



**HAL**  
open science

# Modèle de la gestion de l'énergie sur l'ensemble du cycle de vie de l'épinoche à trois épines

Rémy Beaudouin

► **To cite this version:**

Rémy Beaudouin. Modèle de la gestion de l'énergie sur l'ensemble du cycle de vie de l'épinoche à trois épines. Rapport Scientifique INERIS, 2017, 2016-2017, pp.52-53. ineris-01869668

**HAL Id: ineris-01869668**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869668>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# MODÈLE DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE SUR L'ENSEMBLE DU CYCLE DE VIE DE L'ÉPINOCHÉ À TROIS ÉPINES

Contributeur  
Rémy  
BEAUDOUIN

L'épinoche à trois épines (*Gasterosteus aculeatus*) est un petit poisson téléostéen qui constitue un composant majeur des chaînes alimentaires des écosystèmes aquatiques peu profonds dans l'hémisphère nord. Ce poisson est aussi un des modèles expérimentaux les plus utilisés en écologie, évolution et éthologie aquatique. En particulier, l'épinoche à trois épines est une espèce sentinelle utilisée pour la surveillance des milieux aquatiques [1] et une des espèces de poissons dont la dynamique de population peut être étudiée en mésocosmes [2].

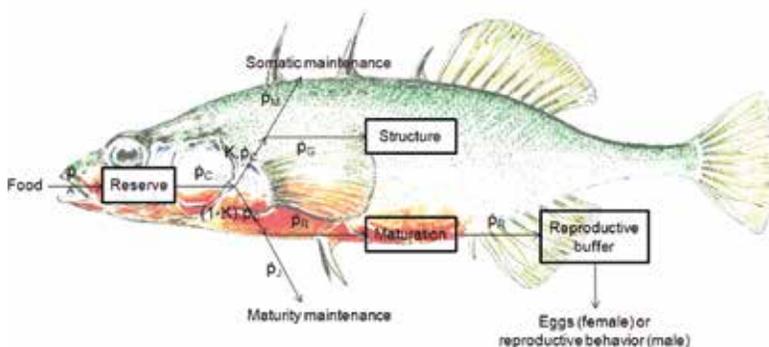
Les modèles mathématiques sont de plus en plus utilisés en évaluation des risques, notamment pour extrapoler les effets mesurés sur des individus lors d'expériences en laboratoire aux conséquences à long terme sur la viabilité des populations [3; 4]. Dans ce contexte, les modèles mécanistes de gestion de l'énergie par les organismes, qui prennent en compte des facteurs environnementaux, offrent une description réaliste du cycle de vie des individus. Ils peuvent également contribuer à réduire les données nécessaires pour développer un modèle de dynamique de population lorsqu'ils relient explicitement l'alimentation, la croissance et la reproduction [3] et identifier les effets des composés toxiques sur les processus physiologiques des organismes [5].

## OBJECTIF ET MÉTHODE

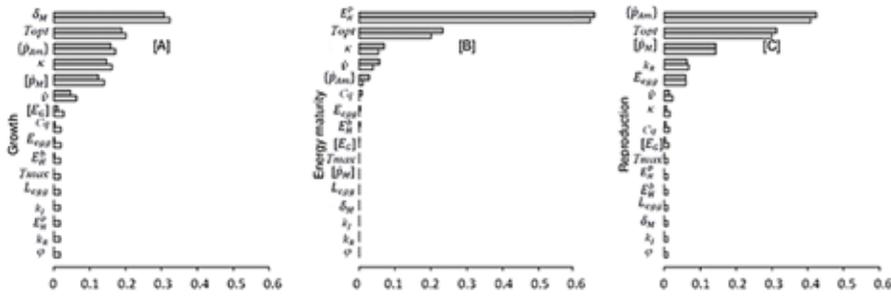
L'objectif de l'étude était de développer un modèle basé sur la théorie DEB (*Dynamic Energy Budget*, figure 1) de l'ensemble du cycle de vie de l'épinoche à trois épines pour prédire ses principaux processus physiologiques (croissance, reproduction, puberté) dans différentes conditions environnementales (i. e., température de l'eau et ressources trophiques). Pour cet objectif, l'Ineris a produit expérimentalement des données sur la croissance, le développement des juvéniles, la maturité sexuelle et la reproduction des épinoches [6].

Avant de calibrer le modèle sur ces données, une analyse de sensibilité du modèle a été effectuée (figure 2). Cette analyse a montré que les principaux paramètres influençant la croissance étaient les mêmes pour les femelles et pour les mâles. Par exemple, le paramètre qui représente la température optimale du poisson, est un des paramètres les plus influents, ce qui souligne l'importance de cette variable de l'environnement. En ce qui concerne la reproduction, le paramètre qui détermine la quantité d'énergie ingérée par unité de surface des organismes (*via* la nourriture), a l'influence la plus importante sur le nombre d'œufs produits par les femelles. Ces observations pointent la nécessité d'une mesure la plus certaine possible de ces deux variables lors des expériences utilisées pour développer le modèle, puis, par la suite, pour l'utiliser lors des expériences en mésocosmes.

**Figure 1 /** Schéma décrivant la théorie « *Dynamic Energy Budgets* ». Les flèches représentent les différents flux d'énergie.



Le modèle a ensuite été calibré à l'aide de statistiques bayésiennes en utilisant le logiciel MCSim. Lors de cette calibration, les trois chaînes de Markov Monte-Carlo se sont stabilisées autour des mêmes distributions *a posteriori*, différentes des distributions *a priori* pour quasiment tous les paramètres. Les données ont donc permis d'informer l'ensemble des paramètres du modèle à l'exception de la taille initiale de l'embryon dans l'œuf. Ainsi, le modèle a permis de mieux caractériser certains processus physiologiques en éliminant les facteurs confondants. Par exemple, il a été déterminé que la taille maximale en conditions optimales des épinoches mâles et femelles était de 56,3 mm et 63,3 mm, respectivement. De même, la taille à la maturité a été estimée proche de 33 mm quel que soit le sexe.



