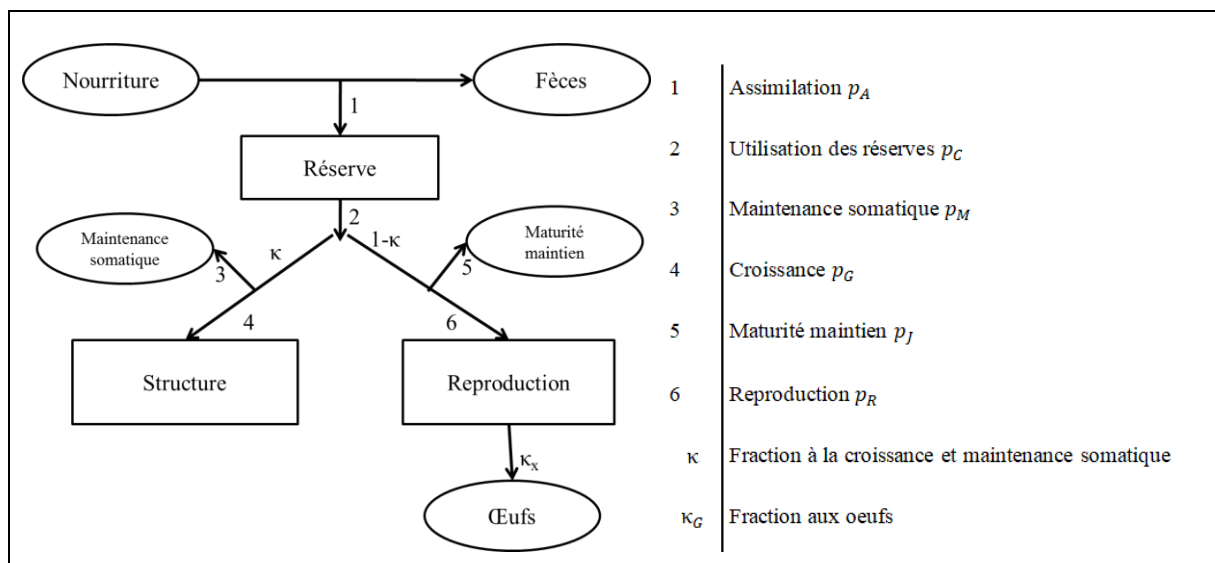


Figure II. 1. Flux d'énergie à travers un individu au stade adulte suivant la théorie DEB (Kooijman, 2010).

2.2. Définition des paramètres DEB

En utilisant plusieurs ensembles de données de l'histoire de vie d'un individu (paramètre de croissance, de reproduction), quelques paramètres du modèle DEB sont estimés selon une procédure décrite par Lika *et al.* (2011). Les paramètres DEB restants ont été définis sur des valeurs prédéfinies tirées de Kooijman (2010). Le tableau II.2 regroupe l'appellation et désignation des paramètres que nous allons estimer dans notre étude.

Tableau II. 2. Définition des paramètres du modèle DEB standard (Meer *et al.*, 2014).

Paramètre	Unité	Désignation
T_A	K	Température d'Arrhenius
f	–	Réponse fonctionnelle échelonnée
z	–	Facteur de zoom
δ_M	–	Paramètre de forme
\dot{v}	cm d ⁻¹	Conductance énergétique
κ	–	Fraction d'allocation en soma
κ_X	–	Efficacité d'assimilation
κ_{Xp}	–	Efficacité des matières fécales
κ_R	–	Efficacité de reproduction
$[\dot{P}_M]$	J d ⁻¹ cm ⁻³	Taux de maintenance somatique spécifique au volume
$\dot{\kappa}_J$	d ⁻¹	Coefficient du taux de maintenance de maturité
$[E_G]$	J cm ⁻³	Coûts spécifiques pour la structure
E_{Hb}	J	Maturité à la naissance
E_{Hp}	J	Maturité à la puberté
$\dot{h}a$	d ⁻¹	Weibull vieillissement accélération
S_G	–	Coefficient de stress de Gompertz

La procédure d'estimation des paramètres DEB exige dix données d'entrée dites à variation nulle (*Zero variate data*) et 6 de pseudo-données (Tab.II.3). Ces pseudo-données sont en fait des valeurs standard pour une sélection de paramètres DEB et ces valeurs sont tirées de Kooijman (2010), Tab.2 (Annexe.2).

Les pseudo-données sont utilisées dans la procédure d'ajustement pour éviter les problèmes de non-convergence.

La fonction de qualité d'ajustement qui est minimisée dans la procédure par Lika *et al.* (2011) est une somme pondérée des carrés de la forme :

$$\sqrt{\sum w_i \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right)^2},$$

Où w_i est le coefficient de pondération pour l'observation i , et Y_i et \hat{Y}_i sont respectivement les valeurs observées et prédites. Le choix du poids w_i est en partie arbitraire, et dans ce cas nous avons choisi de mettre davantage l'accent sur les vraies données et moins sur les pseudo-données.

Le modèle DEB montre également comment les deux paramètres du modèle de croissance de von Bertalanffy, longueur ultime $L_{w,\infty}$ et le coefficient de croissance de von Bertalanffy \dot{r}_B , dépendent de paramètres physiologiques fondamentaux plus bas, les paramètres dits primaires du modèle DEB standard. La longueur physique ultime est donnée par :

$$L_{w,\infty} = \frac{f * L_m^{ref} * z}{\delta_M} \quad (1)$$

Où f est la réponse fonctionnelle échelonnée qui varie entre 0 et 1 et dépend de la disponibilité alimentaire, L_m^{ref} est une longueur de référence fixée à 1 cm, z est un facteur de zoom sans dimension qui donne la longueur maximale du corps structural de l'animal à la longueur de référence, et δ_M est le coefficient de forme qui relie la longueur du corps structural à une certaine mesure de longueur physique, qui dans ce cas est la longueur du corps du poisson. Le facteur de zoom z est lié aux paramètres primaires du modèle DEB par :

$$z = \frac{L_m}{L_m^{ref}} = \frac{\kappa \{\dot{P}_{Am}\}}{[\dot{P}_M]} \frac{1}{L_m^{ref}} \quad (2)$$

Où L_m est la longueur volumétrique maximale, κ est la fraction de l'énergie mobilisée à partir des réserves qui est dépensée pour la maintenance et la croissance du corps structural de l'animal, $\{\dot{P}_{Am}\}$ est le taux d'assimilation maximale spécifique à la surface qui concerne l'assimilation à la surface du corps structural, et $[\dot{P}_M]$ est le taux d'entretien spécifique au volume qui lie le taux de maintenance au volume du corps structural. Les paramètres κ , $\{\dot{P}_{Am}\}$ et $[\dot{P}_M]$ sont des paramètres primaires dans la théorie DEB, mais L_m est ce que l'on appelle un paramètre composé.

Le coefficient de croissance de von Bertalanffy est également un paramètre composé et dans des conditions alimentaires optimales, il est donné par :

$$\dot{r}_B = \frac{1}{3} \frac{[\dot{P}_M]}{\kappa \{\dot{P}_{Am}\} \dot{v}^{-1} + [E_G]} \quad (3)$$

Où \dot{v} est la conductance énergétique, un paramètre qui indique plus ou moins la vitesse à laquelle l'énergie peut être mobilisée dans les réserves, et enfin $[E_G]$ donne les coûts de croissance spécifiques au volume. Les paramètres \dot{v} et $[E_G]$ sont également des paramètres primaires. Ces paramètres primaires se retrouvent également dans de nombreuses autres relations, par exemple la relation entre la respiration et la masse corporelle contient également les paramètres : $\{\dot{P}_{Am}\}$, κ , $[\dot{P}_M]$, \dot{v} et $[E_G]$. En étudiant le taux de respiration des œufs de saumon, Smith (1957) a déjà observé en 1957 que la respiration est proportionnelle à une somme pondérée du volume et du taux de croissance en volume, et cette relation est confirmée par la théorie DEB. La théorie DEB offre donc la possibilité de prédire les taux de croissance en réponse aux aliments et à la température, même si la croissance n'a jamais été mesurée, mais seulement si suffisamment d'autres types de données, dont certains doivent être des taux, sont des paramètres disponibles. Nous utilisons cette possibilité pour prédire la croissance et l'âge à maturité des espèces étudiées, en utilisant une variété d'autres informations disponibles dans la littérature.

Les routines du modèle DEB et la routine d'estimation des paramètres font partie des logiciels DEBtool et Add-my-pet et peuvent être téléchargées à partir du site Theoretical Biology de la VU University Amsterdam <http://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/debtool>

Tableau II. 3. Description des données d'entrée du modèle DEB standard

Type de données	Symbole	Description
Données à variation nulle	a_b	Age à la naissance
	a_s	Age à la première maturité sexuelle
	a_m	Longévité
	L_b	Longueur à la naissance
	L_p	Longueur de la première maturité sexuelle
	L_i	Longueur maximale
	W_w^b	Poids à la naissance
	W_w^p	Poids à la puberté
	W_w^i	Poids maximal
	R_i	Reproduction maximale
Pseudo données (paramètres généralisés de l'animal)	\dot{v}	Conductance énergétique
	κ	Fraction d'allocation au maintien somatique
	κ_R	Efficacité de la reproduction
	$[\dot{p}M]$	Volume spécifique à la maintenance somatique
	κ_J	Coefficient de taux de maintien de la maturité
Données univariées	κ_G	Efficacité de la croissance
	(t, Lt)	Clé âge-longueur
	(L _T , P _T)	Relation taille-poids

2.3. Description des données d'entrées pour l'obtention des paramètres DEB

Trois types de données ont été estimées et d'autres ont été tirées de la littérature afin d'arriver à l'estimation des paramètres DEB

2.3.1. Données à variation nulle (*Zero variate data*)

Les données à variation nulle (points de données uniques) comprennent les caractéristiques physiques générales (âge, longueur et poids humide) à des stades particuliers du développement des espèces étudiées : i) naissance, le moment où elles peuvent se nourrir ; ii) la puberté, le moment où elles peuvent se reproduire et iii) le stade adulte.

2.3.1.1. Age et taille à la puberté (première maturité sexuelle)

La taille à la première maturité sexuelle peut être définie d'une manière statistique ou biologique. La première a été retenue pour notre étude Il s'agit de la taille à laquelle 50 % des individus sont capables de se reproduire " taille minimale à la première maturité" (Fontana et Le Guen (1969).

Les proportions des individus matures dans chaque classe de taille ont été calculées. Une fonction logistique reliant les proportions des individus matures à la longueur totale du poisson a été utilisée. Selon Ghorbel *et al.* (1996), cette fonction de forme sigmoïde permet de suivre le degré de maturité sexuelle selon la taille et d'estimer avec précision la longueur L_{Tm50} à partir de l'équation suivante :

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta L_T)}}$$

Avec P = proportions d'individus matures ; LT = longueur totale (cm) ; α et β = constantes.

Après linéarisation de la fonction logistique, les tailles L_{Tm50} par sexe ont été déduites en calculant le rapport suivant : $L_{Tm50} = -\alpha/\beta$

L'âge à la première maturité sexuelle est obtenu par la suite en convertissant la taille de maturité au moyen de l'équation inverse de von Bertalanffy.

$$t_{Tm50} = t_0 + \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{L_{Tm50}}{L_\infty}\right)$$

2.3.1.2. Age, longueur et poids maximaux

Au stade adulte, l'âge maximal a_m (la longévité) est le plus grand âge observé pour chaque espèce, on a estimé cet âge à partir de la lecture directe des pièces des otolithes. La longueur maximale L_i est la plus grande longueur mesurée, pour le poids maximum W_w^i c'est le plus grand poids mesuré au laboratoire des espèces étudiées.

2.3.1.3. Age et poids à la naissance

L'âge à la naissance (time at birth) t_b est défini comme étant la durée d'incubation des œufs avant l'éclosion. La longueur à la naissance L_b est la longueur de la larve à la naissance ; ces données ont été tirées de la bibliographie à partir des travaux d'élevage sur les espèces étudiées. Concernant le poids à la naissance il a été calculé à partir de la longueur par la relation taille-poids : $W_w^b = aLb^b$

2.3.1.4. Reproduction maximale par jour (Ri)

C'est le nombre maximum d'ovocytes émis dans une année par les femelles au moment de la ponte, pour le calculer il nous faut une étude de fécondité.

La fécondité absolue correspond au nombre d'ovocytes matures contenus dans l'ovaire d'une femelle à la veille de la ponte (Kartas et Quignard, 1984). Cependant, les problèmes de l'évaluation de la fécondité dépendent de plusieurs facteurs : le nombre absolu d'œufs produits, si l'espèce est un reproducteur total ou partiel ; du degré de différenciation qui existe entre la taille des œufs qui seront pondus cette saison et les œufs immatures présents qui seront reportés à la prochaine saison de ponte. De ce fait, il est impératif de déterminer en premier à quel type de reproducteurs appartiennent les espèces étudiées, cette étape est possible à partir des distributions des fréquences du diamètre ovocytaire.

