

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Formulaire demande de financement : ARED - ISblue - ETABLISSEMENTS - ...

*pour dépôt sur le serveur <https://theses.u-bretagneoire.fr/sml> au format PDF**NB : ce dossier ne vous dispense pas de déposer en parallèle votre dossier à la Région***Identification du projet****Acronyme du projet** (8 caractères *maximum*) : DIVPEL**Intitulé du projet en langue française** : Diversité écologique au sein des communautés de petits poissons pélagiques des systèmes d'upwelling de bord-est et dynamiques de population**Intitulé du projet en langue anglaise** : Ecological diversity within small pelagic fish communities in Eastern-boundary upwelling systems and population dynamics**Mots clés** : Petits poissons pélagiques, écosystèmes d'upwellings, modèles de cycle de vie, théorie Dynamic Energy Budget (DEB), estimation de paramètres multi-espèces, dynamiques de population, contrôle bottom-up**Mots-clés en langue anglaise** : Small pelagic fish, upwelling ecosystem, life cycle models, Dynamic Energy Budget theory, multi-species parameter estimation, population dynamics, bottom-up control**Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)****Établissement porteur du projet** : Université de Bretagne Occidentale**Ecole Doctorale** : EDSML SPI ou MATHSTIC pour les projets ISblue **Identification du responsable du projet (futur directeur de thèse)****Nom du laboratoire d'accueil** : Laboratoire des Sciences de l'environnement marin - LEMAR**Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/IE/...)** : UMR 6539**Directeur¹ du Laboratoire** : Géraldine Sarthou**Nom de l'équipe de recherche** : DISCOVERY Ecologie marine : diversité, structure et dynamique des populations et des communautés

Nombre HDR dans le laboratoire : 51 Nombre de thèses en cours : 47 Nombre de post-docs en cours : 16

Nom et prénom du directeur* de thèse (HDR), porteur du projet : Fred JEAN- **e-mail** : fjean@univ-brest.fr- **Téléphone** : 02 98 49 86 01- **Publications récentes du directeur de thèse** (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) : **53**

- Émilien Pousse, Jonathan Flye-Sainte-Marie, Marianne Alunno-Bruscia, Hélène Hégaret, Éric Rannou, [Laure Pecquerie](#), Gonçalo M. Marques, Yoann Thomas, Justine Castrec, Caroline Fabioux, Marc Long, Malwenn Lassudrie, Ludovic Hermabessiere, Zouher Amzil, Philippe Soudant, **Fred Jean**. Modelling paralytic shellfish toxins (PST) accumulation in *Crassostrea gigas* by using Dynamic Energy Budgets (DEB). *Journal of Sea Research*, Elsevier, 2019, 143, pp.152-164.

¹ Ce formulaire est rédigé en style épïcène

- Arturo Aguirre-Velarde, Laure Pecquerie, **Fred Jean**, Gérard Thouzeau, Jonathan Flye-Sainte-Marie. Predicting the energy budget of the scallop *Argopecten purpuratus* in an oxygen-limiting environment. *Journal of Sea Research*, Elsevier, 2019, 143, pp.254-261. [10.1016/j.seares.2018.09.011](https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.09.011). [hal-02114544](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02114544)
- Romain Lavaud, Eric Rannou, Jonathan Flye-Sainte-Marie, **Fred Jean**. Reconstructing physiological history from growth, a method to invert DEB models. *Journal of Sea Research*, Elsevier, 2019, 143, pp.183-192. [10.1016/j.seares.2018.07.007](https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.07.007). [hal-02114581](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02114581)
- Romain Lavaud, Aurelie Jolivet, Eric Rannou, **Fred Jean**, Oivind Strand, et al.. What can the shell tell about the scallop? Using growth trajectories along latitudinal and bathymetric gradients to reconstruct physiological history with DEB theory. *Journal of Sea Research*, Elsevier, 2019, 143, pp.193-206. [10.1016/j.seares.2018.04.001](https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.04.001). [hal-02871386](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02871386)
- Clément Le Goff, Romain Lavaud, Philippe Cugier, **Fred Jean**, Jonathan Flye-Sainte-Marie, et al.. A coupled biophysical model for the distribution of the great scallop *Pecten maximus* in the English Channel. *Journal of Marine Systems*, Elsevier, 2017, 167, pp.55-67. [10.1016/j.jmarsys.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.10.013). [hal-01394278](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01394278)

- Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)

(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

- Babacar Sane. Financement : IRD. Soutenance prévue : novembre 2023
- Laure Régnier : ARED/France Filière Pêche. Soutenance prévue : octobre 2022
- Romina Barbosa. Financement : ARED/EDSML. Soutenance prévue : octobre 2021
- Rosa Cueto Vega. Financement péruvien. Soutenance prévue : octobre 2021
- Emilien Pousse. Financement ANR. Date de soutenance : 21/12/2017
- Nikolaos Alexandridis. Financement. Date de soutenance : 28/03/2017
- Arturo Aguirre-Velarde. Financement: Date de soutenance: 15/12/2016

Co-directeur de thèse : Laure Pecquerie (dépôt HDR prévu en 2023)

Laboratoire de recherche : UMR 6539 LEMAR

- **e-mail :** laure.pecquerie@ird.fr

- **Téléphone :** 02 90 91 55 52

- **Site web (liste publications et projets):** https://www-ium.univ-brest.fr/lemar/equipe/pecquerie_laure/

- **Expériences d'encadrement et co-encadrement de doctorants (passées et en cours)**

(nom des doctorants dirigés et en cours et antérieurement, sur les 6 années passées : sujet, financement, date de soutenance, et situation professionnelle actuelle si connue)

- Clara Menu. *Modélisation de la dynamique de population et de l'évolution des traits biologiques de l'anchois et de la sardine du Golfe de Gascogne au travers d'une approche couplée DEB-IBM*. Financement : France Filière pêche / ARED-ISblue. Ecole Doctorale : EDSML. Encadrement 25%. Soutenance prévue : octobre 2023.
- Jorge Flores. *Modélisation dynamique des effets de la variabilité environnementale sur l'abondance des populations d'anchois (*Engraulis ringens*) et de sardines (*Sardinops sagax*) dans l'écosystème d'upwelling du Humboldt*. Financement : Bourse PDI (Programme Doctoral International), Sorbonne Université. Encadrement 40%. Soutenance prévue : novembre 2022.
- Florence Mounier. *Modélisation mécaniste de la bioaccumulation de contaminants organiques (PCB et PFAS) chez les poissons dans le contexte du changement global. Application aux juvéniles de sole commune de l'estuaire de la Gironde*. Financement : Ifremer/IRSTEA. Université de Bordeaux. Encadrement 30%. Date de soutenance : 28/03/2019. Situation professionnelle : Post-Doctorat IRSTEA

Nom et prénom du co-encadrant scientifique : Gonçalo Marques, <https://orcid.org/0000-0002-1693-9042>

Laboratoire de recherche co-encadrant Environment and Energy at IST, engineering school of the University of Lisbon, Portugal and MARETEC (Marine Environment and technology center)

- **e-mail :** goncalo.marques@tecnico.ulisboa.pt

Le cas échéant, autres collaborations (co-encadrant et laboratoire concerné) :

- Marie Vagner, LEMAR, pour le lien avec la partie expérimentale du projet ISblue OMEGA sur la sardine (thèse qui a démarré en 2021)

Financement du projet de thèse

En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) : non

Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) :

Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, date prévue de réponse du cofinancier :

En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) :

Si oui, laquelle :

Sollicitez-vous un co-financement Is-Blue (y compris ARED Is-Blue) (oui/non) ? non

Important : Veillez à bien compléter les différents co financements sollicités sur le serveur Thèses en Bretagne Loire lors du dépôt de votre dossier.

