

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 et  
du diplôme start-up

Option :

Halieutique

Thème :

**Effet des paramètres du milieu sur la reproduction et  
la croissance de *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758)  
des eaux centre algériennes selon la théorie DEB**

Réalisé par :

**Bellili Nour El Houda et Seghier Mouhamed Aimen**

Soutenu le 01 - 10 -2023, devant le jury composé de :

Mme LAHMER N	MAA	ENSSMAL	Président
Mme KENNOUCHE H	MCA	ENSSMAL	Examineur
Mme MAOUEL DJ	MAB	ENSSMAL	Examineur
M MEZIANE A	MF	ENSSMAL	Examineur
Mme BOUFERSAOU S	MCA	ENSSMAL	Promotrice

**Année universitaire : 2022- 2023**

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 et  
du diplôme start-up

Option :

Halieutique

Thème :

**Effet des paramètres du milieu sur la reproduction et  
la croissance de *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758)  
des eaux centre algériennes selon la théorie DEB**

Réalisé par :

**Bellili Nour El Houda et Seghier Mouhamed Aimen**

Soutenu le 01 - 10 - 2023, devant le jury composé de :

Mme LAHMER N	MAA	ENSSMAL	Président
Mme KENNOUCHE H	MCA	ENSSMAL	Examinateur
Mme MAOUEL DJ	MAB	ENSSMAL	Examinateur
M MEZIANE A	MF	ENSSMAL	Examinateur
Mme BOUFERSAOU S	MCA	ENSSMAL	Promotrice

**Année universitaire : 2022- 2023**

## **Remerciements**

*Nous remercions Dieu le clément miséricordieux pour nous avoir donné la volonté, le courage et la santé pour arriver à terminer nos études et réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde reconnaissance, nos plus sincères remerciements et notre gratitude à notre professeure Mme BOUFERSAOUI S, affilié à L'ENSSMAL, pour nous avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique.*

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à Mme LAHMER N, affiliée à l'ENSSMAL, de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de notre travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre plus profonde gratitude et de nos plus vifs remerciements.*

*Nous tenons également à remercier Mme KENNOUCHE H, affilié à l'ENSSMAL, qui nous a fait l'honneur de participer à ce jury et de juger notre travail. Nous le remercions également pour son aide précieuse et exprimons nos profonds respects, nos sincères remerciements et toute notre considération.*

*Nous remercions également très profondément tout le personnel des laboratoires pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour réaliser nos analyses, pour leur encouragement afin de terminer le travail malgré la durée courte du stage.*

*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.*

## Dédicace

*À Papa Said, Maman Laila, et ma chère sœur Meriem,*

*Ce mémoire est un hommage à votre amour inconditionnel et à votre soutien infini. Chaque mot écrit ici porte l'empreinte de votre influence. Papa, même dans l'au-delà, tu continues de m'inspirer. Maman, ta force et ta tendresse sont le fondement de mes réalisations. Meriem, notre lien indéfectible éclaire chaque page. Merci pour votre soutien indéfectible et pour avoir été mes piliers dans les moments de doute.*

*À Maman Ratiba, Papa Faouzi, Lina et Malek,*

*Dans chaque ligne de ce mémoire, je capture la gratitude profonde que je ressens envers chacun de vous. Maman, ta tendresse infinie et tes encouragements constants sont le moteur de mes réalisations. Papa, ta sagesse et ton soutien m'ont guidé à chaque étape de ce parcours. Lina et Malek, votre présence joyeuse a illuminé ma vie de mille façons. Ce travail est un témoignage de l'amour et du dévouement qui émanent de notre famille. Merci pour tout.*

# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

## **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
1.3.1. La température.....	6
1.3.2. La salinité .....	6
2. Présentation de l'espèce étudiée .....	6
2.1. Taxonomie .....	7
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 et source de données .....	12
2. Présentation et description du modèle DEB.....	12
2.1. Définition des variables d'état du modèle DEB .....	14
2.2. Définition des paramètres DEB .....	17
2.3. Description des données d'entrées pour l'obtention des paramètres DEB.....	18
2.3.1.1. Taille à la puberté (première maturité sexuelle) .....	20
2.3.1.2. Age, longueur et poids maximaux .....	20
2.3.1.3. Age, longueur et poids à la naissance .....	20
2.3.1.4. Reproduction maximale par jour (Ri).....	21
2.3.2. Données uni-variées (Univariate data) .....	21
2.3.2.1. Données taille-poids .....	21
2.3.2.2. Données âge-longueur .....	21

2.4. Procédure de calcul des paramètres DEB .....	21
3. Calculs statistiques « La méthode de la covariation » .....	22
4. Effet de la température de l'environnement sur la croissance et la reproduction .....	23

---

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

---

1. Présentation des données et des pseudo-données.....	26
2. Estimation des paramètres DEB .....	30
2.1. Paramètres relatifs à la taille et forme individuelle.....	30
2.2. Paramètres relatifs à la nourriture et assimilation.....	31
2.3. Les coûts énergétiques de la maintenance .....	32
2.4. Fraction d'allocation à la croissance et à la maintenance somatique.....	34
3. Modélisation bioénergétique de la croissance et de la reproduction .....	35
4. Effet de la température sur la croissance .....	36
5. Effet de la température sur la reproduction.....	38
6. Effet de la disponibilité de l'aliment sur la reproduction.....	43
<b>Conclusion .....</b>	<b>44</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>58</b>

## Liste des figures

<b>Figure I. 1.</b> Délimitation géographique de la zone d'étude.....	5
<b>Figure I. 2.</b> Morphologie et critères de reconnaissance de <i>C. linguatula</i> .....	8
<b>Figure II. 1.</b> Flux d'énergie à travers un individu au stade adulte suivant la théorie DEB.....	16
<b>Figure III. 1.</b> Présentation des données univariées taille-âge et taille-poids pour les mâles et les femelles de l'espèce étudiée.....	29
<b>Figure III. 2.</b> Les valeurs de la conductance énergétique ( $T_{ref} = 20^{\circ} C$ ) en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce <i>C. linguatula</i> et autres pleuronectiformes.....	32
<b>Figure III. 3.</b> Coût pour la structure [ $E_G$ ] en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce <i>C. linguatula</i> et autres pleuronectiformes.....	33
<b>Figure III. 4.</b> Coût somatique spécifique [ $P_M$ ] en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce <i>C. linguatula</i> et autres pleuronectiformes.....	34
<b>Figure III. 5.</b> La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique $\kappa$ pour l'espèce <i>C. linguatula</i> et autres pleuronectiformes.....	35
<b>Figure III. 6.</b> Présentation des courbes de croissance de von Bertalanffy modélisées par le modèle DEB de <i>C. linguatula</i> et les valeurs observées.....	36
<b>Figure III. 7.</b> Croissance linéaires théoriques pour de <i>C. linguatula</i> (modèle DEB) en fonction de la Température.....	38
<b>Figure III. 8.</b> Simulation de l'effet de la température sur le poids humide pendant la reproduction et dans les trois stades de vie (modèle DEB.....	39
<b>Figure III. 9.</b> Simulation de l'effet de la disponibilité de l'aliment sur la reproduction de <i>C. linguatula</i> (modèle DEB).....	43

## Liste des tableaux

<b>Tableau I. 1.</b> Noms vernaculaires de l'espèce étudiée.....	8
<b>Tableau II. 1.</b> Flux d'énergie liés aux processus métaboliques, aux variables d'état et à la dynamique des normes DEB.....	16
<b>Tableau II. 2.</b> Définition des paramètres du modèle DEB standard .....	17
<b>Tableau II. 3.</b> Description des données d'entrée du modèle DEB standard. ....	18
<b>Tableau III. 1.</b> Comparaison des prédictions du modèle avec l'âge, la longueur et le poids observés à la naissance et à la puberté et les pseudos données pour <i>C. linguatula</i> .....	28
<b>Tableau III. 2.</b> Facteur de forme et facteur de zoom de l'espèce <i>C. linguatula</i> et autres pleuronectiformes.....	30
<b>Tableau III. 3.</b> Le taux d'assimilation spécifique maximal, la conductance énergétique et le facteur d'accélération de l'espèce <i>C. linguatula</i> et d'autres pleuronectiformes. ....	31
<b>Tableau III. 4.</b> Les coûts énergétiques pour la maintenance somatique [ $P_M$ ], pour la structure (EG) et les valeurs de l'investissement énergétique dans les transitions du cycle de vie.....	33
<b>Tableau III. 5.</b> Présentation des données de la croissance observées et prédites par le modèle DEB et les erreurs calculées chez l'espèce <i>C. linguatula</i> . ....	35
<b>Tableau III. 6.</b> Valeurs bibliographiques des paramètres croissance du modèle de von Bertalanffy. ....	36

## 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).

L'Algérie, en tant que nation méditerranéenne, jouit d'une côte maritime exceptionnellement variée et riche en biodiversité s'étendant sur environ 1 600 kilomètres le long de la mer Méditerranée. Cette étendue côtière est connue par sa diversité géographique et écologique qui crée un cadre propice pour l'étude de l'effet de l'environnement sur la biologie et l'écologie des espèces marines qui habitent ces eaux côtières.

L'un des poissons plats qui peuplent les eaux côtières algériennes est *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758), ce poisson joue un rôle crucial dans l'écosystème côtier algérien en tant que maillon de la chaîne alimentaire. À l'ère du changement climatique qui prévaut dans le monde aujourd'hui, étudier l'espèce dans le contexte de la côte maritime algérienne offre une opportunité unique de comprendre comment les conditions environnementales influencent sa reproduction, son cycle de vie et sa croissance. 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)

De manière générale, les organismes marins suivent un cycle de vie qui comporte plusieurs phases distinctes (œuf, larve, juvénile, adulte). Chacune de ces phases successives se distingue souvent par ses besoins en termes d'habitat, ce qui signifie qu'elles peuvent dépendre d'habitats différents, parfois éloignés les uns des autres dans l'espace. Pour les populations marines, il est essentiel que ces habitats successifs soient interconnectés, permettant ainsi aux individus de mûrir et de retourner efficacement vers les zones de reproduction pour accomplir leur cycle de vie complet (le concept de fermeture du cycle de vie ; Sinclair, 1988).

La théorie du bilan énergétique dynamique (DEB), qui sert de cadre conceptuel à cette étude, propose une approche quantitative pour comprendre comment les organismes allouent leur énergie à différentes fonctions biologiques, notamment la reproduction, la croissance et le maintien somatique, en réponse aux variations de leur environnement.

Des travaux antérieurs sur la dynamique des populations de poissons plats en Méditerranée, menés par des chercheurs algériens et internationaux, ont mis en évidence l'importance de l'environnement dans la régulation des populations de ces espèces. De plus, les études sur la croissance et la reproduction des poissons plats, y compris le *Citharus linguatula*, dans d'autres

régions méditerranéennes, ont fourni des informations de base, mais des recherches spécifiques à la côte algérienne sont nécessaires pour mieux comprendre les adaptations locales et les mécanismes écologiques spécifiques à cette région. De plus, peu de travaux à l'échelle mondiale et méditerranéenne ont été entrepris sur *C. Linguatula*, parmi eux nous citons ceux de Belghiti *et al.* (1994) au côté Atlantique du Maroc, Vassilopoulou et Papaconstantinou (1994) dans la mer Egée, Garcia *et al.* (2000) en Espagne, Bayhan *et al.* (2009) dans la Mer Egée (Izmir Bay), Boufersaoui et Bedda (2009) en Algérie, EfeUlutürk *et al.* (2016) dans la Mer Egée (Izmir Bay).

Cette recherche, une première pour *C. linguatula*, vise à 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 et disponibilité en nourriture en utilisant la théorie DEB comme outil d'analyse. Cette compréhension est essentielle pour une gestion durable des ressources marines et pour la conservation de l'écosystème côtier algérien, qui joue un rôle vital tant du point de vue écologique qu'économique.

Notre étude s'est articulée en trois chapitres distincts. Le premier chapitre débute par une revue de la littérature consacrée à la zone de recherche, à savoir la région centrale du bassin algérien, suivie d'une introduction à l'espèce étudiée. Le second chapitre expose en détail le processus d'échantillonnage, ainsi que les méthodes de traitement en laboratoire et l'exposition des différentes méthodologies qui ont été employées. Quant au troisième chapitre, il se consacre à la présentation minutieuse des résultats obtenus, accompagnée de leur interprétation.

# Chapitre I

# Généralités

## 1. Description de la zone d'étude

### 1.1. Délimitation géographique

La côte algérienne se situe au sud de la M-Med occidentale (Fig. I.1), localisée au Nord-Ouest du continent Africain. Elle s'étend sur 1622km avec un climat subhumide ; un hiver humide et été chaud et sec (CNRDPA, 2005). Le bassin algérien est divisé en 3 régions. Ouest, Centre et Est.

Dans notre étude on s'intéresse à la région centre qui se situe entre 1°E et 3°E de longitude.

La région centre est caractérisée par le plateau continental la plus étroit du littoral algérien. Elle est limitée à l'Ouest par Ténès, à l'Est par Dellys, au Nord par la M-Med sur un littoral de 300km (Fig. I.1). La zone se subdivise en trois principales baies : la baie de Bou Ismail, la Baie d'Alger et la baie de Zemmouri (Hmida, 2005).

La baie de Bou Ismail (ex Castiglione) est située dans la partie centrale de la cote algérienne à l'Ouest de la baie d'Alger (Dagorne, 1973). Elle est délimitée à l'Ouest par le massif du Chinoua à 36°38'N et 2°24'E et s'étend jusqu'au cap Ras Acrata dans la baie d'El Djamilia à 36°48'N et 2°53'E. Son ouverture atteint les 47km avec une superficie de 350 km<sup>2</sup> (Bachari *et al.*, 2011).

La baie d'Alger représente 43% du littoral de la capitale, avec un trait de côte d'environ 31 km de long, elle se situe au nord de l'Algérie, entre les latitudes 36°43'51.52"N et 36°49'36.76"N, et entre les longitudes 3° 0'17.17"E et 3°13'59.38"E. Elle est bordée au sud par la plaine de la Mitidja, au nord par la mer Méditerranée, à l'est par le cap Matifou (El Marsa), et à l'ouest par la pointe Pescade (Raïs Hamidou). La baie est soumise sous l'influence directe d'u part de la ville et de ces activités et d'autre par l'influence maritime gouverner par le courant algérien (Chemrouk et Chabbi, 2016).

La baie de Zemmouri (ex baie de Courbet) est située au Nord-Est d'Alger, limitée au Nord par la Méditerranée occidentale, au Sud par la plaine de la Mitidja, à l'Est par le Cap Djinet 36°53'N, 3°45'E et à l'Ouest par le Cap Matifou 36°49' N, 3°15'E. avec un trait de côte d'environ 54 km de long (Benslama-Habiki, 2007).

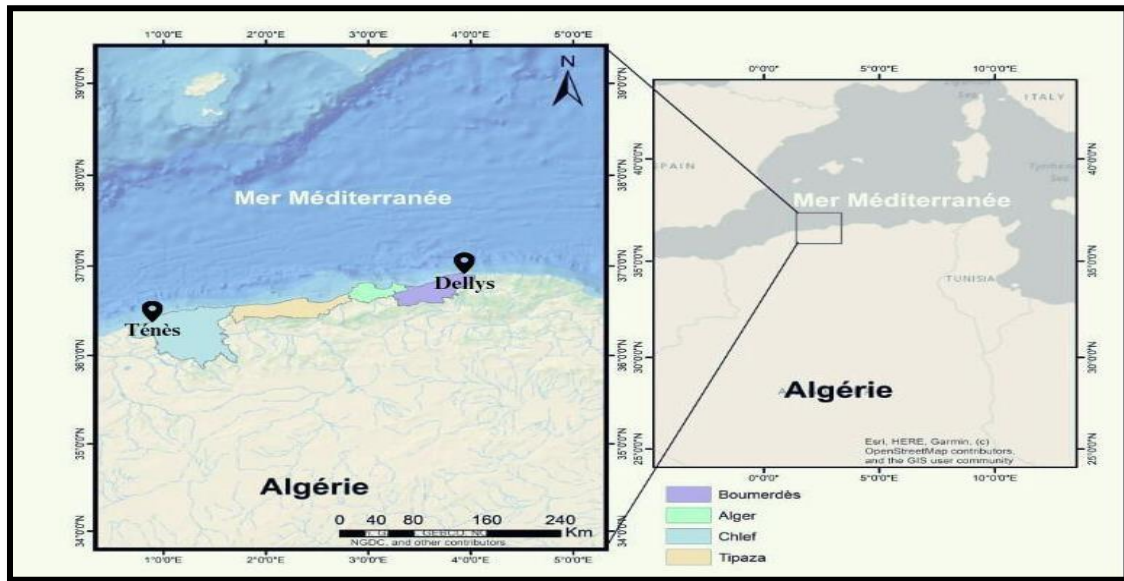


Figure I. 1. Délimitation géographique de la zone d'étude.

## 1.2. Topographie sous-marine

La topographie sous-marine de la côte algérienne est fortement influencée par la topographie de la côte elle-même, avec des falaises, des escarpements et des plateaux qui se prolongent souvent sous l'eau (Lalami-Taleb, 1970).

Le plateau continental de la baie d'Alger est une extension du plateau continental qui s'étend le long de la côte nord de l'Afrique. Cette zone est caractérisée par une pente douce qui descend vers le fond marin allant de l'isobathe 0 à celle des 100 mètres, avec une distance d'environ 8,5 km séparant ces deux isobathes. Créant ainsi une plate-forme peu profonde qui s'étend sur plusieurs kilomètres (Messili, 2004).

Le plateau continental de la baie de Bou Ismail est étroit près des massifs, avec une largeur de 4 km en face du massif du Chenoua et moins de 2 km au droit du massif de Bouzaréah. Cependant, la marge continentale s'élargit au sein de la baie avec une extension maximale de 55 km. Au niveau de l'embouchure du Mazafran, le plateau continental a une largeur de 11 km (leclaire, 1972, in Bekalem, 2008).