On peut observer dans les ovaires, des ovocytes de différentes tailles correspondant à différents stades de développement. Une distribution unimodale suggère une ponte simple, alors que des structures plurimodales laissent penser que l'on a affaire à des espèces qui ont une reproduction fractionnée (Albaret, 1982).

Afin de déterminer de quel type de reproducteurs sont les espèces étudiées, nous avons suivi la méthode donnée par Boufersaoui (2016). Des ovocytes appartenant à 4 femelles matures (stades II, III et IV) de chaque espèce, sont étalés sur une boîte Pétri.

L'étude de diamètre ovocytaire a été réalisée à l'aide d'une loupe binoculaire équipée d'une caméra dont les photos sont obtenues grâce à un logiciel spécifique pour elle installé au niveau de l'ordinateur, les mesures ont été réalisées par un logiciel d'analyse d'images TSVIEW, chaque grossissement utilisé (grossissement Gx 1 à Gx 1.5) est calibré avec une règle graduée.

Plusieurs méthodes de comptage par sous-échantillonnage sont proposées par Aboussouan et Lahaye (1979) : échantillonnage par surface, gravimétrique et volumétrique. Le comptage des ovocytes s'est réalisé selon la méthode d'échantillonnage gravimétrique.

Les ovaires ont été conservées dans une solution de conservation et de dissociation de Gilson modifiée par Simpson (1959) : 880 ml eau distillée ; 100 ml alcool 60% ; 15 ml acide nitrique 80% ; 18 ml acide acétique glacial ; 20 g chlorure de mercure), ceci afin de dilacérer les ovaires pour en faciliter la séparation des ovocytes.

Pour les espèces reproductrices partielles, nous devons d'abord éliminer les ovocytes de réserve. Ainsi, après filtration sur filtre synthétique, les ovocytes de réserve (cohorte d'ovocytes susceptibles d'être matures seulement l'année suivante) sont éliminés pour une estimation plus précise de la fécondité correspondant aux ovocytes participant à la ponte de l'année. Les ovocytes retenus par le filtre sont placés dans un papier absorbant, pesés (P_g).

On pèse le plus petit poids possible des ovocytes noté P_i pour l'essai i , on compte le nombre d'ovocytes contenus dans ce fragment N_i , on fait l'opération 3 fois pour chaque femelle.

Pour chaque essai on calcule la fécondité par l'opération suivante :

$$F_i = N_{\text{ovocytes}} = \frac{N_i * P_g}{P_i} ;$$

Avec : F c'est la fécondité absolue d'une femelle (le nombre d'œufs pondus pendant une année), N_i : le nombre des ovocytes contenues dans le poids P_i , P_g poids initial total des ovocytes contenus dans l'ovaire.

Pour chaque femelle, on calcule la fécondité moyenne entre les trois essais de chaque femelle. Sur l'ensemble des femelles étudiées, nous retenons la plus grande valeur de la fécondité, il s'agit alors de la « fécondité maximale » annuelle, cette valeur est divisé sur 365 jours pour obtenir la fécondité maximale par jour, données d'entrée exigé pour l'obtention des paramètres DEB

2.3.2. Données uni-variées (Univariate data)

Les données uni-variées comprennent : (i) les donnée âge-longueur, (ii) les données longueur-poids.

2.3.2.1. Données taille-poids

Ce sont des mensurations de la longueur totale de chaque individu avec leurs poids total à l'aide d'un Ichtyomètre et d'une balance.

2.3.2.2. Données âge-longueur

On a obtenue des couples âge-longueur par la méthode de Rétrocalcul car le nombre des spécimens échantillonnés n'était pas suffisant pour les introduire dans le fichier MATLAB afin de calculer les paramètres DEB. La procédure d'estimation de l'âge décrit toutes les étapes techniques du prélèvement des pièces calcifiées jusqu'à la fourniture de la clé tailles/âges.

Le Rétrocalcul est une méthode mathématique permettant de calculer la taille d'un poisson à une date antérieure, grâce aux mesures des marques de croissance sur l'une de ses pièces calcifiées (Wilson *et al.*, 2009). Son intérêt est non seulement l'augmentation du nombre de couples longueur-âge, notamment dans les petites classes d'âge faiblement représentées dans les échantillons, mais il donne également une idée sur les tailles moyennes des jeunes et affine celles des autres classes d'âge (Harchouche, 2006). Les tailles aux anneaux sont calculées rétrospectivement à l'aide de l'équation de Lee (1920).

$$L_i = \frac{(L_T - b) * R_n}{R_0} + b$$

Où :

L_i est la longueur du poisson au moment de la formation de l'anneau i , L_T : longueur totale actuelle du poisson, R_n : rayon de l'otolithe au nième anneau, R_0 : rayon total de l'otolithe, b : ordonnée à l'origine de la relation L_T en fonction de R_0 .

Tous les calculs étaient fait par le logiciel R en utilisant les packages FSA du code source ouvert du logiciel statistique R.

2.3.3. Procédure de calcul sur Matlab

Il nous faut télécharger les packages Matlab gratuits DEBtool et AmPtool qui sont utilisés pour estimer les paramètres et pour étudier l'effet de ces paramètres sur les propriétés éco-physiologiques. Quatre fichiers Matlab (.m) doivent être utilisés à cet effet :

- **mydata_my_pet** pour définir les données, estimer les paramètres et vérifier la qualité de l'ajustement.
- **predict_my_pet** pour quantifier la prédiction, à partir des valeurs des paramètres.
- **pars_my_pet** pour définir les valeurs des paramètres (copiés à partir de mydata) et évaluer les propriétés implicites.
- **run_my_pet** pour exécuter la procédure d'estimation

Pour chaque espèce, nous remplaçons le terme my_pet (mon animal) par le nom scientifique de l'espèce, exemple : Mydata_Pagellus_acarne...etc.

Étant donné que les fichiers permettent l'édition, le fichier predict peut spécifier un modèle plus détaillé que le modèle DEB standard et disposant de paramètres spécifiques aux données (par exemple, la taille ou l'âge d'un individu au début d'une expérience),

Les variables clés du cycle de vie pour le modèle "abj" sont calculés par la fonction « get_tj », cette fonction calcule l'assimilation, la mobilisation, le maintien somatique, le maintien de la maturité, la croissance, la reproduction et la dissipation des puissances pondérées en fonction de la longueur et des réserves pondérées. Ce cas est limité au cas particulier du modèle DEB 'abj', qui considère l'accélération du métabolisme pendant le stade larvaire, laquelle croît de manière exponentielle jusqu'à la métamorphose (voir Kooijman, 2010).

Par la suite on doit Créer un chemin d'accès depuis le lieu de travail vers debtool et ses sous-répertoires, afin qu'Octave ou Matlab puissent trouver les routines DEBtool. Dans Matlab on le créer en sélectionnant «Set path» dans le menu «File».

On lance le fichier renommé Pars my pet et on relire le résultat, pour obtenir beaucoup de graphiques supplémentaires on doit courir les fonctions suivantes : shtemp2corr, shbirth pie, shtime2weight, shlength2reprod, shlength2res time, shtime2length, shtime2reprod, shtime2weight, shtime2survival, shphase memv, shphase el, shflux, shflux struc, shflux weight, shratio, shpower, shscale.

A la fin il est obligé de modifier les valeurs des paramètres et réexécuter le script. Puis ajuster le facteur de zoom et la température (corporelle) réelle en fonction de l'espèce étudiée. La maturité à la naissance et la puberté sont très spécifiques à une espèce et nécessitent probablement un ajustement. Il faut ajuster les autres paramètres jusqu'à ce que le poisson réponde à toutes les implications. Cette utilisation permet de répondre à des questions hypothétiques et de nous donner une idée de ce que font les différents paramètres.

2.3.4. Calcul statistique « La méthode de la covariation »

La méthode de covariation pour l'estimation des paramètres est basée sur une collection d'observations (points de données uniques et / ou séries temporelles) et un ensemble de pseudo-données (utilisées pour restreindre les combinaisons de paramètres possibles, voir ci-dessous). L'idée générale derrière la méthode de covariation est de laisser toutes les informations disponibles rivaliser, ou interagir, pour produire le résultat final, impliquant l'estimation de tous les paramètres de tous les ensembles de données simultanément (Lika *et al.*, 2011). Ainsi, toutes les valeurs des paramètres sont estimées en une seule étape pour toutes les données disponibles, en minimisant la somme pondérée des écarts quadratiques entre les données et les prédictions du modèle :

$$E_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right)^2}$$

Où n est le nombre total de points de données (réel et 'pseudo-données'), β_i le coefficient de pondération et Y_i et \hat{Y}_i sont respectivement les observations et les prédictions du modèle.

Le concept de « pseudo-données » est utilisé pour éviter une combinaison irréaliste de paramètres et pour maintenir les règles de covariation des valeurs de paramètres impliquées par les lois physiques, sur lesquelles la théorie DEB est construite. Les « pseudo-données » sont en fait un ensemble de valeurs de paramètres primaires ou composés pour un animal généralisé obtenu à partir d'une grande collection de paramètres estimés à partir de divers ensembles de données pour une grande variété d'espèces (Kooijman, 2010). Les estimations ne devraient pas entraîner d'écarts importants par rapport à ces valeurs, car les animaux partagent la plupart des propriétés métaboliques et des machines (Kooijman, 2010, Lika *et al.*, 2011). Différents coefficients de pondération sont associés à la fois aux vraies observations et aux pseudo-données : un coefficient de poids élevé implique une grande confiance dans les données et / ou les pseudo-données. Ils ont typiquement des coefficients de poids plus faibles par rapport aux données réelles. Parmi les données réelles, les coefficients de pondération visent principalement à refléter la certitude des données. La comparaison entre les différents ensembles de paramètres (van der Veer *et al.*, 2006, Rosland *et al.*, 2009) est faite par une erreur globale (E) et une note de qualité d'ajustement calculée comme :

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \beta_i}}$$

Où n est le nombre de points de données, β_i le coefficient de pondération et Y_i et \hat{Y}_i sont respectivement les observations et les prédictions du modèle.

L'inclusion des coefficients de pondération dans le calcul des données globales reflétera l'incertitude des données conformément aux hypothèses formulées dans la procédure d'estimation. Une erreur globale de 0 (indice de qualité d'ajustement de 10) représente une prédiction de modèle parfaite et une valeur élevée (marque de qualité d'ajustement faible) représente des écarts élevés entre le modèle et les observations.

Chapitre III.

Résultats et discussions

1. Présentation des données d'entrée

Le tableau III.1 montre les données à variation nulle (*zero variate data*), les pseudos données obtenu pour les 5 espèces étudiées. Les données univariées (taille-âge et taille-poids) sont illustrées par la figure III.1. L'ensemble des données ont été publié après validation dans la base de données *add-my-pet* (https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/).

Certaines informations telles que l'âge et la longueur à la naissance utilisés pour la procédure d'estimation des paramètres DEB ont été tirés de la littérature. Les données à variation nulle ont été obtenues pour trois stades de vie :

- (i) A la naissance, le moment où l'alimentation commence ; pour le premier Sparidé *Boops boops*, 96 heures après la fécondation de l'ovocyte (Handjar, 2015), l'éclosion a eu lieu, la larve a une longueur de 0,26 cm et un poids humide à la naissance de 0,000524 g. Par contre les deux autres espèces des Sparidés (*Lithognatus mormyrus* et *Pagellus acarne*), la durée d'incubation de l'œuf est moins importante, elle est de 48 heures ; la larve de *Lithognatus mormyrus* est une longueur de 0,17 cm et un poids humide de 0,0001 g, celle de *Pagellus acarne* est jusqu'à 0,25 cm de longueur, son poids humide est de 0,0000832 g.

Pour la deuxième famille étudiée (Soleidae) on a estimé l'âge à la naissance juste pour *Dicologlossa cuneata* qui est de 48 heures après l'incubation d'après les travaux de Herera (2007) qui a trouvé aussi estimé la longueur de la larve chez cette espèce à l'éclosion est de 0,24 cm, en utilisant la relation taille-poids (Boufersaoui *et al.*, 2015) on a estimé son poids humide qui est de 0,000138 g.

