

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'Etat en Sciences de la Mer

Option : Halieutique

Thème :

Effet de la température du milieu sur la reproduction et la croissance de *Pegusa lascaris* (Risso, 1810) des eaux centre algériennes selon la théorie DEB

Réalisé par :

Meradef Billal et Samer Abderrahmane

Soutenu le 03-11-2021, devant le jury composé de :

Mme. GHALMI R.	Maître assistant A.	ENSSMAL	Présidente
M. LOURGIQUI H.	Maître de conférences B.	ENSSMAL	Examineur
M. FILALI T.	Attaché de recherche	CNRDPA	Examineur
M. ROUIDI S.	Attaché de recherche	CNRDPA	Co-promoteur
Mme BOUFERSAOUI S.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Promotrice

Année universitaire : 2020- 2021

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'Etat en Sciences de la Mer

Option : Halieutique

Thème :

Effet de la température du milieu sur la reproduction et la croissance de *Pegusa lascaris* (Risso, 1810) des eaux centre algériennes selon la théorie DEB

Réalisé par :

Meradef Billal et Samer Abderrahmane

Soutenu le 03-11-2021, devant le jury composé de :

Mme GHALMI R.	Maître assistant A	ENSSMAL	Présidente
M. LOURGIOUI H.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examineur
M. FILALI T.	Attaché de recherche	CNRDPA	Examineur
M. ROUIDI S.	Attaché de recherche	CNRDPA	Co-promoteur
Mme BOUFERSAOUI S.	Maître de conférences B	ENSSMAL	Promotrice

Remerciements

Nous remercions vivement Madame GHALMI R. D'avoir accepté de présider le jury en dépit de ses multiples occupations.

L'expression de nos remerciements les plus sincères d'adresse au deux examinateurs Messieurs LOURGIOUI H. et FILALI T. qui ont chaleureusement accepté de faire partie du jury. Nous sommes certains de pouvoir compter leurs esprits critiques constructifs pour nous aider, par leurs discussions, à mieux cerner la problématique de ce travail.

Nous sommes aussi très reconnaissants envers madame BOUFERSSAOUI S. pour avoir accepté de nous encadrer, pour son enseignement tout au long de notre parcours à l'ENSSMAL, son support et ses encouragements pour mener à terme ce travail.

Cet accomplissement ne pourrait être achevé sans l'aide de monsieur ROUIDI S. notre Co-encadreur et responsable de stage au sein du Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et l'Aquaculture. Nous vous remercions infiniment.

Nous ne saurons oublier d'exprimer l'expression de nos profondes gratitude à la Direction du Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et l'Aquaculture, pour nous avoir autorisé d'effectuer un Stage de 2 mois au niveau du laboratoire de sclérochronologie. Aussi de l'aide apportée par le staff du centre, notamment les multiples conseils de M. FILALI

Nous tenons à remercier vivement M. Kooijman S.B. de l'Université d'Amsterdam, qui nous a gentiment orienté en mettant à notre disposition son livre sur la théorie DEB, ainsi que pour sa disponibilité et son aide pour répondre à nos questions sur cette nouvelle théorie.

Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements chaleureux vont également à tous les membres de nos familles frères et sœurs, et à nos chers parents en particulier pour leur tendresse et affection, leur dévouement et sacrifices.

Table des matières

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

Chapitre I: Généralités

1. Description de la zone d'étude	4
1.1. Délimitation géographique	4
1.2. Topographie sous-marine	5
1.3. Principales caractéristiques des facteurs du milieu	6
2. Présentation de l'espèce étudiée	6
2.1. Taxonomie	6
2.2. Diagnose	7
2.3. Noms vernaculaires	8
2.4. Répartition géographique et bathymétrie	8
2.5. Reproduction et cycle de vie	9
2.6. Régime alimentaire	9
2.7. Capture et commercialisation	9

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Echantillonnage	11
2. Présentation et description du modèle DEB	11
2.1. Définition des variables du modèle DEB	12
2.2. Définition des paramètres DEB	14
2.3. Description des données d'entrées pour l'obtention des paramètres DEB	15
2.3.1. Estimation des données à variation nulle (<i>Zero variate data</i>)	17
2.3.1.1. Taille à la puberté (première maturité sexuelle)	17
2.3.1.2. Age, longueur et poids maximaux	17
2.3.1.3. Age, longueur et poids à la naissance	17
2.3.1.4. Reproduction maximale par jour (R_i)	18
2.3.2. Données uni-variées (<i>Univariate data</i>)	19
2.3.2.1. Données taille-poids	19
2.3.2.2. Données âge-longueur	19
2.4. Procédure de calcul des paramètres DEB	21

3. Calculs statistiques « La méthode de la covariation »	21
4. Effet de la température de l'environnement sur la croissance et la reproduction	23

Chapitre III: Résultat et discussions

1. Présentation des données et des pseudo-données.....	25
2. Estimation des paramètres DEB.....	29
2.1. Paramètres relatifs à la taille et forme individuelle.....	29
2.2. Paramètres relatifs à la nourriture et assimilation	30
2.3. Les couts énergétiques de la maintenance.....	31
2.4. Fraction d'allocation à la croissance et à la maintenance somatique	32
3. Modélisation bioénergétique de la croissance et de la reproduction.....	33
Conclusion.....	39
Références bibliographiques	41
Annexes	47
Résumé.....	48

Liste des figures

Figure I.1. Délimitation géographique de la zone d'étude et sites d'échantillonnage.	4
Figure I.2. Morphologie et critères de reconnaissance de <i>P. lascaris</i>	7
Figure II.1. Flux d'énergie à travers un individu au stade adulte suivant la théorie DEB.	13
Figure II.2. Matériel utilisé pour le dénombrement ovocytaire.	19
Figure II.3. Poste de travail utilisé pour l'estimation de l'âge au niveau du CNRDPA.	20
Figure III. 1. Présentation des données univariées âge-longueur et taille-poids pour les mâles et les femelles de l'espèce étudiée.	28
Figure III.2. Les valeurs de la conductance énergétique ($T_{ref} = 20^{\circ} C$) en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce <i>P. lascaris</i> et autres Soleidae.....	31
Figure III.3. Coût pour la structure [E_G] et coût somatique spécifique [P_M] en fonction de la longueur structurelle maximale pour l'espèce <i>P. lascaris</i> et d'autres Soleidae.....	32
Figure III.4. La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique κ pour <i>P. lascaris</i> et autres Soleidae.....	33
Figure III.5. Présentation des courbes de croissance de von Bertalanffy modélisées par le modèle DEB de <i>P. lascaris</i> et les valeurs observées.....	34
Figure III.6. Croissance linéaires théoriques pour l'ensemble des Mâles et Femelles de <i>P. lascaris</i> (modèle DEB) en fonction de la Température.	36
Figure III. 7. Simulation de l'effet de la température sur le poids humide pendant la reproduction et dans les trois stades de vie (modèle DEB)	38

Liste des tableaux

Tableau I.1. Noms vernaculaires de l'espèce étudiée.	8
Tableau II.1. Définition des paramètres du modèle DEB standard	14
Tableau II.2. Description des données d'entrée du modèle DEB standard.....	15
Tableau III.1. Les données d'entrée : données à variation nulle (zero variate data), les pseudos données obtenu pour <i>P. lascaris</i>	26
Tableau III.2. Paramètres des régressions linéaires entre la longueur totale du poisson et le rayon total de l'otolithe chez <i>P. lascaris</i>	27
Tableau III. 3. Facteur de forme et facteur de zoom de l'espèce <i>P. lascaris</i> et autres Soleidae ($T_{ref}= 20^{\circ}C$, $f=1$).....	29
Tableau III.4. Le taux d'assimilation spécifique maximal, la conductance énergétique et le facteur d'accélération de l'espèce <i>P. lascaris</i> avec la température moyenne de l'eau au frai en Méditerranée.....	30
Tableau III. 5. Les coûts énergétiques pour la maintenance somatique [P_M], pour la structure (E_G) et les valeurs de l'investissement énergétique dans les transitions du cycle de vie.....	32
Tableau III.6. Présentation des données de la croissance observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez l'espèce <i>P. lascaris</i>	34
Tableau III.7. Valeurs bibliographiques des paramètres croissance du modèle de von Bertalanffy dans différentes régions.....	35

Liste des abréviations

DEB : Budget Énergétique Dynamique (*Dynamic Energy Budget*)

d : day (jour)

F : fécondité absolue

[EG] : coûts de structure spécifiques au volume

E_H^b : niveau de maturation pour l'alimentation (naissance)

E_H^j : niveau de maturation pour la reproduction (métamorphose)

E_H^p : niveau de maturation pour la reproduction (puberté)

K : kelvin

κ : Fraction d'allocation au maintien somatique

J : joule

L_∞ : longueur asymptotique

$\{\dot{P}_{Am}\}$: taux d'assimilation spécifique à la surface maximale

$[\dot{P}_M]$: coûts énergétiques pour la maintenance somatique

\dot{r}_B : taux de croissance de von Bertalanffy

\dot{v} : conductance énergétique

δ_M : coefficient de forme

Z : facteur de zoom

sM : facteur d'accélération

t0 : âge à la naissance

Introduction

Les écosystèmes côtiers ont une grande valeur économique et écologique car ils fournissent nourriture, habitat et protection pour 80 à 90 % des ressources marines consommées dans le monde (Amara, 2011).

En général, les cycles de vie des organismes marins comprennent plusieurs étapes distinctes du cycle biologique (œuf, larve, juvénile, adulte). Chacune de ces étapes successives diffère souvent dans ses exigences en matière d'habitat et, par conséquent, peut dépendre d'habitats différents et fréquemment séparés dans l'espace (Rijnsdorp *et al.*, 1995) Pour les populations marines, c'est une condition préalable que les habitats successifs soient connectés pour permettre aux survivants de mûrir et de retourner dans les frayères pour une reproduction réussie (le concept de fermeture du cycle de vie ; Sinclair, 1988).

La hausse des températures constitue la principale caractéristique du changement climatique et les implications potentielles de cette tendance sur les poissons, la pêche, l'aquaculture et les communautés dépendantes en Méditerranée ainsi que dans le reste de l'Europe ont été reconnues (Peck *et al.*, 2012). Pour les poissons, les paramètres de milieu (Température, nourriture, pH,...) joue un rôle important dans la croissance, la maturation, la différenciation des gonades, la mortalité et le comportement (Orestis *et al.*, 2019)

En Algérie, la famille des Soleidae (Pleuronectiformes) est largement représentée aussi bien par la diversité des espèces que par les quantités pêchées. Selon la seule étude réalisée par Alili (1988) sur la systématique de cette famille, 12 espèces existent dans nos côtes. Parmi lesquelles, la peguse ou sole de sable *Pegusa lascaris* (Risso, 1810) est l'espèce la plus abondante dans les débarquements.

Il est évident que malgré le grand volume de littérature concernant l'espèce, des lacunes importantes dans les connaissances existent en ce qui concerne sa réponse à une exposition à des températures élevées ainsi que les effets thermiques sur la croissance aux deux limites de la plage de tolérance de température. En raison de l'importance économique de l'espèce, il est impératif d'évaluer l'impact du changement climatique sur la production future de l'espèce. Cela met en évidence la nécessité de développer un modèle capable de quantifier les changements dans les processus pertinents pour la culture de l'espèce, tels que la croissance et l'utilisation de la nourriture, sous divers régimes alimentaires et environnementaux tout au long du cycle de production.

Diverses approches de modélisation ont été utilisées pour décrire la dynamique des populations. En règle générale, les modèles bioénergétiques « classiques » utilisent une variable d'état pour caractériser l'état d'un individu, ils sont riches en paramètres, ils ne capturent pas le cycle complet de l'individu dans un cadre de modélisation unique et ils nécessitent des hypothèses supplémentaires pour relier les paramètres de différents espèces (Nisbet *et al.*, 2012).

Contrairement à ces modèles, la théorie du bilan énergétique dynamique (DEB) est une théorie qui fournit le cadre conceptuel et quantitatif pour étudier l'ensemble du cycle de vie d'un individu tout en utilisant explicitement les bilans énergétiques et massiques (Kooijman, 2010a). Son applicabilité à l'étude de la croissance, de l'alimentation ou des effets de phénomènes comme le changement climatique réside dans sa capacité à capter les processus métaboliques en fonction de la température et de la disponibilité alimentaire de manière dynamique pour l'ensemble du cycle de vie de l'espèce en question. Les modèles DEB ont été utilisés avec succès en aquaculture pour étudier les bivalves (Guyondet *et al.*, 2010; Sarà *et al.*, 2013) et des poissons comme le saumon atlantique (*Salmo salar*) (Føre *et al.*, 2016), le thon rouge (*Thunnus orientalis*) (Jusup *et al.*, 2011), la dorade blanche (*Diplodus sargus*), et la dorade royale (*Sparus aurata*) (Serpa *et al.*, 2013).

La présente étude, une première pour *P. lascaris*, un modèle DEB a été développé dans le but de décrire de manière mécanique les processus de croissance et de consommation alimentaire pour l'ensemble du cycle de vie de l'espèce en tenant compte des changements de température.

Notre travail c'est étendu autour de trois chapitres. Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur la zone d'étude qui est la région centre du bassin algérien, suivie d'une présentation de l'espèce étudiée. Le second chapitre est une description du déroulement de l'échantillonnage et son traitement au laboratoire ainsi que l'ensemble des méthodes utilisées. La présentation et l'interprétation des résultats sont détaillées dans le troisième chapitre.

Chapitre I

Généralités

1. Description de la zone d'étude

1.1. Délimitation géographique

Avec ses 1622 km et une zone économique exclusive (ZEE) de 136 338 km² (Décret Présidentiel, 2018), le littoral algérien est situé dans le sud du bassin occidental de la Méditerranée.

Notre étude s'est focalisée dans la région centre des côtes algériennes (Méditerranée du sud-ouest). Cette zone s'étend de Ténès à l'Ouest 36°30'N, 1°18'E jusqu'à Dellys à l'Est 36°54'N et 3°54'E (Figure I.1). Elle se subdivise en trois principales baies : la baie de Bou Ismail, la baie d'Alger et la baie de Zemmouri (Hemida, 2005)

La baie de Bou-Ismaïl se situe à l'Ouest de la baie d'Alger, avec une ouverture de 41 Km et une superficie de 350 Km², elle est limitée à l'Est par Ras Acrata à 36°48'N et 2°53'E, à l'Ouest par la montagne de Chenoua à 36°38'N et 2°24'E (Bachari *et al.*, 2011)

La baie d'Alger s'inscrit en forme hémicirculaire au niveau de la plaine de la Mitidja, avec une ouverture de 19 Km et une superficie approximative de l'ordre de 180 km². À l'Est, elle est limitée par le Cap Matifou (Bordj El-Bahri), à l'Ouest, par la pointe de Rais Hamidou (Chemrouk and Chabbi, 2016).