Le plateau couvre une surface totale de 509 km<sup>2</sup>, dont environ 70% est chalutable, ce qui signifie que cette zone est accessible à la pêche (Chavance *et al.*, 1986). Il existe trois zones d'affleurement rocheux qui sont difficiles à chaluter (Leclaire *et al.*, 1972). La première zone se situe dans le prolongement du massif de Chenoua, qui rejoint la vallée sous-marine du Ras-Nador depuis la côte jusqu'à l'isobathe de 180 m en direction nord-nord-est. La deuxième zone se trouve entre Bouharoun et Douaouda Marine, depuis la côte jusqu'à l'isobathe de 100 m. Enfin, la

troisième zone se situe entre les fonds de 110 à 150 m au nord de Bou-Ismaïl et la hauteur de Sidi-Fredj. La baie de Zemmouri El-Bahri est une grande baie avec un plateau continental relativement étroit, ne mesurant que 2 à 6 kilomètres de largeur. Il est également marqué par deux canyons sous-marins profondément encaissés, le canyon d'Alger et celui du cap, qui débouchent sur de vastes vallées sous-marines (Leclaire *et al*, 1972). Ces canyons sont des caractéristiques importantes de la topographie sous-marine de la région, offrant un habitat important pour la vie marine et servant de voies de transport pour les sédiments et les nutriments dans l'océan.

### 1.3. Principales caractéristiques des facteurs du milieu

#### 1.3.1. La température

La température peut avoir un impact significatif sur la reproduction des espèces, en particulier chez les espèces poïkilothermes (à sang froid) (Aminot., chaussepied, 1983).

Les températures sur la côte algérienne sont uniformes. La côte est soumise à un climat méditerranéen, une saison relativement pluvieuse, froide pendant l'hiver, suivie d'une saison sèche et chaude pendant l'été. Dans la baie d'Alger on trouve des températures comprises entre 14° et 15°C en hiver et 23 à 28°C en été (Tazerouti, 2007, in Kherbache, 2015), Dans la baie de Bou Ismaïl elle est entre 16 à 25°C et dans la baie de Zemmouri elle est entre 13 à 17°C en hiver et de 25° à 30°C.

#### 1.3.2. La salinité

La salinité peut affecter la reproduction des poissons en modifiant leur taux de croissance et leur développement.

Dans la baie d'Alger les salinités sont assez modérées et même, parfois faibles En surface contrairement aux eaux profondes qui sont élevées (max = 36 PSU en surface ; max = 37,50 PSU eaux profondes). Par contre au large des côtes de la baie de Bou Ismaïl est comprises entre 36.5 et 37 PSU entre 0 à 100 m de profondeur et de 38 à 38.5 PSU entre 100 à 200 m de profondeur (Tazerouti, 2007 in Kherbache, 2015). La baie de Zemmouri La salinité est comprise entre 36 et 37 PSU.

## 2. Présentation de l'espèce étudiée

*C. linguatula*, communément appelé "limande-sole", est un poisson plat qui se trouve dans les eaux côtières de l'Atlantique Nord, de la mer Baltique et de la mer Méditerranée. Le poisson a une longueur maximale de 30 cm et une durée de vie de 4 à 5 ans.

## 2.1. Taxonomie

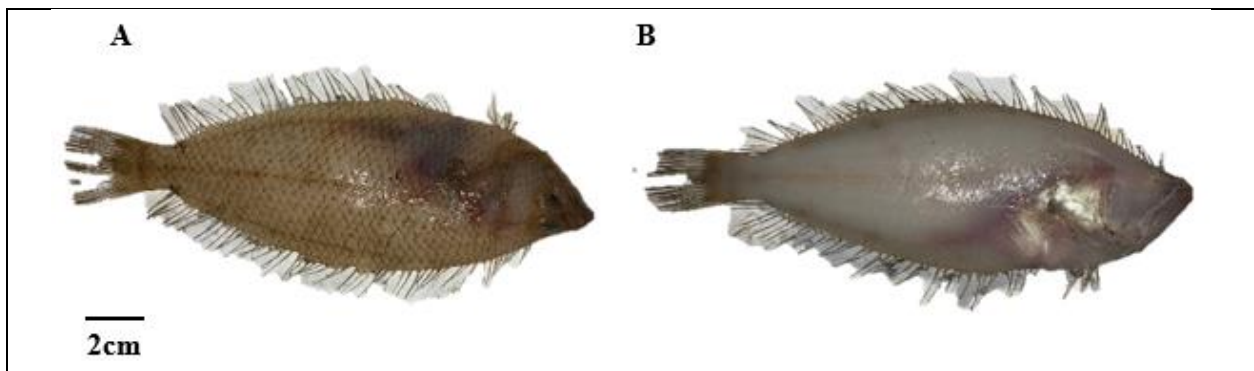
La systématique phylogénétique la plus récente d'après Linnaeus, en 1758 l'espèce étudiée est classifiée comme suit (WoRMS, 2023)

<b>Règne</b>	Animal
<b>Phylum</b>	Chordés
<b>Sous-Phylum</b>	Vertébrés
<b>Super-classe</b>	Actinoptérygiens
<b>Classe</b>	Téléostéens
<b>Ordre</b>	Pleuronectiformes
<b>Famille</b>	Citharidés
<b>Genre</b>	<i>Citharus</i> Artedi, 1793
<b>Espèce</b>	<i>linguatula</i> (Linnaeus, 1758)

## 2.2. Diagnose

L'identification de la plie tachetée ou *C. linguatula* se fait à l'aide des caractères suivants selon Fischer et Beauchot (1987) :

- Corps ovale, tête pointue à profil légèrement concave au-dessus de l'œil ;
- Yeux sur le côté gauche ; préopercule à bord postérieur libre, bien visible ;
- Bouche fortement oblique ; fortes dents sur le vomer (voûte buccale) ;
- 11 à 12 branchiospines sur la branche inférieure du premier arc branchial entre 53 et 73;
- La nageoire dorsale à 64-72 rayons mous, son origine située en avant de l'œil supérieur;
- La nageoire anale à 44-48 rayons mous ;
- Les pelviennes à bases courtes subégales, avec 1 épine et 5 rayons mous ;
- L'anus est situé sur la face oculée ;
- Ligne latérale à 35-39 écailles avec une courbure bien marquée au-dessus de la pectorale;
- Coloration : face oculée brunâtre, nageoires dorsale et anale portant souvent de petites taches sombres dont une tache noire bien visible à la base des derniers rayons de la dorsale et de l'anale.



**Figure I. 2.** Morphologie et critères de reconnaissance de *C. linguatula* A : face oculée ; B : 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 *Citharus* est représenté par une seule espèce distribuée en méditerranée ainsi que dans l'atlantique Les noms vernaculaires retrouvés dans la bibliographie sont mentionnés dans le tableau I.1.

**Tableau I. 1.** Noms vernaculaires de l'espèces étudiées (Romero, 2002).

Régions	Dénomination vernaculaire
Algérie	Limande
France	Fausse limande
Espagne	Pelua
Royaume uni	Spotted flounder
Etats Unis	Atlantic Spotted flounder
Italie	Linguattola
Egypt	Mousa

### 2.4. Répartition géographique et bathymétrique

La plie tachetée de l'Atlantique *C. linguatula* est une espèce benthique atlanto-méditerranéenne qui habite les fonds mous et boueux depuis le littoral jusqu'à environ 200-300 m de profondeur. Elle est distribuée dans toute la Méditerranée et l'Atlantique Est (Portugal et Maroc) jusqu'aux côtes de l'Angola (Nielsen 1986) et se trouve le plus souvent à des profondeurs comprises entre 10 et 100 m (Sartor *et al.* 2002). *C. linguatula* est distribué en Méditerranée, en mer Égée et en mer de Marmara, dans les eaux territoriales de la Turquie (Bilecenoglu *et al.* 2002) et occasionnellement en France, Egypte, Grèce, Algérie et Tunisie.

### 2.5. Reproduction et cycle de vie

Le cycle de vie de *C. linguatula* commence par la ponte des œufs au printemps et en été. Les femelles peuvent pondre entre 50 000 et 100 000 œufs. Les œufs sont pélagiques et dérivent avec les courants jusqu'à leur éclosion, qui a lieu environ 10 jours après la ponte. Les larves mesurent environ 5 mm de long et ont un corps ovale et transparent.

Les larves de *C. linguatula* se nourrissent de zooplancton et de petits poissons, et se développent rapidement en juvéniles. Les juvéniles restent pélagiques pendant quelques semaines, puis migrent vers les fonds marins pour vivre en association avec des algues et des rochers. Les juvéniles se nourrissent principalement de petits crustacés et de vers.

Les jeunes adultes de *C. linguatula* vivent dans les eaux côtières peu profondes et se nourrissent de poissons, de crustacés et de mollusques. Ils se reproduisent pour la première fois à l'âge de 2 ans, lorsque leur taille atteint environ 15 cm. Les femelles produisent plus de gamète que les mâles et la taille des œufs augmente avec la taille de la femelle. Le taux de fécondité chez l'espèce varie en fonction de la taille de la femelle.

### 2.6. Régime alimentaire

Le régime alimentaire de *C. linguatula* se compose d'au moins 27 espèces de proies différentes appartenant à cinq groupes principaux : foraminifères, mollusques, crustacés et poissons. Il diffère selon les classes de tailles ; les mysidés sont les proies les plus nombreuses ingérées par toutes les classes de taille, même la classe de grande taille, suivis par les décapodes et les poissons. Planas et Vives (1956) ont trouvé que le régime de *C. linguatula* en Méditerranée occidentale était composé principalement de crustacés et de téléostéens. Belghyti (1990) a rassemblé des données autour de la côte atlantique du Maroc et a trouvé que les mysidés étaient les proies les plus courantes. Les poissons (principalement des gobies) constituaient un groupe secondaire. Les décapodes, céphalopodes et les euphausiacés étaient des proies complémentaires.

### 2.7. Capture et commercialisation

Dans le bassin méditerranéen, l'espèce apporte une contribution importante aux débarquements commerciaux : on la trouve régulièrement dans les ports de pêche et elle constitue une importante prise accessoire accompagnant les espèces de la flotte de chalutiers. Avec *Lepidorhombus boscii* et *Solea vulgaris*, elle constitue la ressource la plus importante et la plus abondante de la mer Méditerranée dans le groupe des poissons plats (Sartor *et al.*, 2002).

Elle est régulièrement présente sur les marchés de Méditerranée occidentale, d'Adriatique et de Chypre, occasionnellement en France, Egypte, Turquie, Grèce et Tunisie, rejetée en Sicile, est commercialisée fraîche ou réfrigérée. La pêche de l'espèce est semi-industrielle (Espagne, Sicile,

Adriatique, Chypre et Egypte) et artisanale (6 t par an en Yougoslavie, 2 t au Maroc), les engins souvent utilisés sont les chaluts ainsi que les filets maillants de fond. Dans la partie italienne de la Méditerranée, elle est exploitée principalement par une flotte qui utilise un type particulier de chalut, appelé rapido, elle est capturée comme espèce associée à la sole commune et aux coquilles Saint-Jacques

# **Chapitre II:**

## **Matériel et méthodes**

### 1. Echantillonnage et source de données

La sélection de l'échantillon est un élément crucial de toute étude scientifique et peut avoir un impact significatif sur la validité des résultats obtenus (Sekaran et Bougie, 2016).

Afin d'obtenir les paramètres DEB nécessaires, il est important d'avoir des informations biologiques sur le poisson telles que la taille de la larve à la naissance et l'âge à la naissance. Dans ce but, 20 spécimens de *C. linguatula* ont été échantillonnés dans la région centre du bassin algérien, avec une concentration particulière de la baie de Bou Ismail : port Bou Haroun, port Fouka marie et le port de Tipaza. L'échantillonnage a été faite pendant le mois de mars 2023. Le reste des données ont été tirées de la littérature publiée. Des données supplémentaires cédées par notre encadreur viennent compléter de manière significative notre échantillonnage initial, renforçant ainsi la robustesse de notre étude sur les paramètres DEB des larves de *C. linguatula* dans la région centrale du bassin algérien, tout en garantissant une base solide pour nos analyses et nos conclusions.

### 2. Présentation et description du modèle DEB

La théorie du budget énergétique dynamique DEB développée par Kooijman (1988, 1993, 2000) a été conçue pour comprendre la dynamique des systèmes biologiques, des cellules aux populations et aux écosystèmes, par le biais d'une approche de bilan de masse des individus. Elle permet de modéliser la dynamique métabolique d'un organisme individuel tout au long de son cycle de vie. Basée sur les règles physiologiques d'assimilation des aliments par l'organisme et leur utilisation pour l'entretien, la croissance et la maturation ou la reproduction, le vieillissement est abordé comme un effet des espèces réactives de l'oxygène, avec des liens étroits avec l'énergie.

Ce type de modèle utilise des équations différentielles pour décrire les taux auxquels les organismes assimilent et utilisent l'énergie de leur nourriture pour leur maintenance, croissance, reproduction et développement. Ces taux dépendent de l'état de l'organisme (âge, sexe, taille statut nutritionnel...) et des conditions de leur environnement (densité de nourriture, température...). Les solutions des équations du modèle représentent "l'histoire de la vie" d'un organisme dans un environnement potentiellement variable (Nisbet *et al.*, 2000).

La théorie DEB repose sur l'idée que les organismes vivants utilisent l'énergie pour croître, se reproduire et maintenir leur métabolisme. Elle considère que les organismes sont des systèmes dynamiques, qui échangent de l'énergie et de la matière avec leur environnement. En se basant sur cette idée, la théorie DEB utilise des équations mathématiques pour décrire les relations entre l'assimilation des aliments, la croissance, la reproduction et le métabolisme.

Les modèles DEB sont utilisés pour prédire le comportement des organismes dans différents environnements, en prenant en compte des variables telles que la température, la disponibilité des nutriments et l'exposition à des polluants ou des toxines.

Les modèles de bilan énergétique dynamique des organismes individuels peuvent être utilisés comme éléments de base dans les études de modèles de la dynamique des populations structurées (Metz et Diekmann, 1986).

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 et Papandroulakis. 2014).

La théorie DEB a des applications importantes en biologie marine, en écologie, en aquaculture, en biologie de la conservation et en biologie médicale. Elle peut également être utilisée pour comprendre l'impact des changements environnementaux, tels que le changement climatique, sur les populations d'organismes vivants.

Les applications pratiques des modèles DEB comprennent l'optimisation de la lutte contre les parasites (Van Oijen *et al.*, 1995), le développement de stratégies de récolte optimales, y compris la récolte de produits microbiens tels que la pénicilline, et la réduction de la production de boues dans le traitement des eaux usées (Ratsak, 2001).

Le principe de l'utilisation de l'énergie est simple (figure). L'énergie extraite de la nourriture est stockée dans les réserves (lipides, protéines, carbohydrates), et est utilisée pour quatre destinations :

- La croissance, correspondant à l'augmentation de la biomasse structurale, principalement sous forme protéiques.
- La maintenance somatique, spécifiant l'énergie dépensée pour l'activité et le renouvellement des molécules
- La complexification de l'organisme pour les juvéniles, et la reproduction pour les adultes
- La maintenance de la complexité de l'organisme.

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. Le modèle DEB standard comprend trois stades de vie :

- L'embryon, qui ne se nourrit ni ne se reproduit

- Le juvénile, qui se nourrit mais ne se reproduit pas
- L'adulte qui se nourrit et se reproduit.

Le modèle suppose une croissance isomorphe à tous les stades de vie, l'isomorphie implique que la surface est proportionnelle au volume structurel à la puissance  $2/3$ .

La plupart des espèces ayant une phase larvaire présentent cependant une accélération du métabolisme au cours des premiers stades de développement, qui est souvent suivie d'une métamorphose morphologique (Kooijman, 2014). L'accélération métabolique signifie que, temporairement, l'individu isomorphe passe au mode V1-morphe, ce qui signifie que la surface augmente proportionnellement au volume structurel.

### 2.1. Définition des variables d'état 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'acquérir la capacité de se reproduire au stade adulte:
- Dans le compartiment reproduction, au stade adulte, l'individu stocke de l'énergie. Ce compartiment contribue également au poids de l'individu et à la même composition que la réserve.

La composition des compartiments structure et la réserve est constante, il s'agit de l'une des règles de la théorie DEB. Cependant, la composition totale de l'individu peut varier en fonction des conditions environnementales rencontrées, mais lorsque les conditions sont constantes, le ratio réserve sur structure reste constant ; il s'agit de l'hypothèse d'homéostasie faible. Ce ratio définit la densité de réserve de l'individu, qui est une notion importante de la théorie (Pecquerie, 2007). En termes de dynamique, le modèle suppose en outre que les produits assimilés entrent d'abord dans un pool de réserve, à partir duquel ils sont affectés à la maintenance, à la croissance et à la reproduction (Figure II. 1).

Une partie de l'énergie stockée dans la réserve est utilisée, avec une portion fixe (règle  $\kappa$ ) dédiée à la maintenance somatique et à la croissance, où la priorité est donnée à la maintenance somatique. La fraction restante ( $1-\kappa$ ) est réservée à la maturité et à son entretien aux stades embryonnaires et juvéniles. À la puberté, la maturité atteint son apogée, et l'énergie précédemment investie dans la complexification est alors mise de côté en prévision de la première reproduction. Néanmoins, l'individu continue à consacrer de l'énergie au maintien de sa complexité. Il convient de noter que les règles régissant l'utilisation du compartiment de reproduction varient d'une espèce à l'autre.

Le modèle standard de la théorie DEB (Kooijman, 2000, 2001 ; Nisbet *et al.*, 2000 ; van der Meer, 2006) décrit la vitesse à laquelle l'organisme assimile et utilise l'énergie pour son entretien, sa croissance et son développement, en fonction de son état et de son environnement (la densité la nourriture et la température).