Projet de thèse en cotutelle internationale

S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale dans le cadre d'une convention (oui/non) : non

Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :

Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (oui/non) : non

(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)

En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :

Préciser quel est le stade du projet international (joindre une lettre d'engagement du partenaire)

Présentation du projet (en langue française ou anglaise, 2 à 3 pages)

merci de respecter ce format maxi compatible avec extranet région

Résumé du projet (4000 caractères maxi espaces compris) :

Les communautés de petits poissons pélagiques qui composent les écosystèmes dits d'upwelling de bords-est, qui sont les écosystèmes les plus productifs au monde, ne sont que très rarement comparées. Or si l'on s'intéresse aux écosystèmes du Humboldt (Pérou), de Basse Californie (Mexique) et du Benguela (Afrique du Sud), les espèces qui les composent et qui sont les plus abondantes sont de même genre : e.g. *Sardinops spp*, *Engraulis spp.*, *Etrumeus spp.* , etc. Ces espèces sont toutes caractérisées dans ces systèmes par de fortes variations d'abondance qui sont difficiles à prédire. Caractériser les similitudes et les différences entre ces populations en terme de traits d'histoires de vie, de régime alimentaire et de stratégie de reproduction est une approche qui n'a encore jamais été réalisée à cette échelle et qui devrait permettre de révéler certains facteurs de contrôle de ces variations.

La thèse se propose ici de caractériser la diversité écologique de ces espèces dans le cadre conceptuel de la théorie DEB (Dynamic Energy Budget) et de mettre en regard diversité écologique et dynamiques observées de ces populations par le biais de modèles de population de type DEB-IBM (Individual-Based Models) forcés par des représentations simplifiées de l'environnement issues de modèles existants physique-biogéochimiques de ces systèmes. L'hypothèse testée dans ce travail de thèse sera celle de l'importance du contrôle bottom-up sur ces populations via une approche de modélisation mécaniste de l'individu et de la population. Ces travaux fourniront également une base de travail pour le développement de modèles à l'échelle de la communauté.

Les données utilisées seront les données de suivi de croissance, de reproduction et de contenu énergétique des instituts des pêches partenaires du projet OMEGA, financé par l'EUR ISblue, sur les « Effets de la diminution de la disponibilité trophique en OMEGA 3 sur les populations mondiales de petits pélagiques et les populations humaines ». Les différences de contenus en omega 3 entre populations qui seront établis au cours du projet seront également prises en compte dans l'approche de modélisation de type DEB. L'expérimentation sur les effets d'une carence en omega 3 sur la sardine (*Sardina pilchardus*) menée dans le cadre de ce projet fournira également des données de calibration pour les modèles DEB.

Les objectifs de la thèse seront les suivants : i) caractériser la diversité écologique de ces espèces en terme de croissance, de développement, de contenu énergétique et de stratégie de reproduction, ii) développer une nouvelle méthode d'estimation multi-espèce des paramètres d'un modèle DEB appliqué aux petits pélagiques, s'appuyant sur la distance phylogénétique entre espèces et iii) tester la sensibilité de modèles de population de type DEB-IBM aux différents jeux de paramètres estimés. Les réponses obtenues des différents modèles de populations permettront de formuler des hypothèses sur les facteurs de contrôle spécifiques de chaque communauté de petits pélagiques.

Présentation détaillée du projet :

1 - Hypothèse et questions posées, état de l'art, identification des points de blocages scientifiques (4000 caractères maxi espaces compris)

Les populations de petits poissons pélagiques représentent plus de 20% des captures mondiales. Ces populations sont particulièrement abondantes dans les systèmes d'upwellings de bord-est (Canaries, Benguela, Californie, Humboldt). Elles sont un maillon essentiel entre les bas niveaux trophiques (phyto et zooplancton) et les niveaux trophiques supérieurs (poissons prédateurs, oiseaux et mammifères marins). L'hypothèse principale sous-jacente aux fortes variations des captures commerciales de ces petits pélagiques est un contrôle dit bottom-up (forcé par le climat) des conditions environnementales rencontrées par ces populations, le contrôle top-down par les prédateurs

et la pêche de ces espèces jouant un rôle secondaire. Etant donnée l'importance écologique et économique de ces populations, élucider les possibles réponses en terme d'abondance et de distribution de ces populations au changement climatique est de première importance.