- (ii) A la puberté, où les animaux commencent à se reproduire. L'âge à la première maturité sexuelle de la bogue est de 540 jours, sa taille atteint 17 cm et son poids humide est de 44,5 g (Handjar, 2015). Pour le marbré la maturité commence juste après 623 jours, il arrive à une taille de 15,48cm et un poids de 55,16g (Boufersaoui, 2016). Le troisième Sparidé *Pagellus acarne* peut se reproduire à partir de l'âge de 717 jours avec une taille de 16,55 cm et un poids humide de 55,16 g. Concernant les Soleidés, la maturité de *Dicologlossa cuneata* commence à partir de 933 jours avec une taille de 16 cm et un poids humide de 29,53 g. l'âge à la puberté de *Microchirus azevia* est de 1438 jours avec une longueur de 17,51 cm et un poids humide de 53,68 g.
- (iii) Au stade adulte, l'âge maximal de la bogue est de 2920 jours, la plus grande longueur observée est de 28,42 cm et un poids humide maximal de 216 g (Handjar, 2015). Le plus grand âge chez le marbré est de 2555 jours et sa longueur maximale est de 34,89 cm avec un poids humide maximal de 564,86 g (Boufersaoui, 2016). Pour *Pagellus*

acarne l'âge maximal est de 3650 jours, une taille maximale de 33,31 cm et un poids humide maximal de 391,53 g (Boufersaoui, 2016).

On a obtenu une reproduction maximale de 430/jour pour la bogue, 1137,53/jour pour le marbré et 499,45/jour chez *Pagellus acarne*. Pour les Soleidés elle est de 116,35/jour chez *Dicologlossa cuneata* et de 422,22/jour chez *Microchirus azevia*.

Nous mettons en œuvre la méthode de covariation pour estimer les paramètres DEB (Lika *et al.*, 2011a, b). C'est une méthode en une seule étape permettant d'accéder à tous les paramètres DEB à partir de données empiriques couramment disponibles.

Pour l'estimation des paramètres, nous avons incorporé plusieurs observations (données à variation nulle, données univariées et pseudo-données) compilées à partir de la littérature et d'autres estimées dans la présente étude.

L'ensemble de données uni-variées utilisés comprennent des observations de :

- (i) La longueur et le poids humide
- (ii) L'âge en fonction de la longueur

Ces observations sont présentées dans la figure III.1.

Les pseudo-données observées sont des paramètres généraux standards de l'animal et elles sont constantes pour les cinq espèces étudiées. A partir de ces valeurs de départs, pour chaque espèce sera estimé une valeur théorique qui dépendra de la physiologie et donc de la stratégie énergétique adoptée pour chaque espèce.

La valeur standard de la conductance énergétique est de $0,02 \text{ cm jr}^{-1}$, ses valeurs théoriques sont les mêmes pour toutes les espèces sauf que pour *Boops boops* et *Lithognathus mormyrus* elle est plus grande ($0,06$ et $0,13 \text{ cm j}^{-1}$).

La valeur standard de la fraction d'allocation à la maintenance somatique est de $0,8$. Ses valeurs estimées sont différentes pour toutes les espèces étudiées et elles varient de $0,6$ à 1 .

La valeur standard du volume spécifique à la maintenance somatique est de 18 J/jr.cm^2 , ses valeurs théoriques varient de $14,03$ à $49,4 \text{ J/jr.cm}^2$.

Pour le reste de paramètres, les valeurs théoriques sont similaires avec leurs valeurs standards : l'efficacité de la reproduction est de $0,95$, le coefficient de maintien de la maturité est de $0,002$ et l'efficacité de la croissance est de $0,8$.

Tableau III. 1 : les données d'entrée : données à variation nulle (*zero variate data*), les pseudos donnés obtenu pour : *B. boops*, *L. mormyrus*, *P. acarne*, *D. cuneata* et *M. azevia*.

Espèces	Sparidae				Soleidae	
	<i>B. boops</i>	<i>L. mormyrus</i>	<i>P. acarne</i>	<i>D. cuneata</i>	<i>M. azevia</i>	
Donnée à variation nulle						
a_b : âge à la naissance (j)	4 ⁽²⁾	2 ⁽⁶⁾	2 ⁽⁷⁾	2 ⁽⁵⁾	Pas utilisé	
a_s : âge à la première maturité sexuelle (j)	540 ⁽²⁾	623 ⁽¹⁾	717 ⁽¹⁾	933 (Présente étude)	1438 (Présente étude)	
a_m : longévité (j)	2920 ⁽²⁾	2555 ⁽¹⁾	3650 ⁽¹⁾	2190 ⁽⁴⁾	2555 (Présente étude)	
L_b : longueur à la naissance (cm)	0,26 ⁽²⁾	0,17 ⁽⁶⁾	0,25 ⁽⁷⁾	0,24 ⁽⁵⁾	0,34 ⁽⁸⁾	
L_p : longueur à la 1 ^{ère} maturité sexuelle (cm)	17 ⁽²⁾	15,48 ⁽¹⁾	16,55 ⁽¹⁾	16 ⁽³⁾	17,51 (Présente étude)	
L_i : longueur maximale (cm)	28,42 ⁽²⁾	34,89 ⁽¹⁾	33,31 ⁽¹⁾	24,23 ⁽⁴⁾	39,27 (Présente étude)	
W_w^b : poids à la naissance (g)	5,24e ⁻⁴ ⁽²⁾	1e ⁻⁴ ⁽¹⁾	8,32e ⁻⁵ ⁽¹⁾	1,38e ⁻⁴ ⁽⁴⁾	5,17e ⁻⁴ (Présente étude)	
W_w^p : poids à la puberté (g)	44,5 ⁽²⁾	45,39 ⁽¹⁾	55,16 ⁽¹⁾	29,53 ⁽⁴⁾	53,68 (Présente étude)	
W_w^i : poids maximal (g)	216 ⁽²⁾	564,86 ⁽¹⁾	391,53 ⁽¹⁾	99,21 ⁽⁴⁾	572,70 (Présente étude)	
R_i : reproduction maximale (/j)	430 ⁽²⁾	1137,53 ⁽¹⁾	499,45 ⁽¹⁾	116,35 ⁽⁴⁾	422,80 (Présente étude)	
Données univariées						
t-L	Figure III.1					
L-W						
	Pseudo données	Valeurs standards			Valeurs théoriques	
\dot{v} : conductance énergétique		0,02	0,06	0,13	0,02	0,02
κ : fraction d'allocation à la maintenance somatique		0,8	0,8	0,9	1	0,9
κ_R : efficacité de la reproduction		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
$[pM]$: volume spécifique à la maintenance somatique		18	49,4	14,03	27,14	26,13
κ_j : coefficient de maintien de la maturité		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
κ_G : efficacité de la croissance		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
(1) Boufersaoui (2016)	(3) Ouabadi (1991)	(5) Marcelino Herera (2007)	(7) Gaetani (1935)			
(2) Handjar Houria (2015)	(4) Boufersaoui et Saidani (2015)	(6) Divanach et Kentouri (1983)	(8) Marinaro (1991)			

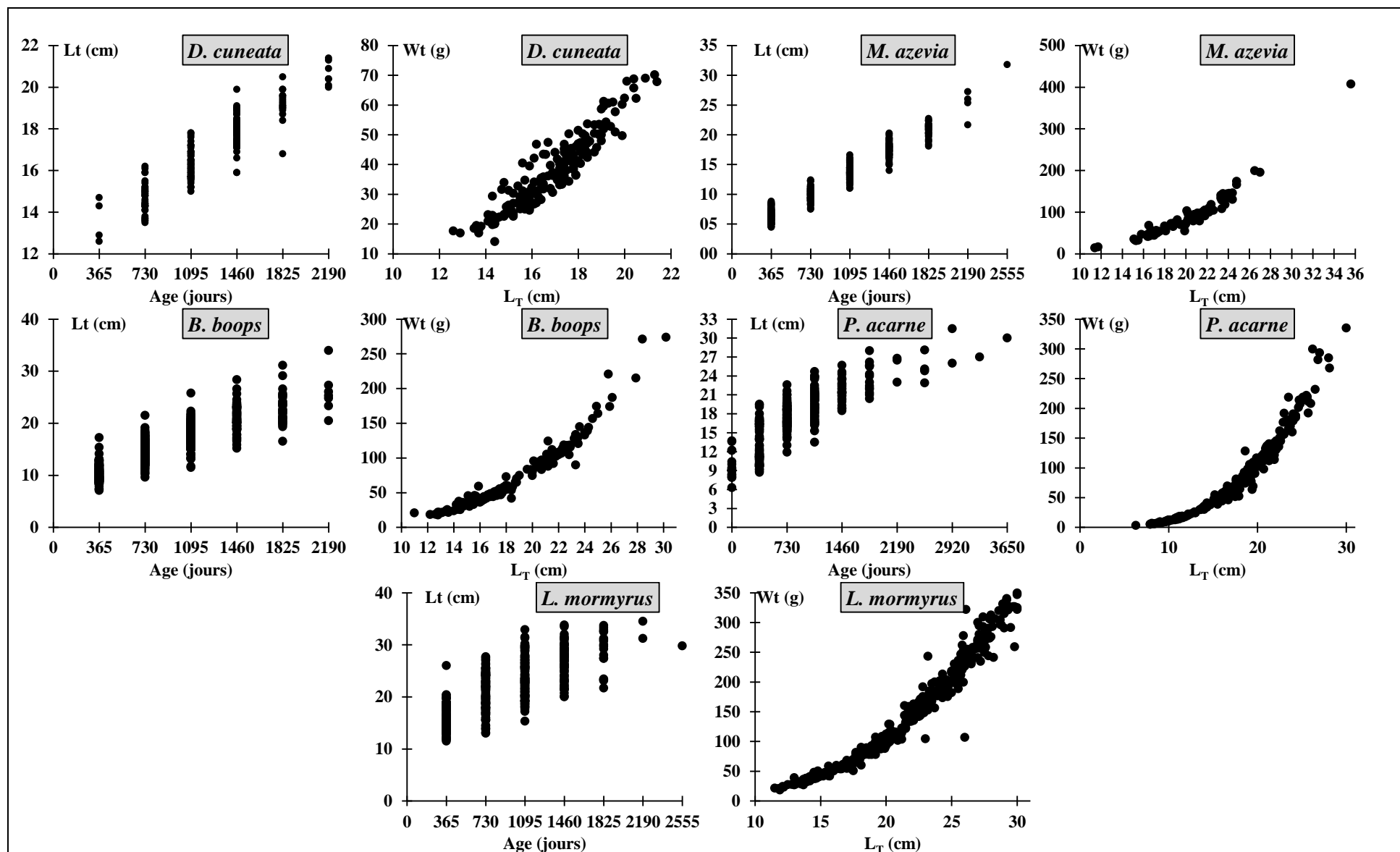


Figure III. 1. Présentation des données univariées taille-âge et taille-poids pour les cinq espèces étudiées.

2. Estimation des paramètres DEB

Les différences dans les schémas de croissance peuvent être attribuées en partie à la différence de température et en partie aux processus physiologiques. Pour éliminer les effets de la température, nous avons effectué des simulations en utilisant les valeurs de paramètres estimées dans le tableau III.2, où tous les taux ont été corrigés pour la température de référence de $T_{\text{ref}} = 20 \text{ } ^\circ \text{C}$. Tous les résultats sont publiés après leur validation par Kooijman le fondateur de la théorie DEB dans la collection *add_my_pet*.

2.1. Taille et forme individuelle

Les comparaisons des paramètres primaires entre les espèces au sein de la même famille dans le contexte DEB supposent que la conception physique (et les paramètres de conception physique) d'un organisme dépend de sa taille maximale, tandis que les paramètres influençant l'environnement biochimique d'un organisme dépendent de la taille, à la fois inter- et intraspécifique (Kooijman, 2010). Trois paramètres dépendent de la taille maximale dans le modèle DEB standard : le taux d'assimilation spécifique à la surface spécifique $\{\dot{P}_{AM}\}$, le seuil de maturité à la naissance E_H^b et le seuil de maturité à la puberté E_H^p .

En théorie DEB, les espèces accélératrices dont font parties les espèces étudiées subissent un changement métabolique à la métamorphose. Au début de la phase juvénile, les larves suivent les règles de DEB d'une morphologie V1 et croissent de manière exponentielle (la surface augmente proportionnellement au volume). Les stades post-métamorphose supposent une isomorphie et suivent la croissance de von Bertalanffy (Kooijman, 2010 ; Kooijman *et al.*, 2011).

Étant donné que la taille maximale diffère selon les espèces, un facteur de zoom sans dimension z est appliqué et est utilisé pour comparer les paramètres physiques d'un organisme à un « organisme de référence » de longueur maximale ($L_{M\text{ref}} = 1 \text{ cm}$) (Kooijman, 2010). La plupart des paramètres composés sont dérivés d'une manière ou d'une autre en utilisant le facteur de zoom.

Les facteurs de zoom entre les espèces de Sparidae diffèrent considérablement, allant de 0,674 (*L. mormyrus*) à 4,759 (*B. boops*). *P. acarne* se situait dans le milieu de cette fourchette à 2,67. Les valeurs de ce facteur chez les espèces de Soleidae varient moins, il est de 1,304 pour *D. cuneata* à 3,015 pour *M. azevia*.