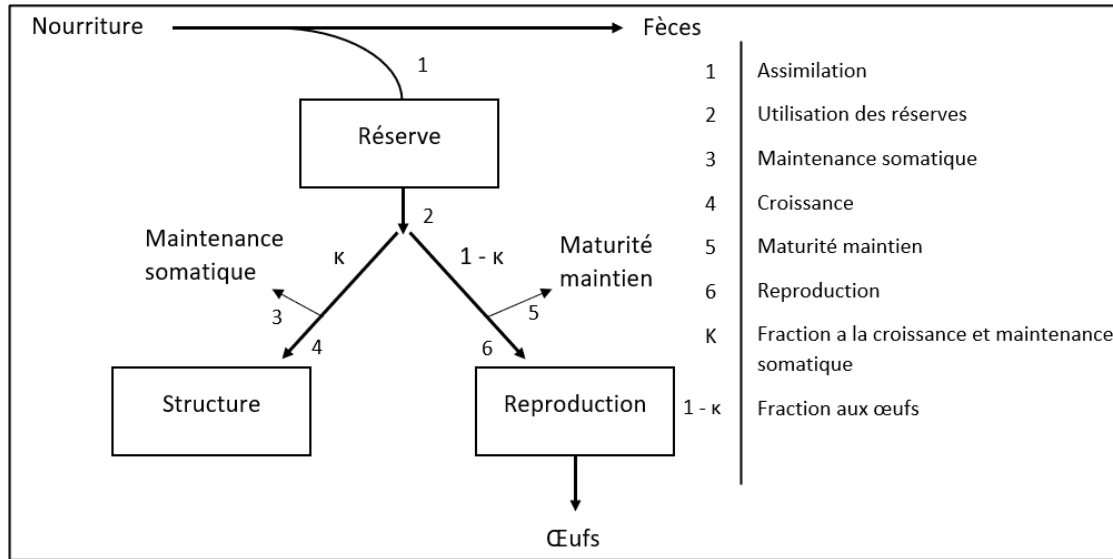
Les paramètres associés aux différents flux sont constants tout au long du cycle de l'individu dans la version standard du modèle DEB.

La physiologie d'un individu est intrinsèquement liée à sa température corporelle. Dans notre étude portant sur un organisme ectotherme, nous considérons que la température corporelle correspond à la température de l'eau environnante dans laquelle le poisson évolue. Conformément au modèle DEB standard, la loi d'Arrhenius est appliquée à l'ensemble des flux.

Le modèle DEB standard caractérise les transitions entre les étapes du développement et les ajustements substantiels du bilan énergétique. Plus précisément, il identifie le moment où l'embryon évolue en juvénile, marquant ainsi le début de l'accumulation d'énergie, ainsi que le moment où le juvénile atteint la maturité reproductive, signalant l'approche de l'investissement énergétique dans la reproduction. Cependant, dans le cas d'espèces présentant une croissance accélérée, l'accélération de la croissance au stade larvaire après la naissance, suivie d'un ralentissement au début de la phase juvénile, suggère des modifications fondamentales supplémentaires dans la distribution de l'énergie. Ces observations justifient l'introduction de seuils de transition non conventionnels (Jusup *et al.* 2011).

Toutes les composantes des flux énergétiques sont minutieusement définies à l'aide du modèle "abj", une extension du modèle DEB standard. Ce modèle "abj" tient compte de plusieurs facteurs, notamment l'accélération de la croissance au stade larvaire, le ralentissement de la croissance au début de la phase juvénile, les variations de la morphologie corporelle et l'influence 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).



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

**Tableau II. 1.** Flux d'énergie liés aux processus métaboliques, aux variables d'état et à la dynamique des normes DEB. (O. Stavrakidis-Zachou *et al.*, 2018).

Processus métabolique	
Assimilation	$\dot{P}_A = \{\dot{P}_{Am}\}fL^2(E_H \geq E_H^b)$
Mobilisation	$\dot{P}_c = E \frac{\dot{v}[E_G]L^2 + \dot{P}_S}{[E_G]L^3 + \kappa E}$
Maintenance somatique	$\dot{P}_S = [\dot{P}_M]L^3 + \{\dot{P}_T\}L^2$
Maintenance de la maturité	$\dot{P}_j = k_j E_H$
Croissance	$\dot{P}_G = \kappa \dot{P}_c - \dot{P}_S$
Maturation/reproduction	$\dot{P}_G = (1 - \kappa)\dot{P}_c - \dot{P}_j$
Variable d'Etat	
V	Volume de corps structurel
L	Longueur structurelle volumétrique
E	Energie en réserve
$E_R$	Investissement énergétique dans la maturation
$E_H$	Investissement énergétique à la reproduction

## 2.2. Définition des paramètres DEB

En utilisant plusieurs ensembles de données de l'histoire de vie d'un individu (paramètre de croissance, de reproduction), quelques paramètres du modèle DEB sont estimés selon une procédure décrite par Lika *et al.* (2011). Les paramètres DEB restants ont été définis sur des valeurs prédéfinies tirées de Kooijman (2010).

Le tableau I1.2 regroupe l'appellation et désignation des paramètres que nous allons estimer dans notre étude.

**Tableau II. 2.** Définition des paramètres du modèle DEB standard (Stavrakidis-Zachou *et al.*, 2018)

Paramètre	Unité	Désignation
Paramètre de base		
$z$	–	Facteur de zoom
$\{\dot{P}_{Am}\}$		Assimilation maximale spécifique
$\dot{v}$	$\text{cm d}^{-1}$	Conductance énergétique
$\kappa$	–	Fraction d'allocation en soma
$\kappa_a$	–	Efficacité d'assimilation
$\kappa_p$	–	Efficacité des matières fécales
$\kappa_R$	–	Efficacité de reproduction
$[\dot{P}_M]$	$\text{J d}^{-1} \text{cm}^{-3}$	Taux de maintenance somatique spécifique au volume
$\dot{\kappa}_j$	$\text{d}^{-1}$	Coefficient du taux de maintenance de maturité
$[E_G]$	$\text{J cm}^{-3}$	Coûts spécifiques pour la structure
$E_H$	J	Maturité à l'éclosion
$E_H^b$	J	Maturité à la naissance
$E_H^j$	J	Maturité à métamorphose
$E_H^p$	J	Maturité à la puberté
$\dot{h}_a$	$\text{d}^{-2}$	Weibull vieillissement accélération
Paramètre de température		
$T_A$	K	Température d'Arrhenius
$T_H$	K	Limite supérieure de la gamme de tolérance
$T_L$	K	Limite inférieure de la gamme de tolérance
$T_{AH}$	K	Temp d'Arrhenius pour le taux de décroissance à la limite supérieure
$T_{AL}$	K	Temp d'Arrhenius pour le taux de décroissance à la limite inférieure
Paramètre de conversion		
$\delta_M$	–	Paramètre de forme
$d_{vd}$	$\text{g cm}^{-3}$	Densité spécifique de la structure sèche
$d_{xd}$	$\text{g cm}^{-3}$	Specific density of dry fresh/ pelleted food

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

La procédure d'estimation des paramètres DEB requiert neuf données d'entrée appelées "à variation nulle" (*Zero variate data*) qui sont dans le contexte de la modélisation DEB pour fournir des informations sur les paramètres du modèle qui ne varient pas dans le temps ou dans les conditions expérimentales. Ces données sont généralement des mesures de caractéristiques statiques des organismes, telles que la taille, la masse, la composition corporelle, etc., qui sont considérées comme constantes ou peu variables sur la période d'étude. Il nécessite aussi six pseudo-données (selon le Tableau II.2), qui sont en réalité des valeurs standard préétablies pour certains paramètres DEB, extraites de Kooijman (2010). Ces pseudo-données sont utilisées dans le processus d'ajustement des paramètres pour éviter les problèmes de non-convergence. En utilisant ces pseudo-données comme points de référence, on peut obtenir des estimations plus fiables et stables des paramètres DEB, garantissant ainsi des résultats plus robustes et cohérents dans la modélisation DEB. Il est important de sélectionner soigneusement les pseudo-données pour qu'elles soient représentatives du système biologique étudié et pour s'assurer que les estimations des paramètres DEB restent biologiquement plausibles.

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

Type de données	Symbole	Description
Données à variation nulle	$a_b$	Age à la naissance
	$a_m$	Longévitité
	$L_b$	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
	$\kappa$	Fraction d'allocation au maintien somatique
	$\kappa_R$	Efficacité de la reproduction
	$[pM]$	Volume spécifique à la maintenance somatique
	$\kappa_j$	Coefficient de taux de maintien de la maturité
Données univariées	$\kappa_G$	Efficacité de la croissance
	(t, Lt)	Clé âge-longueur
	(LT, PT)	Relation taille-poids

Le modèle DEB (Dynamic Energy Budget) montre comment les paramètres du modèle de croissance de von Bertalanffy, tels que la longueur ultime ( $L_{w,\infty}$ ) et le coefficient de croissance de von Bertalanffy ( $\dot{r}_B$ ), dépendent des paramètres physiologiques fondamentaux, appelés paramètres 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 ;
- $\delta_M$  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 ;
- $\kappa$  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  $\kappa$ ,  $\{ \dot{P}_{Am} \}$  et  $[ \dot{P}_M ]$  sont des paramètres primaires dans la théorie DEB, mais  $L_m$  est ce que l'on appelle un paramètre composé.

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

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

Où

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

Les paramètres primaires  $\dot{v}$  et  $[EG]$  sont également présents dans de nombreuses autres relations, telles que la relation entre la respiration et la masse corporelle, qui inclut également les paramètres  $\{PAm\}$ ,  $\kappa$ ,  $[PM]$ ,  $\dot{v}$  et  $[EG]$ . Par exemple, l'étude du taux de respiration des œufs de saumon par Smith (1957) a révélé que la respiration est proportionnelle à une combinaison pondérée du volume et du taux de croissance en volume, une relation confirmée par la théorie DEB.

Ainsi, la théorie DEB offre la possibilité de prédire les taux de croissance en réponse à l'alimentation et à la température, même en l'absence de mesures directes de croissance. Cependant, cela nécessite d'avoir suffisamment d'autres types de données, notamment des taux et des paramètres disponibles.

En utilisant cette approche, il est possible de prédire la croissance et l'âge à la maturité d'une espèce étudiée en combinant diverses informations provenant de 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 puberté est définie comme le moment où le développement cesse et que l'allocation à la reproduction commence. Dans notre étude nous avons retenu les données à partir de l'étude de Kherbache et Lahat, (2015).

#### 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. Dans notre étude nous avons retenu les données à partir de l'étude de Kherbache et Lahat, (2015).

#### 2.3.1.3. Age, longueur et poids à la naissance

L'âge à la naissance (Age at birth) correspond à la durée d'incubation des œufs jusqu'à l'éclosion. La longueur à la naissance, appelée  $L_{b_w}$  représente la taille de la larve à la naissance. Ces données ont été obtenues à partir d'études des otolithes sur l'espèce étudiée, disponibles dans la littérature scientifique. En ce qui concerne le poids à la naissance, il a été calculé à partir d'une équation reliant la taille à la masse :  $W = a L^b$ .

### 2.3.1.4. Reproduction maximale par jour (Ri)

Le nombre maximal d'ovocytes produits par une femelle au cours d'une année (365 jours) peut être déterminé en effectuant une étude de fécondité absolue.

D'après Kartas et Quignard (1984), la fécondité absolue est le nombre d'ovocytes matures présents dans l'ovaire d'une femelle juste avant la ponte. Toutefois, l'évaluation de la fécondité dépend de plusieurs facteurs, tels que le nombre absolu d'œufs produits et si l'espèce est un reproducteur total ou partiel. Cela est également influencé par le degré de différenciation entre la taille des œufs pondus cette saison et les œufs immatures qui seront reportés à la saison de ponte suivante.

### 2.3.2. Données uni-variées (Univariate data)

Les données uni-variées consistent en : (i) les données liées à l'âge et à la longueur, (ii) les données relatives à la taille et au 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, depuis l'extraction des pièces calcifiées jusqu'à la création de la clé reliant les tailles et les âges. Nous avons tiré les informations de Kherbache et Lahat (2015), qui ont obtenues les données âge-longueur grâce à la méthode de rétrocalcul.

## 2.4. Procédure de calcul des paramètres DEB

Afin de pouvoir estimer les paramètres et étudier leur effet sur les propriétés éco-physiologiques, il est nécessaire de télécharger les packages gratuits DEBtool et AmPtool compatibles avec le programme Matlab. Pour ce faire, il faut utiliser quatre fichiers Matlab (avec l'extension .m) :

- "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.

Les quatre fichiers nécessaires doivent être écrits en suivant les exemples disponibles sur le site internet dédié à la théorie DEB : <http://www.bio.vu.nl/tib/deb/deblab/debtool> de l'Université d'Amsterdam.

Pour chaque espèce, le terme my\_pet dans le script doit être remplacé par le nom scientifique de

l'espèce étudiée, par exemple : *Mydata\_Citharus\_linguatula...etc.*

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), car les fichiers sont éditables.

La fonction "get\_tj" est utilisée pour calculer les variables clés du cycle de vie du modèle "abj", notamment 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.

À noter que ce modèle est limité au cas particulier du modèle DEB "abj" qui prend en compte l'accélération du métabolisme pendant le stade larvaire, lequel croît de manière exponentielle jusqu'à la métamorphose (Kooijman *et al.*, 2010).

### 3. Calculs statistiques « La méthode de la covariation »

La méthode de corrélation pour l'évaluation des paramètres repose sur l'utilisation conjointe d'un ensemble d'observations, qu'elles soient des données individuelles ou des séries temporelles, ainsi que d'un ensemble de pseudo-données, qui sont utilisées pour restreindre les différentes combinaisons possibles de paramètres, comme indiqué précédemment. L'idée principale derrière cette approche est de permettre à toutes les informations disponibles de s'influencer mutuellement afin de produire le résultat final. Cela implique l'estimation simultanée de tous les paramètres pour l'ensemble des données disponibles, sans avoir à les estimer séparément.

En d'autres termes, dans la méthode de corrélation, toutes les valeurs des paramètres sont calculées en une seule étape en utilisant toutes les données disponibles. L'objectif est de minimiser la somme pondérée des écarts quadratiques entre les données observées et les prédictions du modèle. Cette approche permet d'exploiter pleinement toutes les informations disponibles pour estimer de manière cohérente l'ensemble des paramètres 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')
- $\beta_i$  le coefficient de pondération et
- $Y_i$  et  $\hat{Y}_i$  sont respectivement les observations et les prédictions du modèle.

Les coefficients de pondération sont attribués aux véritables observations ainsi qu'aux pseudo-

données, et ces coefficients servent à exprimer le degré de confiance accordé à chaque type de données. En général, un coefficient de pondération élevé indique une grande confiance dans les données ou les pseudo-données correspondantes. Cependant, au sein des données réelles, les coefficients de pondération sont principalement utilisés pour refléter la fiabilité ou la certitude associée à chaque donnée spécifique.

La comparaison entre les différentes configurations de paramètres, comme décrit dans les travaux de Veer *et al.* (2006) et Rosland *et al.* (2009), est effectuée en utilisant une mesure globale d'erreur (notée E) et une évaluation de la qualité de l'ajustement. Cette évaluation de la qualité de l'ajustement est calculée de la manière suivante :

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

Où,

- n est le nombre de points de données (réel et pseudo-données);
- $\beta_i$  le coefficient de pondération :
- $Y_i$  et  $\hat{Y}_i$  sont respectivement les observations et les prédictions du modèle.

En incluant les coefficients de pondération dans le calcul des données globales, l'incertitude des données est prise en compte conformément aux hypothèses formulées dans la procédure d'estimation. Une erreur globale de 0 (indice de qualité d'ajustement de 10) indique une prédiction de modèle parfaite, tandis qu'une valeur élevée (marque de qualité d'ajustement faible) signale des écarts importants entre le modèle et les observations

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

La théorie DEB utilise l'équation de Van't Hoff-Arrhenius pour décrire la dépendance des taux physiologiques à la température. Cette équation trouve son origine dans la thermodynamique statistique, où le comportement d'un système contenant un très grand nombre de molécules d'un même type est prédit à partir de considérations statistiques sur le comportement des molécules individuelles (Haynie, 2001). Dans sa forme de base, l'équation de Van't Hoff-Arrhenius ressemble à :

$$\dot{k}(T) = \dot{k}_\infty \exp\left(\frac{-E_a}{kT}\right)$$

- $k(T)$  est le taux de réaction qui dépend de la température absolue  $T$  (en Kelvin)
- $k_{\infty}$  est le taux de réaction maximal (théorique), qui est le taux de réaction lorsque toutes les molécules réagiraient.
- $\exp\left(\frac{-E_a}{kT}\right)$  est le facteur de Boltzmann, qui donne la fraction de molécules qui atteignent l'énergie d'activation critique  $E_a$  (en joules par molécule) pour réagir. Cette fraction augmente avec l'augmentation de la température.
- La constante  $k$  (à ne pas confondre avec le taux de réaction  $k'$ ) est la constante de Boltzmann et vaut  $1,38 \cdot 10^{-23}$  joule par degré Kelvin.

Glasstone *et al.* (1941) ont montré que l'équation de Van't Hoff-Arrhenius est approximative pour les réactions bimoléculaires en phase gazeuse. Kooijman (1993, 2000) souligne le grand écart entre une réaction unique entre deux types de particules en phase gazeuse et les taux physiologiques où de nombreux composés sont impliqués et où la cinétique des gaz ne s'applique pas. Il considère donc l'application de la relation de Van't Hoff-Arrhenius aux taux physiologiques comme une approximation seulement, pour laquelle les paramètres doivent être déterminés empiriquement. Pour cette raison, Kooijman préfère l'utilisation d'une température d'Arrhenius plutôt que l'utilisation d'une énergie d'activation, qui donnerait une fausse impression de compréhension mécanistique. De même, Clarke (2003, 2004) et Marquet *et al.* (2004) soulignent que l'équation de Van't Hoff-Arrhenius n'est qu'une généralisation statistique et concluent également que nous manquons encore d'une compréhension claire de la relation entre la température et le métabolisme à l'échelle de l'organisme.

# **Chapitre 03**

## **Résultats et discussions**

### 1. Présentation des données et des pseudo-données

Les données à variation nulle (*zero variate data*), obtenues ou provenant de la littérature pour l'espèce étudiée sont présentées dans le tableau III.1. La figure III.1, quant à elle, représente graphiquement les données univariées, à savoir la relation entre la taille et l'âge, ainsi que la relation entre la taille et le poids.