Les dynamiques de population des petits poissons pélagiques font l'objet de nombreuses études or ces dynamiques restent difficiles à prédire. La thèse se propose donc de changer d'échelle et de comparer dans un même cadre conceptuel et quantitatif les quatre systèmes les plus productif au monde, le Courant des Canaries, du Benguela, de Californie et du Humboldt) sur un nombre limité de traits individuels et populationnels.

L'approche considérée est l'approche de modélisation de type DEB (Dynamic Energy Budget), qui permet de représenter le cycle de vie complet d'un individu en fonction de la température et de la nourriture rencontré par cet individu et de prédire les traits d'histoire de vie (croissance, développement, reproduction) d'un individu, ces traits de vie étant eux-mêmes déterminants pour la dynamique d'une population. Actuellement, de nombreux travaux s'appuient sur cette théorie pour la modélisation du cycle de vie de petits pélagiques, Mais même si la théorie est la même, un modèle est associé à une question particulière et il peut en résulter des modèles et jeux de paramètres différents pour la même espèce. De plus, l'estimation des paramètres de modèles DEB est particulièrement sensible à l'évaluation de l'investissement reproducteur d'un individu. Or cette information est particulièrement difficile d'accès pour les petits poissons pélagiques qui ont des fécondités dites indéterminées avec vitellogénèse *de novo* (nombre d'ovocytes recrutés pour la ponte dépend des conditions rencontrées par l'individu tout au long de la saison de reproduction). Comparer la même espèce dans des habitats différents ou des espèces proches dans le même système est une approche qui apparaît prometteuse pour limiter l'incertitude autour des jeux de paramètres estimés et qui sera développé dans ce projet de thèse.

A l'instar de l'approche de modélisation de type Darwin sur les communautés de phytoplankton, l'objectif de la thèse est d'élucider les traits fonctionnels de ces populations et les caractéristiques de leur habitats qui sous-tendent les dynamiques observées au sein de la communauté de petits poissons pélagiques (dominance d'une espèce dans un système donné – e.g. l'anchois du Pérou, co-existence de plusieurs espèces avec alternance de certaines espèces, e.g. au Mexique).

2 - Approche méthodologique et techniques envisagées : (4000 caractères maxi espaces compris)

Les objectifs de la thèse en terme de modélisation sont les suivants: i) Développer un modèle générique de cycle de vie de petits pélagiques de type DEB (module de croissance et développement larvaire, module d'alimentation, module de reproduction) le plus simple possible, ii) développer une méthode d'estimation pour réduire l'incertitude autour de la valeur des paramètres des modèles de petits pélagiques, et iii) Evaluer la sensibilité d'un modèle de population à la structure du modèle individuel et au différents jeux de paramètres estimés. La réalisation de ces trois objectifs nécessitera plusieurs itérations. Si le modèle de population ne permet pas de générer des dynamiques différentes en fonction de différents scénarios environnementaux, le modèle individuel sera complexifié afin d'y rajouter de nouveaux processus

Ce projet de thèse se découpera en trois tâches distinctes:

i) Une première tâche consistera à poursuivre² la synthèse des données existantes (littérature, base de données de la FAO, Fishbase) sur les variations d'abondances des populations de petits pélagiques des systèmes d'upwelling de bord-est et sur leur diversité écologique (traits d'histoires de vie, régime alimentaire, stratégie de reproduction) afin d'alimenter la base de données AmP (https://www.bio.vu.nl/thb/deb/deblab/add_my_pet/) pour l'estimation des paramètres DEB de chacune des populations considérées.

ii) Une seconde tâche consistera à développer d'une nouvelle méthode d'estimation *multi-espèces* des paramètres de modèles de cycle de vie de petits poissons pélagiques de type DEB (Dynamic Energy Budget). Cette méthode multi-espèces sera basée sur la distance phylogénétique entre ces espèces afin de mieux contraindre le nombre de jeux de paramètres possibles qui reproduisent la diversité des traits d'histoires de vie établie dans la tâche 1 du

² Travail de synthèse initié lors de stages de M1 (2020-2021)

projet

iii) Une troisième tâche consistera à développer un modèle simple de communauté de plusieurs populations de petits pélagiques de type DEB-IBM (Individual-Based Model) permettant d'élucider la sensibilité de la réponse des populations à la structure et aux paramètres du modèle de cycle de vie de type DEB, ainsi qu'au forçage environnemental considéré.