La relation entre le volume et la longueur, qui varie considérablement entre espèces de morphologies différentes, est recensée à l'aide du coefficient de forme (δ_M). Ce coefficient convertit les longueurs physiques en longueurs structurelles, à partir des équations détaillées précédemment [$L = \delta_M L_w$ et $V = (\delta_M L)^3$]

Les valeurs de coefficient de forme entre les espèces de Sparidae varient de 0,171 (*B. boops*) à 0,236 (*L. mormyrus*). Chez les espèces de Soleidae varient moins, ils sont de 0,149 pour *M. azevia* à 0,179 pour *D. cuneata*.

Les valeurs sont calculées sous hypothèse d'un milieu dans lequel la nourriture est abondante ($f=1$). *D. dentex* a une longueur plus grande mais un poids inférieur à *S. aurata*, car *S. aurata* a un volume de structure supérieur à celui de *D. dentex*. *S. aurata* est plus rond que *D. dentex*, ce qui se traduit par une valeur plus grande du coefficient de forme δ_M .

Tableau III. 2 : facteur accélérateur, facteur de forme et facteur de zoom de quelque espèces de Sparidés et de Soliedés (Tref = 20°C, $f=1$)

Symbole	S_M	δ_M	Z
Sparidae			
<i>B. boops</i>	1	0,171	4,750
<i>L. mormyrus</i>	12,12	0,236	0,674
<i>P. acarne</i>	2,34	0,201	2,670
<i>S. aurata</i>	6,7	0,192	1,253
<i>D. dentex</i>	5,3	0,221	4,219
<i>P. erythrinus</i>	22,7	0,213	1,481
<i>D. puntazzo</i>	10,9	0,183	1,110
Soleidae			
<i>D. cuneata</i>	3,21	0,179	1,304
<i>M. azevia</i>	2,22	0,149	3,015
<i>S. solea</i>	4,07	0,171	2,670

SM : Facteur accélérateur, δ_M : Facteur de forme, Z : facteur de zoom

2.2. Nourriture et assimilation

Le taux maximum d'assimilation spécifique $\{\dot{P}_{AM}\}$ résultant de la relation : $zL_{mref} = \frac{k\{\dot{P}_{AM}\}}{[P_M]}$. Avant accélération, il a été estimé à une valeur maximale de 297,55 J/d.cm² pour le poisson pélagique *B. boops*. Les valeurs de $\{\dot{P}_{AM}\}$ *P. acarne* et *D. dentex* ont presque le même taux d'assimilation (75,78 et 75,25). Pour les soleidés la plus grande valeur est de 81,70 chez *S. solea*. Le taux est beaucoup plus faible chez *D. cuneata*.

Les valeurs au stade de poste-métamorphose de la conductance énergétique (\dot{v}) dépendent de la nourriture et diffèrent entre les deux familles. Il est plus faible chez les espèces de Soleidae que chez les Sparidae. *L. mormyrus* représente la valeur la plus élevée (0,13549 cm/jr).

Les valeurs de la conductance énergétique chez les espèces de Soleidae et le pour le Sparidae *P. acarne* sont presque égales à la valeur standard (0,02 cm/jour). *L. mormyrus* a une valeur plus

grande de presque 7 fois la valeur standard (Fig.III.2). Il est observé dans la figure III.2 que de la conductance énergétique (\dot{v}) ne dépend pas de la longueur asymptotique quelle que soit l'espèce.

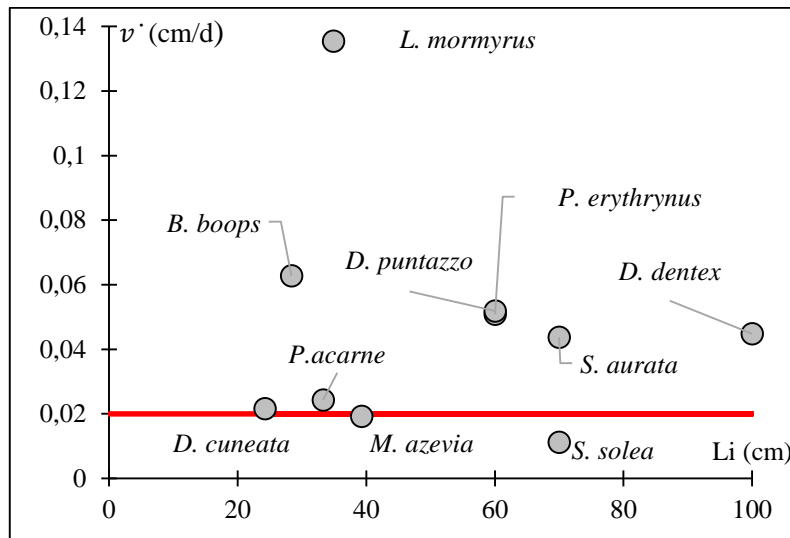


Figure III. 2. Les valeurs de la conductance énergétique ($T_{ref} = 20^\circ C$) en fonction de la longueur structurelle maximale des espèces de la famille des Sparidae et des Soleidae

Le modèle abj de la théorie DEB que nous avons appliquée représente avec succès l'accélération des taux de croissance aux stades larvaires. Dans le type d'accélération, le taux maximal d'assimilation et la conductance énergétique spécifiques à une surface spécifique augmentent simultanément. L'augmentation est proportionnelle à la longueur structurelle. Le facteur d'accélération sM avec lequel ces paramètres à la naissance sont multipliés pour obtenir ceux de la métamorphose est le rapport de la longueur structurelle à la métamorphose L_j et la taille à la naissance L_b .

Le facteur d'accélération diffère d'une espèce à l'autre, les valeurs les plus grandes étant attribuées à *L. mormyrus*, *P. erythrinus* et *D. puntazzo*. Les espèces ayant le facteur d'accélération le plus élevé commencent lentement à la naissance et accélèrent leur croissance pour se rattraper à la métamorphose. Les espèces de poisson dont les valeurs de sM sont faibles comme *B. boops* ne suivent pas ce schéma.

Dans le tableau III.3 est récapitulé, pour 7 espèces de perciformes et pour 3 espèces de Pleuronectiformes, le facteur d'accélération avec leur habitat marin, la saison de frai et la température moyenne de l'eau au frai en Méditerranée. Selon Lika *et al.* (2013), le facteur d'accélération des poissons démersaux augmente avec la température de l'eau au moment du frai. Cette tendance pourrait également s'appliquer aux poissons pélagiques.

L'accélération métabolique chez les neuf espèces de Perciformes étudiées peut être liée à leur saison de frai. *P. erythrinus* avec le facteur d'accélération le plus élevé commence à se reproduire

au printemps, mais il peut aller jusqu'à l'automne. *D. puntazzo* avec le deuxième facteur d'accélération le plus important se reproduit tôt en automne, tandis que les deux autres sparidés *D. dentex* et *S. aurata*, présentant des facteurs d'accélération plus faibles, se reproduisent au printemps et en hiver, respectivement

En effet, le poisson pélagique, *B. boops*, et semi pélagique *P. acarne* frayent vers la fin du printemps ou le début de l'été lorsque la température de l'eau est élevée, comme c'est le cas également pour *L. mormyrus*, *P. erythrinus* et *D. puntazzo*, au sein de la même famille, mais leurs facteurs d'accélération sont faibles par rapport à ces derniers. *B. boops* et *P. acarne* sont des poissons pélagiques et semi pélagique respectivement, migrateurs à forte croissance (Karakulak *et al.*, 2004). Leur comportement migratoire pourrait être lié aux efforts de l'espèce pour identifier les conditions environnementales appropriées, en termes de température et de disponibilité de nourriture, pour le frai. Cette histoire de vie des poissons pélagiques pourrait expliquer leur faible facteur d'accélération. L'été et l'automne en Méditerranée sont caractérisés par des températures élevées et donc une demande respiratoire élevée et une faible disponibilité de nourriture (Coma *et al.*, 2009). Ces espèces doivent commencer à se développer lentement pour maintenir un métabolisme faible, ce qui nécessite un faible taux d'ingestion.

Les autres espèces démersales de la famille des Soleidae, ont des facteurs d'accélération plus faibles, ce qui signifie que leurs taux de croissance augmentent plus progressivement et se reproduisent en hiver ou au printemps.

Tableau III. 3. Le facteur d'accélération de 7 espèces de Sparidés et 3 espèces de Soleidés avec leur habitat marin, la saison de frai et la température moyenne de l'eau au frai en Méditerranée.

Symbole	$\{\dot{P}_{AM}\}$ J/d.cm ²	$\{\dot{P}_{AM}\}^*$	\dot{v} (cm/d)	sM	Habitat	T ⁰ (Min-Max)	Frai
Sparidae							
<i>B. boops</i>	297,552	297,65	0,063	1	Pélagique	17,8 (11,7-27,8)	Avr-Juin
<i>L. mormyrus</i>	10,47	126,9	0,135	12,12	Demersal	24,4 (17,1-27,5)	Juin-Aou
<i>P. acarne</i>	75,8	177,37	0,024	2,34	S-Pélagique	14,8 (12-18,4)	Avr-Juin
<i>S. aurata</i>	25,1729	168,66	0,044	6,7	Demersal	19,2 (16,5-22,7)	Oct-Dec
<i>D. dentex</i>	75,252	398,84	0,045	5,3	Demersal	16,5 (16,9-19,2)	Avr-Mai
<i>P. erythrinus</i>	26,2038	594,83	0,051	22,7	Demersal	24,0 (19,2-27,2)	Mai-Sep
<i>D. puntazzo</i>	21,2269	231,37	0,052	10,9	Demersal	23,9 (22,7-25,1)	Sep-Oct
Soleidae							
<i>D. cuneata</i>	36,4149	116,89	0,022	3,21	Demersal	18,2 (12,5-27,6)	Jan-Mai
<i>M. azevia</i>	77,0227	170,99	0,019	2,22	Demersal	13,8 (9,8-18,1)	Mai-Dec
<i>S. solea</i>	81,6958	332,5	0,011	4,07	Demersal	11,4 (9-20)	Avr-Aou

2.3. La maintenance

Le coût énergétique pour la maintenance somatique [P_M] pour le poisson pélagique *B. boops* a été estimé par une valeur de 49,40 J cm⁻³ qui est une valeur très grande par rapport aux autres espèces étudiées, celle de *L. mormyrus* (14,03 J cm⁻³) est la plus faible. *P. acarne* occupe la deuxième position, puis viennent les autres espèces démersales de cette famille, avec des valeurs

qui se rapprochent entre elles. Pour les espèces de Soleidae les valeurs varient de 14,63 J cm⁻³ chez *M. azevia* à une valeur la plus élevée estimée à 26,13 J cm⁻³ pour *D. cuneata*.

Le paramètre [E_G] est la quantité d'énergie de réserve nécessaire pour synthétiser un volume unitaire de structure, y compris l'énergie stockée dans les tissus et les dépenses énergétiques pour l'anabolisme. Cette valeur ne diffère par grandement entre les espèces. Elle est cependant relativement plus faible avec les deux valeurs minimales pour *P. acarne* (5214,89 J cm³).

Les valeurs de l'investissement énergétique dans les transitions du cycle de vie (de la naissance vers la maturité) E_H^b , E_H^j et E_H^p pour *B. boops* était les plus élevées, estimées respectivement de 0,3018, 0,3021 et 58480 J.cm³.

Une très faible différence a été observée entre l'énergie dépensée pour la maturité à la naissance E_H^b et la maturité à la métamorphose E_H^j chez cette espèce par rapport aux autres Sparidés où la différence est importante (le cas de *L. mormyrus*), impliquant que cette espèce pourrait réduire le temps passé entre ces deux phases et donc compléter la métamorphose plus tôt.

Pour indiquer les valeurs des paramètres par rapport à celles d'autres espèces, la figure III.2 inclut les valeurs des paramètres de quelques espèces de Sparidés et de Soliedés dans la bibliothèque add_my_pet en fonction de la taille maximale, en présentant les valeurs standards de chaque paramètre (la ligne en rouge).

Les coûts pour la structure (E_G) sont inférieurs à la valeur standard sauf le cas de *L. mormyrus* (5238 J/cm³), la plus petite valeur est celle de *P. acarne* (5215 J/cm³).

Les coûts somatiques spécifiques sont très proches de la valeur standard chez *P. erythrinus*, *S. aurata* et *D. dentex* (18 J/dm³), la plus grande valeur est celle de *B. boops* (49,4 J/dm³).

Tableau III. 4. Les coûts énergétiques pour de la maintenance somatique [P_M], les coûts pour la structure (E_G) et les valeurs de l'investissement énergétique dans les transitions du cycle de vie E_H^b , E_H^j et E_H^p pour 7 espèces de Sparidés et 3 espèces de Soleidés.