Après vérification, le Pr Kooijman, fondateur de la théorie DEB, a validé et publié toutes les données et résultats obtenus. Ces informations sont disponibles dans la base de données spécialement dédiée au modèle DEB appelée "add-my-pet" accessible via le lien : <https://urlr.me/rVwLh>

Les données à variation nulle (l'âge, la taille et le poids) ont été obtenues pour trois stades de vie:

L'âge :

- L'âge à la naissance est observé à 730 jours pour l'ensemble des sexes, selon les travaux de Cengİsme Ozek (2014).
- La durée maximale de vie observée est de 2555 jours. La taille :
- À la naissance, la taille atteint 0,3 cm, d'après l'étude de Maril (1978).
- À la première maturité sexuelle, la taille atteint 14 cm pour l'ensemble des deux sexes, selon Cengİsme (2014).
- La taille maximale observée est de 30 cm.
- A partir de la taille maximale, nous avons estimé le poids humide maximal, il est de 211,4 g.
- Le poids à la naissance est estimé à 0,0001 g.
- Le poids humide à la puberté est de 8,06 g pour l'ensemble des individus.

Selon les résultats de l'étude sur la fécondité, le taux de reproduction maximal,  $R_i$ , atteint 887,6 ovocytes par jour. Les valeurs standard des pseudo-données sont fournies dans le tableau III.1.

Le modèle DEB a montré une performance notable en ce qui concerne la précision de la prédiction de la longueur maximale et de la reproduction maximale (Tableau III.1). En ce qui concerne la prédiction de l'évolution du poids, le modèle a démontré une grande précision, avec des prédictions correspondant étroitement aux observations dans les trois ensembles de données. Les légères divergences se sont principalement produites en ce qui concerne la longueur à la première maturité sexuelle et l'âge à la première maturité sexuelle. De plus, les valeurs des erreurs relatives étaient faibles, ce qui confirme la validité du modèle.

La valeur standard de la conductance énergétique est de  $0,02 \text{ cm jr}^{-1}$ , et ses valeurs théoriques sont similaires à celles de *C. linguatula*, avec une différence peu significative de  $0,0223 \text{ cm j}^{-1}$ .

La valeur standard de la fraction d'allocation à la maintenance somatique est de 0,8, ce qui est légèrement plus élevé que celle de *C. linguatula* (0,7387).

La valeur standard du volume spécifique dédié à la maintenance somatique est de 18 J/jr.cm<sup>2</sup>, ce qui est inférieur à celui de *C. linguatula*, qui est de 21,63 J/jr.cm<sup>2</sup>.

Pour les autres paramètres, les valeurs théoriques sont similaires à celles des valeurs standards : l'efficacité de la reproduction est de 0,95, le coefficient de maintien de la maturité est de 0,002, et l'efficacité de la croissance est de 0,8.

**Tableau III. 1.** Comparaison des prédictions du modèle avec l'âge, la longueur et le poids observés (lorsqu'ils sont disponibles) à la naissance et à la puberté et les pseudos données pour *C. linguatula*.

	Observations	Prédictions	ER
<b>Donnée à variation nulle</b>			
$a_s$ : âge à la première maturité sexuelle (j)	730 <sup>(3)</sup>	751,9 <sup>(3)</sup>	0,02994 <sup>(3)</sup>
$a_m$ : longévité (j)	2555 <sup>(2)</sup>	2549 <sup>(2)</sup>	0,002234 <sup>(2)</sup>
$L_b$ : longueur à la naissance (cm)	0,3 <sup>(4)</sup>	0,2456 <sup>(4)</sup>	0,1814 <sup>(4)</sup>
$L_p$ : longueur à la 1 <sup>ère</sup> maturité sexuelle (cm)	14 <sup>(3)</sup>	10,66 <sup>(3)</sup>	0,2388 <sup>(3)</sup>
$L_i$ : longueur maximale (cm)	30 <sup>(5)</sup>	30,82 <sup>(5)</sup>	0,02746 <sup>(5)</sup>
$W_w^b$ : poids à la naissance (g)	0,0001 <sup>(1)</sup>	0.0001062 <sup>(1)</sup>	0,06221 <sup>(1)</sup>
$W_w^p$ : poids à la puberté (g)	8,06 <sup>(1)</sup>	8,679 <sup>(1)</sup>	0,07683 <sup>(1)</sup>
$W_w^i$ : poids maximal (g)	211,4 <sup>(1)</sup>	210 <sup>(1)</sup>	0,006398 <sup>(1)</sup>
$R_i$ : reproduction maximale (/j)	887,6 <sup>(3)</sup>	884,3 <sup>(3)</sup>	0,003688 <sup>(3)</sup>
<b>Donnée univariées</b>			
t-L	Figure III.1		
L-W			
<b>Pseudo données</b>			
	Valeurs standards	<i>Citharus linguatula</i>	
$\dot{v}$ : conductance énergétique	0,02	0,0223	
$\kappa$ : fraction d'allocation à la maintenance somatique	0,8	0,7387	
$\kappa_R$ : efficacité de la reproduction	0,95	0,95	
[ $\dot{p}M$ ]: volume spécifique à la maintenance somatique	18	21,63	
$\kappa_j$ : coefficient de maintien de la maturité	0,002	0,002	
$\kappa_G$ : efficacité de la croissance	0,8	0,8001	
(1) Présente étude	(2) Vassilopoulos et Papacostantinou, (1994)	(3) Cengiz <i>et al.</i> (2014)	(4) Mari <i>et al.</i> (1978)
			(5) Moutopoulos <i>et al.</i> (2013)

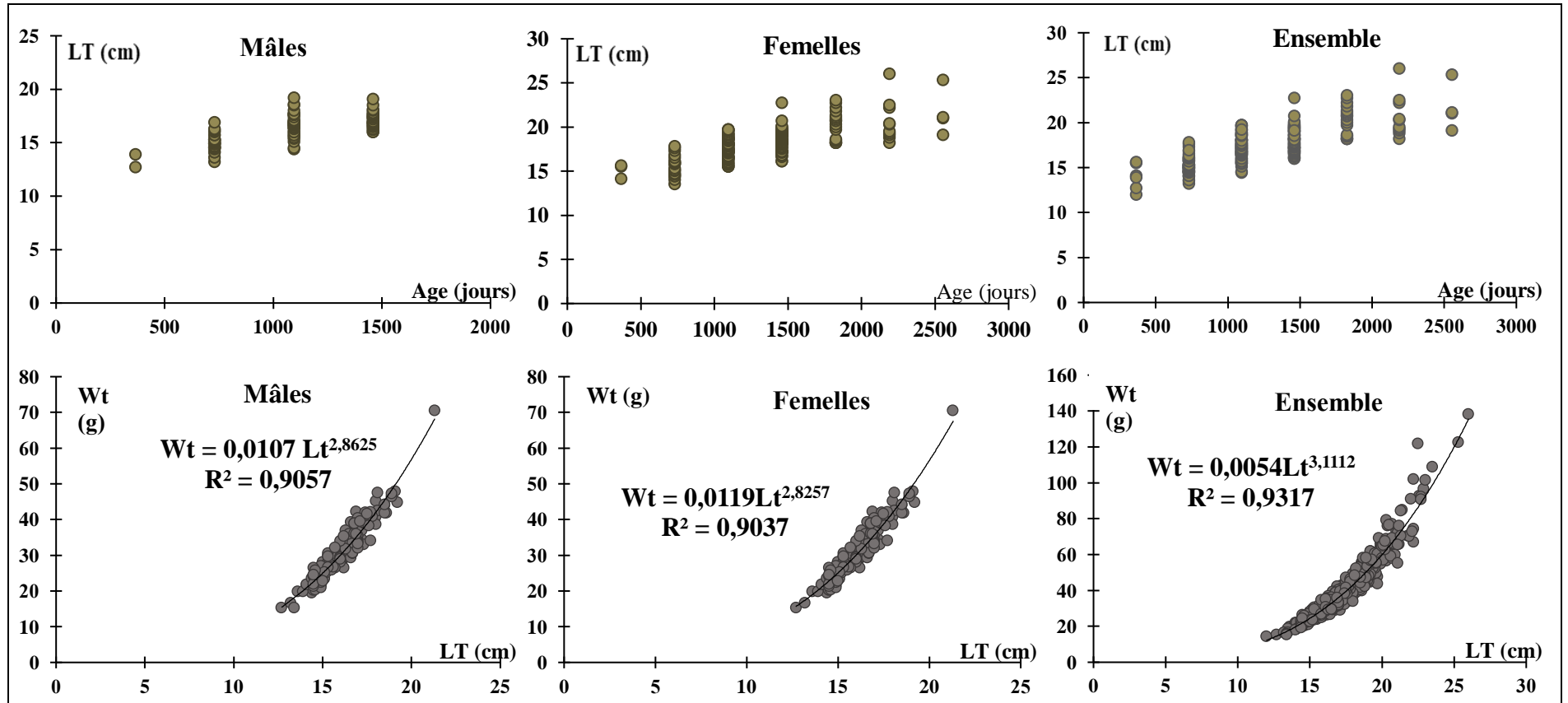


Figure III. 1. Présentation des données univariées taille-âge et taille-poids pour les mâles et les femelles de l'espèce étudiée.

## 2. Estimation des paramètres DEB

La procédure d'estimation des paramètres est présentée dans Marques *et al.* (2018b) et dans le manuel en ligne d'AmP (<http://www.debtheory.org/>). 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.

### 2.1. Paramètres relatifs à la taille et forme individuelle

Un facteur de zoom sans dimension  $z$  est appliqué et est utilisé pour comparer les paramètres physiques d'un organisme à un « organisme de référence » de longueur maximale ( $LM_{ref} = 1$  cm (Kooijman, 2010)). La plupart des paramètres composés sont dérivés d'une manière ou d'une autre en utilisant le facteur de zoom.

Les facteurs de zoom entre les différentes espèces des pleuronectiformes diffèrent considérablement, allant de 0,232 (*Bothus podas*) à 8,216 (*Lepidorhombus whiffiagonis*). *C. linguatula* présentait un facteur de zoom faible de 0,886.

Selon les différentes estimations (Tableau III. 2.), *B. podas* (0,237) et *Solea senegalensis* (0,235) avaient le coefficient de forme le plus élevé, suivies de *Pegusa lascaris* (0,206), *Arnoglossus laterna* (0,202), *S. solea* (0,196), *Microchirus variegatus* (0,190) *Buglossidium luteum* (0,182). La plie tachetée *C. linguatula*, *Microchirus azevia* et *Dicologlossa cuneata* avaient la même valeur de  $\delta_M$  (0,179). La plus faible valeur est attribuée à *Lepidorhombus whiffiagonis* (0,134).

Le coefficient de forme ( $\delta_M$ ) est utilisé pour quantifier la relation entre le volume et la longueur, laquelle diffère considérablement d'une espèce à l'autre en raison de leurs morphologies distinctes. Ce coefficient facilite la conversion des longueurs physiques en longueurs structurelles en utilisant des équations précises.

**Tableau III. 2.** Facteur de forme et facteur de zoom de l'espèce *C. linguatula* et autres pleuronectiformes ( $T_{ref} = 20^\circ C$ ,  $f=1$ ).  $\delta_M$  : Facteur de forme,  $Z$  : facteur de zoom.

Espèces	$\delta_M$	$Z$
<i>Citharus linguatula</i>	0,179	0,886
<i>Bothus podas</i>	0,237	0,232
<i>Pegusa lascaris</i>	0,222	3,247
<i>Arnoglossus laterna</i>	0,202	0,871
<i>Microchirus variegatus</i>	0,190	0,388
<i>Microchirus azevia</i>	0,179	3,015
<i>Dicologlossa cuneata</i>	0,179	1,304
<i>Solea solea</i>	0,196	6,628
<i>Solea senegalensis</i>	0,235	3,601
<i>Buglossidium luteum</i>	0,182	0,639
<i>Lepidorhombus whiffiagonis</i>	0,134	8,216

## 2.2. Paramètres relatifs à la nourriture et assimilation

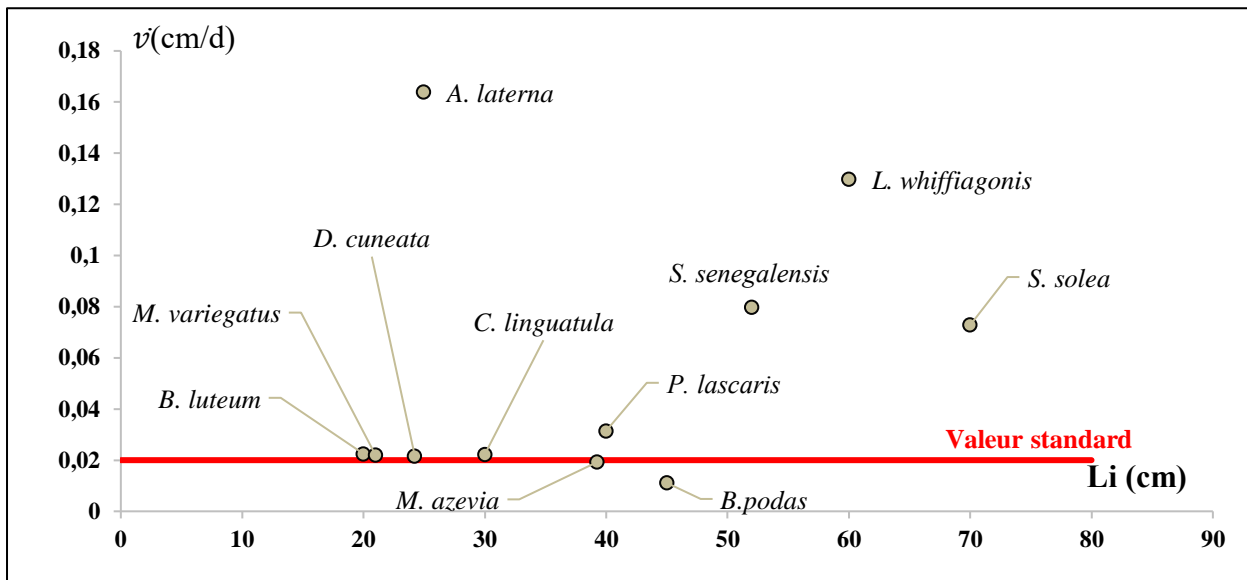
Avant accélération *L. whiffiagonis* avait un  $\{\dot{P}_{AM}\}$  de 960,665 J/d.cm<sup>2</sup> qui est la valeur la plus élevée comparé à celles d'autres espèces. *C. linguatula* a marqué une valeur beaucoup plus bas avec un  $\{\dot{P}_{AM}\}$  de 25,946 J/d.cm<sup>2</sup>. le taux est à sa valeur minimale de 10,9862 J/d.cm<sup>2</sup> chez *B. podas* (Tableau III.3). Le taux d'assimilation spécifique à la surface  $\{\dot{P}_{AM}\}$  peut être influencé par divers facteurs, tels que l'alimentation, la taille corporelle, la température environnementale, les caractéristiques métaboliques de chaque espèce.

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 espèces de poissons plats. *P. lascaris* représente la valeur la plus élevée (0,314 cm/d) parmi les autres espèces. *S. solea* et *S. senegalensis* ont des valeurs de ( $\dot{v}$ ) proches. *B. podas* et *M. azevia* présentent des valeurs relativement basses, alors que la valeur de *C. linguatula* se situait dans une fourchette intermédiaire avec ( $\dot{v}$ =0,022cm/d) (Tableau III. 3). Ces 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 varie selon les espèces, avec la plus grande valeur observée chez *B. podas*. Les espèces affichant le facteur d'accélération le plus élevé commencent leur croissance de manière lente dès la naissance, mais accélèrent ensuite leur développement afin de rattraper leur retard lors de la métamorphose. Les autres espèces ont des facteurs d'accélération faibles, ce qui signifie que leurs taux de croissance augmentent plus progressivement.

**Tableau III. 4.** Le taux d'assimilation spécifique maximal, la conductance énergétique et le facteur d'accélération de l'espèce *C. linguatula* et d'autres pleuronectiformes.

Symbole	$\{\dot{P}_{AM}\}$ J/d.cm <sup>2</sup>	$\dot{v}$ (cm/d)	sM
<i>C. linguatula</i>	25,946	0,0223	6,22
<i>S. solea</i>	289,66	0,0728	2,65
<i>B. podas</i>	10,986	0,0111	38,49
<i>P. lascaris</i>	172,26	0,3147	1,05
<i>A. laterna</i>	47,932	0,1638	6,57
<i>M. azevia</i>	77,023	0,0193	2,22
<i>M. variegatus</i>	49,932	0,0219	9,85
<i>S. senegalensis</i>	102,647	0,0798	3,26
<i>D. cuneata</i>	36,415	0,0216	3,21
<i>B. luteum</i>	53,857	0,0224	3,33
<i>L. whiffiagonis</i> avait	960,665	0,1299	1,00



**Figure III. 2.** Les valeurs de la conductance énergétique (Tref = 20 ° C) en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce *C. linguatula* et autres pleuronectiformes.

### 2.3. Les coûts énergétiques de la maintenance

Les coûts énergétiques pour la maintenance somatique [ $P_M$ ] de *C. linguatula* a été estimé à 21,63 J.cm<sup>-3</sup> qui est une valeur un peu plus faible par rapport à celles d'autres espèces, *M. variegatus* et *B. luteum* suivi de *L. whiffiagonis* ont les plus grandes valeurs et *M. azevia* occupe la dernière position avec un [ $P_M$ ] de 5,85 J/d.cm<sup>3</sup>. *C. linguatula* semble avoir un métabolisme relativement économe en énergie par unité de masse corporelle. Cela peut indiquer qu'elle a développé des adaptations pour minimiser ses besoins en énergie pour la maintenance corporelle, peut-être en réponse à des contraintes environnementales particulières.

[ $E_G$ ] 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 étroitement comparable entre *C. linguatula* (5229,41 J/cm<sup>3</sup>) et les autres espèces.