3 - Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, national et international :

La thèse se déroulera au sein de l'équipe DISCOVERY du LEMAR pour laquelle la question de l'impact du changement climatique sur la dynamique des populations et des communautés est une question centrale. La thèse ayant pour objectif principal de contribuer à mieux comprendre la dynamique de populations qui soutiennent des pêcheries essentielles socio-économiquement pour les pays du Sud, elle participera activement aux travaux des axes transverses *LEMAR au Sud* et *Au Sud* de l'IUEM.

Au Sein d'ISblue, le projet de thèse s'appuiera sur les collaborations avec le laboratoire Ifremer STH, dont l'expertise sur les populations d'anchois et de sardine du golfe de Gascogne est reconnue. Des échanges étroits dans le cadre de la thèse de C. Menu (*Modélisation de la dynamique de population et de l'évolution des traits biologiques de l'anchois et de la sardine du Golfe de Gascogne au travers d'une approche couplée DEB-IBM, co-encadrement STH/LEMAR, projet DEFIPEL*) sont prévus. Le projet s'appuiera également sur l'expertise des chercheurs du LOPS pour la représentation de l'environnement physique et biogéochimique des systèmes d'upwellings de bord-est pour ces populations.

Au niveau international, les travaux de synthèse et d'analyses de données s'effectueront dans le cadre du Joint Working group ICES/PICES (Atlantic and Pacific International Councils for the Exploration of the Sea) on small pelagic fish qui rassemble 24 pays et 106 chercheurs experts des populations de petits pélagiques et de leur exploitation. Des données spécifiques de campagnes et d'expérimentation seront également disponibles pour le projet grâce aux collaborations établies au sein du projet ISblue OMEGA (Afrique du Sud, Sénégal, Pérou, Mexique). Enfin, les développements méthodologiques prévus au cours de la thèse, notamment sous la supervision de G. Marques qui co-encadrera la thèse, seront communiqués au sein de la communauté DEB (Symposium international qui a lieu tous les deux ans, DEB2019 ayant été organisé par le LEMAR).

4 - Contexte scientifique et partenarial : éléments généraux (ERC, CPER, FEDER, Breizhcop ...) (4000 caractères maxi espaces compris)

La thèse s'inscrit dans le cadre du projet OMEGA « Effets de la diminution de la disponibilité trophique en OMEGA 3 sur les populations mondiales de petits pélagiques et les populations humaines : Elaboration d'un cadre interdisciplinaire combinant des approches physiques, biologiques, économiques et sociologiques » qui est l'un des projets emblématiques de l'EUR ISblue (400 k€, 2021-2024) s'appuyant sur quatre laboratoires ISblue (LEMAR, Ifremer STH, LOPS et AMURE), quatre partenaires au niveau national (LP3C, Audencia Business School, LOCEAN et UMMISCO) et un partenaire socio-économique français, la conserverie Chancerelle, ainsi que huit partenaires étrangers, impliquant pour chaque chantier (Sénégal, Afrique du Sud, Pérou, Mexique) une université ou institut de formation (UCAD, UCT, UPCH, CIBNOR) et un institut des pêches ou de recherche en biologie marine (CRODT, DAFF, IMARPE, CICIMAR).