La baie de Zemmouri se situe à l'Est de la baie d'Alger, l'ouverture de la baie s'étale sur une cinquantaine de kilomètres (Benslama-Habiki, 2007) Elle est limitée à l'Ouest par le cap Matifou à 36°49'N, 3°15'E, à l'Est par le cap Djinet 36°53'N et 3°45'E.

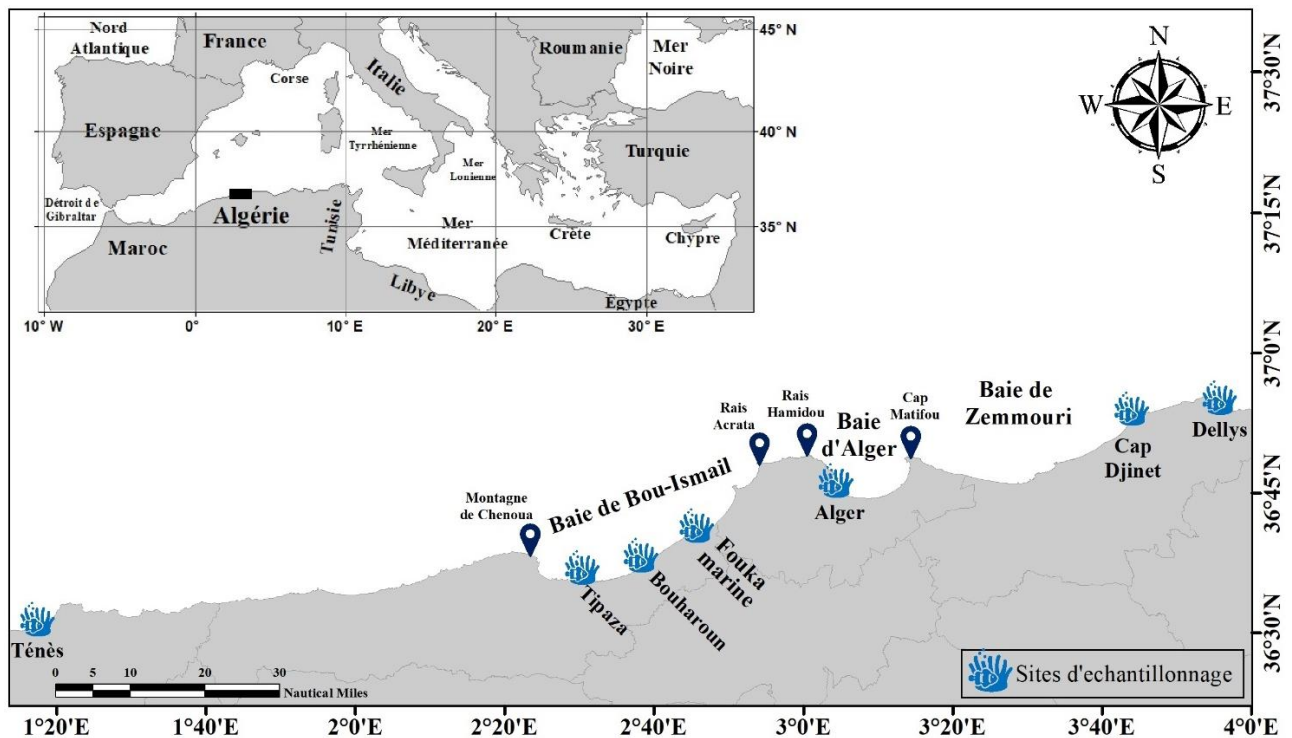


Figure I.1. Délimitation géographique de la zone d'étude et sites d'échantillonnage.

1.2. Topographie sous-marine

La nature des fonds de la côte algérienne est essentiellement rocheuse. La topographie sous-marine correspond à celle de la côte (Lalami-Taleb, 1970).

Au niveau de la baie d'Alger, le fond est en pente douce uniforme, de l'isobathe 0 à celui des 100 m. La distance séparant ces deux isobathes est d'environ 8,5 km. Cette baie semi-circulaire est particulièrement exposée aux rejets urbains et industriels drainés par les eaux d'oued El Harrach au Centre et oued El Hamiz à l'Est (Messili, 2004).

Selon Vaissière et Fredj (1963), le plateau continental de la baie d'Alger est étroit à l'Ouest (1,5 mille) ; à l'Est, il devient un peu plus large (2 milles). Cette figure montre une rupture de pente qui se situe à 3 km environ vers le large. Entre les deux caps, les fonds sont de 80 à 90 m diminuant progressivement vers oued El-Harrach. Tout au long, jusqu'à l'isobathe 20 m, le fond sous-marin est constitué essentiellement de sable vaseux et de sable fin. Plus au large la vase occupe la plus grande surface de la baie. Au niveau des caps la topographie des fonds change. À l'Ouest, le gravier alterne avec les roches et les sédiments organogènes à Bryozoaires et Lamellibranches. À l'Est, les fonds sableux sont colonisés par des herbiers à hauteur de l'oued El-Hamiz. En 1981, Bakalem *et al.* à partir de l'étude des peuplements benthiques, signalent une assez importante sédimentation dans cette région. Une grande variété d'organismes habite ces faciès (Echinides, Byozoaires, Mollusques, Lamellibranches et Gastéropodes).

Le plateau continental de la baie de Bou-Ismaïl est de 509 Km² avec 70% de la surface qui est chalutable (Chavance *et al.*, 1986). Le plateau continental représente une inflexion nette autour de l'isobathe 100 m.

Selon la carte de la couverture sédimentaire tracée par Leclaire *et al.* (1972), il existe trois zones d'affleurement rocheux difficilement chalutables :

- Le prolongement du massif de Chenoua, lequel rejoint la vallée sous-marine du Ras-Nador depuis la côte jusqu'à l'isobathe 180 m en direction Nord Nord-Est ;
- La zone entre Bouharoun et Douaouda Marine, depuis la côte jusqu'à l'isobathe 100 m ;
- Aussi depuis les fonds de 110 à 150 m au Nord de Bou-Ismaïl jusqu'à la hauteur de Sidi-Fredj. (Leclaire *et al.*, 1972).

1.3. Principales caractéristiques des facteurs du milieu

La température de l'eau est un facteur principal dans la vie des organismes marins, elle contribue de façon importante à la distribution géographique des espèces marines. Tous les taux physiologiques dépendent de la température et de l'environnement (Kooijman, 2000). Ce facteur écologique détermine les périodes de migrations et de reproduction et bien d'autres phénomènes éthologiques et physiologiques.

Les températures des eaux de surface de la baie de Bou-Ismaïl sont comprises entre 17 et 27°C. Dans cette même baie, la salinité des eaux de surface (37‰) et des fonds sableux (36,3‰) est élevée, à cause de l'évaporation intense, dont le rayonnement solaire d'été et le vent sont responsables (Moufî-El-Houari, Ambroise and Mathieu, 1999). La salinité à proximité des embouchures des oueds Nador et Mazafran a des valeurs plus faibles (36,68 à 36,98) qui mettent en évidence l'influence de ces oueds sur le milieu marin (Bakalem, 2008).

La température de l'eau de surface de la baie d'Alger fluctue entre 14° et 15°C en hiver et entre 23 °et 28°C en été. La salinité est de 36 psu (Boulaïdid *et al.*, 2003)

Au niveau de la baie de Zemmouri, la température moyenne des eaux est de 13° à 17°C en hiver et de 25° à 30°C en été. La salinité est comprise entre 36 et 37 (Seridji, 1989).

2. Présentation de l'espèce étudiée

2.1. Taxonomie

La systématique phylogénétique la plus récente remplace la classification traditionnelle de Linné et Darwin, selon Froese et Pauly (2021) l'espèce étudiée est classifiée comme suit :

Règne	Animal (Linnaeus,1758)
Phylum	Chordés
Sous-Phylum	Vertébrés
Super-classe	Gnathostomes
Classe	Actinoptérygiens
Ordre	Pleuronectiformes
Famille	Soleidae (Bonaparte,1833)
Genre	<i>Pegusa</i> (Günther, 1862)
Espèce	<i>Pegusa lascaris</i> (Risso,1810)

2.2. Diagnose

L'identification de la sole de sable ou *Pegusa lascaris* (Figure I.2) se fait à l'aide des caractères suivants (Fischer *et al.*, 1987):

- Corps ovale, tête arrondie et légèrement pointue ;
- La couleur du côté oculé (Zénithal) est uniforme de couleur jaune brunâtre ou brun rougeâtre avec des taches obscures, mieux apparentes à l'état frais ;
- La nageoire pectorale du côté oculé avec une tache noire bordée de clair en avant et sur les côtés, contient entre 8 et 9 rayons mous ;
- Nageoire dorsale commençant sur un profil inférieur de la tête dans le bord avant de l'œil supérieur. Elle contient entre 69 et 87 rayons mous dorsaux ;
- Nageoire anale renferme entre 53 et 73 rayons mous ;
- Elle ne possède ni d'épines dorsales, ni d'épines anales ;
- Le dernier rayon des nageoires dorsale et anale sont joints par une membrane basse à la base de la nageoire caudale ;
- Le nombre de vertèbres varie de 40 à 48 ;
- La ligne latérale avec 149–151 écailles, la branche de la ligne supra-temporelle formant une courbe arrondie formant un arc ;
- Narine antérieure du côté nadiral (aveugle) élargie et en forme de rosette (caractère distinctif du genre *Pegusa*), son diamètre est égal à celui de l'œil ;
- La longueur des deux tubes nasaux et des écailles du côté zénithal (oculé) à peu près égale ;
- La lèvre inférieure du côté zénithale est ondulée avec environ 6 lobes.

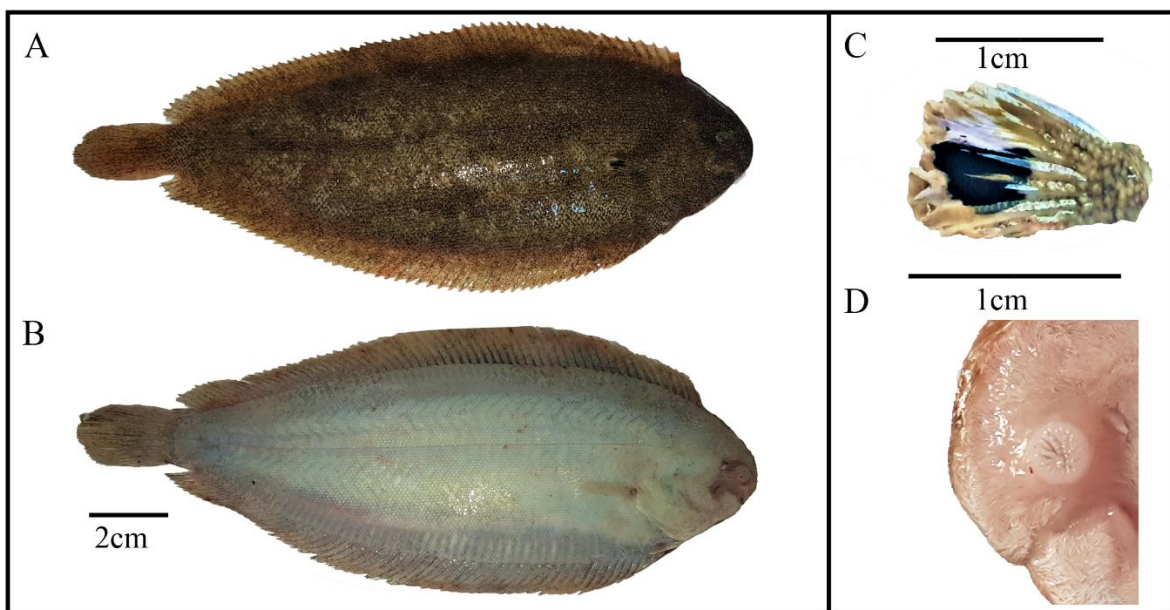


Figure I.2. Morphologie et critères de reconnaissance de *P. lascaris*. A : face oculée ; B : Face aveugle ; C : pectorale de la face oculée, D : narine de la face aveugle.

2.3. Noms vernaculaires

Les noms vernaculaires de chaque espèce diffèrent selon les pays ou les régions du même pays, pour sa désignation commune. Le genre *Pegusa* signifie l'ancien nom du Cnide, la ville d'Asie Minos où l'Athéniens (Fischer *et al.*, 1987). Les noms vernaculaires retrouvés dans la bibliographie sont mentionnés dans le tableau I.1.

Tableau I.1. Noms vernaculaires de l'espèce étudiée (Joksimović *et al.* 2021).

Régions	Dénomination vernaculaire
Algérie	Sola
France	Sole de sable, sole pole,
Espagne	Languado de arena
Royaume uni	Sand sole
Etats Unis	Atlantic sole
Italie	sogliola dal porro

2.4. Répartition géographique et bathymétrie

La sole de sable, *P. lascaris* est présente dans l'Atlantique Est, du sud de la mer du Nord jusqu'au détroit de Gibraltar (Quéro, 2003). Vers le sud, l'espèce est capturée du Maroc (Chakour and El Ouizgani, 2016) au golfe de Guinée (Blache *et al.*, 1970) et en Afrique du Sud (Tous *et al.*, 2015). L'espèce était autrefois connue dans la partie occidentale de la mer Méditerranée (Quéro *et al.*, 1986), mais elle a étendu sa distribution vers l'est dans la mer Adriatique (Lipej and Dulčić, 2010), les côtes de la Grèce (Papakonstantinou *et al.*, 1988), Turquie (Bilecenoğlu *et al.*, 2014), le bassin du Levant (Golani, 2005) et au sud au large de la côte égyptienne (Mehanna, 2007).

Au large du Maghreb, *Pegusa lascaris* est connue au large du Maroc (Loris et Rucabado, 1998) et de l'Algérie (Marinaro and Bouabid, 1983), tandis qu'au large de la Tunisie (Bradai, 2000), a signalé l'espèce dans le sud du golfe de Gabès, à partir d'observations antérieures faites dans cette zone.

Pegusa lascaris est une espèce benthique que l'on trouve sur les fonds à gravier, le sable ou la vase à des profondeurs de 5 à 350 m, plus communément à des profondeurs variant de 20 à 50 m (Tous *et al.*, 2015).

2.5. Reproduction et cycle de vie

Les soleidés plus précisément *P. lascaris*, est très adaptée à la vie benthique et accomplit une plongée vers des eaux plus profondes. L'espèce est ovipare au moment de la maturité sexuelle, ses œufs flottants sont toujours très nombreux. Les larves sont pélagiques mais descendront vers le fond, au cours de la métamorphose (Lahaye, 1972).

Comme chez tous les pleuronectiformes, la disposition des viscères n'est pas altérée par la perte de la desymétrie lors de la métamorphose, les gonades se trouvent dans la cavité abdominale, d'une part et d'autre du squelette axial (Forest *et al.*, 1974).