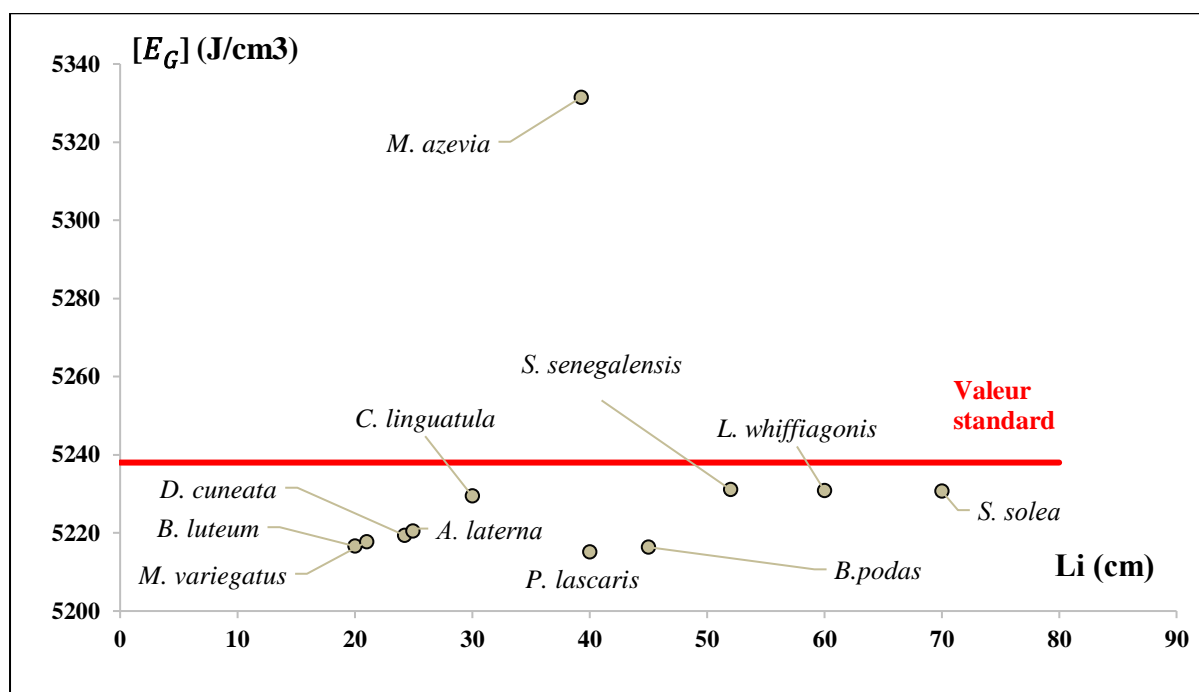
Les taux d'investissements énergétiques dans les transitions du cycle de vie (de la naissance vers la maturité)  $E_H^b$  et  $E_H^j$ ,  $E_H^p$  pour *C. linguatula* étaient 0,1581, 38,94 et 15210 J/cm<sup>3</sup>, respectivement. La différence entre la maturité à la naissance  $E_H^b$  et la maturité à la métamorphose  $E_H^j$  chez cette espèce était moyenne par rapport à d'autres poissons plats, cela indique que *C. linguatula* peut prendre un peu plus de temps pour compléter sa métamorphose.

Les coûts pour la structure ( $E_G$ ) sont inférieurs à la valeur standard, la plus petite valeur est celle de *B. podas* (5216,35 J/cm<sup>3</sup>).

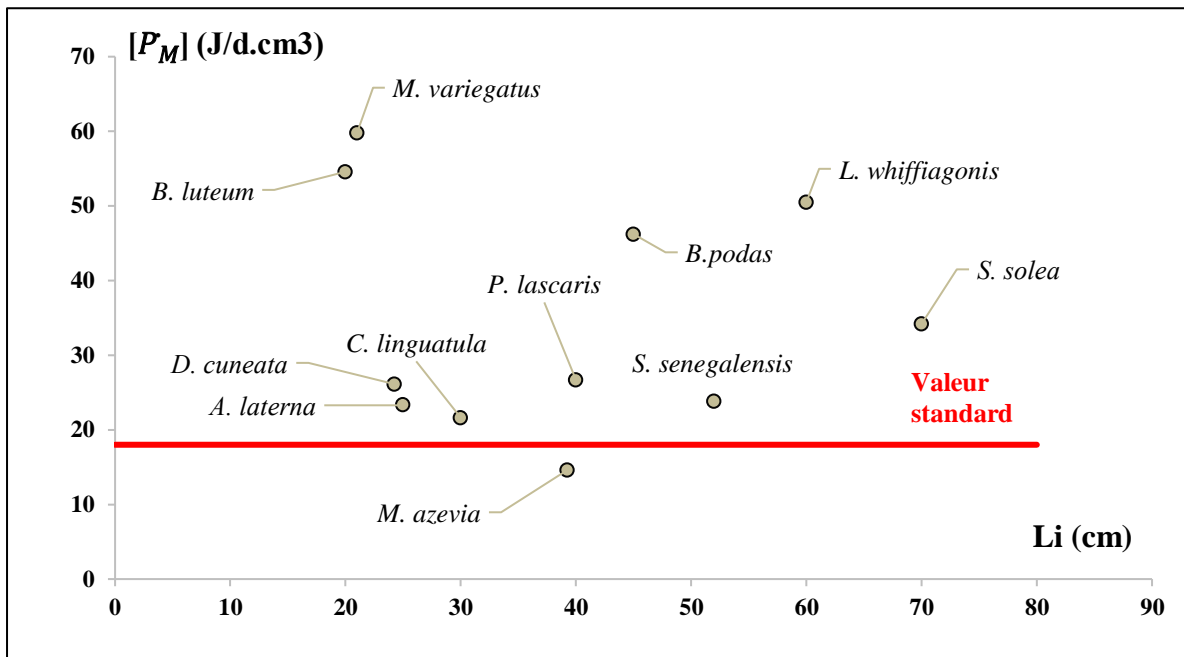
Les coûts somatiques spécifiques sont très proches de la valeur standard chez *C. linguatula* (21,63 J/dm<sup>3</sup>) (Tableau III. 5).

**Tableau III. 6.** 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.

Symbole	$[P_M]$ (J.d-1/cm <sup>3</sup> )	$E_G$ (J/cm <sup>3</sup> )	$E_H^b$ (J/cm <sup>3</sup> )	$E_H^j$ (J/cm <sup>3</sup> )	$E_H^p$ (J/cm <sup>3</sup> )
<i>C. linguatula</i>	21,63	5229,41	0,158	38,94	15210
<i>S. solea</i>	34,20	5230,69	0,359	6,73	195400
<i>B. podas</i>	46,22	5216,35	0,002	146,3	12270
<i>P. lascaris</i>	26,69	5215,08	0,973	0,973	23930
<i>A. laterna</i>	23,29	5220,29	1,133	332,4	67410
<i>M. azevia</i>	14,63	5231,46	1,056	11,67	119800
<i>M. variegatus</i>	59,79	5217,71	0,701	735,5	196600
<i>S. senegalensis</i>	23,85	5237,07	0,143	4,969	1,104e+06
<i>D. cuneata</i>	26,13	5219,39	0,036	1,21	11960
<i>B. luteum</i>	54,58	5216,59	0,346	13,49	17410
<i>L. whiffiagonis</i>	50,51	5230,85	1,39	1,396	440000



**Figure III. 3.** Coût pour la structure [ $E_G$ ] en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce *C. linguatula* et autres pleuronectiformes.



**Figure III. 4.** Coût somatique spécifique  $[P_M]$  en fonction de la longueur structurelle maximale de l'espèce *C. linguatula* et autres pleuronectiformes.

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

Selon la théorie DEB, l'énergie provenant de l'assimilation alimentaire est directement allouée à une réserve, puis cette énergie est utilisée pour la croissance et le maintien somatique, à une fraction fixe ( $k$ ). La portion non utilisée ( $1-K$ ) est réservée pour la maturation, la reproduction et le maintien de la maturité.

La fraction de l'allocation à la croissance et à la maintenance somatique,  $\kappa$ , obtenue et reportée pour les différentes espèces de pleuronectiformes est illustrée par la Figure III.5

Comparée à la valeur standard de  $\kappa=0,89$  donnée par Koijman (2019), la valeur obtenue pour *C. linguatula* est plus basse ( $\kappa=0,73$ ) ainsi que pour *S. solea*, *B. luteum*, *M. azevia*, *M. variegatus*, *A. laterna* et *L. whiffiagonis*, alors que celles de *P. lascaris* et *S. senegalensis* sont les plus proches  $\kappa=0,84$  et  $\kappa=0,83$  respectivement. Quant aux deux espèces, *B. podas* ( $\kappa=0,97$ ) et *D. cuneata* ( $\kappa=0,94$ ), elles affichent des valeurs de  $\kappa$  qui sont similaires entre elles et supérieures à la fraction standard.

Il semble qu'il n'y ait pas de corrélation évidente entre la valeur de  $\kappa$  et la taille maximale de l'espèce. Les divergences dans les valeurs de  $\kappa$  impliquent des différences dans la stratégie de reproduction de l'organisme : une valeur plus importante de  $\kappa$  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.

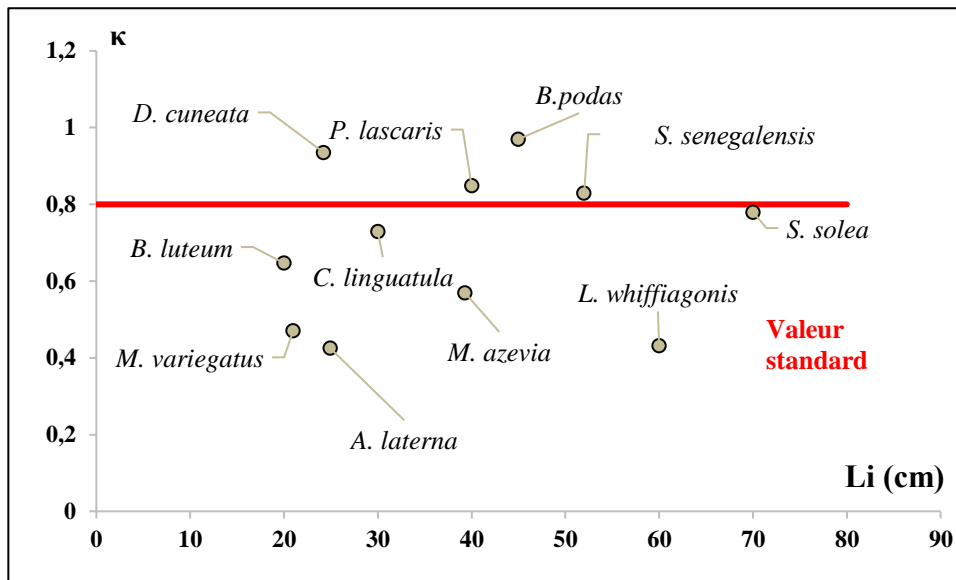


Figure III. 5. La fraction d'allocation à la croissance et au maintien somatique  $\kappa$  pour l'espèce *C. linguatula* et autres pleuronectiformes.

### 3. Modélisation bioénergétique de la croissance et de la reproduction

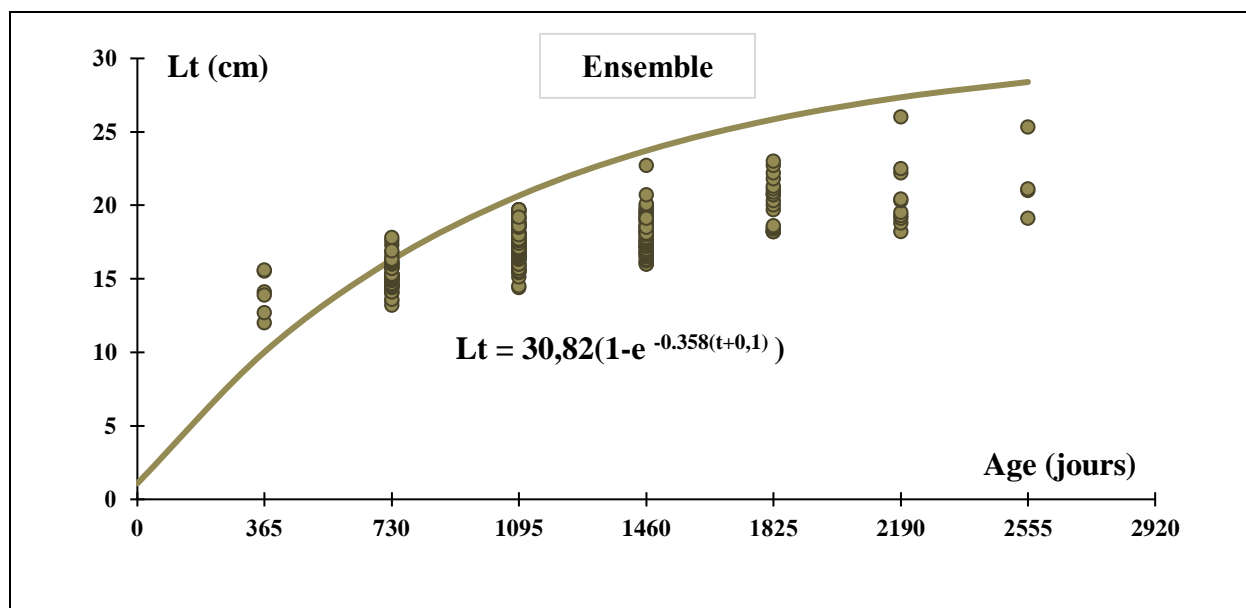
Les informations concernant la croissance, à la fois observée et estimée, ainsi que les erreurs calculées par le modèle DEB pour l'espèce étudiée, sont répertoriées dans le tableau III.5.

Un taux d'erreur minime est observé, ce qui indique une précision élevée dans les valeurs prédites. De plus, la comparaison entre les valeurs observées et les valeurs estimées montre une grande proximité.

La taille de maturité prédite par le modèle DEB est de 10,66 cm, atteinte en 752 jours, avec un poids de 8,679 g. Ces prédictions obtenues par le modèle correspondent de manière remarquable aux valeurs observées.

Tableau III. 7. Présentation des données de la croissance observées et prédites par le model DEB et les erreurs calculées chez l'espèce *C. linguatula*.

Données	Observations	(Erreur)	Prédictions
Age à la naissance (jr)	730	(0,02994)	751,9
Longueur totale à la naissance (cm)	0,3	(0,1814)	0,2456
Longueur totale maximale (cm)	30	(0,02746)	30,82
Poids humide à la naissance (g)	0,0001	(0,06221)	0,0001062
Poids humide maximal (g)	211,4	(0,006398)	210



**Figure III. 6.** Présentation des courbes de croissance de von Bertalanffy modélisées par le modèle DEB de *C. linguatula* et les valeurs observées.

**Tableau III. 8.** Valeurs bibliographiques des paramètres croissance du modèle de von Bertalanffy.

Auteurs et année	Localité		$L_{\infty}$ (cm)	K /ans	$t_0$ (ans)
Garcia <i>et al</i>	Bassin méditerranéen	E	33,50	0,28	0,09
Vassilopoulou Et Papaconstantinou (1994)	Grèce	F	25,90	0,26	-0,42
		M	22,90	0,30	-0,46
Boufersaoui (2009)	Côtes d'Algérie	F	28,12	0,27	-0,63
		M	22,00	0,38	-0,47
Kherbache et Lahat (2015)	Côtes d'Algérie	F	27,62	0,14	-3,87
		M	25,95	0,18	-2,87
<b>Présent travail (2023)</b>	<b>Centre de l'Algérie</b>	<b>E</b>	<b>30,82</b>	<b>0,39</b>	<b>-0,10</b>

#### 4. Effet de la température sur la croissance

L'analyse de la figure III.6 suggère que, sous une même densité alimentaire, la croissance de *C. linguatula* est soumise à l'influence des variations de température, ce qui impacte la taille asymptotique de l'espèce. Une température idéale semble exister pour cette espèce, et lorsqu'on s'écarte de cette température, que ce soit en l'augmentant ou en la diminuant, on observe une modification de la vitesse de croissance. En effet, cette vitesse diminue à des températures basses (14°) et augmente à des températures très élevées (30°). Il est à noter que l'individu atteint sa taille maximale à l'âge de 1000 jours, mais à des températures proches de 14°, ce temps s'allonge considérablement à 2555 jours.

On peut donc affirmer qu'à conditions alimentaires constantes, la vitesse à laquelle l'individu atteindra sa taille asymptotique (le taux de croissance) est influencée par l'effet de la température sur l'activité enzymatique. En conséquence, la constante de croissance (K) varie en fonction de la température.

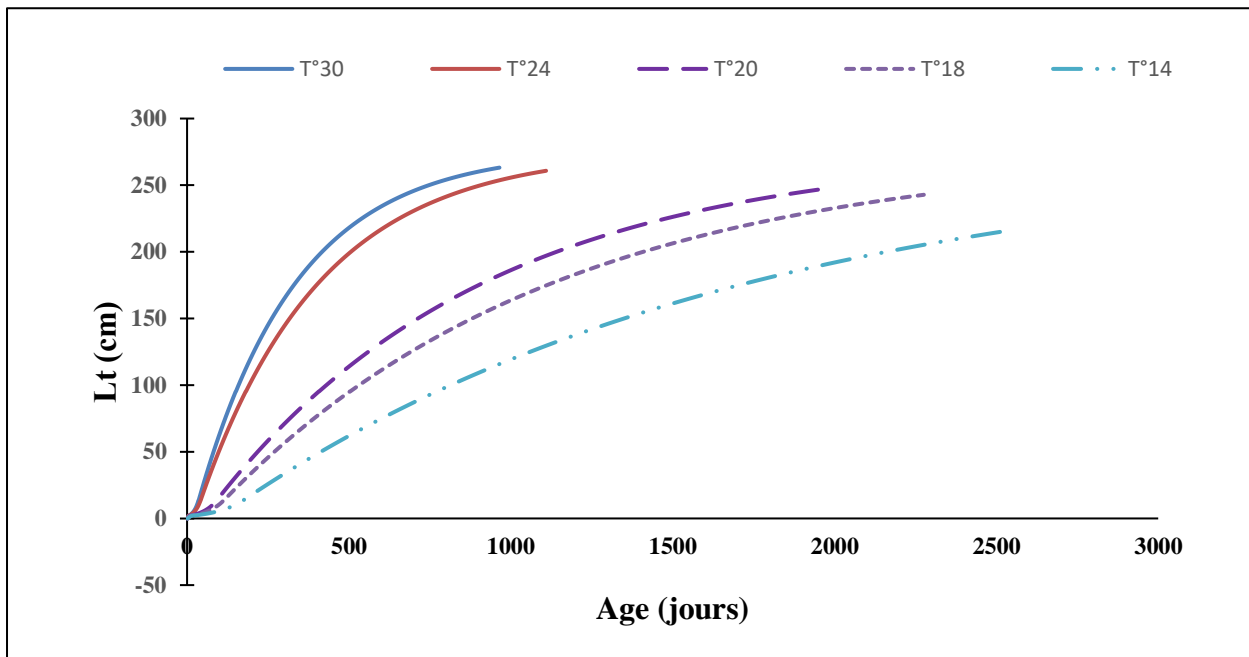
*C. linguatula* augmente sa vitesse de croissance à des températures plus élevées tout en diminuant sa longévité. Dans ce cas, leur organisme doit allouer ses ressources limitées, telles que l'énergie, de manière optimale pour maximiser leur reproduction.