Symbole	[P_M](J/d.cm ³)	E_G (J/cm ³)	E_H^b	E_H^j	E_H^p
Sparidae					
<i>B. boops</i>	49,40	5221,44	0,3018	0,3021	58480
<i>L. mormyrus</i>	14,03	5238,45	0,054	96,860	28480
<i>P. acarne</i>	27,14	5214,89	0,013	0,163	11410
<i>S. aurata</i>	19,17	5229	0,044	290,800	145400
<i>D. dentex</i>	16,62	5232	0,169	22,760	462800
<i>P. erythrinus</i>	17,09	5231	0,027	24,030	11460
<i>D. puntazzo</i>	18,58	5229,2	0,014	22,757	58316,1
Soleidae					
<i>D. cuneata</i>	26,13	5219,39	0,036	1,210	11960
<i>M. azevia</i>	14,63	5231,46	1,056	11,670	119800
<i>S. solea</i>	22,50	5222,36	0,058	3,916	151495

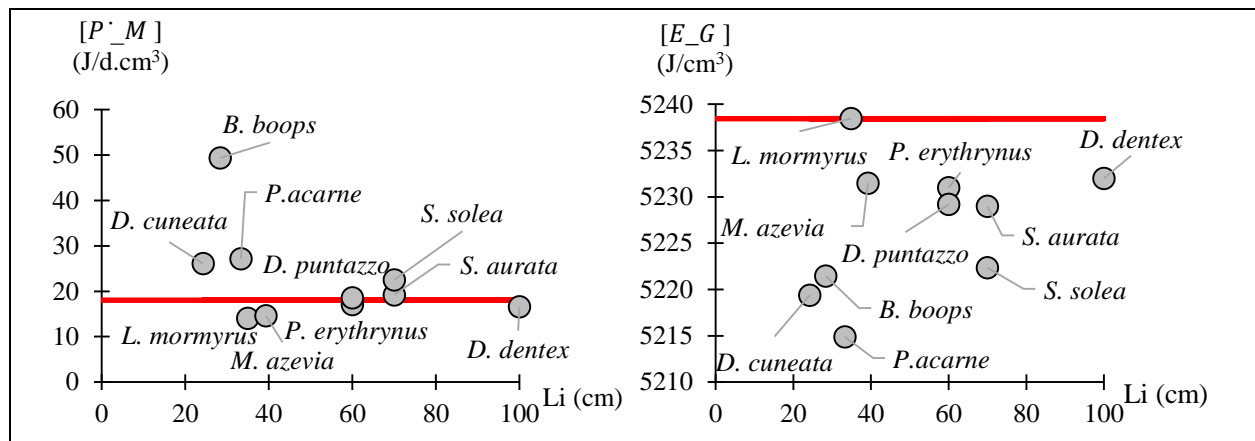


Figure III. 3. Coût pour la structure [EG] et coût somatique spécifique [P_M] en fonction de la longueur structurelle maximale pour 7 espèces de Sparidés et 3 espèces de Soleidés. Les lignes correspondent aux attentes sur la base d'un animal généralisé (Kooijman, 2010, tableau 8.1).

2.4. Fraction d'allocation à la croissance et à la maintenance somatique

La théorie DEB suppose que l'énergie assimilée à la nourriture pénètre directement dans la réserve, qui est ensuite dépensée en croissance et en maintien somatique à une fraction fixe (κ). La quantité restante ($1-\kappa$) est consacrée à la maturation / reproduction et au maintien de la maturité.

La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique, κ , obtenue et reportés pour l'ensemble des espèces de Sparidae et de Soleidae est montrée par la figure III. 4.

Comparée à la valeur standard ($\kappa = 0,8$), la valeur κ de *D. puntazzo* se situait dans la limite supérieure de la fourchette du reste des Sparidés à 0,97.

La sole perdrix *M. azevia* et la sole commune *S. solea* ont des valeurs inférieures à la valeur standard ($\kappa = 0,7$) avec une valeur très basse pour la première espèce ($\kappa = 0,57$).

La valeur standard est très proche de la valeur obtenue par van der Veer *et al.* (2006) ($\kappa = 0,7$) et plus élevé que celui obtenu par Rosland *et al.* (2009) ($\kappa = 0,45$).

Il n'apparaît pas que la valeur de κ soit corrélée avec la taille ultime de l'espèce. Ces différences impliquent des différences dans la stratégie de reproduction de l'organisme : une valeur plus élevée de κ représente un investissement plus important pour la croissance et un indice gonado-somatique plus bas comme conséquence directe. C'est-à-dire que l'énergie est consacrée à la maintenance somatique qu'à la reproduction.

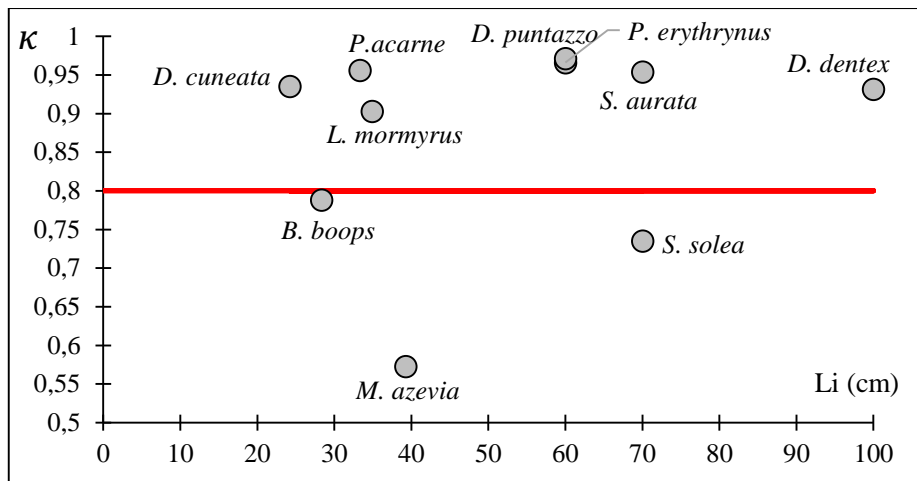


Figure III. 4. La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique κ pour l'ensemble des espèces de Sparidae et de Soleidae

3. Modélisation bioénergétique de la croissance

Le tableau III.3 montre les données réelles (observées) et prédites (théoriques) relatives à la croissance, ainsi que les erreurs relatives calculées, (dans des conditions de nourriture abondante $f = 1$)

Dans l'ensemble, les prédictions sont bonnes pour l'âge, la longueur à la naissance et le poids maximum.

Pour éliminer les effets de changement de la température, nous avons effectué des simulations en utilisant les valeurs des paramètres DEB estimées où tous les taux ont été corrigés pour une température de référence de $T = 20^{\circ}\text{C}$ et on a comparé les espèces au sein des familles.

La croissance des espèces commence à peu près à partir de 0,19 cm à 0,35 cm.

En comparant les données observées et celles exprimées par le model DEB on distingue qu'il y a une précision avec des taux d'erreurs faibles. Les longueurs à la naissance estimées ont été augmentées par rapport aux valeurs observées. Par contre les longueurs ultimes estimées par le model sont inférieures aux valeurs observées, cette différence est négligeable chez *B. boops*.

La figure III. 3 montre les valeurs observées (points) et courbes de croissance du modèles von Bertalanffy en prenant en compte les bilans énergétiques (Model DEB) des 5 espèces étudiées.

On remarque que tous les schémas de croissances sont différents. Cette différence peut être attribuée d'une part à la température du milieu et d'autre part aux processus physiologiques. Car les données ont été obtenues à différentes températures. Comparées à la même température, leurs courbes de croissance sont différentes en raison des différences de valeurs des paramètres.

Chez la bogue la croissance est un peu plus rapide par rapport aux autres espèces de Sparidés ($k = 0,72\text{an}^{-1}$).

Le modèle montre avec succès une accélération des taux de croissance aux premiers stades de vie. Il n'y a pas de schéma clair entre la durée de l'accélération, définie comme les jours allant de la naissance à la métamorphose. Il y a cependant une tendance à ce que les espèces avec le facteur d'accélération le plus élevé s_M accélèrent plus longtemps (le cas de *L. mormyrus*). C'est parce que les temps d'incubation sont de toute façon courts et que la taille à la naissance ne diffère pas beaucoup.

Tableau III. 5- présentation des données de la croissance observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez les cinq espèces étudiées

Data	<i>B. boops</i>		<i>L. mormyrus</i>		<i>P. acarne</i>		<i>D. cuneata</i>		<i>M. azevia</i>	
	Obs	Est (Er)	Obs	Est (Er)	Obs	Est (Er)	Obs	Est (Er)	Obs	Est (Er)
Age à la naissance (jr)	4	4,25 (0,064)	1,67	1,72 (0,029)	2	6,98 (2,489)	2	10,89 (4,446)		
Longueur totale à la naissance (cm)	0,26	0,35 (0,346)	0,17	0,19 (0,115)	0,25	0,19 (0,252)	0,24	0,28 (0,080)	0,34	0,36 (0,060)
Longueur totale maximale (cm)	28,42	27,8 (0,022)	34,89	34,64 (0,007)	33,31	31,16 (0,065)	24,23	23,35 (0,036)	39,27	37,4 (0,048)
Poids humide à la naissance (g)	$5,24e^{-4}$	$4,34e^{-4}$ (0,172)	$1e^{-4}$	$9,72e^{-5}$ (0,028)	$8,32e^{-5}$	$8,85e^{-5}$ (0,064)	$1,38e^{-4}$	$1,349e^{-4}$ (0,022)	$5,16e^{-4}$	$5,04e^{-4}$ (0,024)
Poids humide maximal (g)	216	217,7 (0,008)	564,9	552,9 (0,021)	391,5	409,3 (0,045)	99,21	99,92 (0,007)	572,7	563,1 (0,017)

Obs : valeurs observées Est : valeurs estimées Er : erreur jr : jours

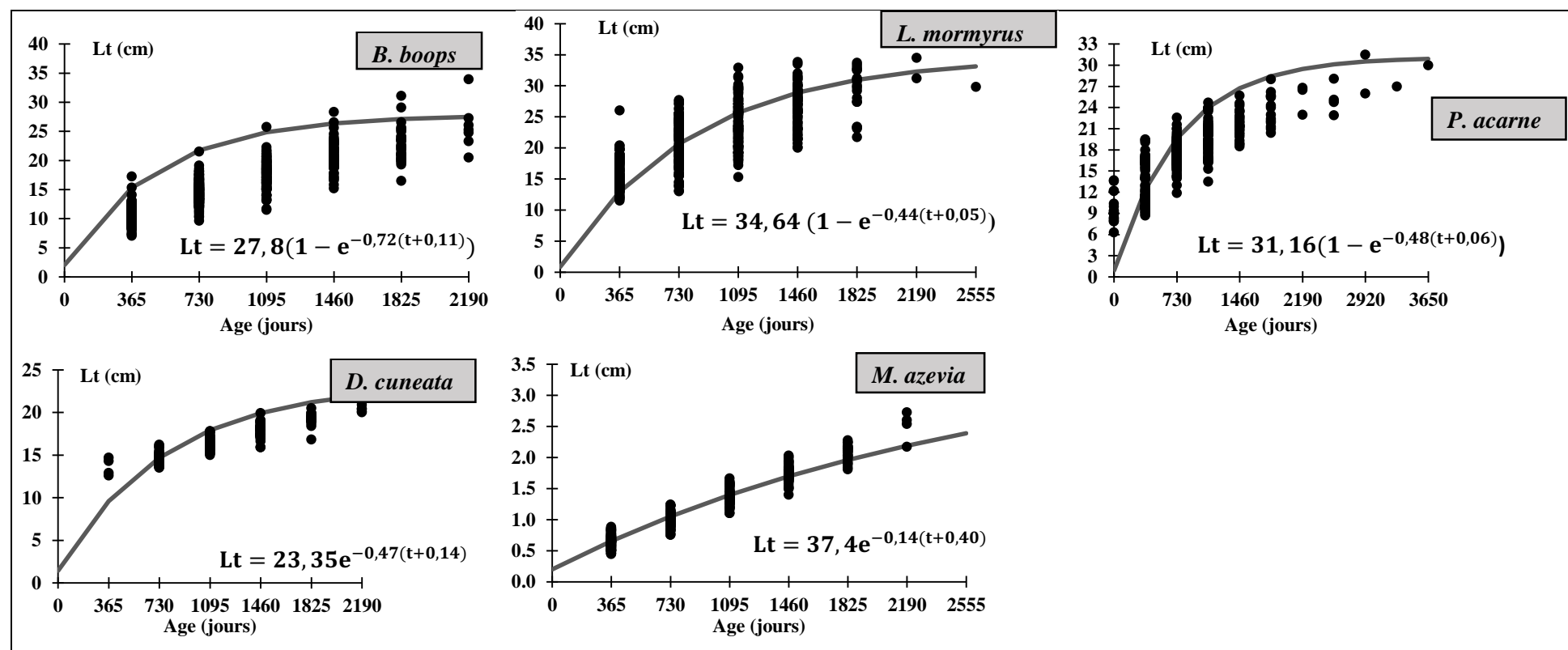


Figure III. 5. Présentation des courbes de croissance de von Bertalanffy modélisées par le modèle DEB de *Boops boops*, *Pagellus acarne*, *Lithognathus mormyrus*, *Dicologlossa cuneata* et *Microchirus azevia*.