- Chez les mâles, les gonades sont sous forme de deux hémisphères aplatis situés au niveau des nageoires pectorales et ne dépassant guère trois à quatre millimètres de long à l'état adulte ; leur couleur va du rose translucide au blanc laiteux (Forest *et al.*, 1974).
- Chez les femelles, les gonades sont translucides, fermes et cylindriques. Ils atteignent au stade adulte fréquemment, plus des trois quarts de la largeur totale. Ils sont de couleur rose rougeâtre en début de maturation et ils deviennent jaune-orangé à l'apparition des œufs (Forest *et al.*, 1974).

La période de ponte s'étend entre le mois de janvier et juin avec un taux de fécondité élevée.

2.6. Régime alimentaire

Le régime alimentaire de *P. lascaris* se compose de trois principaux groupes taxonomiques, à savoir, les polychètes, les crustacés et les bivalves. Les mêmes groupes trophiques ont été signalés dans le régime alimentaire de la sole pole des côtes algériennes, des côtes bretonnes et des côtes portugaises. Cependant il faut bien noter qu'il existe des différences marquées de pourcentages de chaque proie par rapport à la zone d'étude. En effet il est très probable que le régime alimentaire de la sole pole dépend de son habitat et par conséquent de l'abondance de la faune benthique en relation avec cet habitat (Chakour and El Ouizgani, 2016).

2.7. Capture et commercialisation

L'espèce étudiée est capturée par les chaluts de fond et fait face à une forte pression de pêche dans certaines régions méditerranéennes (Tous *et al.*, 2015), en particulier au large des côtes égyptiennes où elle peut être surexploitée (Mehanna, 2007).

La plupart des soleidés font partie des prises de la pêche semi-industrielles et artisanales. L'espèce *Pegusa lascaris* est capturée soit par une senne de plage, filet maillant et chalut de fond cependant elle est occasionnellement capturée. Elle est commercialisée fraîche ou réfrigérée en vue de sa chair très estimée.

Chapitre II.

Matériel et méthodes

1. Echantillonnage

La sélection de l'échantillon est un critère important et essentiel à considérer. Elle est l'un des problèmes les plus difficiles à résoudre pour les scientifiques (Daget, 1976).

Dans le but de l'obtention des paramètres DEB, des informations biologiques sur le poisson sont nécessaires (Taille de la larve à la naissance, âge à la naissance), pour cela nous avons eu recours à échantillonner 222 spécimens de *Pegusa lascaris*. Ceux-ci proviennent de la zone centrale du bassin algérien, principalement de la partie ouest : l'abri de pêche Fouka Marine et l'abri de pêche Cap Djenet à l'est. La période d'échantillonnage s'est étalée sur 5 mois d'avril à aout 2021.

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 and Hartman, 1993).

La théorie du Bilan Énergétique Dynamique (*Dynamic Energy Budget*, DEB), développée par Kooijman (2000), formalise 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).

La théorie DEB propose un formalisme du bilan énergétique d'un individu différent de ceux classiquement utilisés en halieutique (Brandt and Hartman, 1993). 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).

L'objectif de cette théorie est en particulier de mettre en place un cadre commun pour comparer les espèces ou même des échelles taxonomiques plus larges et faire émerger de grands principes à l'échelle du vivant. En effet, d'une espèce à l'autre, seuls les paramètres du modèle sont censés varier, servant ainsi d'indicateur de la biologie et physiologie de chaque espèce (Lika, Kooijman and Papandroulakis, 2014). L'innovation de DEB par rapport aux théories métaboliques est le concept de la réserve, en effet les substrats de l'environnement sont d'abord convertis en réserve avant d'être utilisés pour un métabolisme ultérieur (Derkiani, 2013).

La théorie DEB pose un certain nombre de principes biologiques permettant l'étude de flux de masse et d'énergie au sein d'un organisme. De par ses bases biologiques et thermodynamiques, cette théorie permet de quantifier, selon une approche mécaniste et conservatrice, la prise d'énergie et son allocation aux fonctions biologiques (Pousse, 2017).

Dans le cadre du présent 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.

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 de reproduction.

- La structure désigne l'ensemble des constituants de l'organisme qui sont nécessaires à son fonctionnement 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'acquiescer 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 (Figure II.1).

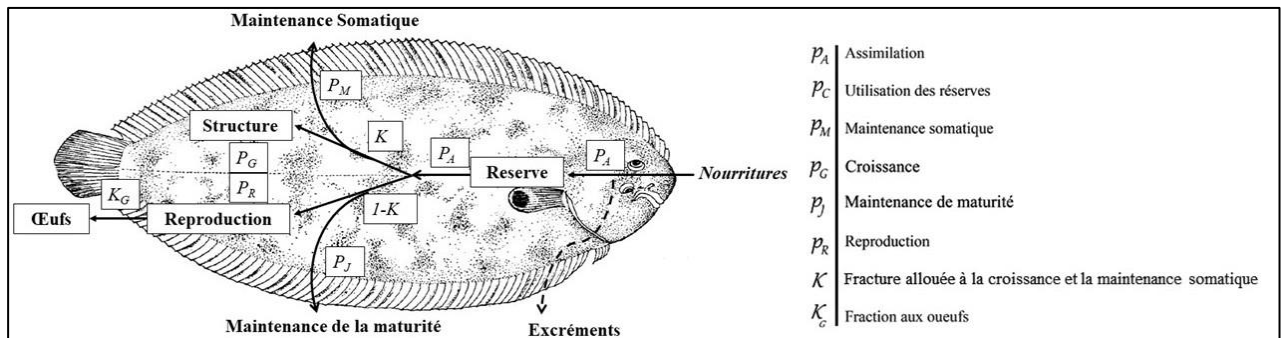


Figure II.1. Flux d'énergie à travers un individu au stade adulte suivant la théorie DEB.

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.

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.

Le modèle DEB standard identifie les transitions entre les stades et les modifications fondamentales du budget énergétique, C'est le début de l'assimilation lorsque l'embryon devient un juvénile et l'investissement imminent dans la reproduction lorsque le juvénile devient un adulte. Dans le cas des espèces accélératrices, l'accélération de la croissance au stade larvaire (après la naissance) 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).

L'accélération métabolique tient compte du changement de forme observé et de l'observation empirique selon laquelle la longueur augmente de manière approximativement exponentielle avec l'âge au cours du stade juvénile précoce pour la plupart des espèces de poissons. Le modèle abj-DEB a déjà été utilisé pour modéliser de nombreux Perciformes méditerranéens (Pecquerie, Petitgas and Kooijman, 2009; Augustine *et al.*, 2011; Jusup *et al.*, 2011; Lika, Kooijman and Papandroulakis, 2014).

2.2. Définition des paramètres DEB

En utilisant plusieurs ensembles de données de l'histoire de vie d'un individu (paramètre de croissance et 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.1 regroupe l'appellation et désignation des paramètres que nous allons estimer dans notre étude.

Tableau II.1. 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_H^b	J	Maturité à la naissance
E_H^p	J	Maturité à la puberté
$\dot{h}a$	d-1	Weibull vieillissement accélération

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

La procédure d'estimation des paramètres DEB nécessite neuf données d'entrée dites à variation nulle (Zero variate data) et 6 de pseudo-données (Tableau II.2). Ces pseudo-données sont en fait des valeurs standard pour une sélection de paramètres DEB et ces valeurs sont tirées de Kooijman (2010). Les pseudo-données sont utilisées dans la procédure d'ajustement pour éviter les problèmes de non-convergence.

Tableau II.2. 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_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
	$[pM]$	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) (L _T , P _T)	Clé âge-longueur Relation taille-poids

Le modèle DEB montre comment les deux paramètres du modèle de croissance de von Bertalanffy, la longueur ultime (notée par $L_{w,\infty}$) et le coefficient de croissance de von Bertalanffy (noté par \dot{r}_B), dépendent des paramètres physiologiques fondamentaux, les paramètres dits primaires du modèle DEB standard.

La longueur physique ultime est donnée par la formule suivante :

$$L_{w,\infty} = \frac{f * L_m^{ref} * z}{\delta_M} \quad \text{Où}$$

- 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 ;
- 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 et est calculé par :

$$Z = \frac{L_m}{L_m^{ref}} = \frac{\kappa \{\dot{P}_{Am}\}}{\dot{P}_M} \frac{1}{L_m^{ref}} \quad \text{Où}$$

- 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 ;
- $[\dot{P}_M]$ 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 :

$$\dot{\gamma}_B = \frac{1}{3} \frac{[\dot{P}_M]}{\kappa \{\dot{P}_{Am}\} \dot{\nu}^{-1} + [E_G]} \quad \text{Où}$$

- $\dot{\nu}$ est la conductance énergétique, un paramètre qui indique plus ou moins la vitesse à laquelle l'énergie peut être mobilisée dans les réserves,
- $[E_G]$ donne les coûts de croissance spécifiques au volume.

Les paramètres $\dot{\nu}$ 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 , $[\dot{P}_M]$, $\dot{\nu}$ et $[E_G]$.

En étudiant le taux de respiration des œufs de saumon, Smith (1957) a déjà observé 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 s'il existe 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 la maturité de l'espèce étudiée, en utilisant une variété d'autres informations disponibles dans la littérature.

2.3.1. Estimation des données à variation nulle (*Zero variate data*)

Les données à variation nulle (points de données uniques) comprennent les caractéristiques physiques générales (âges, longueurs et poids humides) à des stades particuliers du développement des espèces étudiées (naissance, puberté, et stade adulte).

2.3.1.1. Taille à la puberté (première maturité sexuelle)

La taille à la première maturité sexuelle peut être définie d'une manière statistique ou biologique. Vu la non-disponibilité d'échantillons immatures durant notre période d'échantillonnage, nous avons retenu la deuxième définition. McGregor (1968) considère, la taille à la première maturité comme étant la taille du plus petit individu en état de se reproduire observé dans les échantillons.

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 l'espèce étudiée on a estimé cet âge à partir de la lecture directe des otolithes.

La longueur maximale L_i est la plus grande longueur mesurée, Le poids maximum W_w^i c'est le plus grand poids mesuré au laboratoire des espèces étudiées.

2.3.1.3. Age, longueur et poids à la naissance

L'âge à la naissance (*age at birth*) a_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 l'espèce étudiée.

Concernant le poids à la naissance il a été calculé à partir de l'équation (Van der Meer *et al*, 2003) :

$$W_{wb} = \frac{\pi}{6} (\text{diametre de l'œuf})^3$$

2.3.1.4. Reproduction maximale par jour (Ri)

C'est le nombre maximum d'ovocytes émis dans une année (365 jours) par les femelles, pour le calculer il nous faut une étude de fécondité absolue.

La fécondité absolue correspond au nombre d'ovocytes matures contenus dans l'ovaire d'une femelle à la veille de la ponte (Kartas and 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 et donc 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.

P. lascaris appartiennent au type de reproducteurs totaux, cela est confirmée à partir des distributions des fréquences du diamètre ovocytaire.

Le comptage des ovocytes a été réalisé à l'aide d'une loupe binoculaire équipée d'une caméra reliée par carte d'acquisition vidéo à un ordinateur disposant du logiciel d'analyse d'images TSVIEW (version 6.2.3.5. Tucsen) (Figure II.2). Le champ de vision de la loupe binoculaire, affiché à l'écran, est alors numérisé. Chaque grossissement utilisé (grossissement Gx 2) est calibré avec une lame micrométrique.

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 par volume de (Bagenal, 1957).

Les ovaires ont été conservés dans une solution de conservation et de dissociation de Gilson (Stéquert and Ramcharrun, 1995), ceci afin de dilacérer les ovaires pour en faciliter la séparation des ovocytes.

Les ovocytes sont placés dans un bécher et le volume est ramené à 200 ml (V). Pendant qu'une agitation continue maintient les ovocytes en suspension homogène dans ce mélange ovocytes-liquide de Gilson, deux sous-échantillons (v) sont prélevés et mis à sédimenter, chacun dans une cuve Dollfus comportant 200 cases. Le volume (v) utilisé est de 20 ml. Pour chaque sous-échantillon, le comptage sous loupe binoculaire s'effectue sur 10 cases de la cuv, prises au hasard. Le nombre moyen (n) des deux sous-échantillons permet de calculer la fécondité absolue à partir de la formule :

$$F = n \times 20 \times \frac{V}{v}$$

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 divisée sur 365 jours pour obtenir la fécondité maximale par jour (R_i).



Figure II.2. Matériel utilisé pour le dénombrement ovocytaire. A : Cuve Dollfus ; B : Loupe binoculaire équipée d'une caméra ; C : logiciel d'analyse d'images TSVIEW.

2.3.2. Données uni-variées (Univariate data)

Les données uni-variées comprennent : (i) les données âge-longueur, (ii) les données taille-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

La procédure d'estimation de l'âge décrit toutes les étapes techniques du prélèvement des pièces calcifiées jusqu'à la fourniture de la clé âge-longueur. On a obtenu les couples de données âge-longueur par la méthode de rétrocalcul après lecture des otolithes.

Les otolithes étant dans la boîte crânienne, il est nécessaire d'ouvrir celle-ci pour les extraire. Pour ce faire, nous avons opté pour une coupe en section frontale décrite par Chantre *et al.* (2019).

Après le nettoyage, les otolithes sont stockés dans des micro-tubes type Eppendorf®, sur lesquels des étiquettes informatives sont collées (Chantre *et al.*, 2019).

Les otolithes sont numérisés par un scanner professionnel de type Epson pro V750 en lumière réfléchiée (Oudard *et al.*, 2012). L'acquisition en lumière réfléchiée se réalise en posant la face concave de l'otolithe contre la surface du verre. La numérisation s'effectue dans l'obscurité avec le couvercle du scanner ouvert, pour obtenir un fond noir par le vide (Boufersaoui, 2016). Cette étape a été réalisée au niveau du Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et l'Aquaculture.

L'ordre de disposition des pièces calcifiées sur le scanner est important. En effet, la 1ère pièce calcifiée qui sera reconnue par le logiciel TNPC (Traitement Numérique des Pièces Calcifiées, www.tnpc.fr) sera celle située dans le coin supérieur droit de la vitre du scanner (Figure II.3). Il est donc nécessaire d'y placer l'otolithe n^o1, ensuite, les pièces calcifiées vont être reconnues successivement sur la première ligne jusqu'à la pièce calcifiée finissant la ligne.

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 âge-longueur, 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).

$$Li = \frac{(LT - b) * Rn}{RO} + b$$

Où :

- Li est la longueur du poisson au moment de la formation de l'anneau i ;
- LT : longueur totale actuelle du poisson ;
- Rn : rayon de l'otolithe au nième anneau ;
- RO : rayon total de l'otolithe, b : ordonnée à l'origine de la relation LT en fonction de RO.