Dans un environnement plus chaud, plusieurs facteurs peuvent contribuer à cette augmentation de la vitesse de croissance :

- **Métabolisme accru** : les températures plus élevées peuvent accélérer le métabolisme des organismes, ce qui signifie qu'ils consomment de l'énergie plus rapidement. Cela peut favoriser une croissance plus rapide.
- **Plus de ressources disponibles** : les environnements plus chauds peuvent souvent être associés à une plus grande disponibilité de nourriture, ce qui permet aux individus de se nourrir plus efficacement et donc de croître plus rapidement.
- **Pression de prédation** : Dans des environnements où la prédation est plus intense, les individus peuvent avoir intérêt à atteindre rapidement une taille à laquelle ils sont moins vulnérables aux prédateurs.

Cependant, cette croissance rapide peut avoir des conséquences en termes de longévité. Les individus qui allouent davantage d'énergie à la croissance peuvent avoir moins d'énergie disponible pour d'autres fonctions vitales, comme la réparation des tissus ou la lutte contre les infections. Par conséquent, ils peuvent avoir une durée de vie plus courte.

Que ce phénomène soit "bon" ou "mauvais" pour l'espèce dépend de l'environnement spécifique dans lequel elle se trouve et des pressions sélectives auxquelles elle est soumise. Si l'espèce vit dans un environnement où la prédation est intense et où les ressources alimentaires sont abondantes, une croissance rapide suivie d'une reproduction précoce peut être avantageuse, car cela augmente les chances de transmettre les gènes à la génération suivante avant d'être prédaté. Cependant, dans un environnement stable et moins prédateur, une stratégie de vie plus longue avec une croissance plus lente pourrait être préférable.



**Figure III. 7.** Croissance linéaires théoriques pour de *C. linguatula* (modèle DEB) en fonction de la Température.

### 5. Effet de la température sur la reproduction

Les courbes présentées dans la figure III.8 illustrent clairement que la masse corporelle réagit de manière positive à l'augmentation de la température, mais seulement jusqu'à un certain seuil. En conséquence, à mesure que la température augmente, l'espèce atteint l'âge de la puberté (stade adulte) plus rapidement. Par exemple, à une température de 14°C, l'espèce ne peut se reproduire qu'à l'âge de 700 jours, tandis qu'à 38°C, elle peut le faire dès l'âge de 69 jours. De plus, les simulations indiquent que dans des conditions de température plus basses, comme à 14°C, l'espèce atteint son âge de reproduction tardivement, soit après 770 jours, et sa masse de reproduction demeure très faible.

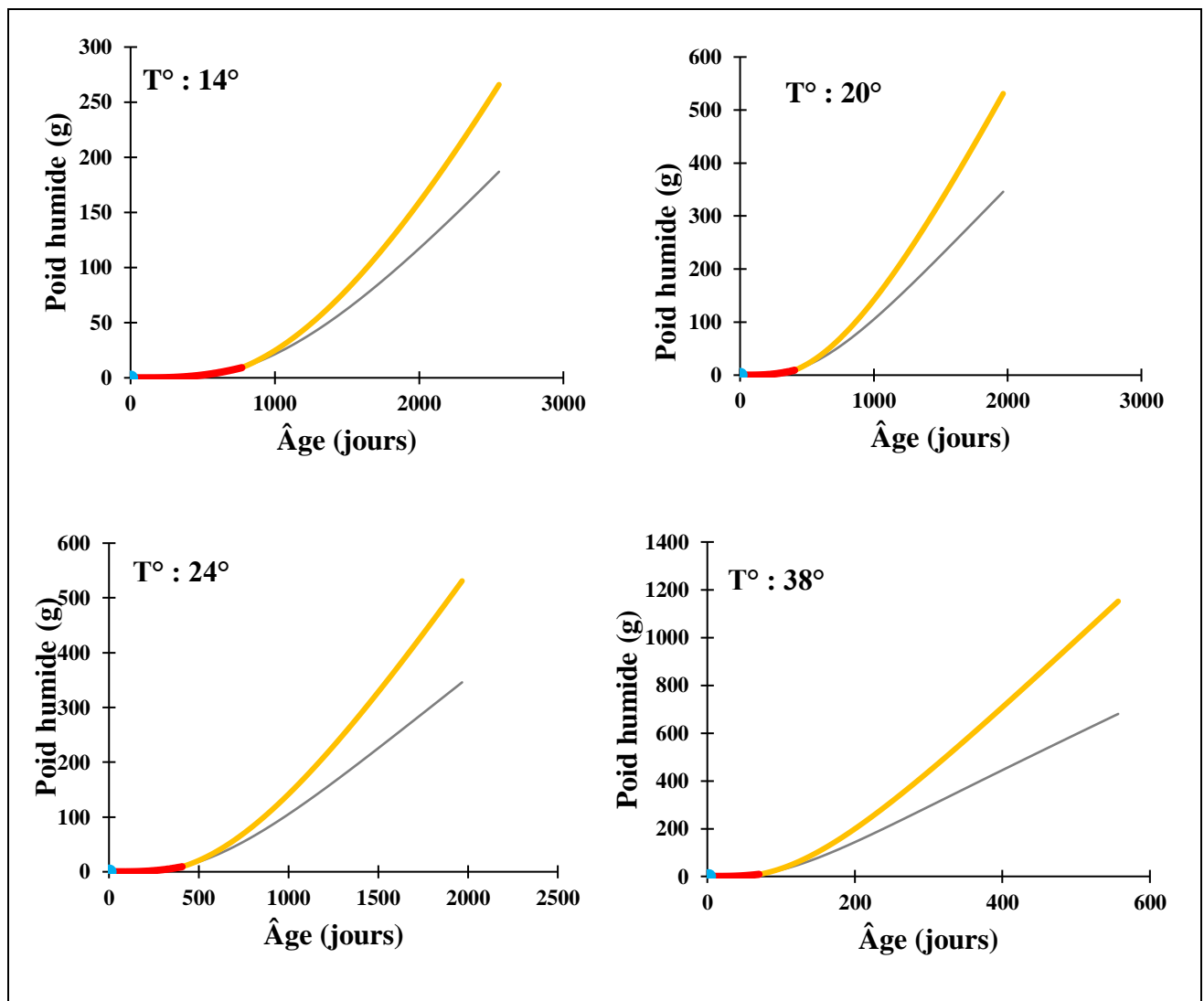
Le fait que l'espèce atteigne l'âge de reproduction rapidement dans des températures élevées et tardivement dans des températures faibles peut être lié à divers facteurs environnementaux et aux adaptations de l'espèce à ces conditions. Par exemple, dans des températures élevées, les processus métaboliques peuvent être plus rapides, ce qui peut accélérer la croissance et la maturation sexuelle des individus. Par contre, dans des températures plus basses, les processus métaboliques peuvent être plus lents, ce qui peut retarder la maturation sexuelle.

La masse corporelle peut également réagir aux températures de différentes manières. Dans des températures plus élevées, l'espèce peut avoir tendance à être plus active, à se nourrir davantage et à accumuler de la masse corporelle. Cela peut être une adaptation pour résister aux températures plus chaudes en stockant des réserves d'énergie. Cependant, dans des températures plus basses, l'activité peut diminuer, ce qui peut entraîner une perte de masse corporelle en raison d'une

réduction de la consommation d'énergie.

À chaque étape du cycle de vie et dans chaque habitat, la fenêtre d'opportunité pour le développement (croissance et reproduction somatiques) est définie par des facteurs biotiques tels que la disponibilité de proies, ainsi que par les limites de tolérance aux facteurs abiotiques. Pour les ectothermes, les conditions de température jouent un rôle prédominant (Fry *et al.*, 1947 ; Neill *et al.*, 1994). La réponse aux conditions de température est souvent décrite en termes de sensibilité à la température et de plage de tolérance thermique (Huey et Kingsolver, 1989).

Dans la figure III.8, nous avons simulé l'effet de différentes températures sur l'espèce dans un environnement alimentaire constant. Cela explique la large plage de tolérance de l'espèce, ce qui signifie qu'elle peut survivre dans un large éventail de conditions de température.



**Figure III. 8.** Simulation de l'effet de la température sur le poids humide pendant la reproduction et dans les trois stades de vie (modèle DEB)

## 6. Effet de la disponibilité de l'aliment sur la reproduction

Les données montrent que plus le facteur d'alimentation est élevé (par exemple, un  $f$  de 1,6), plus les individus atteignent leur âge de puberté rapidement, en seulement 318 jours. Par contre, lorsque le facteur d'alimentation est plus bas (par exemple, un  $f$  de 0,4), le passage à l'âge adulte est retardé, nécessitant 700 jours.

En résumé, ces courbes nous révèlent que la disponibilité de nourriture a un impact significatif sur le développement de l'espèce. Une alimentation plus abondante favorise une croissance plus rapide et un passage à l'âge adulte plus précoce, ce qui peut avoir des implications importantes pour la survie et la reproduction de l'espèce.

Dans l'ensemble, la quantité de nourriture disponible augmente (ce que nous appelons ici la "réponse fonctionnelle échelonnée" avec le facteur d'alimentation " $f$ "), le poids corporel des individus augmente également. Cette relation positive entre la disponibilité de nourriture et le poids corporel est cruciale car elle a un impact significatif sur le développement de l'espèce. En particulier, cette augmentation du poids corporel a des répercussions sur le moment où les individus atteignent l'âge de la puberté, c'est-à-dire le moment où ils deviennent des adultes capables de se reproduire.

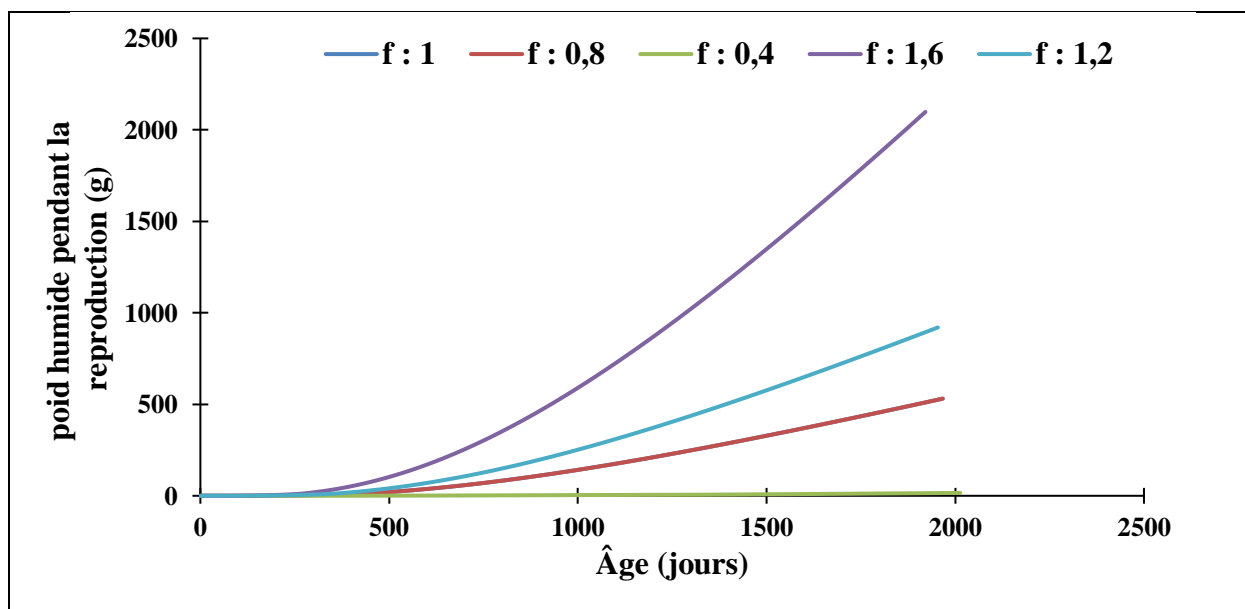


Figure III. 9. Simulation de l'effet de la disponibilité de l'aliment sur la reproduction de *C. linguatula* (modèle DEB).

## Conclusion

En conclusion, cette étude sur l'effet des paramètres du milieu sur la reproduction et la croissance de *C. liguatula* dans les eaux centrales algériennes, menée dans le cadre de la théorie DEB, a apporté des éclaircissements cruciaux sur les aspects physiologiques, biologiques et écologiques de cette espèce ectotherme.

La théorie DEB a fourni un cadre solide pour comprendre comment l'environnement influence l'utilisation de l'énergie disponible pour la reproduction, la croissance et le développement de cette espèce.

L'extension du modèle DEB standard au modèle abj, intégrant l'accélération métabolique au cours de la période larvaire, a permis de démontrer que les larves croissent initialement plus lentement que les juvéniles et les adultes, un phénomène jusqu'alors méconnu. Cette approche de modélisation a également révélé la cohérence entre la croissance et les caractéristiques physiologiques de l'espèce, renforçant ainsi notre compréhension des réponses de *C. liguatula* aux variations de température.

De plus, l'étude a montré comment les effets de la température et de la nourriture sur la croissance peuvent être intégrés dans les paramètres de von Bertalanffy au sein de la théorie DEB, avec des conséquences significatives sur la dynamique de la population.

En outre, il convient de souligner que cette étude a apporté une contribution significative à l'enrichissement de la base de données universelle *add\_my\_pet* en y ajoutant de nouvelles données. Ces données ont été publiées après avoir été rigoureusement acceptées et validées par le fondateur éminent de la théorie DEB, le professeur Kooijman de l'Université d'Amsterdam, aux Pays-Bas. Cette reconnaissance de l'importance de notre recherche par un expert de renommée mondiale dans le domaine de la modélisation énergétique renforce davantage la pertinence et la valeur de nos conclusions pour la communauté scientifique et la gestion des populations marines. Elle témoigne de la qualité et de la rigueur de notre approche scientifique dans l'exploration des interactions complexes entre *C. liguatula* et son environnement. Ces données nouvellement intégrées à la base *add\_my\_pet* contribuent ainsi à élargir la base de connaissances mondiale sur les organismes marins et renforcent notre compréhension des mécanismes sous-jacents à la dynamique des populations marines.

Cette étude revêt également une grande importance dans le domaine de l'aquaculture. Les simulations de température nous ont montré qu'en augmentant la température, on peut obtenir des résultats plus rapidement et produire davantage d'espèces en moins de temps, mais avec une alimentation constante. L'alimentation de l'espèce joue également un rôle essentiel pour obtenir

des individus plus gros et augmenter la longévité de l'espèce.

La méthode que nous utilisons nous a permis de mieux comprendre l'impact profond du changement climatique sur nos écosystèmes. Lorsque la température augmente dans un écosystème donné, les conséquences peuvent être graves pour la vie sauvage qui en dépend. Une température élevée peut affecter la physiologie et la biologie de l'espèce, réduisant souvent sa longévité. Ceci, à son tour, perturbe l'équilibre délicat des chaînes alimentaires existantes.

L'utilisation du modèle DEB offre une approche robuste pour estimer les paramètres de croissance de l'espèce. Il permet aux chercheurs et aux gestionnaires de mieux comprendre comment les organismes réagissent aux changements environnementaux et comment les populations évoluent au fil du temps, ce qui est essentiel pour la gestion durable des ressources naturelles et la conservation de la biodiversité.

Le modèle DEB se distingue nettement de celle des modèles classiques dans le domaine de la modélisation biologique. Alors que les modèles classiques tendent à être empiriques, basés sur des données observées et des relations statistiques, le modèle DEB adopte une approche mécaniste et biophysique. Cette différence fondamentale réside dans la manière dont ces modèles abordent la description des processus biologiques.

Toutefois, il reste des questions en suspens, notamment la variabilité de la croissance individuelle, qui pourrait avoir une composante génétique. Des travaux futurs pourraient être entrepris pour approfondir ces aspects et contribuer davantage à notre compréhension de l'écologie de *C. ligatula* et d'autres espèces marines similaires. En finalité, cette étude a ouvert de nouvelles perspectives passionnantes pour la recherche en écologie marine et la conservation des ressources marines.

# **Annexes**

## Annexe I : compléments d'information

**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
$W_\infty$	Ultime masse humide	Sns 1.2.3, 3.2.1 ; Eq. 3.2
$\dot{R}_\infty$	Ultime taux de reproduction	Eq. 2.58
$\dot{V}_\infty$	La conductance énergétique	
$\kappa$	Fraction d'allocation en soma	Pseudo-données : ce sont des estimations a priori des paramètres et pourraient être nécessaires pour éviter le sur-ajustement
$\kappa_R$	Efficacité de la reproduction	
$[\dot{P}_M]$	Taux de maintenance somatique spécifique au volume	
$\{\dot{P}_T\}$	Taux de maintenance somatique spécifique à la zone	
$\kappa_j$	Coefficient du taux de maintien de la maturité	
$\kappa_G$	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
$\dot{J}_0, W_w$	Consommation d'oxygène par rapport à la masse humide	Sn 4.4
$\dot{R}, L_w$	Taux de reproduction en fonction de la longueur physique	Eqs. 2.56, 2.57

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

**Tableau 2.** Noms scientifiques et nom communs des espèces de l'ordre pleuronectiforme

Symbole	Nom scientifique	Nom commun
<i>C. linguatula</i>	<i>Citharus linguatula</i>	Limande
<i>B. podas</i>	<i>Bothus podas</i>	Rombou
<i>P. lascaris</i>	<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pole
<i>A. laterna</i>	<i>Arnoglossus laterna</i>	<u>Rombu bartardu</u>
<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
<i>S. solea</i>	<i>Solea solea</i>	Sole commune
<i>S. senegalensis</i>	<i>Solea senegalensis</i>	Sole du Sénégal
<i>B. luteum</i>	<i>Buglossidium luteum</i>	La <u>Solenette</u>
<i>L. whiffiagonis</i>	<i>Lepidorhombus whiffiagonis</i>	La <u>Cardine franche</u>



**Add-my-Pet**  
Certificate  
Of Publication

This is to certify that

**Dr Boufersaoui Samira**

With collaboration of

**Bas Kooijman, Bellili Nour El Houda and Seghier Mouhamed Aimen**

Published

a new and extra data on 2023/05/30 about *Citharus linguatula* (Spotted flounder)

Web link : <https://urlr.me/rVwLh>

DEB Lab

*Bas Kooijman*

The graphic features a central text area with a red and grey border. On the left, there is a circular diagram showing a fish-like organism with green spots and a yellow arrow pointing to a smaller version of itself. On the right, there is an illustration of a fish's internal organs, including the heart and stomach. At the bottom, there is a row of small illustrations showing the development of a fish from an egg to a larva. A blue signature is written on the right side of the graphic.