Ce projet de thèse s'inscrit pleinement dans le WP(work-package) 3 du projet qui a pour objectif de mieux comprendre les réponses des populations de petits pélagiques à une dégradation de la qualité de leurs sources de nourriture dans les systèmes de bord-est. Ces populations sont en effet les principales sources d'omega 3 à longue chaîne en terme de consommation directe dans les pays du Sud et d'utilisation industrielle (farine et huile). Des interactions sont prévues avec les WP1 (Observation) et WP2 (Expérimentation) afin d'obtenir les données nécessaires aux travaux de modélisation. Une thèse est en effet financée dans le cadre du projet OMEGA afin d'élucider les effets à l'échelle de l'individu d'une carence en omega 3 chez la sardine du golfe de Gascogne (*Sardina pilchardus*). Le couplage entre modélisation (ce présent sujet) et expérimentation (thèse OMEGA/ISblue déjà financée) constituera l'une des originalités du projet puisque les travaux de modélisation

permettront de définir en amont de l'expérimentation une partie du protocole expérimental afin de garantir une meilleure exploitation des résultats.

Vous sollicitez un financement ISblue, ou une ARED ISblue :

Précisez le lien du sujet avec les thèmes ISblue

Thème ISblue	Thème principal	Thème secondaire (si nécessaire)	Autre (si nécessaire)
la régulation du climat par l'océan			
les interactions entre la Terre et l'océan			
la durabilité des systèmes côtiers			
l'océan vivant et les services écosystémiques	x		
les systèmes d'observation à long terme			

Expliquez/précisez en quelques lignes dans quelle mesure votre demande correspond à l'un ou plusieurs des critères ISblue ci-dessous :

1- Originalité, impact potentiel du projet (4 lignes maxi)

L'originalité du sujet consistera *i)* à prendre en compte la distance phylogénétique entre espèces pour une estimation simultanée *multi-espèces* des paramètres de modèles DEB afin d'améliorer la robustesse pour les espèces dites *data-poor* et *ii)* à développer des modèles DEB pour plusieurs espèces de la même communauté de petits pélagiques afin d'analyser la variabilité des réponses à l'échelle de la population à différents scénarios environnementaux.

2- Positionnement international du sujet, cotutelle ou co-encadrement international (4 lignes maxi)

Ce sujet de thèse s'inscrit le cadre du projet OMEGA qui a une forte dimension internationale (4 principaux upwellings de bord-est : Sénégal, Afrique du Sud, Mexique et Pérou). Le/la doctorant-e participera aux travaux du Joint working group ICES/PICES on small pelagic fish³ (106 chercheurs, 24 pays) et sera co-encadré par un chercheur de l'IST, institut renommé pour la formation d'ingénieurs, de l'Université de Lisbonne au Portugal.

3- Effet intégrateur entre unités de recherche et / ou interdisciplinarités (4 lignes maxi)

Développer une approche comparative des petits pélagiques des systèmes d'upwellings de bord-est nécessite une forte interdisciplinarité (halieutique, physiologie, océanographie) et renforcera les liens avec les chercheurs du LOPS qui travaillent sur la modélisation physique-biogéochimique de ces systèmes. Le/la doctorant-e bénéficiera également du développement d'une approche interdisciplinaire sur les petits pélagiques du golfe de Gascogne du projet OMEGA⁴.

4- Potentiel d'insertion à un haut niveau dans la communauté académique ou non académique du docteur (4 lignes maxi)

La participation aux travaux d'un projet emblématique interdisciplinaire, et d'un working group international d'envergure pour la gestion des pêcheries de petits pélagiques, et la maîtrise d'outils de modélisation et la publication de développements méthodologiques dans le cadre de la théorie DEB, qui s'applique à un grand nombre de disciplines et d'espèces garantiront le potentiel d'insertion du/de la futur-e docteur-e.

Le candidat

Profil souhaité du candidat (spécialité/discipline principale, compétences scientifiques et techniques requises) :

³ <https://www.ices.dk/community/groups/Pages/WGSPF.aspx>

⁴ LEMAR, Ifremer STH, LOPS, AMURE

- Master en écologie quantitative ou en halieutique,
- Connaissances scientifiques: Dynamique de population, Ecologie marine,
- Compétences et techniques requises : modélisation mathématique (équations différentielles), statistiques (estimation de paramètres), programmation (R, Matlab ou Python), rédaction scientifique en anglais