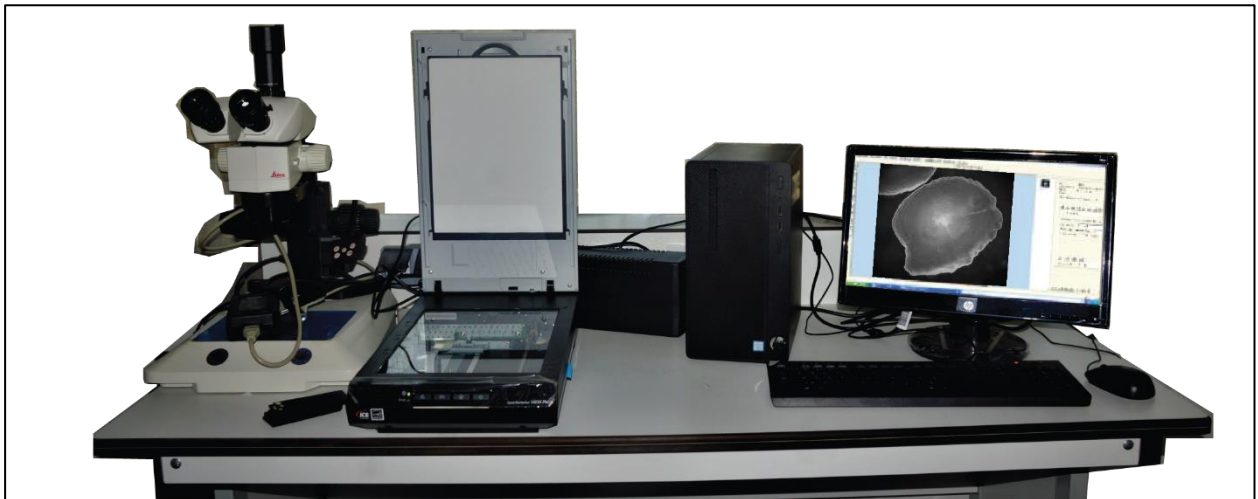


Figure II.3. Poste de travail utilisé pour l'estimation de l'âge au niveau du CNRDPA.

2.4. Procédure de calcul des paramètres DEB

Il nous faut télécharger les packages gratuits DEBtool et AmPtool compatibles avec le programme Matlab. Ces derniers, sont utilisés pour estimer les paramètres et pour étudier l'effet de ces paramètres sur les propriétés éco-physiologiques. Quatre fichiers Matlab (extension .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.

L'écriture informatique (script) de ces 4 fichiers doit suivre les exemples disponibles dans le site internet dédié à la théorie DEB : <http://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/debtool> (Université d'Amsterdam).

Pour chaque espèce, nous remplaçons le terme my_pet (mon animal) par le nom scientifique de l'espèce étudiée, exemple : Mydata_Pegusa_lascaris...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, la maintenance somatique, la maintenance de la maturité, la croissance, la reproduction et la dissipation des puissances pondérées en fonction de la longueur et des réserves pondérées. Comme déjà signalé, 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 *et al.*, 2010).

3. Calculs statistiques « 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 observées et les prédictions du modèle :

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

Où

- n est le nombre total de points de données (réel et 'pseudo-données') ;
- β_i le coefficient de pondération ;
- 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 *et al.*, 2010).

Les estimations ne devraient pas entraîner d'écarts importants par rapport à ces valeurs, car les animaux partagent la plupart des propriétés métaboliques (Kooijman *et al.*, 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 (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.

4. Effet de la température de l'environnement sur la croissance et la reproduction

La physiologie d'un individu dépend de sa température corporelle. Dans le modèle DEB standard, la loi d'Arrhenius s'applique à l'ensemble des flux (Kooijman, 2000).

Tous les flux physiologiques dépendent de la température (dérivée de la loi d'Arrhenius, 1889) qui décrit la vitesse d'une réaction chimique en fonction de la température.

Lorsque les conditions de température et de densité de l'alimentation sont constantes, les équations différentielles DEB peut être analytiquement résolu (Kooijman, 2000; Pecquerie *et al.*, 2007). Le modèle décrit alors une croissance de von Bertalanffy.

Nous travaillons sur un organisme ectothermique. Dans l'échelle de temps considérée, nous supposons que la température corporelle est la température de l'eau dans laquelle se trouve le poisson.

Afin de simuler les l'effet de variations de la température sur les paramètres du modèle DEB et par conséquent sur la physiologie de l'espèce, les équations du modèle ont été programmées dans un classeur Excel, ce dernier nous a été transmis par le Professeur Helmuth Brian de l'université Northeastern (Boston, USA).

Chapitre III

Résultats et discussions

1. Présentation des données et des pseudo-données

Les données à variation nulle (*zero variate data*) et les pseudo-données obtenues pour l'espèce étudiée sont présentées dans le tableau III.1. La figure III.1 illustre les données univariées (âge-longueur et taille-poids).

Toutes les données et résultats obtenus ont été vérifiés, validés puis publiés par Kooijman, l'inventeur de la théorie DEB dans la base de données dédiée au modèle DEB : *add-my-pet* (https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/).

Il est utile de signaler que quelques informations utilisées pour la procédure d'estimation des paramètres DEB ont été tirées de la littérature comme l'âge et la longueur à la naissance. Les données à variation nulle ont été obtenues pour trois stades de vie :

- i) A la naissance, le moment où l'alimentation commence. Pour les deux sexes, d'après les travaux de (Fehri-Bedoui *et al*, 2000) sur une espèce du même genre l'âge est de 48 heures après l'incubation, la longueur de la larve est de 3,5 cm (Ahlstrom *et al.*, 1984), en se basant sur le diamètre de l'œuf de 1,38 mm (Jean-Yves, 1991) nous avons estimé un poids à la naissance de 0,000492 g à partir de l'équation donnée par :

$$W_{wb} = \frac{\pi}{6} (\text{diamètre de l'œuf})^3$$

- ii) A la puberté, où les animaux commencent à se reproduire. L'âge à la première maturité sexuelle est de 730 jours pour les femelles et 365 jours pour les mâles, la taille à la 1ère maturité sexuelle atteint 12,6 cm pour les mâles et 13,2 cm pour les femelles avec un poids humide de 21,5 g pour les femelles et 15,57 g pour les mâles.
- iii) Au stade adulte, pour les femelles l'âge maximal a_m observé est de 4745 jours, la plus grande longueur observée est de 26,5 cm et un poids humide maximal de 184,1 g. Concernant les mâles l'âge maximal a_m est de 3285 jours, la plus grande longueur observée est de 23,6 cm et un poids humide maximal de 120,7 g.

Selon les résultats de l'étude de la fécondité, le taux de reproduction maximale R_i est de 84,01 ovocyte/jour.

Les valeurs standards des pseudo-données sont mentionnées par le tableau III.1.

Tableau III.1. Les données d'entrée : données à variation nulle (*zero variate data*), les pseudos donnés obtenu pour *P. lascaris*.

	Femelle	Mâles	Ensemble
Donnée à variation nulle			
a_b : âge à la naissance (j)	2 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾
a_s : âge à la première maturité sexuelle (j)	730 ⁽¹⁾	365 ⁽¹⁾	730 ⁽¹⁾
a_m : longévité (j)	4 745 ⁽⁴⁾	3 285 ⁽⁴⁾	4 745 ⁽⁴⁾
L_b : longueur à la naissance (cm)	3,5 ⁽³⁾	3,5 ⁽³⁾	3,5 ⁽³⁾
L_p : longueur à la 1 ^{ère} maturité sexuelle (cm)	13,2 ⁽¹⁾	12,6 ⁽¹⁾	13,2 ⁽¹⁾
L_i : longueur maximale (cm)	26,5 ⁽¹⁾	23,6 ⁽¹⁾	26,5 ⁽¹⁾
W_w^b : poids à la naissance (g)	0.000492 ⁽¹⁾	0.000492 ⁽¹⁾	0.000492 ⁽¹⁾
W_w^p : poids à la puberté (g)	21,500 ⁽¹⁾	15,570 ⁽¹⁾	21,500 ⁽¹⁾
W_w^i : poids maximal (g)	184,1 ⁽¹⁾	120,7 ⁽¹⁾	184,1 ⁽¹⁾
R_i : reproduction maximale (/j)	84,01 ⁽¹⁾		84,01 ⁽¹⁾
Donnée univariées			
t-L	Voir Figure III.1		
L-W	Voir Figure III.1		
Pseudo données			
\dot{v} : conductance énergétique	Valeurs standards		
κ : fraction d'allocation à la maintenance somatique	0.02		
κ_R : efficacité de la reproduction	0.8		
[$\dot{p}M$] : volume spécifique à la maintenance somatique	0.95		
κ_j : coefficient de maintien de la maturité	18		
κ_G : efficacité de la croissance	0.002		
(1) Présente étude	(3) Ahlstrom <i>et al.</i> (1984)	(2) Fehri-Bedoui <i>et al.</i> (2000)	(4) FAO

La figure III.1 est une représentation graphique des données univariées âge-longueur et taille-poids pour les mâles et les femelles de l'espèce étudiée.

Le calcul des tailles du poisson à divers moments de sa vie est basé essentiellement sur le principe de la proportionnalité de la croissance de l'otolithe à celle du corps.

Les longueurs totales rétrocalculées sont estimées à partir des paramètres de la régression linéaire de la longueur (L_T) en fonction du rayon de l'otolithe du poisson (R_O).

Il est à signaler que les valeurs du coefficient de corrélation (r) sont élevées ; comme le montrent les résultats du tableau III.2, cela explique que la liaison entre le rayon de l'otolithe et la taille du poisson est très liée. En utilisant l'hypothèse de Lee nous avons pu estimer les longueurs totales à l'apparition de chaque anneau d'arrêt de croissance pour chaque groupe d'âge, aussi bien pour les deux sexes séparés que pour l'ensemble.

La lecture de 222 paires d'otolithes indique sept groupes d'âge (I à VII ans) pour l'ensemble et sept groupes d'âge (I à VI ans) chez les femelles et mâles de *P. lascaris* ; les tailles rétro calculées des individus sont comprises entre 8,5 et 25,3 cm pour 101 femelles, 8,8 et 24,3 cm pour 156 mâles, et entre 8,5 et 25,8 cm pour l'ensemble des individus (mâles, femelles et indéterminés).

Autre que la relation âge-longueur, Nous donnons aussi dans la figure III.1 la relation taille-poids ainsi que les valeurs estimées des coefficients a et b (pour des tailles en cm et des poids en grammes).

Les valeurs des coefficients de corrélation (r) sont proches de 1, ce qui traduit bonne corrélation positive entre les deux variables que sont la taille et le poids. Les coefficients b sont très proches de 3.

Tableau III.2. Paramètres des régressions linéaires entre la longueur totale du poisson et le rayon total de l'otolithe ($L_T = a R_O + b$) chez *P. lascaris*.

Sexe	a	b	r
F	124.179	0.251	0.74
M	105.57	2.83	0.76
E	113.82	1.74	0.78

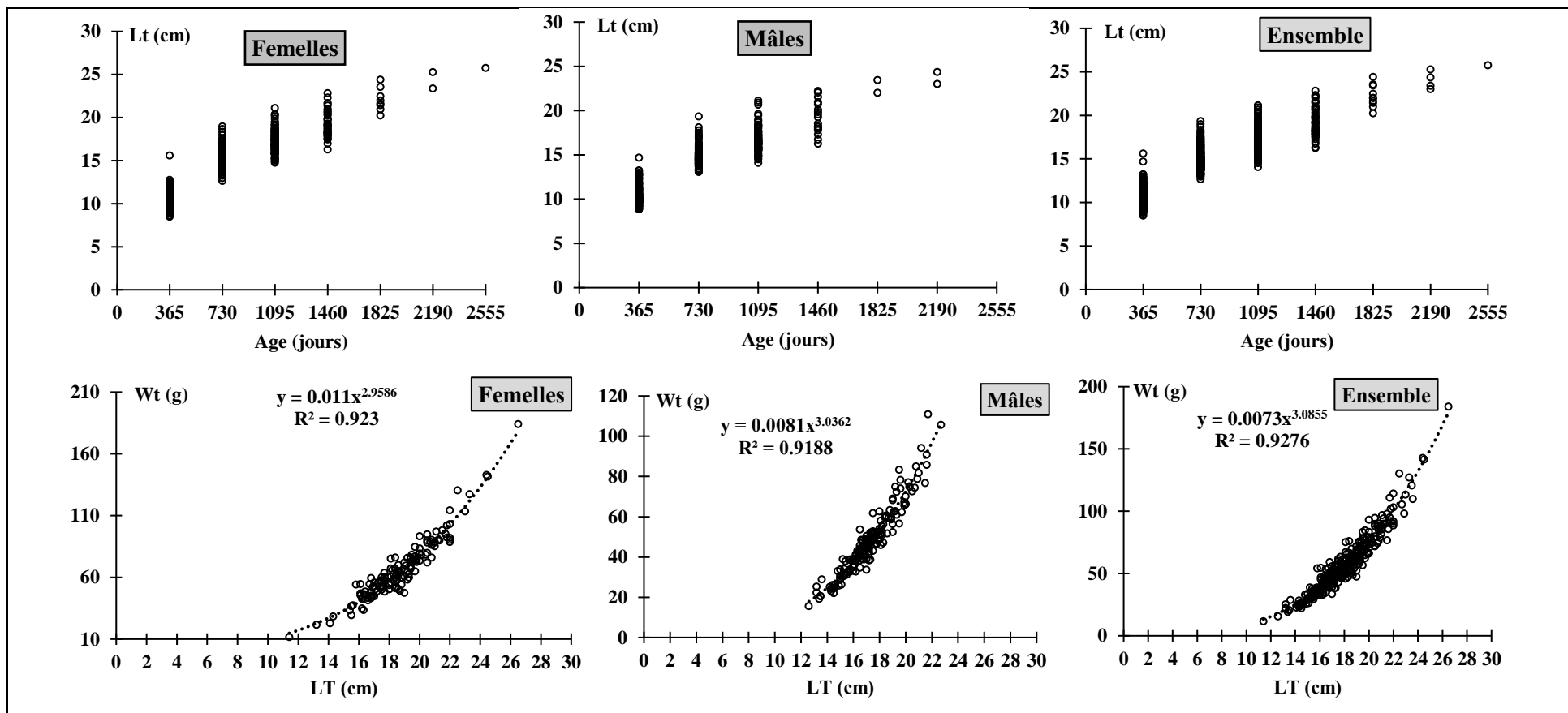


Figure III.1. Présentation des données univariées âge-longueur et taille-poids pour les mâles et les femelles de l'espèce étudiée.

2. Estimation des paramètres DEB

La combinaison des données disponibles à différents stades de développement (*zero-uni variate data*) et dans différentes disponibilités alimentaires nous a permis d'obtenir une prédiction robuste des paramètres DEB. L'ajustement total de la méthode de covariation a donné lieu à une erreur relative absolue moyenne de 0,076.