4. Etude bioénergétique de la reproduction

Les observations et les prédictions sur l'âge, la longueur, le poids à la puberté et la reproduction maximale par le model DEB sont exprimées dans le tableau III.4, ainsi que les erreurs calculées pour chaque espèce étudiée.

On remarque que ces observations rapprochent des prédictions obtenues par le modèle DEB. La plus petite taille de maturité estimée chez les Sparidés est celle de *L. mormyrus* (15,22 cm) à l'âge de 576 jours avec et un poids de 45,6 g. Chez *B. boops*, 50% des individus sont sexuellement matures à une taille totale de 16,3 cm à 571 jours après la naissance avec un poids de 43,8 g. Alors que chez *P. acarne* 50% des individus sont matures à une taille de 15,88 cm après 762 jours de la naissance, avec un poids de 54,1 g. Pour les Soleidés, 50% des individus sont matures à une taille de 15,36 cm chez *D. cuneata* (1018 jours) et un poids de 28,45 g. *M. azevia* atteint sa puberté à l'âge de 1754 jours correspondant à une taille de 16,67 cm et un poids de 49,87 g.

Les deux Sparidés *L. mormyrus* et *P. acarne* poussent approximativement à la même longueur, mais les poids humides sont différents. Ceci est peut-être lié au poids humide qui a des contributions à la fois de la structure et de la réserve (Eq.1) et que *P. acarne* a plus de capacité de réserve que *L. mormyrus* :

$$w_w = d_v V \left(1 + \frac{[E_m] w_E}{d_{vd} \bar{\mu}_E} e \right) \quad (1)$$

d_v , d_{vd} : densités du poids humide et sec respectivement (g cm^{-3}), w_w : poids moléculaire des réserves (g mol^{-1}), $\bar{\mu}_E$: potentiel chimique des réserves (J mol^{-1}), $e = [E]/[E_m]$: densité de réserve échelonnée, qui à densité de nourriture constante, et donc la réponse fonctionnelle constante f , prend la valeur de la réponse fonctionnelle f , donc $e = f$.

Les valeurs observées de la reproduction maximales des espèces étudiées sont tirées de la littérature, à l'exception des celles de *M. azevia* et *B. boops* ou on a utilisé la méthode de comptage gravimétrique, on a effectué d'abord une étude de diamètre ovocytaire (Fig.III.4, Fig.III.5).

Chez *B. boops* ; en pré-ponte les ovocytes ont une taille hétérogène et une allure sphérique.

La distribution des fréquences du diamètre ovocytaire est multimodale (Fig.III.4) montre cinq groupes d'ovocytes, chacun avec un mode distinct qui représente une phase différente. Les valeurs extrêmes des diamètres des ovocytes mesurés varient entre 94,87 et 794,12 μm . Le premier groupe représente le lot d'ovocytes de réserve (immatures) dont la limite supérieure de son étendue est de 210 μm . De ce premier lot, se détachent 4 autres groupes d'ovocytes. La valeur modale du dernier lot d'ovocytes est égale à environ 535 μm . C'est une taille approximative moyenne de l'œuf mature au moment de la ponte. Pour l'estimation plus précise de la fécondité de *B. boops*, la limite

supérieure de la première cohorte d'ovocytes a servi comme référence pour le choix de la maille du filtre à utiliser, ceci pour filtrer ces ovocytes de réserve.

Pour *M. azevia* la distribution des fréquences du diamètre ovocytaire est uni-modale (Fig.III.5), c'est un reproducteur totale (une seule ponte par an). Les valeurs extrêmes des diamètres des ovocytes mesurés se varient entre 66,67 et 759,02 μm . C'est pour cela qu'on n'a pas effectués une filtration des ovocytes avant le calcul de la fécondité de cette espèce.

La reproduction maximale prédite avec précision par le model DEB de *B. boops* est de 420 ovocyte par jour, pour *M. azevia* elle est de 417 ovocytes par jour. Pour les deux cas sa valeur a diminué par rapport aux valeurs observées. C'est peut être la conséquence de l'effet du changement de la température.

Tableau III. 6. Présentation des données de la reproduction observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez les cinq espèces étudiées

	<i>B. boops</i>		<i>L. mormyrus</i>		<i>P. acarne</i>		<i>D. cuneata</i>		<i>M. azevia</i>	
Data	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est	Obs	Est (Er)	Obs	Est (Er)
L_p (cm)	17	16,3 (0,041)	15,48	15,22 (0,017)	16,55	15,88 (0,041)	16	15,36 (0,040)	17,51	16,67 (0,048)
a_s (jours)	540	570,7 (0,057)	623,2	575,7 (0,076)	717	761,7 (0,062)	933	1018 (0,091)	1439	1754 (0,2191)
W_w^p (g)	44,5	43,85 (0,015)	45,39	46,92 (0,034)	55,16	54,14 (0,018)	29,53	28,45 (0,037)	53,68	49,87 (0,071)
R_i (jour ⁻¹)	430	420,3 (0,022)	1138	1152 (0,012)	499,5	492,8 (0,013)	116,3	116,9 (0,005)	422,8	417 (0,012)

L_p : Longueur de la première maturité sexuelle W_w^p : Poids à la puberté
 a_s : Age à la première maturité sexuelle R_i : Reproduction maximale
 - Obs : Valeur observée - Est : Valeur estimée Er : erreur relative

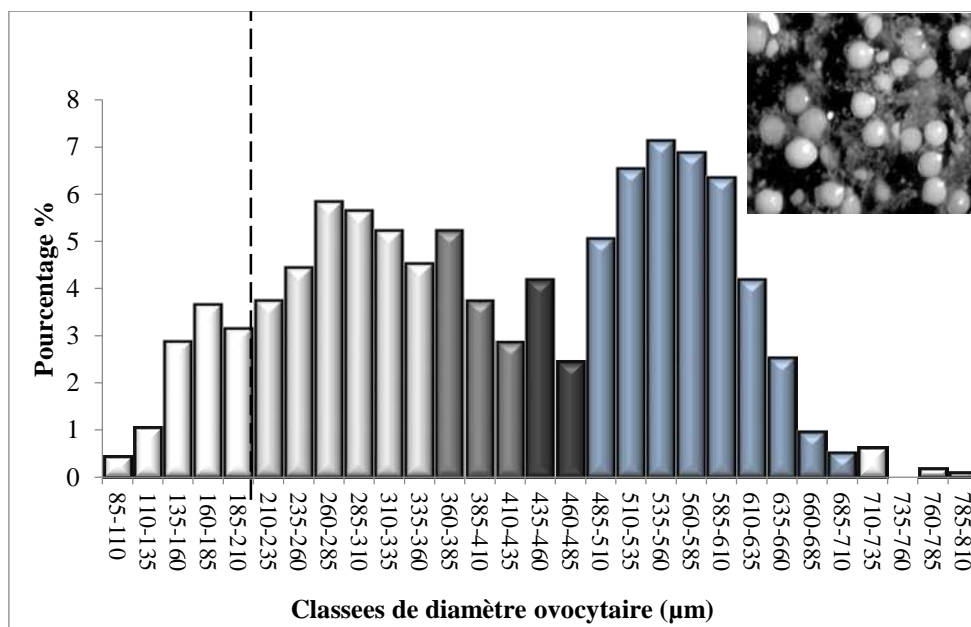


Figure III. 6. Histogramme des fréquences du diamètre ovocytaire chez *Boops boops*

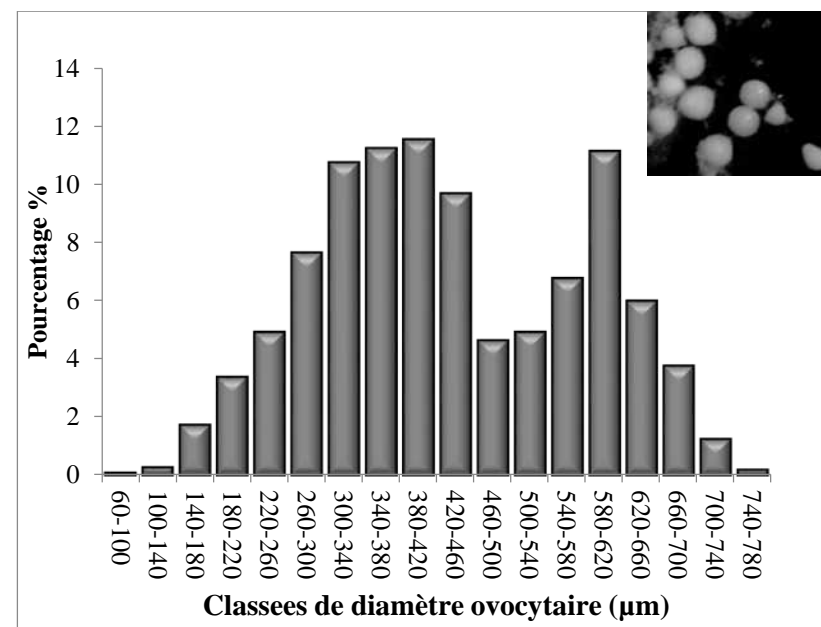


Figure III. 7. Histogramme des fréquences du diamètre ovocytaire chez *Microchirus azevia*

Conclusion

Au terme de ce travail, qui a porté sur l'estimation des paramètres du modèle bioénergétique DEB pour étudier la croissance et la reproduction de quelques espèces de la famille des Sparidae et de Soleidae des côtes algériennes, ceci afin de comprendre l'effet de l'environnement vécu par un individu sur l'utilisation de l'énergie disponible pour la reproduction et sur l'étalement des pontes et ses conséquences sur la croissance et le développement.

Les modèles DEB constituent un outil puissant pour décrire le flux d'énergie passant par les organismes, depuis l'assimilation des aliments jusqu'à leur utilisation pour le maintien, la croissance et la reproduction. La théorie DEB a été appliquée avec succès à plusieurs espèces de Sparidés et de Soleidae afin de comparer les stratégies bioénergétiques et physiologiques d'utilisation de l'énergie. Les espèces de Sparidae et de Soleidae étudiées ici, ont fait l'objet de nombreuses études en raison de leur importance économique et écologique et de leur répartition mondiale. Toutefois, leurs valeurs des paramètres DEB n'ont jamais été estimées auparavant, il s'agit d'une étude qui a contribué au complément de la base de données universelle *add_my_pet* après acceptation et validation par le fondateur de la théorie DEB, le professeur S.A.L.M. (Bas) Kooijman (Université d'Amsterdam, Pays Bas).

L'ensemble des paramètres DEB ont été obtenus en utilisant la procédure d'estimation par la méthode de covariation. Nous avons étendu le modèle DEB standard (std) au modèle *abj* afin d'inclure l'accélération métabolique au cours de la période larvaire, où l'assimilation spécifique maximale et la conductance énergétique augmentent avec la durée entre la naissance et la métamorphose métabolique. L'accélération métabolique a pour conséquence que les larves croissent initialement plus lentement que les juvéniles et les adultes.

Nos résultats indiquent que les espèces avec une accélération plus élevée ont des taux de croissance plus faibles à la naissance et ils suggèrent également que l'accélération métabolique est liée à la saison de frai. L'accélération métabolique élevée des espèces démersales est associée au frai estival-automnal en Méditerranée, où la température est élevée et la disponibilité en nourriture faible.

Nous nous sommes basés sur l'interprétation physiologique des paramètres de l'équation de croissance de von Bertalanffy donné par la théorie DEB. Cette interprétation physiologique permet de considérer un effet environnemental sur ces paramètres. Il faut en particulier comparer les individus soumis à une même température. Pour cette raison, nous suggérons d'associer une température de référence aux paramètres de von Bertalanffy.

La théorie DEB établit de manière déterministe le lien entre l'environnement et l'individu. Le nombre des règles d'allocation de l'énergie est limité ; ces règles sont en fonction des propriétés internes de l'individu plutôt que des conditions extérieures. Cette propriété de la théorie est intéressante dans la mesure où le nombre de paramètres à considérer pour décrire les différentes fonctions d'un individu est moins élevé qu'un modèle de production nette (Kooijman, 2000).

Bien que la compréhension de la réponse d'une espèce au niveau individuel soit une première étape essentielle, la réussite des prévisions de réponses des écosystèmes aux changements environnementaux nécessitera de comprendre comment les populations d'organismes et les interactions entre espèces sont affectées par les changements environnementaux.

Dans des travaux futurs, comme perspective nous suggérons l'utilisation de la théorie DEB comme un outil précieux pour faire des prédictions qui vont bien au-delà des simples prédictions de mortalité, et qui peut éventuellement devenir un moyen d'examiner les processus se déroulant à de multiples niveaux de complexité.