### Introduction

Dans le contexte actuel de conservation de la biodiversité, la gestion à long terme des espèces aquacoles et marines de manière durable est devenue une priorité essentielle. Dans cette optique, la création d'une application de simulation des paramètres environnementaux spécifiques à ces espèces représente une avancée significative pour les professionnels de l'aquaculture et de la recherche marine.

L'objectif principal de notre projet est de développer une application innovante qui permettra de simuler avec précision les conditions environnementales dans lesquelles les espèces aquacoles et marines évoluent. Cette simulation virtuelle offrira aux utilisateurs un outil puissant pour étudier et comprendre les effets de différents paramètres environnementaux tels que la température, la salinité, le pH de l'eau, l'oxygène dissous, les nutriments et d'autres facteurs influençant la croissance et le bien-être des espèces aquatiques.

Grâce à cette application, les aquaculteurs, les biologistes marins, les chercheurs et les étudiants pourront explorer et expérimenter divers scénarios en modifiant les paramètres environnementaux de manière contrôlée. Ils auront la possibilité de tester différentes configurations, d'observer les réponses des espèces aquatiques à ces changements et de prendre des décisions éclairées pour l'optimisation des pratiques aquacoles et la préservation des écosystèmes marins.

#### 1. Activité principale

L'activité principale de l'application SICRAM réside dans la simulation des paramètres environnementaux liés aux espèces aquacoles et marines. Cette application offre une plateforme robuste et spécialisée permettant de modéliser et de comprendre les divers facteurs environnementaux qui influencent sur ces espèces. Grâce à ses fonctionnalités avancées, SICRAM offre des outils précieux pour anticiper et évaluer les conditions environnementales dans lesquelles évoluent ces organismes, ce qui s'avère crucial pour la prise de décisions éclairées en matière de gestion et de préservation des ressources aquatiques. En facilitant la simulation de ces paramètres environnementaux, SICRAM représente ainsi un atout précieux dans le domaine de l'aquaculture et de l'étude des espèces marines.

#### 2. Partenaires clés

Les partenaires clés de l'application SICRAM jouent un rôle essentiel dans son développement, son fonctionnement et son succès. Les centres de recherche, tels que le CNRDPA (Le Centre National de Recherche et de Développement de la pêche et de l'aquaculture), apportent des données cruciales pour affiner le modèle de simulation et améliorer la précision des résultats. Le Ministère de la Pêche, en tant qu'acteur gouvernemental, contribue à l'élaboration de politiques et de réglementations basées sur les résultats obtenus par SICRAM, ce qui favorise une gestion

durable des ressources marines. Les fournisseurs d'hébergement web garantissent que SICRAM fonctionne de manière fluide et sécurisée en ligne. Enfin, les communautés scientifiques bénéficient des informations précieuses générées par SICRAM pour leurs propres recherches et travaux, renforçant ainsi la collaboration et l'avancement des connaissances dans le domaine de la gestion des espèces aquacoles et marines. En somme, ces partenaires sont des maillons essentiels dans l'écosystème de SICRAM, contribuant à son efficacité et à son impact positif.

### 3. Valeur ajoutée :

La valeur ajoutée de ce projet réside dans plusieurs aspects clés :

- **Utilité pour les acteurs du secteur de la pêche :** l'application SICRAM sera d'une grande utilité pour les acteurs du secteur de la pêche, tels que le ministère, les chambres de la pêche, les directions et antennes de pêche, ainsi que les bureaux d'études et les structures de recherche. Elle fournira un outil précieux pour analyser les conséquences de différents scénarios de gestion et prendre des décisions éclairées pour l'exploitation durable des stocks de poissons.
- **Utilité pour les acteurs du secteur de l'aquaculture :** SICRAM présente une utilité inestimable pour les aquacoles en leur permettant de modéliser et de contrôler précisément les conditions environnementales dans lesquelles évoluent leurs espèces aquatiques. Grâce à cette simulation avancée, les aquacoles peuvent optimiser les paramètres tels que la température et la salinité pour favoriser une meilleure croissance de leurs poissons ou organismes marins. Cette approche permet non seulement d'augmenter la productivité et la qualité des produits aquacoles, mais aussi de réduire les coûts et les risques liés aux variations environnementales. De plus, SICRAM offre une plateforme pour la recherche, la formation et le développement de pratiques d'élevage durables, renforçant ainsi la durabilité et la rentabilité de l'industrie aquacole.
- **Accessibilité à l'échelle nationale et internationale :** l'application SICRAM sera accessible aux scientifiques du monde entier via un abonnement pour pouvoir utiliser entièrement l'application, permettant ainsi une utilisation internationale. Cela favorisera la collaboration et l'échange d'informations entre les chercheurs, renforçant ainsi les connaissances et les pratiques en matière de gestion des ressources marines.
- **Laboratoire virtuel pour des expériences impossibles en réalité :** SICRAM servira de laboratoire virtuel, permettant aux utilisateurs de réaliser des expériences impossibles à réaliser dans le monde réel. Les différents scénarios de gestion pourront être testés pour évaluer les effets à court et long terme de ces paramètres sur la production future des stocks. Cela offrira une meilleure compréhension des dynamiques des populations de poissons et des interactions entre les mesures de gestion et les résultats obtenus.

En résumé, l'application SICRAM apporte une valeur ajoutée considérable en offrant un outil puissant et accessible pour l'analyse des paramètres environnementaux des espèces aquacoles et marines. Elle facilitera la prise de décisions éclairées, favorisera la collaboration internationale et contribuera à une gestion plus durable des ressources marines.

#### **4. Relations clients**

Dans le cadre de notre application SICRAM, nous proposons plusieurs relations clients afin de répondre aux besoins et aux préférences des utilisateurs. Voici les relations clients que nous proposons :

- **Version pour étudiants**

Nous offrons une version pour étudiants avantageux pour ce qui souhaitent utiliser notre application. Pour un prix avantageux de **9 500 DA** par ans. Cette offre spéciale permet aux étudiants d'accéder à toutes les fonctionnalités de SICRAM à un prix réduit, facilitant ainsi leur participation à des projets de recherche ou à des études dans le domaine de la gestion des ressources marines.

- **Version essai**

Nous proposons une période d'essai gratuite pour un mois qui permette aux nouveaux utilisateurs de découvrir les fonctionnalités de base de l'application. Cette période d'essai leur donne l'occasion de se familiariser avec l'interface, d'explorer les différentes options et de déterminer si SICRAM répond à leurs besoins spécifiques avant de s'engager dans un abonnement payant.

- **Version professionnelle**

L'offre que nous proposons est une solution complète conçue spécialement pour les entreprises, les organisations et les chercheurs engagés dans des activités scientifiques. Pour un prix avantageux de **49 000 DA** par ans, nos clients auront un accès illimité à toutes les options et fonctionnalités de notre service pendant cette période. Cela signifie qu'ils pourront exploiter pleinement nos outils et nos ressources, sans aucune restriction, pour atteindre leurs objectifs professionnels et scientifiques.

- **Accès expertise**

L'accès à des outils spécialisés constitue un élément essentiel pour mener à bien une étude complète sur une espèce donnée. Pour un prix avantageux de **250 000 DA** par espèce. Dans ce processus, le client bénéficie de l'expertise d'un professionnel qui élimine l'étape fastidieuse de remplissage des données d'entrée, ce qui permet d'économiser du temps et des ressources.

#### **5. Canaux de distribution**

Le projet SICRAM bénéficiera d'une large diffusion grâce à divers canaux de distribution stratégiques. Voici les canaux de distribution clés que nous prévoyons d'utiliser :

- **Internet et le web**

Notre application sera disponible en ligne, permettant aux utilisateurs d'y accéder facilement via Internet. Cela permettra une distribution de SICRAM, offrant une accessibilité maximale aux utilisateurs du monde entier.

- **Promotion et marketing en ligne**

Nous mettrons en œuvre des stratégies de promotion et de marketing en ligne pour accroître la visibilité de SICRAM. Cela comprendra des campagnes publicitaires ciblées, l'utilisation des médias sociaux, des blogs, des vidéos et d'autres formes de contenu en ligne pour informer et attirer les utilisateurs potentiels.

Nous prévoyons d'organiser des webconférences et des événements liés à SICRAM. Ces conférences seront des opportunités pour présenter notre application à un public ciblé composé de professionnels de l'aquaculture, de la recherche marine et de l'industrie connexe. Ces événements nous permettront de mettre en valeur les fonctionnalités et les avantages de SICRAM.

- **Intégration avec d'autres applications ou services**

Nous chercherons à établir des partenariats et des intégrations avec d'autres applications ou services complémentaires. Par exemple, SICRAM pourrait être intégré à des logiciels de gestion de l'aquaculture existants ou à des plateformes de suivi des données environnementales. Cette intégration renforcera la valeur de SICRAM en offrant une expérience plus complète et interconnectée pour les utilisateurs.

- **Partenariats et alliances stratégiques**

Nous explorerons des opportunités de partenariats et d'alliances stratégiques avec des acteurs clés de l'industrie aquacole et de la recherche marine. Cela pourrait inclure des collaborations avec des universités, des instituts de recherche, des organisations gouvernementales et des entreprises spécialisées. Ces partenariats permettront d'accroître la visibilité de SICRAM, d'élargir notre base d'utilisateurs et de bénéficier de synergies mutuelles dans le domaine de la gestion des ressources marines. En utilisant ces différents canaux de distribution, nous visons à atteindre un large public d'utilisateurs intéressés par la gestion des espèces aquacoles et marines. Nous nous efforcerons de rendre SICRAM facilement accessible, largement promu et intégré dans l'écosystème numérique pertinent, tout en établissant des partenariats stratégiques pour renforcer sa valeur et son impact dans le domaine de la gestion des ressources marines et aquacoles.

## **6. Revenus**

Les revenus de l'application SICRAM proviennent principalement de deux sources principales. Tout d'abord, l'achat de l'accès à l'application constitue une source de revenus significative. Les utilisateurs intéressés peuvent souscrire à des abonnements ou des licences pour bénéficier de l'accès complet à toutes les fonctionnalités et données offertes par SICRAM.

Ensuite, la vente de l'expertise et des résultats générés par l'application constitue une autre source de revenus. Les utilisateurs, qu'ils soient des institutions de recherche, des organismes gouvernementaux ou des entreprises, peuvent obtenir des analyses spécialisées et des rapports détaillés basés sur les simulations et les modélisations effectuées par SICRAM. Cette expertise

permet aux utilisateurs de prendre des décisions éclairées en matière de gestion des espèces aquacoles et marines. En combinant ces deux sources de revenus, SICRAM établit un modèle économique durable qui lui permet de continuer à fournir des services de qualité et à développer ses fonctionnalités pour répondre aux besoins croissants de sa clientèle.

## **7. Méthodologie :**

La méthodologie pour le développement de l'application web SICRAM repose sur les étapes suivantes :

- **Organisation et traitement des données existantes**

Dans cette première étape, nous exploiterons une vaste base de données préalablement collectée au cours de notre expérience dans le domaine de l'halieutique. Ces données constituent une ressource précieuse pour la simulation des paramètres environnementaux des espèces aquacoles et marines.

- **Récolte de données d'entrée complémentaires**

Dans certains cas, il peut être nécessaire de collecter des données supplémentaires qui ne sont pas disponibles dans notre base de données existante. Nous effectuerons des mesures sur le terrain et des analyses en laboratoire afin de recueillir des données plus spécifiques et approfondies, nécessaires à la précision de notre application.

- **Développement informatique de l'application web SICRAM**

Pour cette étape, nous collaborerons avec des startups spécialisées dans le développement informatique. Nous travaillerons en étroite collaboration avec elles, en leur fournissant les connaissances scientifiques nécessaires en halieutique. Ensemble, nous définirons les fonctionnalités de l'application et élaborerons des croquis détaillés des différentes versions de l'interface utilisateur. Nous examinerons également les workflows de l'application, tels que l'inscription des utilisateurs, la connexion, le paiement et la résiliation d'abonnement.

- **Étude de marché.**

- **Définir les fonctionnalités de l'application.**

- Faire un croquis des différentes versions de l'application web. Examinez comment ses fonctionnalités vont affecter la conception globale, annotez le croquis et décrivez comment son application devrait fonctionner.

- Identifier les différents workflows de l'application. Pour cela, les points suivants sont à considérer :

- ✓ Comment un utilisateur s'inscrit-il
- ✓ Est-ce qu'ils reçoivent un email de vérification
- ✓ Comment un utilisateur se connecte-t-il

- ✓ Comment un utilisateur change-t-il son mot de passe
- ✓ Comment un utilisateur paie-t-il pour l'application
- ✓ Comment un utilisateur peut-il résilier son abonnement ?

- **Création d'un prototype interactif**

À l'aide d'outils de prototypage tels qu'Adobe XD, Figma ou Balsamiq, nous développerons un prototype interactif de l'application web. Ce prototype nous permettra de visualiser et de tester les fonctionnalités de l'application, ainsi que de recueillir des retours d'utilisateurs précoces pour améliorer son design et son expérience utilisateur.

- **Obtenir une première validation**
- **Obtention des droits d'auteurs (copyrights)**
- **Construction de l'architecture de la base de données**

Nous concevrons l'architecture de la base de données qui servira de support à l'application SICRAM. Nous déterminerons les structures de données nécessaires pour stocker et gérer les informations requises par l'application. Nous choisirons également les meilleures options de stockage et de gestion des données, qu'il s'agisse d'un stockage sur disque ou dans la mémoire d'un serveur.

- **Développement du frontend**

Le frontend de l'application web se concentrera sur l'interface utilisateur et son interactivité. Nous utiliserons des langages de programmation tels que HTML, CSS et JavaScript pour créer une interface intuitive, attrayante et conviviale. Le frontend sera responsable de l'affichage des données et des interactions avec les utilisateurs.

- **Développement du backend**

Le backend de l'application gèrera les fonctionnalités invisibles pour les utilisateurs, telles que le stockage des données, le traitement des requêtes et la logique métier. Nous utiliserons des technologies de développement web, des serveurs et des bases de données pour construire une infrastructure solide qui garantira les performances et la stabilité de l'application.

- **Test et validation finale**

Une fois le développement terminé, nous procéderons à des tests approfondis de l'application web SICRAM. Nous effectuerons des tests fonctionnels, des tests de performance et des tests d'utilisation réelle pour garantir que l'application répond aux attentes des utilisateurs et fonctionne de manière optimale.

- **Hébergement de l'application web**

Enfin, nous hébergerons l'application sur des serveurs appropriés, permettant aux utilisateurs d'y accéder via Internet. L'hébergement garantira la disponibilité, la sécurité et la fiabilité de l'application.

**Tableau.1.** Planning des tâches du projet.

N°	Intitulé de la tâche	Date début et fin tâche	Description de la tâche
01	Préparation des données disponibles.	01/11/2023 31/12/2023	organisation des données disponibles, sur lesquelles l'application web sera programmée comme exemple d'application.
02	Préparation des données supplémentaires.	01/11/2023 01/02/2024	autres données d'entrée aux modèles seront rajoutées, tels que : la biologie des espèces choisie comme exemple. Cette partie sera la tâche des membres chercheurs.
03	Prototype mathématique	01/11/2023 31/09/2024	Préparation de l'ensemble des modèles mathématiques de façon détaillée pour qu'ils puissent être transformés en langage de programmation.
04	Définir les fonctionnalités de l'application	01/11/2023 31/12/2023	Définir comment ses fonctionnalités vont affecter la conception globale, annotez le croquis et décrire comment son application devrait fonctionner. Cette étape sera réalisée par une entreprise spécialisée dans le développement Web, elle sera supervisée en continu avec les membres chercheurs.
05	Identification des différents workflows de l'application	01/11/2023 31/12/2023	Définir comment un utilisateur s'inscrit-il pour utiliser l'application : Est-ce qu'ils reçoivent un email de vérification, comment un utilisateur se connecte-t-il, comment il change-t-il son mot de passe, comment il navigue-t-il dans l'application, comment il paie-t-il pour l'application, comment peut-il résilier son abonnement ?
06	Création d'un prototype pour l'application	01/11/2023 31/12/2023	Le prototypage permet d'aller plus loin en ajoutant un affichage interactif de notre future application. Il sera réalisé à l'aide des diagrammes Unified Modeling Language (UML).
07	Création d'un POC	01/01/2024 30/03/2024	Une preuve de concept (proof of concept, POC) ou validation de principe, ou encore démonstration de faisabilité, est une réalisation ayant pour vocation de montrer la faisabilité d'un procédé ou d'une innovation. Placée très en amont dans le processus de développement d'un produit ou d'un process nouveau, la preuve de concept peut être considérée comme une étape importante sur la voie d'un véritable prototype.
08	Obtention de la première validation et obtention des droits d'utilisations	01/11/2023 30/03/2024	Validation récursive du POC et prototype. Définition et obtentions des droits d'auteurs au niveau nationale et internationale. Cette dernière tâche sera en commun accord avec l'ensemble des membres. La gratuité d'accès sera définie pour les différentes parties du projet. Des abonnements seront aussi définis pour les autres utilisateurs à l'échelle nationale et internationale. L'entreprise chargé du