Les valeurs des paramètres primaires pour les comparaisons interspécifiques avec les autres Soleidae ont été obtenues sur le site web <https://www.bio.vu>. L'ensemble de paramètres publiés sont normalisés pour la température corporelle, la disponibilité de la nourriture et la taille corporelle afin de permettre des comparaisons d'espèces de la manière suivante : les taux sont fixés à une température commune T_{ref} de 20 °C, la réponse fonctionnelle à l'échelle f est définie sur 1 et la longueur L_m est fixée à 1 cm.

Nous avons réparti ces paramètres en fonction des relations physiologiques et biologiques pour les interpréter.

2.1. Paramètres relatifs à la taille et forme individuelle

La plupart des paramètres composés sont dérivés d'une certaine façon en utilisant le facteur de zoom. Les facteurs de zoom entre les espèces Soleidae diffèrent considérablement, allant de 0,35 chez *Microchirus variegatus* à 5,48 pour *P. lascaris*.

L'estimation du coefficient de forme pour les diverses espèces étaient basées sur les données de longueur totale et de masse somatique humide. Selon les différentes estimations (Tableau III.3), *P. impar* (0,25) et *P. lascaris* (0,2) avaient le coefficient de forme le plus élevé, suivies de *M. variegatus* (0,18), de *M. azevia* (0,17) et de *D. cuneata* (0,17). La sole commune *S. solea* avait la valeur la plus faible (0,15).

Tableau III.3. Facteur de forme et facteur de zoom de l'espèce *P. lascaris* et autres Soleidae ($T_{ref}= 20^{\circ}\text{C}$, $f=1$). δ_M : Facteur de forme, Z : facteur de zoom. (Annexe 3)

Espèces	δ_M	Z
<i>P. lascaris</i>		
Femelles	0,2061	5,48
Mâles	0,2061	4,838
Ensemble	0,2061	5,48
<i>P. impar</i> ⁽¹⁾		
Femelles	0,25694	0,61954
Mâles	0,25694	0,58355
<i>S. solea</i> ⁽²⁾	0,14927	2,6695
<i>M. variegatus</i> ⁽¹⁾		
Femelles	0,18821	0,38971
Mâles	0,18821	0,34573
<i>M. azevia</i> ⁽³⁾	0,17929	3,0147
<i>D. cuneata</i> ⁽³⁾	0,17908	1,3035

(1) Kooijman (2019)

(2) Lorna Teal (2015)

(3) Samira Boufersaoui (2018)

2.2. Paramètres relatifs à la nourriture et assimilation

Avant accélération, chez l'espèce (*P. lascaris*) l'estimation du taux d'assimilation spécifique à la surface a donné une estimation de $\{\dot{P}_{AM}\}$ de 172.26 J/d.cm², cette valeur est la plus élevée comparées à celles d'autres Soleidae (Tableau III. 4). Le taux est à sa valeur minimale de 15,89 J/d.cm² pour *P. impar*. L'estimation de $\{\dot{P}_{AM}\}$ a montré une grande variabilité, ce qui peut être attribuée au changement de densité de nourriture dans le milieu.

Les valeurs au stade de post-métamorphose de la conductance énergétique (\dot{v}) dépendent de la nourriture et le mode vie ensuite diffèrent entre les cinq espèces de Soleidae.

P. lascaris représente la valeur la plus élevée (0,32 cm/jr) parmi les autres espèces. Une variabilité interspécifique de ce paramètre a été signalée dans d'autres taxons tels que les bivalves, où les différences ont été attribuées à une dépendance possible de la longueur volumétrique (Veer *et al.*, 2006). Il est également possible que ce paramètre diffère entre les stades de vie (Kooijman *et al.*, 2011 ; Lika *et al.*, 2011b).

Le facteur d'accélération diffère d'une espèce à l'autre, les valeurs les plus grandes étant attribuées à *P. impar*, *M. variegatus*. 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 autres espèces démersales de la famille des Soleidae, ont des facteurs d'accélération faibles, ce qui signifie que leurs taux de croissance augmentent plus progressivement.

L'accélération métabolique conduit à une croissance exponentielle initiale de la longueur et se transforme en une croissance de von Bertalanffy à la métamorphose. Un faible niveau de métabolisme nécessite un faible taux d'assimilation pour le soutenir (Kooijman *et al.*, 2011).

Tableau III.4. Le taux d'assimilation spécifique maximal, la conductance énergétique et le facteur d'accélération de l'espèce *P. lascaris* avec la température moyenne de l'eau au frai en Méditerranée.

Symbole	$\{\dot{P}_{AM}\}$ J/d.cm ²	\dot{v} (cm/d)	sM	T ⁰ (Min-Max)
<i>P. lascaris</i>				
Femelles	172,26	0,3147	1.00003	
Mâles	152,11	0,3147	1.00003	
Ensemble	172,26	0,3147	1.00003	18,1 (10,6-27,6)
<i>P. impar</i> ⁽¹⁾	15,89	0,02044	12.2265	18,8 (15,1-21,3)
<i>M. variegatus</i> ⁽¹⁾	48,39	0,02181	9.86775	10,3 (7-16)
<i>S. solea</i> ⁽²⁾	81.69	0,01124	4.06111	11,4 (9-20)
<i>D. cuneata</i> ⁽³⁾	36.41	0,02162	3.20925	18,2 (12,5-27,6)
<i>M. azevia</i> ⁽³⁾	77,02	0,01927	2.224	13,8 (9,8-18,1)

(1) Kooijman (2019)

(2) Lorna Teal (2015)

(3) Samira Boufersaoui (2018)

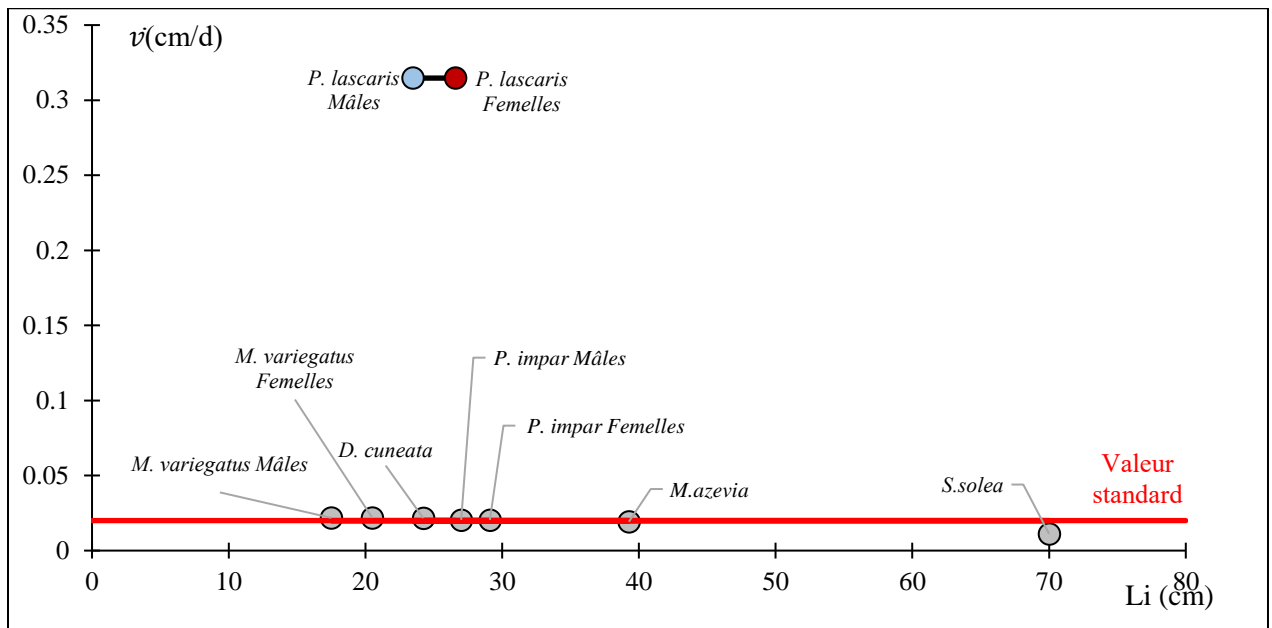


Figure III.2. Les valeurs de la conductance énergétique ($T_{\text{ref}} = 20 \text{ } ^\circ \text{C}$) en fonction de la longueur structurale maximale de l'espèce *P. lascaris* et autres Soleidae.

2.3. Les coûts énergétiques de la maintenance

Les coûts énergétiques pour la maintenance somatique [P_{M}] de *P. lascaris* a été estimé à $26,69 \text{ J.cm}^{-3}$, une valeur égale à celle de *P. impar*. Cette valeur se situe dans la fourchette signalée pour toutes les espèces Soleidae ($14,63\text{--}58,43 \text{ J. d}^{-1}.\text{cm}^{-3}$; tableau III. 5). Selon ces valeurs, il est à signaler que ce paramètre est inversement lié à la taille maximale spécifique (Fig. III.2). En effet, chez *M. variegatus*, une espèce de petite taille, les valeurs sont les plus élevées. Chez les autres espèces qui ont approximativement la même taille maximale, les valeurs sont basses et proches.

[E_G] est la quantité d'énergie de réserve nécessaire pour synthétiser une unité de volume de structure, y compris l'énergie stockée dans les tissus et les frais généraux pour l'anabolisme. Cette valeur était très similaire entre *P. lascaris* ($5215,08 \text{ J.cm}^{-3}$) et les autres espèces. Les taux d'investissements énergétiques dans les transitions du cycle de vie (maturité) E_{H}^{b} et E_{H}^{j} , E_{H}^{p} pour *P. lascaris* étaient de $0,97$, $0,972$ et 23930 J.cm^{-3} , respectivement. Fait intéressant, la différence entre la maturité à la naissance E_{H}^{b} et la maturité à métamorphose E_{H}^{j} était la plus petite en comparaison avec d'autres soleidae, ce qui implique que *P. lascaris* peut réduire le temps passé entre ces deux phases et donc terminer la métamorphose plus tôt.

Tableau III. 5. Les coûts énergétiques pour la maintenance somatique [P_M], pour la structure (E_G) et les valeurs de l'investissement énergétique dans les transitions du cycle de vie (Annexe 3)

Symbole	Auteurs	$[P_M]$ ($J.d^{-1}.cm^{-3}$)	E_G ($J.cm^{-3}$)	E_H^b $J.cm^{-3}$	E_H^j $J.cm^{-3}$	E_H^p $J.cm^{-3}$
<i>P. lascaris</i>	Présente étude	26,69	5215,08	0,970	0,972	23930
<i>P. impar</i>	Bas Kooijman (2019)	22,69	5224,67	0,106	202,20	140900
<i>S. solea</i>	Lorna (2015)	22,50	5222,36	0,060	3,92	151495
<i>M. variegatus</i>	Bas Kooijman (2019)	58,43	5217,13	0,700	739,60	194100
<i>M. azevia</i>	Boufersaoui (2018)	14,63	5231,46	1,060	11,67	119800
<i>D. cuneata</i>	Boufersaoui (2018)	26,13	5219,39	0,036	1,21	11960

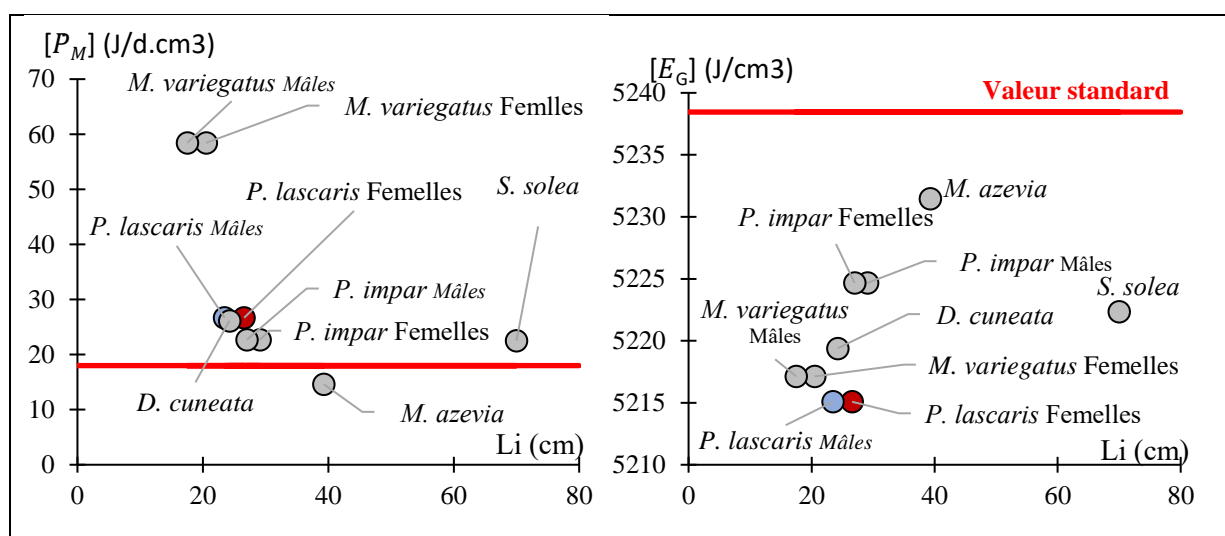


Figure III.3. Coût pour la structure [E_G] et coût somatique spécifique [P_M] en fonction de la longueur structurelle maximale pour l'espèce *P. lascaris* et d'autres Soleidae.

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

La fraction de l'allocation à la croissance et à la maintenance somatique, κ , obtenue et reportée pour les différentes espèces de Soleidae est illustrée par la figure III.4.

La fraction obtenue ici ($\kappa=0,85$) est très proche des valeurs obtenues par Kooijman. (2019) ($\kappa=0,89$) pour l'espèce du même genre *Pegusa* et est supérieure à celles obtenues par Rosland *et al.* (2009) ($\kappa=0,45$), par (Boufersaoui *et al.*, 2018) et par Kooijman (2019) pour *M. azevia*, *M. variegatus*, et pour *S. solea* respectivement.

Notons aussi que, par rapport à la valeur standard ($\kappa = 0,8$), *D. cuneata* et les deux espèces du genre *Pegusa* se situées au-dessus de la valeur standard avec une valeur de κ proche à 0,9. Le reste des espèces des Soleidae ont une valeur éloignée et plus faible de la valeur standard.

La valeur de κ ne semble pas être corrélée avec la taille ultime de l'espèce. Les différences dans les valeurs de κ impliquent des différences dans la stratégie de reproduction de l'organisme : une valeur plus importante de κ représente un plus grand investissement dans la croissance et un indice gonado-somatique plus faible comme conséquence directe. Autrement dit, l'énergie est dédiée à la maintenance somatique plus qu'à la reproduction.