Références bibliographiques

ABOUSSOUAN A., LAHAY J. (1979). Les potentialités des populations ichtyologiques. Fécondité et ichtyoplanctan. *Cybium*, 3e sér, (6) : 29-46.

ALBARET J. (1982). Reproduction et fécondité des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire. *Hydrobiol. Trop*, 15(4), 347-371.

Add My Pet (2018) DEB collection. [en ligne].[consulté le 01/04/2018]. Disponible sur le web: http://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/Species.html.

AUGUSTINE S., GANGAIRE B., FLORIANI B., et al. (2011). Developmental energetics of zebrafish, *Danio rerio*. Vrije Universiteit, de Boelelaan 1087, 1081 HV Amsterdam, the Netherlands : 275p.

AUGUSTINE S., GANGAIRE B., ADAM-GUILLERMIN C., KOOJMAN S.A.L.M. (2011). Effects of uranium on the metabolism of zebrafish, *Danio rerio*. Vrije Universiteit, de Boelelaan 1087, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands : 9p.

KOOJMAN S.A.L.M. (2013). Add my pet. VU University, Amsterdam: 37p.

BAUCHOT M.L., PRAS A. (1980). Guide des poissons marins d'Europe. *Delachaux et Niestlé, éd. Lausanne-Paris* : 427 + 67 p.

BAUCHOT M.L., HUREAU J.C (1986). Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. *Vol 2. UNESCO : Paris*, 883-907.

BOUFERSAOU S. (2012). Contribution à l'étude du Sparidé *Pagellus acarne* (Risso, 1826) dans la région d'Alger : la structure des peuplements associés, les indices de reproduction, la croissance et l'exploitation. *Thèse de Magister. Halieutique. Alger : U.S.T.H.B, 101p.*

BOUFERSAOU S. (2016). Biologie et évaluation des stocks des trois sparidés de la région centre de l'Algérie : *Lithognathus mormyrus* (Linnaeus, 1758), *Pagrus pagrus* (Linnaeus, 1758), et *Pagellus acarne* (Risso, 1826). Thèse de *Doctorat d'état. Halieutique. Alger : ENSSMAL, 250 p.*

BENINA R. (2015). Biologie et exploitation de la bogue *Boops boops* (Linnaeus, 1758) dans la baie de Bou- Ismail. Thèse de *Doctorat. Halieutique. Oran : Université d'Oran, 191 p.*

- BENZAOUI K., BOUTALHA A. (2016).** Etude de la systématique de la famille des soliedae des cotes algériennes : analyse morphologique et morphométrique. Ing : Halieutique. Alger : ENSSMAL, 54 p.
- CHALI-CHABANE (1988).** Contribution à l'étude biologique et dynamique de la population de Bogues, Boops boops (Linné, 1758) de la baie de Bou – Ismail. Thèse de Magister. Halieutique. Alger : ISMAL, 110 p.
- COMA R., RIBES M., SERRANO E., et al. (2009).** Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *PNAS* 106, 6176–6181.
- DAGET J. (1976).** Dynamique des populations des poissons. *Rev. Trav. Inst. Pêche. marit.* N°40, 425-437.
- DE GAETANI D. (1934).** Uova, sviluppo embrionale e stadi post–embrionali negli Sparidi. 2. – Pagellus centrodontus De La Roche. *Memorie del Regio Comitato Talassografico Italiano*, 209: 18 p.
- DE GAETANI D. (1937).** Uova, sviluppo embrionale e stadi post–embrionali negli Sparidi. 5. – Box boops L. *Memorie del Regio Comitato Talassografico Italiano*, 241: 14 p.
- DI FRANCO A., DI LORENZO M., GUIDETTI P. (2013).** Spatial patterns of density at multiple life stages in protected and fished conditions: an example from Mediterranean coastal fish. *J. Sea Res.* 76, 73-81.
- DIVANACH P., KENTOURI M., TISELIUS P. (1983).** Données préliminaires sur la technique de production, la croissance et la survie des larves de marbré (*Lithognathus mormyrus*). *Aquaculture*. 31 : 245-256.
- FISCHER W., BAUCHOT M.-L., SCHNEIDER M. (1987).** Fiches d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et mer noire (Révision 1. Zone de pêche. 37). *CEE, FAO. Rome* : 762 -1530.
- FONTANA A., LE GUEN J. C. (1969).** Etude de la maturité sexuelle et de la fécondité de *Pseirdotolithiis (Foizticulzis) elongatus*. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 7, 9-19.
- GHORBEL M., JARBOUI O., BRADAI M. N., BOUAIN A. (1996).** Détermination de la taille de première maturité sexuelle par une fonction logistique chez *Limanda limanda*, *Pagellus erythrinus* et *Scorpaena porcus*, *Bull. INSTM, n. spec.* 3: 24-27.

- GRIMES S., BOUTIBA Z., BAKALEM A., et al. (2004).** Biodiversité Marine et Littorale Algérienne. Alger : (ed) Djazair : 362 p.
- HARCHOUCHE K. (2006).** Contribution à la systématique du genre *Spicara* ; Écologie, Biologie et exploitation de *Spicara maema* (poisson Téléostéen) des côtes Algériennes. *Thèse de Doctorat d'état. Halieutique. Alger : USTHB*, 230 p.
- HEMIDA F. (2005).** Les Sélaciens de la côte algérienne : Biosystématique des Requins et des Raies : Ecologie, Reproduction et Exploitation de quelques populations capturées. *Thèse de Doctorat d'état. Halieutique. Alger : U.S.T.H.B*, 204 p.
- ISABEL A.D., CATARINA R., PEDRO A. (2005).** Reproductive aspects of *Microchirus azevia* (Risso, 1810) (Pisces : Soleidae) from the south coast of Portugal. *SCIENTIA MARINA SCI. MAR.*, 69 (2) : 275-283.
- JIMENEZ M. P., I. SOBRINO F. (1998).** Distribution pattern, reproductive biology, and shery of the wedge sole *Dicologlossa cuneata* in the Gulf of Cadiz, south-west Spain. *Marine Biology* 131 : 173±187.
- KARAKULAK S., ORAY I., COEEIERO A., et al. (2004).** Evidence of a spawning area for the blue tuna (*Thunnus thynnus L.*) in the eastern Mediterranean. *J. Appl. Ichthyol.* 20, 318–320.
- KARTAS F., QUIGNARD J.P. (1984).** La fécondité des poissons téléostéens. Paris : *Ed. Masson*, 117p.
- KENDALL, A.W., AHLSTROM, E.H., MPSEER, H.G. (1984).** Early life history stages of fishes and their characters. American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special Publication No. 1. Allen Press Inc., Lawrence, Kansas, 11–22.
- KOOIJMAN, S.A.L.M. (2000).** Dynamic energy and mass budgets in biological systems, Second Edition. London: Cambridge University Press, 426 p.
- KOOIJMAN S.A.L.M. (2010).** Dynamic Energy Budget theory for metabolic organisation, 3rd ed. London: Cambridge University Press, 316p.
- KOOIJMAN S.A.L.M. (2010).** Summary of concepts of Dynamic Energy Budget theory for metabolic organisation, London: Cambridge University Press, third edition 2010: 70 p.

- KOUMOUNDOUROS G., DIVANACH P., KENTOURI M. (1999).** Ontogeny and allometric plasticity of *Dentex dentex* (Osteichthyes: Sparidae) in rearing conditions. *Mar. Biol.* 135, 561 – 572.
- LAMRINI A. (1996).** Sex-ratio et hermaphrodisme de *Pagellus acarne* (Risso, 1826) (Sparidae) de la côte atlantique marocaine. *Actes Inst. Agron. Veta (Maroc) 1996, Vol. 16 (1) :* 23 – 32.
- LECOINTRE G., GUYADER H. (2001).** Classification phylogénétique du vivant. *Paris: Belin :* 543 p.
- LEE R.M. (1920).** A review of methods of age and growth determination in fishes by means of their scales. *Fish. Invest., 4 (2) :* 1-34.
- LIKA K., KEARNEY M.R., FREITAS V., et al. (2011).** The “covariation method” for estimating the parameters of the standard Dynamic Energy Budget model I: philosophy and approach. *J. Sea Res.* 66, 270–277.
- Lika K., KEARNEY M.R., KOOIJMAN S.A.L.M. (2011) a.** The “covariation method” for estimating the parameters of the Dynamic Energy Budget theory II: properties and preliminary patterns. *J. Sea Res.* 66, 278–288.
- Lika K., KEARNEY M.R., KOOIJMAN S.A.L.M., (2011) b.** The “covariation method” for estimating the parameters of the Dynamic Energy Budget theory II: properties and preliminary patterns. *J. Sea Res.* 66, 278–288.
- LIKA K., KOOIJMAN S.A.L.M., PAPANDROULAKIS N. (2014).** Metabolic acceleration in Mediterranean Perciformes. *Department of Biology, University of Crete,* 10 p.
- LOIR M., LUSARDI C., TAVERNIER Y (1999).** Les poissons des côtes de France : *Ouest Ed.* 32 p.
- MAHÉ K., BELLAIL R., DUFOUR J-L., et al. (2009).** Synthèse française des procédures d'estimation d'âge. *France : Ifremer,* 78p.
- MAÎTRE A., LOUISY T. (1990).** Poissons de mer, Faune de France. *France : ed. Arthaud,* 160p.
- MARCELINO H., HACHERO I., MONTSERRAT R., et al. (2007).** First results on spawning, larval rearing and growth of the wedge sole (*Dicologlossa cuneata*) in captivity, a candidate species for aquaculture. June 2007/Published online: 24 July 2007: 84 p.

- JUSUP M., KLANJSCEK T., MATSUDAL H., et al. (2011).** A Full Lifecycle Bioenergetic Model for Bluefin Tuna. PLoS ONE 6(7): e21903. doi:10.1371/journal.pone.0021903 : 17 p.
- MARINARO, J.Y (1991).** Eggs of the Microchirus species (Soleidae) from the bay of Algiers. Laboratoire de Biologie Marine, Université de Perpignan, 66025 Perpignan, Cedex, France : 125 p.
- Marine Species (2018).** [en ligne].[consulté le 01/04/2018]. Disponible sur le web : <http://species-identification.org/>.
- MATZELLE A., MONTALTO V., SARA B., et al. (2014).** Dynamic Energy Budget model parameter estimation for the bivalve *Mytilus californianus*: Application of the covariation method. Environment and Sustainability Program, Columbia, SC 29208, USA : 6 p.
- MEER J., KOOJMAN S.A.L.M (2014).** Inference on energetics of deep-sea fish that cannot be aged: The case of the hagfish. Royal NIOZ. *Marine Ecology, Netherlands*, 138 p.
- MUELLER A., AUGUSTINE S., KOOJMAN S.A.L.M., et al. (2012).** The trade-off between maturation and growth during accelerated development in frogs. *Ecology and Evolutionary Biology*. Adelaide: University of Adelaide, 95 p.
- PANFILI, J. (1992).** Estimation de l'âge individuel des poissons : méthodologies et applications à des populations naturelles tropicales et tempérées. *Thèse de doctorat. Halieutique. France : Université Montpellier II*, 456 p.
- PITTMAN K., YUFERA M., PAVLIIDIS M., et al. (2006).** Fantastically plastic: fish larvae equipped for a new world. *Rev.Aquac.* 5 (Suppl. 1), S224–S267.
- PANFILI J. DE PONTUAL H. TROADEC H., et al. (2002).** Manuel de sclérochronologie des poissons. *Coédition Ifremer-IRD* : 464 p.
- PAPADAKIS I.E., KENTOURI M., DIVANACH P., et al. (2013).** Ontogeny of the digestive system of meagre *Argyrosomus regius* reared in mesocosm, and quantitative changes of lipids in the liver from hatching to juvenile. *Aquaculture* 388–391, 76–88.
- PARRA, G., YUFRA, M. (2001).** Comparative energetics during early development of two marine fish species, *Solea senegalensis* (Kaup) and *Sparus aurata* (L.). *J. Exp. Biol.* 204, 2175–2183.

PARENTI P. et POLY W.J. (2004). *Sparus axilaris* Perez 1820, a senior synonym of the axillary sea bream *Pagellus acarne* (Risso 1827) invalidated by 'reversal of precedence'. *Cybium* 2004, 28(2) : 171-173.

PECQUERIE L (2007). Bioenergetic modelling of growth, development and reproduction of a small pelagic fish : the Bay of Biscay anchovy. *PhD thesis, Agrocampus Rennes*, 235p.

PECQUERIE L., PETITGAS P., KOOIJMAN S.A.L.M. (2009). Modeling fish growth and reproduction in the context of the Dynamic Energy Budget theory to predict environmental impact on anchovy spawning duration. *Journal of Sea Research* 62, 93 – 105.

PECQUERIE L., JOHNSON L. R., KOOIJMAN S. A. L. M., et al. (2011). Analyzing variations in life-history traits of Pacific salmon in the context of Dynamic Energy Budget (DEB) theory. *Journal of Sea Research* 66 : 424 - 433.