			développement information s'occupera de cette tâche de point de vue démarche auprès des institutions compétentes.
<b>09</b>	Construction de la plateforme de l'application	<b>01/05/2024</b> <b>30/07/2024</b>	Construction de la plate-forme de l'application où la plupart des composants réutilisables sont réalisées. En plus du mécanisme d'authentification et de la page principale avec le menu de navigation.
<b>10</b>	Construction du frontend 1	<b>01/08/2024</b> <b>31/10/2024</b>	L'élément visuel de l'application web. Il définit ce que on voit et avec quoi on interagit. Le frontend est développé avec Angular framework, Angular material, bootstrap, ag grids.
<b>11</b>	Construction du backend 1	<b>01/08/2024</b> <b>31/10/2024</b>	Il s'agit des bases de données, des serveurs et de tout ce que l'utilisateur ne peut pas voir dans l'application web. La construction du backend est l'une des parties les plus difficiles du développement d'une application web. .Net framework (C#) Web APIs, Microsoft SQL Server.
<b>12</b>	Construction du frontend 2	<b>01/11/2024</b> <b>31/01/2025</b>	L'élément visuel de l'application web. Il définit ce que on voit et avec quoi on interagit. Le frontend est développé avec Angular framework, Angular material, bootstrap, ag grids.
<b>13</b>	Construction du backend 2	<b>01/11/2024</b> <b>31/01/2025</b>	Il s'agit des bases de données, des serveurs et de tout ce que l'utilisateur ne peut pas voir dans l'application web. La construction du backend est l'une des parties les plus difficiles du développement d'une application web. .Net framework (C#) Web APIs, Microsoft SQL Server.
<b>14</b>	Construction du frontend 3	<b>01/02/2025</b> <b>30/04/2025</b>	L'élément visuel de l'application web. Il définit ce que on voit et avec quoi on interagit. Le frontend est développé avec Angular framework, Angular material, bootstrap, ag grids.
<b>15</b>	Construction du backend 3	<b>01/02/2025</b> <b>30/04/2025</b>	Il s'agit des bases de données, des serveurs et de tout ce que l'utilisateur ne peut pas voir dans l'application web. La construction du backend est l'une des parties les plus difficiles du développement d'une application web. .Net framework (C#) Web APIs, Microsoft SQL Server.
<b>16</b>	Test et validation de l'application	<b>01/05/2025</b> <b>30/06/2025</b>	Le test d'applications web est une pratique de test de logiciels visant à détecter d'éventuels bugs. Il s'agit d'un test complet de l'application web avant sa mise en ligne. Un système basé sur le web doit être entièrement testé de bout en bout avant d'être mis à la disposition des utilisateurs finaux. Cette étape sera réalisée par une entreprise spécialisée dans le développement Web.
<b>17</b>	Hébergement et livraison de l'application	<b>01/07/2025</b> <b>31/08/2025</b>	Cette dernière étape implique l'exécution de l'application web sur un serveur particulier. Cette étape sera réalisée par une entreprise spécialisée dans le développement Web, elle sera discutée avec les membres du projet pour définir la meilleure manière de point de vue technique pour le choix du serveur. La livraison sera sous format d'une application web exécutable sur pc, tablette et téléphone.

## 8. Coûts

**Tableau 2.** Coût essentielle pour le début de projet

Intitulés des postes de dépenses	Montant en DA
<b>Coût fixes</b>	
Banner	55 000
Carte visite	5 000
Publicité sur les sites web	40 000
<b>Total</b>	<b>100 000</b>
<b>Coût variable</b>	
Prestation (acquisitions des données d'entrée lecture d'âge, fécondité)	200 000
Logiciel matlab	31 500
Logiciel Microsofte office	10 000
<b>Total</b>	<b>241 500</b>
<b>Coût d'investissements</b>	
PC puissant	100 000
Lig/Tel	2 4000
Développements d'application	750 000
Echantionnage modèle (15kg de <i>citharus linguatula</i> dont le kilo coute 600 DA)	9500
Produit chimique (GILSON/Eau distillée)	20 000
<b>Total</b>	<b>903 500</b>
<b>BUDGET TOTAL DU PROJET</b>	<b>1 24 5000</b>

**Tableau 3. Business Model Canvas de l'application « SICRAM**

<p><b>Partenaires clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les centres de recherches (CNRDPA)</li> <li>- Ministère de la pêche</li> <li>- Designers graphiques</li> <li>- Développeurs web</li> <li>- Fournisseurs d'hébergements web</li> <li>- Communautés scientifiques</li> <li>- L'ANADE</li> </ul>	<p><b>Activité principale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulation de l'effet de l'enivrement sur les espèces aquacoles et marines</li> </ul>	<p><b>Valeur ajoutée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulation de scénarios de gestion</li> <li>- Automatisations des tâches</li> <li>- Accessibilité à l'échelle nationale et internationale</li> <li>- Affichage des résultats intermédiaires</li> <li>- Laboratoire virtuel pour des expériences impossibles en réalité</li> </ul>	<p><b>Relation clients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Version pour étudiant</li> <li>- Version essaie</li> <li>- Version professionnelle</li> <li>- Accès expertise</li> </ul>	<p><b>Clients</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chercheurs et scientifiques</li> <li>- Etablissements d'enseignements supérieur.</li> <li>- Les fermes aquacoles</li> <li>- Ministère de la pêche</li> <li>- Centres de recherche maritimes</li> <li>- Organisations Environnementales et conservation marine</li> </ul>
<p><b>Coûts</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Marketing</li> <li>- Echantillonnage modèle et son traitement</li> <li>- Hébergement web</li> <li>- Prestation (lecture d'âge, fécondité)</li> <li>- Développement de l'application</li> </ul> <p><b>Budget total = 1 24 5000 DA</b></p>	<p><b>Ressources clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériel bureautique</li> <li>- Matériel informatique</li> <li>- Environnements de développement intégré</li> </ul>		<p><b>Canaux de distribution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Internet et le web</li> <li>- Promotion et marketing en ligne</li> <li>- Intégration avec d'autre application ou services</li> <li>- Partenariats et alliances stratégiques.</li> </ul>	
			<p><b>Revenus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Accès payants à l'application</li> <li>- Expertises payantes</li> </ul>	

## Références bibliographiques

- 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*, (Horssérie 9).
- AUGUSTINE, S. ET AL. (2011)** « Developmental energetics of zebrafish, *Danio rerio* », *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 159(3), p.p. 275-283.
- BACHARI, N. E. I. 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. doi: 10.5150/cmcm.2011.071.
- BARTELL, D., SMITH, J. (2005).** GIS for Coastal Zone Management. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press LLC.
- 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 ».
- BILENCENOGLU, M., TASKAVAK, ET AL. (2002).** Checklist of the marine fishes of Turkey. *Zootaxa* 113.
- BOONSTRA, S., BIJLVEN ET AL. (2018).** Hemagglutinin-Mediated Membrane Fusion: A Biophysical Perspective. *Annu Rev Biophys.*
- BOUFERSAOUI, S. (2012).** Contribution à l'étude du Sparidé *Pagellus acarne* (Risso, 1826) dans la région d'Alger: la structure des peuplements associés, les indices de reproduction, la croissance et l'exploitation. *Halieutique*. Alger, ENSSMAL.
- BOULAHIDID, M., EDDALIA, N., ET AL. (2003).** Les eaux de la baie d'Alger. *Annales de l'Institut National Agronomique - HHarrach - Vol.24, N°1, ISMAL • Sidi Fredj/Plage Ouest*. Alger.
- CARPENTERI, P., CANTARELL, T., ET AL. (2010).** Feeding behaviour and daily ration of the spotted flounder *Citharus linguatula* (Osteichthyes: Pleuronectiformes) in the central Tyrrhenian Sea. *Scientia Marina*.
- CENGIZ, Ö., ISMEN, A., ET AL. (2014).** Reproductive biology of the spotted flounder, *citharus linguatula* (actinopterygii : pleuronectiformes : citharidae), from saros bay (northern aegean sea, turkey). *Acta ichthyologica et piscatoria*.
- CHEMROUK, O. ET CHABBI, N. (2016)** « Vulnerability of Algiers Waterfront and the New Urban Development Scheme », *Procedia Engineering*, 161, p.p. 1417-1422.
- FISCHER, W. BAUCHOT, M. ET AL. (1987).** Fiches d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et mer noire (Révision I. Zone de pêche. 37). FAO (ed), *Vertébrés, Volume II* : p.p. 761-1530.
- FROES, R. ET D. PAULY. (2023).** FishBase. *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758).
- FRY, D. W. ET AL. (1947)** « Travelling-wave linear accelerator for electrons », *Nature*,

160(4063), p.p. 351-353.

**HEMIDA, F. (2005)** « Les séliaciens 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 Boumediene of Algiers, Algeria, P.P.272.

**HANSEN, C., LUNDH, A., ET AL. (2019).** Financial conflicts of interest in systematic reviews: associations with results, conclusions, and methodological quality. *Cochrane Database Syst Rev.*

**HUEY, R. B., KINGSOLVER, J. G. (1989)** « Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance », *Trends in ecology & evolution*, 4(5), p.p. 131-135.

**JAAP VAN, D. (2006).** An introduction to Dynamic Energy Budget (DEB) models with special

**JUSUP, M. ET AL. (2011)** « A Full Lifecycle Bioenergetic Model for Bluefin Tuna », *PLOS ONE*, 6(7), p. 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0021903.  
emphasis on parameter estimation. *Journal of Sea Research* 56 (2006) p.p. 85 – 102.

**KOOIJMAN, S. (2000).** *Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems.* Cambridge London, University Press.

**KOOIJMAN, B. (2012).** *Dynamic Energy Budget Theory for Metabolic Organisation.* Cambridge London, University Press.

**KOOIJMAN, S., LIKA, K., ET AL. (2014).** Metabolic acceleration in Mediterranean Perciformes. *Journal of Sea Research.*

**KERBACHE, B., LAHAT, N. (2015).** Age, croissance et évaluation du stock de *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758) de la région centre algérienne. *Halieutique. Alger, ENSSMAL.*

**LALAMI-TALEB (1970).** Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Université d'Alger.

**LECLAIRE, L. ET AL (1972)** « LA SEDIMENTATION HOLOCENE SUR LE VERSANT MERIDIONAL DU BASSIN ALGERO-BALEARES. (PRECONTINENT ALGERIEN) ».

**LIKA, K., ET KOIJMAN, S. (2014).** Resource allocation to reproduction in animals. *Biological Reviews*, 89(4),p.p. 783-810.

**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.*

**MARINARO, J.Y. (1968).** Contribution a l'etude des oeufs et larves pelagiques de poissons mediterraneens. 4. Les Premiers stades de developpement de *Helicolenus dactylopterus* Delaroché. *Pelagos* 10: p.p. 133-137.

**MERADEF, B., ET SAMER, A. (2021).** 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. ENSSMAL,Alger.

**METZ, J., ET DIEKMAAN, O. (1986).** The Dynamics of Physiologically Structured

Populations. Lecture Notes in Biomathematics. Berlin: Springer-Verlag.

**MOUTOPOULOS, D.K., RAMFOS, A. ET AL. (2013).** Length-weight relations of 34 fish species caught by small-scale fishery in Korinthiakos Gulf (Central Greece). *Acta Ichthyol. Piscat.* 43(1) : p.p. 57-64.

**NISBET, R., JUSUP, M., ET AL. (2012).** Integrating dynamic energy budget (DEB) theory with traditional bioenergetic models. *Journal of experimental biology*.

**NISBET, R., MULLER, E., ET AL. (2000).** From molecules to ecosystems through dynamic energy budget models. *Contribution to Journal*.

**OTMANI, H., BELKESSA, R., ET AL. (2020).** Assessment of shoreline dynamics on the Eastern Coast of Algiers (Algeria): a spatiotemporal analysis using in situ measurements and geospatial tools. *Arabian Journal of Geosciences* (2020) p.p. 13:124.

**PESCUERIE, L. (2007).** Modélisation bioénergétique de la croissance, du développement et de la reproduction d'un petit pélagique : l'anchois du golfe de Gascogne.

**REDON, M., MORTE, M., ET AL. (1994).** Feeding habits of the spotted flounder *Citharus linguatula* off the eastern coast of Spain. *Marine Biology* volume.

**RODRIGEZ, G., ESTEBAN. (2000).** Contribution to the knowledge of *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758) (Osteichthyes: Heterosomata) in the Iberian Mediterranean. *Demersal Res. Medit. Actes Coll. IFREMER*.

**Rosland, R., Strand, Ø., ET AL. (2009).** Applying Dynamic Energy Budget (DEB) theory to simulate growth and bio-energetics of blue mussels under low seston conditions. *Journal of Sea Research*.

**ROMERO, P., (2002).** An etymological dictionary of taxonomy. Madrid, unpublished  
**SABATES, A. (1988).** Larval development and spawning of *Citharus linguatula* (Linnaeus, 1758) in the western Mediterranean. *Journal of Plankton Research* Vol.10 no.6.

**SARAICA, S., VAN DER MEER, J., ET AL. (2011).** DEB parameters estimation for *Mytilus edulis*. *Journal of Sea Research*.

**SARTOR, P., SEBRANA, M., ET AL. (2002).** Distribution and abundance of *Citharus linguatula*, *Lepidorhombus boscii*, and *Solea vulgaris* (Osteichthyes: Pleuronectiformes) in the Mediterranean Sea\*. *Scientia Marina*.

**STAVARKIDIS, Z., NIKOS, P., ET AL. (2020).** A DEB model for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): 1 parameterisation and application in aquaculture. *Journal of Sea Research*.

**Vassiloupoulou, V., Papaconstantinou, C. (1992).** Age, growth and mortality of the red porgy, *Pagrus pagrus*, in the eastern Mediterranean Sea (Dodecanese, Greece). *Vie Milieu* 42(1) : p.p. 51-55.

**VEER, VAN DER, ET AL. (2006)** « The estimation of DEB parameters for various Northeast Atlantic bivalve species », *Journal of Sea Research*, 56(2), p.p. 107-124.

**YAKHLAF, A. (2013).** L'état de la mise en œuvre de la loi 02-02 du 5 février 2002 de la protection et la valorisation de littoral dans la wilaya de Skikda. *Aménagement de littoral*. Skikda.

**Résumé.** Dans cette étude, nous avons élaboré un modèle de simulation fondé sur la théorie du bilan énergétique dynamique (DEB) afin d'évaluer la croissance et le potentiel de reproduction de la plie tachetée, *Citharus linguatula*, en fonction de diverses conditions environnementales, notamment la température et la disponibilité en nourriture. Nous avons calculé des paramètres bioénergétiques spécifiques pour cette espèce, notamment le coefficient de forme  $\delta M$  (0.179), le coût d'entretien somatique ( $21.63 \text{ J.cm}^{-3}$ ), et la fraction d'énergie consacrée à la maintenance somatique  $\kappa$  (0.7).

Nos résultats ont démontré de solides concordances entre les valeurs prédites par le modèle DEB et les données empiriques, ce qui témoigne de l'efficacité du modèle dans la reproduction du poids et de la longueur de l'espèce. Plus précisément, nous avons constaté que la croissance des individus de *C. linguatula* est sensiblement influencée par les variations de température et de disponibilité en nourriture. Cependant, il est important de noter que la taille asymptotique demeure constante.

En outre, nos résultats indiquent que le potentiel de reproduction de *C. linguatula* pourrait augmenter en réponse à des températures plus élevées et à une plus grande abondance de nourriture. Ces conclusions enrichissent notre compréhension de l'application des modèles DEB pour anticiper le potentiel reproductif de cette espèce. Cette approche novatrice offre des perspectives prometteuses pour des applications plus étendues dans le domaine de la gestion et de la conservation des ressources marines.

**Mots clés :** Budget énergétique dynamique, plie tachetée, croissance, reproduction, bilan bioénergétique.

**Abstract.** In this study, we developed a simulation model based on the Dynamic Energy Budget (DEB) theory to assess the growth and reproductive potential of the spotted flounder, *Citharus linguatula*, in relation to various environmental conditions, including temperature and food availability. We calculated specific bioenergetic parameters for this species, including the shape coefficient  $\delta M$  (0.179), somatic maintenance cost ( $21.63 \text{ J.cm}^{-3}$ ), and the fraction of energy allocated to somatic maintenance  $\kappa$  (0.7). Our results demonstrated strong agreements between the values predicted by the DEB model and empirical data, attesting to the model's effectiveness in reproducing the weight and length of the species. Specifically, we found that the growth of *C. linguatula* individuals is significantly influenced by variations in temperature and food availability. However, it is important to note that the asymptotic size remains constant.

Furthermore, our findings suggest that the reproductive potential of *C. linguatula* could increase in response to higher temperatures and greater food abundance. These conclusions enhance our understanding of the application of DEB models to anticipate the reproductive potential of this species. This innovative approach holds promising prospects for broader applications in the field of marine resource management and conservation.

**Key words:** Dynamic Energy Budget, spotted flounder, growth, reproduction, bioenergetic model.

**المخلص.** في الدراسة الحالية، قمنا ببناء نموذج محاكاة يعتمد على نظرية ميزانية الطاقة الديناميكية (DEB) لتقييم النمو والمكاثات الإنجابية لسلمكة القدر المنقطة *linguatula* تحت ظروف بيئية متنوعة، بما في ذلك درجة الحرارة وتوافر الغذاء. تم العثور على معاملات الطاقة الحيوية لأنواع مثل معامل الشكل  $\delta M$  (0.179)، وتكلفة الصيانة الجسدية ( $21.63 \text{ Jcm}^{-3}$ ) وجزء الطاقة المعبأة إلى سوما  $\kappa$  (0.7). أظهرت نتائجنا اتفاقات قوية بين النظرية والملاحظات، وينجح نموذج DEB في إعادة إنتاج الوزن والطول بنجاح. أظهرت النتائج أنه، يتأثر نمو أفراد *C. linguatula* بالتغيرات في درجات الحرارة وتوافر الغذاء، بينما يظل حجمها المقارب دائماً كما هو. علاوة على ذلك، تشير نتائجنا إلى أن إمكانية التكاثر يمكن أن تزيد في استجابة لزيادة درجة الحرارة وزيادة توافر الغذاء. هذه الاستنتاجات تعزز فهمنا لتطبيق نماذج ميزان الطاقة الدينامي لتوقع إمكانية التكاثر لهذا النوع. هذا النهج المبتكر يحمل آفاقاً واعدة لتطبيقات أوسع في مجال إدارة الموارد البحرية والحفاظ على البيئة البحرية.

**الكلمات الأساسية:** ميزانية الطاقة الديناميكية، النمو، القدر المنقطة.