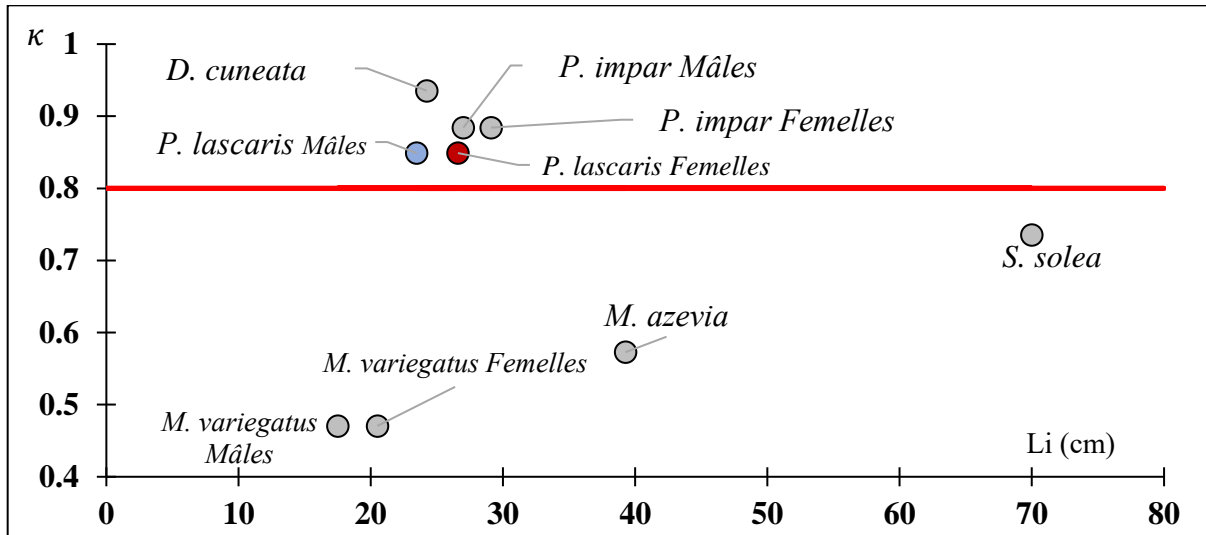


Figure III.4. La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique κ pour *P. lascaris* et autres Soleidae.

3. Modélisation bioénergétique de la croissance et de la reproduction

Les données de la croissance observées et estimées et leurs erreurs calculées par le modèle DEB chez l'espèce étudiée sont présentées dans le tableau III.6.

Les données âge, longueur et poids humide à la naissance sont similaires pour les deux sexes car ils ne sont pas différents au stade larvaire (immature). On retrouve un taux d'erreur faible, par conséquent une bonne précision pour les valeurs prédites. D'ailleurs, la comparaison des valeurs observées avec les valeurs indiquées des valeurs proches.

La figure III.4 illustre la modélisation des courbes de croissance de von Bertalanffy par le modèle DEB avec les valeurs observées (Points) de l'espèce étudiée, on remarque que les courbes diffèrent légèrement entre mâles et femelles, une croissance un peu plus rapide chez les Mâles dans une température constante peut être attribuée aux processus physiologiques.

Une accélération des taux de croissance dans les premiers stades de la vie est bien représentée par le modèle DEB.

Le tableau III.7 récapitule les paramètres de croissance linéaire du modèle de von Bertalanffy dans différentes régions et ceux obtenus de nos estimations. Il en ressort que ceux-ci sont relativement proches des paramètres obtenus par Marinaro (1983) pour les deux sexes les valeurs. Les valeurs obtenues par Déniel (1981) sont supérieures aux nôtres. Cette déviation

des valeurs peut être influencée par le nombre de classes d'âge observées, les différentes conditions environnementales, la gamme de taille échantillonnée ou la méthode d'étude utilisée.

Tableau III.6. Présentation des données de la croissance observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez l'espèce *P. lascaris*. Er : erreur.

Données	Femelles		Mâles	
	Observations	Estimations (Erreur)	Observations	Estimations (Erreur)
Age à la naissance (jr)	2	2.039 (0,01934)	2	2,039 (0.01934)
Longueur totale à la naissance (cm)	0,35	0.4924 (0,4069)	0.35	0,4924 (0.4069)
Longueur totale maximale (cm)	26.5	26.59 (0,003211)	23.6	23,47(0.00551)
Poids humide à la naissance (g)	0,0014	0.00117 (0,1642)	0.0014	0,00117 (0,1642)
Poids humide maximal (g)	184,1	184.1 (0,0002)	120.7	125,1 (0,03626)

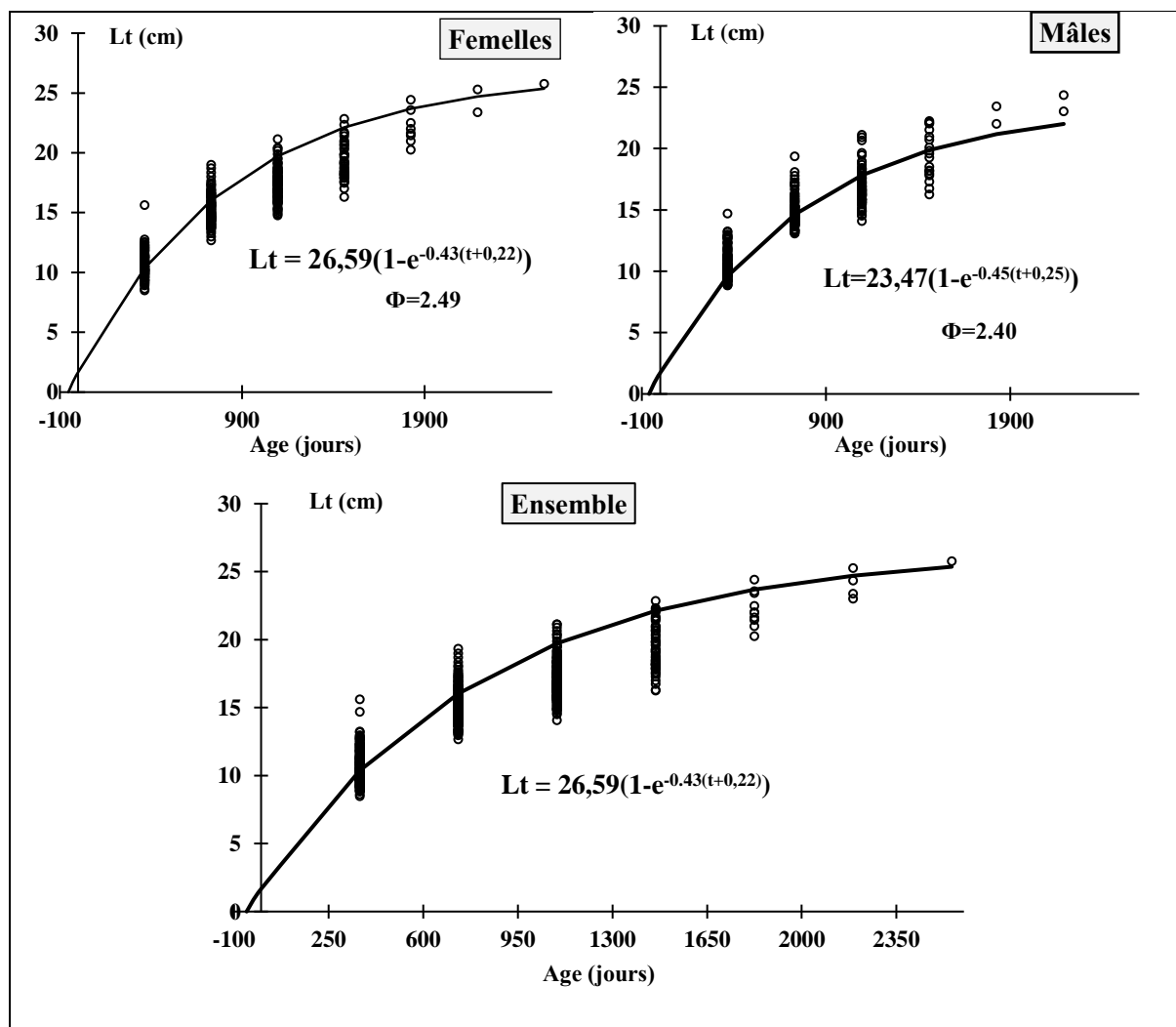


Figure III.5. Présentation des courbes de croissance de von Bertalanffy modélisées par le modèle DEB de *P. lascaris* et les valeurs observées.

La taille de maturité estimée est de 13 cm à 730 jours avec un poids de 21,55 g. Ces prédictions obtenues par le modèle DEB sont très similaires aux valeurs observées. En utilisant la méthode de comptage volumétrique pour estimer la reproduction maximale, nous avons obtenu une valeur observée de 84,1 ovocytes par jour et une valeur estimée avec par le modèle DEB à 81,27 jours⁻¹ qui est légèrement inférieure à la valeur observée (Erreur = 0,0337).

Tableau III.7. Valeurs bibliographiques des paramètres croissance du modèle de von Bertalanffy dans différentes régions.

Auteurs et année	Localité		L_{∞} (cm)	K /ans	t_0 (ans)
Deniel (1981)	Baie de Douarnenez France	F	38,7	0,251	0
		M	33,9	0,237	0
Marinaro <i>et al.</i> (1983)	Côtes d'Algérie	F	25,3	0,47	-0,64
		M	22,8	0,56	-0,49
Deniel (1990)	Côte Ouest de la Bretagne France	F	28,7	0,379	-0,19
		M	25,5	0,451	0,17
Présent travail (2021)	Centre de l'Algérie	F	26,59	0,43	-0,15
		M	23,49	0,45	-0,17

4. Effet de la température sur la croissance et sur la reproduction

L'analyse de la figure III.6 indique que sous une même densité alimentaire, la croissance des mâles et des femelles de *P. lascaris* est influencée par les changements de température, alors que leur taille asymptotique reste toujours la même.

Il y a une température idéale pour l'espèce étudiée et à chaque fois qu'on s'éloigne de cette température, que ce soit en augmentant ou en réduisant cette dernière, on remarque que la vitesse de croissance diminue. A une température très faible (14°) ou très élevée (38°) l'individu atteint sa taille maximale que tardivement, mais a des températures proches de l'idéale (25°) il atteint sa taille maximale à l'âge de 4 ans.

Il est donc possible de dire, qu'à des conditions de nourriture constantes, à quelle vitesse l'individu atteindra sa taille asymptotique (taux de croissance), ceci peut être expliqué par l'effet de la température sur l'activité enzymatique. Ainsi, K varie avec la température.

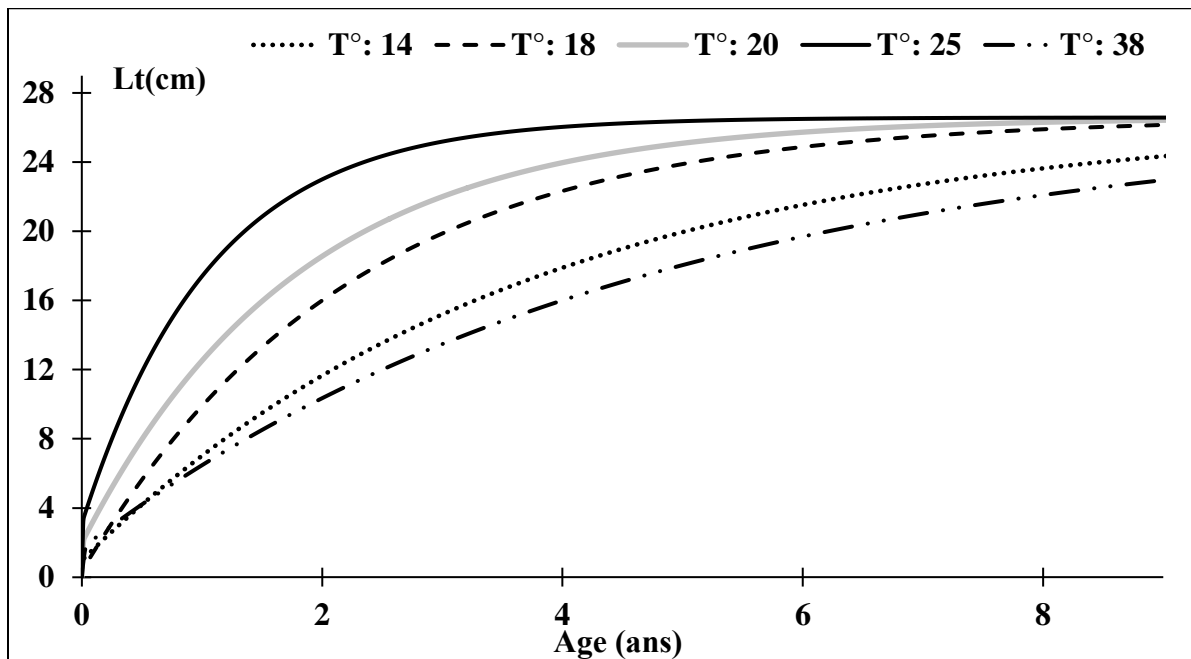


Figure III.6. Croissance linéaires théoriques pour l'ensemble des Mâles et Femelles de *P. lascaris* (modèle DEB) en fonction de la Température.

Les différentes courbes représentées par la figure III.7 montrent que la masse répond positivement à l'augmentation de la température, jusqu'à une certaine limite. Ainsi, avec l'augmentation de la température l'espèce atteint l'âge à la puberté (stade adulte) plus rapidement, dans une température égale à 14° l'espèce est capable de se reproduire dès l'âge de 2 ans mais lorsque la température est de 25° l'espèce est capable de se reproduire dès l'âge de 1 an. On a constaté par ailleurs d'après les simulations que quand la température dépasse les 33° (température optimale), l'espèce n'atteint son âge de reproduction que tardivement (3 ans) avec une masse de reproduction très faible.

La température influence donc favorablement la croissance pondérale et la reproduction, jusqu'au point où l'augmentation des coûts métaboliques provoque un stress thermique qui peut empêcher la croissance.

La théorie DEB offre un outil robuste pour étudier les réponses du cycle de vie des individus et des populations à la variabilité environnementale d'un point de vue énergétique, comme les conséquences énergétiques de la reproduction en relation avec les réserves énergétiques. La théorie DEB suggère que ce compromis est limité par le fait qu'en principe, le volume des œufs est simplement lié au volume corporel maximal de l'adulte (Lambert and Dutil, 2000).

A chaque étape du cycle biologique et/ou au sein de chaque habitat, la fenêtre d'opportunité spatio-temporelle de développement (croissance et reproduction somatiques) est définie à la fois par des facteurs biotiques (disponibilité des proies) et par des limites de tolérance aux

facteurs abiotiques où, pour les ectothermes, prédominent les conditions de température sont un facteur de contrôle (Fry *et al.*, 1947; Neill *et al.*, 1994) La réponse aux conditions de température est souvent caractérisée en termes de sensibilité à la température et de plage de tolérance de température (Huey and Kingsolver, 1989).