PECQUERIE L., FABLET R., PONTUEL H., BONHOMMEAU S., et al. (2012). Reconstructing individual food and growth histories from biogenic carbonates. *Marine Ecology Progress Series* 447 : 151-164.

PETHYBRIDGE H., ROOS D., LOIZEAU V., et al. (2013). Responses of European anchovy vital rates and population growth to environmental fluctuations : An individual-based modeling approach. France IFREMER, Research Unit: Biogeochemistry and Ecotoxicology, Centre de Brest, 29280: 370 p.

ROSLAND R., STRAND O., ALUNNO-BRUSCIA M., et al. (2009). Applying dynamic energy budget DEB theory to simulate growth and bio-energetics of blue mussels under low seston conditions. *Journal of Sea Research* 62, 49–61.

RONNESTAD I., YUFERA M., UEBERSCHAR B., et al. (2013). Feeding behaviour and digestive physiology in larval fish: current knowledge, and gaps and bottlenecks in research. *Rev. Aquac.* 5 (Suppl. 1), S59–S98.

SAIDANI M. (2015). Contribution à l'étude de l'âge, de la croissance et estimation de la fécondité du céteau *Dicologlossa cuneata* (Moreau, 1881) des côtes Algériennes. Ing. Halieutique. Alger : ENSSMAL, 53 p.

SIMPSON, B.R.C. (1959). Method used for separating and counting the eggs in fecundity studies on the plaice (*Pleuronectes platessa*) and herring (*Clupea harengus*). *Occ. Pop. F.A.O. Indo. Pacific Fish. Coun.* 59 :12 p.

SMITH, J.L.B., SMITH, M.M. (1986). Sparidae. *Ed., M.M. Smith and P.C. Heemstra. Smiths' sea fishes, pp. 580-594.*

YUFRA M., CONCEICAO L.E.C., BATTAGLENE S., et al. (2011). Early development and metabolism. In: Pavlidis, M.A., Mylonas, C.C. (Eds.), Sparidae: Biology and Aquaculture of Gilthead Sea bream and Other Species. Wiley-Blackwell.

VEER H.W.v.d., CARDOSO J.F.M.F., MEER J.v.d., (2006). The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species. *Journal of Sea Research* 56, 107–124.

WILSON J.A., VIGLIOLA L., MEEKAN M.G. (2009). The back-calculation of size and growth from otoliths: validation and comparison of models at an individual level. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 368: 9-2.

WIRTZ P., FRICKE R., BISCOITO M.J. (2008). Les poissons côtiers de l'île de Madère, de nouveaux records et une check-list annotée. *Zootaxa* 1715, *Centre des sciences marines de l'Université de l'Algarve, Portugal* : 26 p.

WoRMS Editorial Board (2018) World Register of Marine Species. [en ligne]. [consulté le 03/04/2018]. Disponible sur le web : <http://www.marinespecies.org> at VLIZ.

ANNEXE

Tableau 1. Données utilisées pour s'adapter au modèle de budget énergétique dynamique standard avec leurs équations

Variable	Explication	Model
a_m	Durée de vie maximale	Sn 6.1.1
L_{wb}	Longueur physique à la naissance	Sn 2.6.2 ; EQS. 2.32, 2.46
L_{wp}	Longueur physique à la puberté	Sn 2.6.3 ; Eq. 3.54
$L_{w,\infty}$	Ultime longueur physique	$fL_m^{ref} z/\delta_M$
W_b	Masse humide à la naissance	Sns 1.2.3, 2.6.2 ; Eq. 3.2
W_p	Masse humide à la puberté	Sns 1.2.3, 2.6.2 ; Eq. 3.2
W_∞	Ultime masse humide	Sns 1.2.3, 3.2.1 ; Eq. 3.2
\dot{R}_∞	Ultime taux de reproduction	Eq. 2.58
\dot{V}_∞	La conductance énergétique	Pseudo-données : ce sont des estimations a priori des paramètres et pourraient être nécessaires pour éviter le sur-ajustement
κ	Fraction d'allocation en soma	
κ_R	Efficacité de la reproduction	
$[\dot{P}_M]$	Taux de maintenance somatique spécifique au volume	
$\{\dot{P}_T\}$	Taux de maintenance somatique spécifique à la zone	
$\dot{\kappa}_J$	Coefficient du taux de maintien de la maturité	
κ_G	Efficacité de la croissance	
W_w, L_w	Masse humide en fonction de la longueur physique	
\dot{J}_0, W_w	Consommation d'oxygène par rapport à la masse humide	Sn 4.4
\dot{R}, L_w	Taux de reproduction en fonction de la longueur physique	Eqs. 2.56, 2.57

(Sn : Section et Eq : équation ; la référence des numéros est Kooijman (2010), $L_m^{ref} = 1$ cm : longueur de référence, z : facteur de zoom, et δ_M : modèle d'explication de variable).

Tableau 2. Relation entre les paramètres du modèle deb pour les espèces 1 et 2 en fonction de la propriété d'invariance (panneau supérieur) et en fonction des relations d'échelle principales (panneau inférieur). Le rapport entre les longueurs volumétriques ultimes des espèces 1 et 2 est égal au facteur de zoom z (Kooijman, 2010).

X_{K2}	$= X_{K1}z + X(z - 1)$	$\{J_{Xm}\}_2$	$= \{J_{Xm}\}_1 z$	$[\dot{p}_M]_2$	$= [\dot{p}_M]_1$	$\{\dot{p}_T\}_2$	$= \{\dot{p}_T\}_1$
$V_{b2}^{1/3}$	$= V_{b1}^{1/3}$	$\{\dot{p}_{Am}\}_2$	$= \{\dot{p}_{Am}\}_1 z$	$[EG]_2$	$= [EG]_1$	\ddot{h}_{a2}	$= \ddot{h}_{a1}$
$V_{p2}^{1/3}$	$= V_{p1}^{1/3}$	$[E_m]_2$	$= [E_m]_1 z$	κ_2	$= \kappa_1$	κ_{R2}	$= \kappa_{R1}$
X_{K2}	$= X_{K1}z$	$\{J_{Xm}\}_2$	$= \{J_{Xm}\}_1 z$	$[\dot{p}_M]_2$	$= [\dot{p}_M]_1$	$\{\dot{p}_T\}_2$	$= \{\dot{p}_T\}_1$
$V_{b2}^{1/3}$	$= V_{b1}^{1/3} z$	$\{\dot{p}_{Am}\}_2$	$= \{\dot{p}_{Am}\}_1 z$	$[EG]_2$	$= [EG]_1$	\ddot{h}_{a2}	$= \ddot{h}_{a1}$
$V_{p2}^{1/3}$	$= V_{p1}^{1/3} z$	$[E_m]_2$	$= [E_m]_1 z$	κ_2	$= \kappa_1$	κ_{R2}	$= \kappa_{R1}$

ملخص

حددت نظرية موازنة الطاقة الديناميكية «DEB» العمليات والسمات المشتركة لكل مرحلة لخمس أسماك عظمية وثلاثة أنواع تنتمي إلى فصيلة Sparidae ونوعين من فصيلة Soleidea. تم أخذ 237 عينة من الأنواع المدروسة بما في ذلك 155 فرداً من *B. boops* و82 فرداً من *M. azevia* بين فيفري وماي 2018 من المنطقة الوسطى للحوض الجزائري. بالنسبة للأنواع *L. mormyrus* و *P. acarne* و *D. cuneata* البيانات كانت متوفرة. معلمات الطاقة الحيوية التي يقدرها نموذج DEB هي: معامل الشكل δ_M قدر ب 0.17 عند *B. boops*، 0.23 عند *L. mormyrus*، 0.20 عند *P. acarne* و0.18 عند *D. cuneata* و *M. azevia*. تكلفة الصيانة الجسدية قدرت ب 49.40 J cm^3 بالنسبة للنوع *B. boops*، 14.03 J cm^3 ل *L. mormyrus*، 27.14 J cm^3 ل *P. acarne*، 26.13 J cm^3 ل *D. cuneata* و 14.63 J cm^3 ل *M. azevia*؛ تبلغ قيمة κ 0.8 لدى *B. boops* و0.9 لدى *L. mormyrus* و *P. acarne* و *D. cuneata* و0.6 لدى *M. azevia*. إن تقدير معاملات النمو بواسطة نموذج DEB ل *D. cuneata* و *M. azevia* و *B. boops* و *P. acarne* و *L. mormyrus* سمح لنا بعلى التوالي كالتالي:

$$L_t = 23,35(1 - e^{-0,47(t+0,14)}), L_t = 37,4(1 - e^{-0,14(t+0,40)}), L_t = 27,8(1 - e^{-0,72(t+0,11)}),$$

$$L_t = 31,16(1 - e^{-0,48(t+0,06)}) \text{ et } L_t = 34,64(1 - e^{-0,44(t+0,05)}).$$

الكلمات المفتاحية: الجزائر، النمو، التكاثر، الطاقة الحيوية، نظرية ديناميكية الطاقة

Résumé

La théorie *Dynamic Energy Budget* « DEB » a permis d'identifier les processus communs et les spécificités de chaque stade pour cinq poissons osseux, trois espèces appartenant à la famille des Sparidés et deux espèces des Soleidés. Un total de 237 spécimens des espèces étudiées. Les paramètres bioénergétiques estimés par le modèle DEB sont : le coefficient de forme δ_M de 0,17 chez *B. boops*, de 0,23 chez *L. mormyrus*, 0,20 chez *P. acarne*, 0,18 chez *D. cuneata* et *M. azevia*. Le coût d'entretien somatique \dot{P}_M est estimé à 49,40 J cm³ pour *B. boops*, 14,03 J cm³ pour *L. mormyrus*, 27,14 J cm³ pour *P. acarne*, 26,13 J cm³ pour *D. cuneata* et de 14,63 J cm³ chez *M. azevia* ; la valeur de κ est de 0,8 chez *B. boops*, 0,9 chez *L. mormyrus*, *P. acarne* et *D. cuneata*, et de 0,6 chez *M. azevia*. Les paramètres de la croissance estimés par le modèle DEB de *D. cuneata*, *M. azevia*, *B. boops*, *P. acarne* et *L. mormyrus* nous ont permis d'établir les équations de croissance de von Bertalanffy qui sont respectivement :

$L_t = 23,35(1 - e^{-0,47(t+0,14)})$, $L_t = 37,4(1 - e^{-0,14(t+0,40)})$, $L_t = 27,8(1 - e^{-0,72(t+0,11)})$, $L_t = 31,16(1 - e^{-0,48(t+0,06)})$ et $L_t = 34,64(1 - e^{-0,44(t+0,05)})$.

La reproduction maximale est de 420 ovocytes chez *B. boops*, 1152 ovocytes chez *L. mormyrus*, 493 ovocytes chez *P. acarne*, 117 ovocytes chez *D. cuneata* et 417 ovocytes chez *M. azevia*.

Mots clés : Algérie, croissance, reproduction, bioénergétique, Dynamic Energy Budget

Abstract

The *Dynamic Energy Budget* theory « DEB » aims to identify the common processes and specificities of each stage for five bonefish, three species belonging to the family of Sparidae and two species of Soleidae. 237 specimens of the studied. For *L. mormyrus*, *P. acarne* and *D. cuneata* species, data were available. The bioenergetic parameters estimated by the DEB model are: the shape coefficient δ_M was estimated at 0.17 for *B. boops*, 0.23 for *L. mormyrus*, 0.20 for *P. acarne*, 0.18 for *D. cuneata* and *M. azevia*. The somatic maintenance cost \dot{P}_M is equal to 49.40 J cm³ for *B. boops*, 14.03 J cm³ for *L. mormyrus*, 27.14 J cm³ for *P. acarne*, 26.13 J cm³ for *D. cuneata* and 14.63 J cm³ for *M. azevia*; the value of κ was calculated at 0.8 for *B. boops*, 0.9 for *L. mormyrus*, *P. acarne* and *D. cuneata*, and 0.6 for *M. azevia*. The growth parameters estimated by the DEB model of *D. cuneata*, *M. azevia*, *B. boops*, *P. acarne* and *L. mormyrus* enabled us to establish the von Bertalanffy growth equations are respectively as follows:

$L_t = 23,35(1 - e^{-0,47(t+0,14)})$, $L_t = 37,4(1 - e^{-0,14(t+0,40)})$, $L_t = 27,8(1 - e^{-0,72(t+0,11)})$, $L_t = 31,16(1 - e^{-0,48(t+0,06)})$ et $L_t = 34,64(1 - e^{-0,44(t+0,05)})$.

The maximum reproduction rate was obtained at 420 oocytes for *B. boops*, 1152 oocytes for *L. mormyrus*, 493 oocytes for *P. acarne*, 117 oocytes for *D. cuneata* and 417 oocytes for *M. azevia*.

Key-words: Algeria, growth, reproduction, bioenergetics, Dynamic Energy Budget theory