**Figure 2 /**

Résultats de l'analyse de sensibilité sur trois variables: (A) la croissance, (B) la densité énergétique et (C) la production d'œufs. L'analyse de sensibilité a été réalisée en utilisant la méthode de Sobol sur un plan d'expérience de type Monte-carlo (n = 10,000). Les distributions des paramètres étaient uniformes et les bornes étaient ± 10 % la valeur *a priori* du paramètre. Les variables ont été mesurées à 5 temps différents: 20, 50, 150, 400 et 650 jours après la fécondation des œufs. La longueur des barres est proportionnelle à l'influence du paramètre sur la variable étudiée.

**RÉSULTATS**

Après calibration, le modèle DEB a démontré de très bonnes qualités de prédiction des différentes données obtenues en laboratoire ou lors des expériences en mésocosmes (figure 3). Globalement, malgré le grand nombre de paramètres et les corrélations relativement élevées entre ces paramètres, le modèle DEB calibré permet de simuler l'ensemble du cycle de vie de l'épinoche à trois épines et de prédire ses principaux processus physiologiques [6].

Le modèle DEB sert maintenant de base pour développer un modèle de dynamique de population prédisant des effets des substances sur la viabilité des populations d'épinoches. Des expériences conduites dans les écosystèmes expérimentaux lotiques de l'Ineris ont permis d'obtenir plusieurs jeux de données complets sur des populations d'épinoches à trois épines exposées à différentes molécules. L'ensemble de ces données offre l'opportunité de développer une série de modèles mathématiques (TK/TD, DEB, IBM) pour intégrer différentes échelles biologiques, différents types d'observations et les relations entre ces variables (figure 4).

**Références**

[1] Bado-Nilles, A.; Techer, R.; Porcher, J. M.; Geffard, A.; Gagnaire, B.; Betouille, S. and Sanchez, W. 2014. Detection of immunotoxic effects of estrogenic and androgenic endocrine disrupting compounds using splenic immune cells of the female three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* (L.). *Environmental Toxicology and Pharmacology* 38:672-683.

[2] de Kermoyan, G.; Joachim, S.; Baudoin, P.; Lonjaret, M.; Tebby, C.; Lesaulnier, F.; Lestremay, F.; Chatellier, C.; Akrou, Z.; Pheron, E.; Porcher, J.-M.; Pery, A. R. R. and Beaudouin, R. 2013. Effects of bisphenol A on different trophic levels in a lotic experimental ecosystem. *Aquatic Toxicology* 144:186-198.

[3] Beaudouin, R.; V. Dias, J. M. Bonzom, and A. Pery. 2012. Individual-based model of *Chironomus riparius* population dynamics over several generations to explore adaptation following exposure to uranium-spiked sediments. *Ecotoxicology* 21:1225-1239.

[4] Beaudouin, R.; Goussen, B.; Piccini, B.; Augustine, S.; Devillers, J.; Brion, F. and Pery, A. R. R. 2015. An Individual-Based Model of Zebrafish Population Dynamics Accounting for Energy Dynamics. *Plos One* 10.

[5] Goussen, B.; Beaudouin, R.; Dutilleul, M.; Buisset-Goussen, A.; Bonzom, J.-M.; and Péry, A. R. R. 2013. DEBtox modelling applied to *Caenorhabditis elegans*: a case study on uranium.

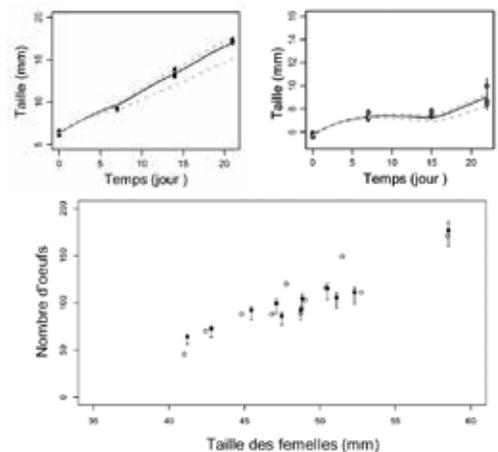
[6] LeIoutre, C.; Péry, A. R. R.; Porcher, J.-M. and Beaudouin, R. 2016. A bioenergetics model of the entire life cycle of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Ecology of Freshwater Fish*:n/a-n/a.

**ABSTRACT /**

A whole life-cycle bioenergetic model based on the dynamic energy budget (DEB) theory was developed for the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Experiments on growth and reproduction were performed: adult and juvenile growth, size at first reproduction and amount of eggs spawned by females were monitored under different feeding levels and water temperatures. The DEB parameters were estimated using Bayesian statistics based on the data produced during these experiments and on data found in the literature. The model fitted accurately the different datasets used for the calibration process and, in addition, predicted accurately the datasets used to assess its predictability. Our bioenergetic model of the whole life cycle of the three-spined stickleback accounting for environmental variations could contribute in many ways to improved ecological assessment: supporting change of scale from individual to populations, developing new biomarkers of exposure and effect, analysing ecotoxicity tests with biology-based models.

**Figure 3 /**

Evaluation des capacités prédictives du modèle DEB de l'épinoche à trois épines. Les jeux de données représentés ont été exclus de l'étape de calibration. Les points noirs ou lignes représentent les prédictions (médiane et IC95%) et les cercles représentent les données observées.



**Figure 4 /**

Schéma décrivant l'intégration des différents modèles afin de prédire les effets des substances chimiques sur la viabilité des populations.