La plage de tolérance de température est la zone de température où les taux de croissance sont positifs. Dans la plage des températures tolérables, une température optimale, des températures préférées et une sensibilité à la température (reflétant la vitesse à laquelle les réactions physiologiques changent avec la température) peuvent être distinguées à l'aide de différents critères. Outre une réponse aiguë à la température, un individu peut présenter l'acclimatation comme une réponse chronique et l'adaptation, mesurée sur des échelles de temps de générations, comme une réponse évolutive. Cette dernière permettra à terme une modification des performances physiologiques et de la réponse d'un organisme au cours du temps. De plus, il existe des preuves de changements ontogénétiques dans la plage de températures tolérables (Irvine, 1974; Rijnsdorp *et al.*, 2009) et de sensibilité à la température (Peck and Buckley, 2008) indiquant que les habitats thermiques optimaux pour la croissance peuvent varier selon les différents stades de la vie.

Nos résultats indiquent que le potentiel reproductif devrait être amélioré dans des conditions plus chaudes, comme on pourrait s'y attendre étant donné la relation positive entre la performance reproductrice et la température chez l'espèce étudiée.

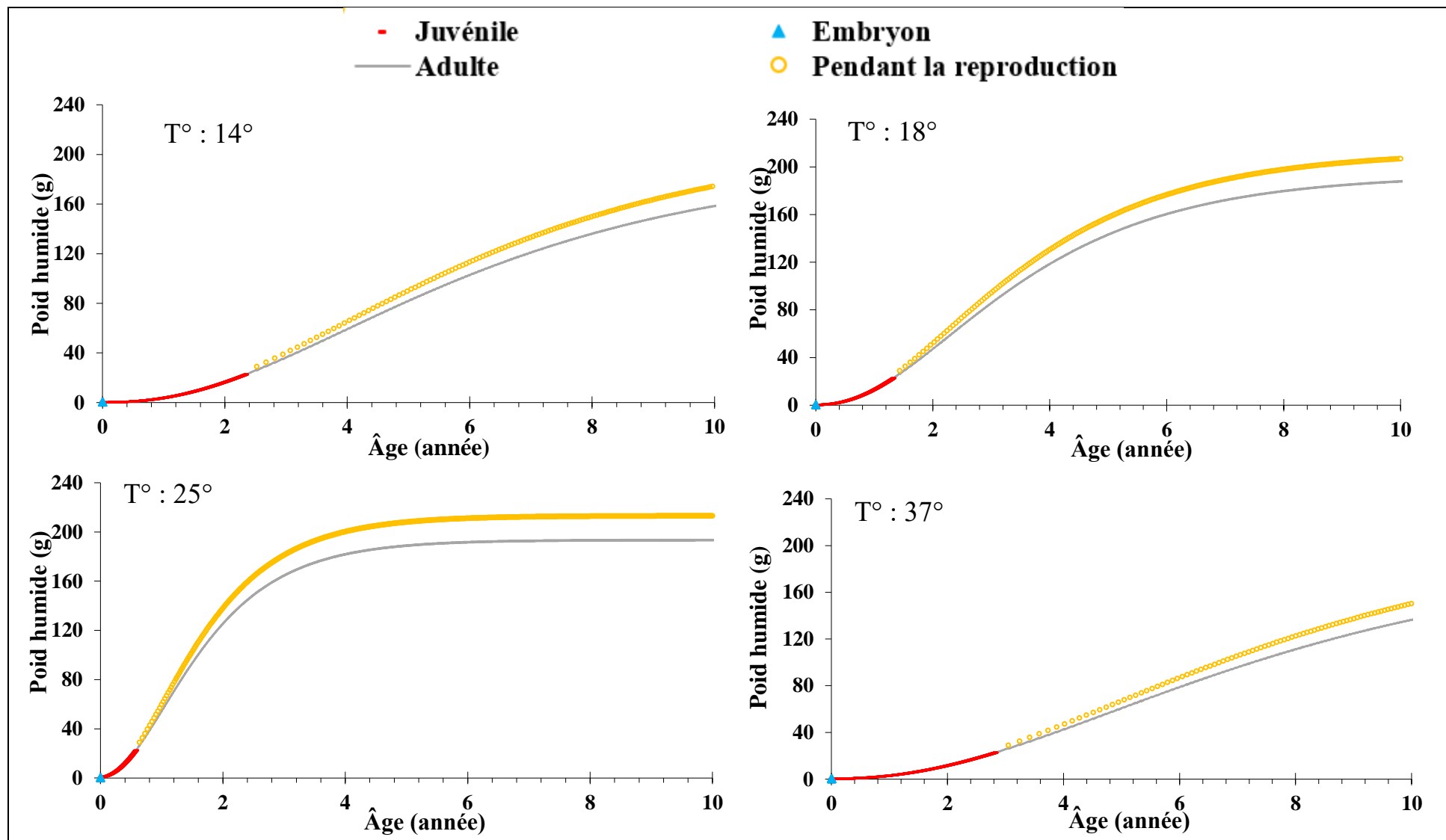


Figure III. 7. Simulation de l'effet de la température sur le poids humide pendant la reproduction et dans les trois stades de vie (modèle DEB).

Conclusion

Ce travail porte sur l'effet de la température du milieu sur la reproduction et la croissance de la sole des sables *P. lascaris* des eaux centre algériennes selon la théorie du bilan énergétique dynamique (DEB). Cette théorie est un outil puissant qui sert à décrire le flux énergétique au niveau de l'organisme, de l'assimilation des aliments à leurs utilisation pour le maintien, la croissance, et la reproduction.

Cette approche est réalisée dans le but d'améliorer nos connaissances des aspects physiologiques, biologiques et écologiques de cette espèce ectotherme, ensuite comprendre l'effet de l'environnement vécu par un individu sur l'utilisation de l'énergie disponible pour la reproduction et ses conséquences sur la croissance et le développement.

La théorie (DEB) nous a fourni un cadre conceptuel et quantitatif pour à la fois interpréter physiologiquement les paramètres de von Bertalanffy, et refléter l'effet physiologique de la température sur les taux et l'approvisionnement énergétique respectivement.

L'application du modèles DEB sur *P. lascaris* a permis d'obtenir les paramètres de croissance de von Bertalanffy et de simuler l'effet de la température la croissance et la reproduction sous des différentes conditions environnementales. Il s'agit d'une étude qui a contribué à enrichir la base de données universelle *add_my_pet* par de nouvelles données, qui ils ont été publiées après acceptation et validation par le fondateur de la théorie DEB, le professeur Kooijman (Université d'Amsterdam, Pays Bas).

Nous avons étendu le modèle DEB standard (std) au modèle "abj" afin d'intégrer 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.

Il est de plus en plus évident que ce type de modèle est cohérent avec la croissance et les caractéristiques physiologiques. L'utilisation du même cadre de modélisation a permis de faire un pas en avant dans la compréhension de la réponse de cette espèce face aux changements de la température.

Les effets physiologiques de la température et de la nourriture sur la croissance peuvent être inclus dans les paramètres de von Bertalanffy dans le contexte de la théorie DEB. Lorsqu'ils sont constants, différents niveaux de nourriture et de température conduisent à différents paramètres de von Bertalanffy, avec une relation inverse explicite entre K et L_{∞} .

Les présents résultats sont des informations qui seront essentielles à la démarche future visant à une modélisation de type IBM ("Individual-Based Model") qui devrait permettre d'accroître la précision des outils de prédiction et donc de gestion des populations d'organismes marins.

Cependant, les résultats obtenus ici ne permettent pas de savoir si la variabilité de la croissance individuelle est génétique. Des travaux complémentaires pourraient être réalisés pour préciser ces aspects.

Références bibliographiques

- ABOUSSOUAN, A, LAHAYE, J. (1979).** Les potentialités des populations ichthyologiques. Fécondité et ichtyoplancton, *Cybiurn*, 6, p,p. 29-46.
- AHLSTROM, AMAOKA, K et al. (1984).** Pleuronectiformes: development, Ontogeny and systematics of fishes, 1, p,p. 640-670.
- ALILI, D. E. (1988).** Contribution à la systématique des soleidés (poissons, téléostéens d'Algérie). Alger.
- AMARA, R. (2011).** Impact de la pollution sur les écosystèmes côtiers : exemple de la Manche orientale, *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 9).
- AUGUSTINE, S, GAGNAIRE, B et al. (2011).** Developmental energetics of zebrafish, *Danio rerio*, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 159(3), p. 275-283.
- BACHARI, N, BACHOUCHE, S et al. (2011).** Contribution à l'évaluation de la pollution des eaux marines sur la côte Ouest d'Alger en utilisant l'imagerie satellitale, p,p. 339-344.
- BAGENAL, T. B. (1957).** The breeding and fecundity of the long rough dab *Hippoglossoides platessoides* (Fabr.) and the associated cycle in condition, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 36(2), p,p. 339-375.
- BAKALEM, A. (2008).** Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental algérien. Alger.
- Bas Kooijman. (2019).** AmP *Pegusa impar*, version 2019/02/14, add my pet.
Disponible sur le web:
https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/entries_web/Pegusa_impar/Pegusa_impar_res.html
- Bas Kooijman. (2019).** AmP *Microchirus variegatus*, version 2019/02/14, add my pet.
Disponible sur le web :
https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/entries_web/Microchirus_variegatus/Microchirus_variegatus_res.html
- BENSLAMA-HABIKI, H. (2007).** Apports de l'oued isser et rôle du canyon d'alger dans la dynamique des sédiments du plateau continental de la baie de zemmouri el-bahri Dans Hanifa Benslama-Habiki, p,p. 73.
- BILECENOGLU M, M, Kaya, M et al. (2014).** An updated checklist of the marine fishes of Turkey, *Turkish Journal of Zoology*, 38(6), p,p. 901-929.
- BLACHE et al. (1970).** Clés de détermination des poissons de mer signalés dans l'Atlantique oriental entre le 20° parallèle nord et le 15° parallèle sud. IRD Editions.
- BOUFERSAOUI S. (2016).** Biologie et évaluation des stocks des trois sparidés de la région centre de l'Algérie : *Lithognatus mormyrus* (Linnaeus, 1758), *Pagrus pagrus* (Linnaeus, 1758), et *Pagellus acarne* (Risso, 1826). Thèse de *Doctorat d'état. Halieutique. Alger : ENSSMAL*, 250 p,p.103-110.

- BOUFERSAOU, S, ZEROUAL, H. (2018).** Estimation des paramètres du modèle bioénergétique (DEB) pour étudier la croissance et la reproduction de quelques espèces des côtes algériennes. Technical report, ENSSMAL Univ., Algiers.
- BOULAHIDJ, M. Eddalia, N *et al.* (2003).** Les eaux de la Baie d'Alger Quelques aspects physico-chimiques et environnementaux, Annales de l'institut National Agronomique, 24(1 et 2), p. 39-54. Disponible sur : <http://rist.cerist.dz/?Les-Eaux-de-la-Baie-d-Alger>.
- BRADAI, M. N. (2000).** Diversité du peuplement ichthyique et contribution à la connaissance des sparidés du golfe de Gabès. Sfax (Tunisia).
- BRANDT, S. B, HARTMAN, K. J. (1993).** Innovative Approaches with Bioenergetics Models: Future Applications to Fish Ecology and Management, Transactions of the American Fisheries Society, 122(5), p.p. 731-735.
- CHAKOUR, A, EL OUIZGANI, H. (2016).** La variabilité morphométrique et méristique des populations de sole pole [pegusa lascaris) de la zone Centrale Atlantique du Maroc/The morphometric and meristic variability of populations of sole pole (pegusa lascaris) of the Atlantic Central zone of Moro, International Journal of Innovation and Applied Studies, 18(3), p.p. 846.
- CHANTRE, C. DUFOUR, J *et al.* (2019).** Guide de prélèvements et d'envoi des pièces calcifiées.
- CHAVANCE, M. LABARRE, C *et al.* (1986).** Thyroxine-binding prealbumin, overnutrition and apolipoprotein A1., Human nutrition. Clinical nutrition, 40(5), p.p. 359-364.
- CHEMROUK, O. CHABBI, N. (2016).** Vulnerability of Algiers Waterfront and the New Urban Development Scheme, Procedia Engineering, 161, p.p. 1417-1422.
- Décret Présidentiel n° 18-96 du 20 Mars 2018,** Ministère des affaires étrangères, Journal Officiel n° 18 du 21 Mars 2018, p.p. 4.
- DENIEL, C. (1981).** Les Poissons plats (Téléostéens, Pleuronectiformes) en baie de Douarnenez : reproduction, croissance et migration des Bothidae, Scophthalmidae, Pleuronectidae et Soleidae. Université de Bretagne occidentale-Brest.
- DERKIANI, C. (2013).** Table des matières Table des matières, Réforme, Humanisme, Renaissance, 15(2), p.p. 83.
- FEHRI-BEDOUI, R., DINIS, M. *et al.* (2000).** Étude histologique du développement de l'appareil digestif et de la vessie gazeuse de la sole, Solea senegalensis (Soleidae) , Cybium, 24(4), p.p. 343-358.
- FISCHER, W., SCHNEIDER, M. *et al.* (1987).** Fiches FAO d'identification des especes pour les besoins de la peche. (Rev 1). Mediterranee et mer Noire. Zone de Peche 37. , Vertebres, 2.
- FØRE, M, ALVER, M *et al.* (2016).** Modelling growth performance and feeding behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in commercial-size aquaculture net pens: Model details and validation through full-scale experiments, Aquaculture, 464, p.p. 268-278.
- FOREST, M. SIZONENKO, P. *et al.* (1974).** Hypophyso-gonadal function in humans during the first year of life: I. Evidence for testicular activity in early infancy, The Journal of clinical investigation, 53(3), p.p. 819-828.
- Froese, R. D. Pauly. (2021).** FishBase. World Wide Web electronic publication. version (02/2021).

- FRY, D. W. HARVIE, R *et al.* (1947).** Travelling-wave linear accelerator for electrons, *Nature*, 160(4063), p,p. 351-353.
- Golani, D. (2005).** Checklist of the Mediterranean fishes of Israel, *Zootaxa*, 947(1), p,p. 1-90. Disponible sur : <https://www.mapress.com/j/zt/article/view/1355>.
- GUYONDET, T, ROY, S *et al.* (2010).** Integrating multiple spatial scales in the carrying capacity assessment of a coastal ecosystem for bivalve aquaculture, *Journal of Sea Research*, 64(3), p,p. 341-359.
- HARCHOUCHE, K. (2006).** Contribution à la systématique du genre *Spicara*, écologie, biologie et exploitation de *Spicara maena* (Poisson, Téléostéen) des côtes Algériennes. Alger.
- HEMIDA, F. (2005).** Les sélaciens de la cote algérienne : Biosystématique des Requins et des Raies. Ecologie, Reproduction et Exploitation de quelques populations capturées, PH Thesis, Faculty of Biological Sciences, University of Sciences and Technologies Houari Boumedienne of Algiers, Algeria, 272p.
- HUEY, R. B. *et* KINGSOLVER, J. G. (1989).** Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance, *Trends in ecology & evolution*, 4(5), p. 131-135.
- IRVINE, T. N. (1974).** Petrology of the Duke Island ultramafic complex, southeastern Alaska. Geological Society of America.
- J. Daget (1976).** Dynamique des populations de poissons., *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*. Édité par ISTPM, p,p. 425-437. Disponible sur : <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1999/>.
- Van Der Veer, HENK, W *et al* (2003).** Body size scaling relationships in flatfish as predicted by Dynamic Energy Budgets (DEB theory): Implications for recruitment, *Journal of Sea Research*, p,p. 257-272.
- JUSUP, M, KLANJSCEK, T *et al.* (2011).** A Full Lifecycle Bioenergetic Model for Bluefin Tuna, *PLOS ONE*, 6(7), p. 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0021903.
- KARTAS, F. *et* QUIGNARD, J.-P. (1984).** La fécondité des poissons téléostéens.
- KOOIJMAN, B (2010).** Dynamic energy budget theory for metabolic organisation. Cambridge university press edition 3, p,p.
- KOOIJMAN, S. A. L. M. (2000).** Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge university press.
- LAHAYE, J. (1972).** Cycles sexuels de quelques poissons plats des côtes bretonnes., *Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes*, 36(2), p,p. 191-207.
- LALAMI-TALEB (1970)** Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Université d'Alger.
- LAMBERT, Y. ET DUTIL, J.-D. (2000).** Energetic consequences of reproduction in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to spawning level of somatic energy reserves, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(4), p,p. 815-825.
- LECLAIRE, L (1972).** La sédimentation holocene sur le versant meridional du bassin algero-baleares. (precontinent algerien).
- LEE, R. M. (1920).** A review of the methods of age and growth determination in fishes by means of scales. HM Stationery Office.

- LIKA, KONSTADIA *et al.* (2014).** Metabolic acceleration in Mediterranean Perciformes, *Journal of Sea Research*, 94, p.p. 37-46. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.12.012>.
- LIKA, K, KEARNEY, M *et al.* (2011).** The “covariation method” for estimating the parameters of the standard Dynamic Energy Budget model I: Philosophy and approach, *Journal of Sea Research*, 66(4), p.p. 270-277. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.07.010>.
- LIPEJ, L, DULČIĆ, J. (2010).** Checklist of the adriatic sea fishes, *Zootaxa*, 2589(2589), p. 1-92. doi: 10.11646/zootaxa.2589.1.1.
- LORIS, D., RUCABADO, J. (1998).** Guide d'identification des ressources marines vivantes du Maroc. Food & Agriculture Org.
- Lorna Teal. (2015).** AmP *Solea solea*, version 2015/08/28, add my pet. Disponible sur: https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/entries_web/Solea_solea/Solea_solea_res.html
- MARINARO, J.-Y. (1991).** Eggs and larvae in some species of the genus *Solea* (Pisces, Soleidae) of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean, *Italian Journal of Zoology*, 58(2), p.p. 163-169.
- Marinaro, J. Y, Bouabid, M. (1983).** Ecologie alimentaire de deux soles d'Algérie *Pegusa nasuta* (Pallas) et *P. lascaris* (Risso) (Téléostéens soléidés), *Rap Commun Int Mer Médit*, 28, p.p. 73-75.
- MCGREGOR, I. A., THOMSON, A. M. *et al.* (1968).** The development of primary teeth in children from a group of Gambian villages, and critical examination of its use for estimating age, *British Journal of Nutrition*, 22(2), p. 307-314.
- MEER, J, KOOLJMAN, S, (2014).** Inference on energetics of deep-sea fish that cannot be aged: The case of the hagfish, *Journal of Sea Research*, 94, p. 138-143.
- MEHANNA, S. F. (2007).** Stock assessment and management of the Egyptian sole *Solea aegyptiaca* Chabanaud, 1927 (Osteichthyes: Soleidae), in the southeastern Mediterranean, Egypt, *Turkish Journal of Zoology*, 31(4), p. 379-388.
- MESSILI, A. (2004).** Contribution à l'étude de la biologie et écologie de *Venus gallina* (L.) en baie d'alger, USTHB-ALGER.
- MOULFI-EL-HOUARI, L., AMBROISE, D. *et al.* (1999).** Distribution des foraminifères benthiques actuels sur la marge continentale Algéroise (Baie De Bou-Ismaïl), *Revue de Micropaléontologie*, 42(4), p.p. 315-327. doi : 10.1016/s0035-1598(99)90058-2.
- NEILL, W. H. *et al.* (1994).** Ecophysiology of marine fish recruitment: a conceptual framework for understanding interannual variability, *Netherlands Journal of Sea Research*, 32(2), p.p. 135-152.
- NISBET, R. M, JUSUP, M *et al.* (2012).** Integrating dynamic energy budget (DEB) theory with traditional bioenergetic models, *Journal of Experimental Biology*, 215(6), p.p. 892-902.
- ORESTIS, S.-Z, LIKA, K *et al.* (2019).** Declarations of interest: None.
- LOUDARD, CLEMENCE *et al.* (2012).** Utilisation du logiciel TNPC : Acquisition automatique d'images de pièces calcifiées à partir d'un scanner.
- PAPAKONSTANTINO, COSTAS *et al* (1988).** Check-list of marine fishes of Greece.

- PECK, M. A, KANSTINGER, P *et al.* (2012).** Thermal windows supporting survival of the earliest life stages of Baltic herring (*Clupea harengus*), *ICES Journal of Marine Science*, 69(4), p.p. 529-536.
- PECK, M. A, BUCKLEY, L. J. (2008).** Measurements of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) routine metabolism: temperature effects, diel differences and individual-based modeling, *Journal of Applied Ichthyology*, 24(2), p.p. 144-149.
- PECQUERIE, L. (2007).** Modélisation bioénergétique de la croissance, du développement et de la reproduction d'un petit pélagique : l'anchois du golfe de Gascogne, p.p. 250.
- PECQUERIE, L., PETITGAS, P. *et al* (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(2-3), p.p. 93-105.
- POUSSE, É. (2017).** Modélisation basée sur la théorie des budgets d'énergie dynamiques (DEB) de la cinétique de bioaccumulation des toxines paralysantes (PST) par l'huître creuse *Crassostrea gigas*, p.p. 212.
- QUÉRO (1986).** Soleidae, in *Fishes of the North-Western Atlantic and the Mediterranean*, Whitehead, P.J.P., Eds., Paris: UNESCO, 3, p.p. 1308–1324.
- QUERO, J.-C. (2003).** Guide des poissons de l'Atlantique européen.
- RIJNSDORP, A. D, PECK, M *et al.* (2009).** Resolving the effect of climate change on fish populations, *ICES journal of marine science*, 66(7), p. 1570-1583.
- RIJNSDORP, A. D, PASTOORS, M. A. (1995).** Modelling the spatial dynamics and fisheries of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.) based on tagging data, *ICES journal of Marine Science*, 52(6), p.p. 963-980.
- ROSLAND, R. ALUNNO-BRUSCIA, M *et al.* (2009).** Applying Dynamic Energy Budget (DEB) theory to simulate growth and bioenergetics of blue mussels under low seston conditions, *Journal of Sea Research*, 62(2-3), p. 49-61.
- SARÀ, G. PALMERI, V *et al.* (2013).** Parameterisation of bivalve functional traits for mechanistic eco-physiological dynamic energy budget (DEB) models, *Marine Ecology Progress Series*, 480, p. 99-117.
- SERIDJI, R. (1989).** Etude des larves de crustacés Décapodes. Alger.
- SERPA, D. FERREIRA, P *et al.* (2013).** Modelling the growth of white seabream (*Diplodus sargus*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*) in semi-intensive earth production ponds using the Dynamic Energy Budget approach, *Journal of sea research*, 76, p. 135-145.
- STEQUERT, B. RAMCHARRUN, B. (1995).** La fécondité du listao (*Katsuwonus pelamis*) de l'ouest de l'océan Indien, *Aquatic Living Resources*, 8(1), p. 79-89.
- TOUS, SIDIBE, P *et al.* (2015).** *Pegusa lascaris*, in *The IUCN Red List of Threatened Species*, Gland.
- VAISSIERE, R. FREDJ, G. (1963).** Contribution à l'étude de la faune benthique du plateau continental de l'Algérie, *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, 60(1272), p.p. 83.
- VEER, V, Henk, W *et al.* (2006).** The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species, *Journal of Sea Research*, 56(2), p. 107-124.
- WILSON, JACQUELINE, A *et al.* (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(1), p.p. 9-21.

Annexes

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	
κ	Fraction d'allocation en soma	
κ_R	Efficacité de la reproduction	Pseudo-données : ce sont des estimations a priori des paramètres et pourraient être nécessaires pour éviter le sur-ajustement
$[\dot{P}_M]$	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	Sns 1.2.3, 3.2. 1 ; Eq. 3.2
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).

$X_{K2} = X_{K1}z + X(z - 1)$	$\{\dot{J}_{X_m}\}_2 = \{\dot{J}_{X_m}\}_1 z$	$[\dot{P}_M]_2 = [\dot{P}_M]_1$	$\{\dot{P}_T\}_2 = \{\dot{P}_T\}_1$
$V_{b2}^{1/3} = V_{b1}^{1/3}$	$\{\dot{P}_{Am}\}_2 = \{\dot{P}_{Am}\}_1 z$	$[EG]_2 = [EG]_1$	$\ddot{h}_{a2} = \ddot{h}_{a1}$
$V_{p2}^{1/3} = V_{p1}^{1/3}$	$[E_m]_2 = [E_m]_1 z$	$\kappa_2 = \kappa_1$	$\kappa_{R2} = \kappa_{R1}$
$X_{K2} = X_{K1}z$	$\{\dot{J}_{X_m}\}_2 = \{\dot{J}_{X_m}\}_1 z$	$[\dot{P}_M]_2 = [\dot{P}_M]_1$	$\{\dot{P}_T\}_2 = \{\dot{P}_T\}_1$
$V_{b2}^{1/3} = V_{b1}^{1/3} z$	$\{\dot{P}_{Am}\}_2 = \{\dot{P}_{Am}\}_1 z$	$[EG]_2 = [EG]_1$	$\ddot{h}_{a2} = \ddot{h}_{a1}$
$V_{p2}^{1/3} = V_{p1}^{1/3} z$	$[E_m]_2 = [E_m]_1 z$	$\kappa_2 = \kappa_1$	$\kappa_{R2} = \kappa_{R1}$

Tableau 3. Noms scientifiques et noms communs des espèces de la famille Soleidae.

	Nom scientifique	Nom commun
<i>P. lascaris</i>	<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pole
<i>P. impar</i>	<i>Pegusa impar</i>	Sole adriatique
<i>S. solea</i>	<i>Solea solea</i>	Sole commune
<i>M. variegatus</i>	<i>Microchirus variegatus</i>	Sole-perdix commune
<i>M. azevia</i>	<i>Microchirus azevia</i>	Sole bâtarde
<i>D. cuneata</i>	<i>Dicologlossa cuneata</i>	Le céteau

Résumé : Dans la présente étude, nous avons construit un modèle de simulation basé sur la théorie du bilan énergétique dynamique (DEB) pour évaluer la croissance et le potentiel de reproduction de la sole des sables *Pegusa lascaris* dans différentes conditions de température. Les paramètres bioénergétiques sont calculés pour l'espèce tels que le coefficient de forme δM (0,17), le coût d'entretien somatique (49,40 J.cm⁻³) et la fraction d'énergie mobilisée à la maintenance somatique κ (0,8). Nous obtenons de bons ajustements entre les valeurs théoriques et les observations, ainsi le modèle DEB reproduit avec succès le poids et la longueur. Les résultats ont montré que sous la même densité alimentaire, la croissance des mâles et des femelles de *P. lascaris* est influencée par les changements de température, alors que leur taille asymptotique reste toujours la même. Cependant, le potentiel de reproduction est susceptible d'augmenter avec l'augmentation de la température. Dans toutes les simulations sous une température ne dépassant pas 33 degrés, les valeurs du potentiel de reproduction étaient supérieures à celles actuelles. Les résultats améliorent les connaissances sur l'application des modèles DEB pour prédire l'aptitude reproductive potentielle des poissons de sole de sable. Il s'agit d'une approche innovante avec un potentiel d'application à plus grande échelle.

Mots clés : bilan énergétique dynamique, sole des sables, croissance, reproduction, modèle bioénergétique.

Abstract: In the current study, we built a simulation model based on Dynamic Energy Budget theory (DEB) to assess the growth and reproductive potential of the sand sole *Pegusa lascaris* under different temperature conditions. The bioenergetic parameters are found for the species such as the the shape coefficient δM (0.17), the somatic maintenance cost (49.40 J.cm⁻³) and the fraction of mobilized energy to soma κ (0.8). We obtain good fits between theory and observations, and the DEB model successfully reproduces weight and length.

The results showed that under the same food density, the growth of males and females of *P. lascaris* is influenced by temperature changes, while their asymptotic size always remains the same. However, the reproductive potential, is likely to increase with temperature increase. In all simulations under warmer not exceeding 33 degrees, reproductive potential values were higher than current. The results improve knowledge of the application of DEB models to predict the reproductive potential fitness of sand sole fish. This is an innovative approach with potential for application at larger scales.

Key words: Dynamic Energy Budget, sand sole, growth, reproduction, bioenergetic model.

المخلص: في الدراسة الحالية، قمنا ببناء نموذج محاكاة يعتمد على نظرية ميزانية الطاقة الديناميكية (DEB) لتقييم النمو والإمكانات الإنجابية *Pegusa lascaris* تحت ظروف درجات حرارة مختلفة. تم العثور على معلمات الطاقة الحيوية لأنواع مثل معامل الشكل δM (0.17)، وتكلفة الصيانة الجسدية (49.40 Jcm⁻³) وجزء الطاقة المعبأة إلى سوما κ (0.8) نحصل على تناسق جيد بين النظرية والملاحظات، وينجح نموذج DEB في إعادة إنتاج الوزن والطول بنجاح. أظهرت النتائج أنه في ظل نفس كثافة الغذائية، يتأثر نمو ذكور وإناث *P. lascaris* بالتغيرات في درجات الحرارة، بينما يظل حجمها المقارب دائماً كما هو. ومع ذلك، من المرجح أن تزداد القدرة على الإنجاب مع زيادة درجة الحرارة. في جميع عمليات المحاكاة تحت درجة حرارة لا تتجاوز 33 درجة، كانت قيم القدرة الإنجابية أعلى من الحالية. تعمل النتائج على تحسين المعرفة بتطبيق نماذج DEB للتنبؤ بالملائمة الإنجابية المحتملة لأسماك الرمال الوحيدة. هذا نهج مبتكر مع إمكانية التطبيق على نطاقات أكبر.

الكلمات الأساسية: ميزانية الطاقة الديناميكية، نعل الرمال، النمو، التكاثر، نموذج الطاقة الحيوية