

Modélisation de l'impact de l'uranium sur les flux énergétiques individuels chez le poisson zèbre, *Danio rerio* : application de la théorie du Budget Énergétique Dynamique (DEB)

Starrlight Augustine^{1*}, Béatrice Gagnaire¹, Christelle Adam-Guillermin¹, S.A.L.M Kooijman²

INTRODUCTION

L'uranium est un actinide présent naturellement dans les écosystèmes à des gammes de concentrations variées. Celles-ci peuvent être localement accrues par les activités humaines (e.g. sites miniers). De nombreuses études ont montré que l'uranium pouvait être toxique pour les espèces aquatiques.

Dans ce contexte cette étude vise à comprendre les effets de l'uranium sur les flux énergétiques individuels du poisson zèbre, *Danio rerio*.

Dans un premier temps il faut construire un modèle bioénergétique basé sur l'individu qui décrit ces flux énergétiques (Figure 2) sur l'ensemble du cycle de vie du poisson dans un environnement non constant (la température et la nourriture sont perçues comme des fonctions du temps).

Trois variables d'état : structure V , réserve E et quantité cumulée de réserve investie dans la maturité puis dans la reproduction E_H (Figure 2) décrivent l'état dans le temps d'un individu.

Les sorties du modèle comprennent longueur, masse, respiration, et taux de reproduction. Il s'agit d'un modèle standard DEB [4] élargi pour prendre en compte la phase de croissance larvinaire du poisson.

Un premier modèle imbriqué dans le modèle DEB permet de corriger les effets de la température sur les taux métaboliques. Un deuxième module imbriqué dans le modèle DEB permet de décrire les règles régissant les événements de ponte et la quantité d'œufs produits[5]. Ce module sera basé sur la biologie reproductive de *Danio rerio* (caractérisée dans la littérature).

Une fois ce premier modèle construit le travail consistera en l'étude de l'impact de l'uranium sur les différents paramètres énergétiques de *Danio rerio* (Tableau 1) et les effets qui en découlent sur toutes les sorties du modèle (notamment croissance et reproduction).

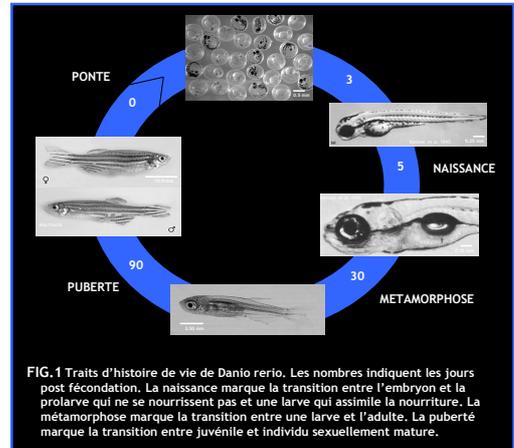


FIG.1 Traits d'histoire de vie de *Danio rerio*. Les nombres indiquent les jours post fécondation. La naissance marque la transition entre l'embryon et la prolarve qui ne se nourrit pas et une larve qui assimile la nourriture. La métamorphose marque la transition entre une larve et l'adulte. La puberté marque la transition entre juvénile et individu sexuellement mature.

LE MODELE

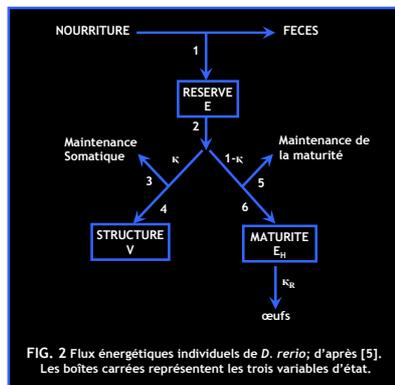


FIG. 2 Flux énergétiques individuels de *D. rerio*; d'après [5]. Les boîtes carrées représentent les trois variables d'état.

- 1 Assimilation \dot{p}_A
 - 2 Utilisation de la réserve \dot{p}_C
 - 3 Maintenance somatique \dot{p}_S
 - 4 Croissance
 - 5 Maintenance de la maturité \dot{p}_J
 - 6 Quantité cumulée de réserve investie dans la Maturation puis dans la Reproduction
- K Fraction allouée à la croissance et à la maintenance somatique
- K_R Coût de fabrication des œufs

DANIO RERIO

Le poisson zèbre, *Danio rerio*, est un poisson d'eau douce de la famille des cyprinidés. Il s'agit d'un modèle expérimental courant en biologie, en écotoxicologie ainsi que dans le domaine médical. Il est de petite taille (3 cm à l'âge adulte), se reproduit facilement en laboratoire et produit des œufs transparents en grand nombre. De plus, sa biologie et sa physiologie sont bien caractérisées dans la littérature. La figure 1 présente le cycle de vie entier de *D. rerio*. Au jour 0, les œufs sont fécondés. Au jour 3, l'éclosion a lieu : les larves n'ont pas encore la bouche entièrement formée. Au jour 5, la naissance d'un point de vue énergétique se produit : la bouche est formée, la larve part à la recherche de la nourriture. A 30 jours, la larve se métamorphose (formation des nageoires) et prend la forme du poisson adulte; il mesure alors moins d'un centimètre de long. A 90 jours, le poisson est sexuellement mature et mesure 2 à 3 cm. L'individu continue de grandir tout au long de sa vie (2 à 3 ans) et peut atteindre 5 cm de longueur.

La théorie du DEB est fondée sur la conservation de la masse et de l'énergie et sur l'importance de la surface et du volume dans les processus de maintenance et d'assimilation de l'organisme. De ce fait, le rapport du volume sur la surface d'un individu pendant sa croissance est particulièrement important. Ce rapport est constant sur tout le cycle de vie de *D. rerio* (croissance isomorphique), à l'exception de la phase larvinaire (naissance jusqu'à la métamorphose) où la surface augmente proportionnellement au volume (croissance $V1$ morphique).

Les transitions entre traits d'histoire de vie (i.e. naissance, métamorphose et puberté) ont lieu à des seuils de maturité E_H^b, E_H^p, E_H^j (Tableau) qui ont été estimés.

PERSPECTIVES

Une expérience en laboratoire axée sur l'étude de la croissance et de la reproduction à trois différentes concentrations de nourriture est prévue pour la fin de 2009 afin de terminer la caractérisation des valeurs des paramètres énergétiques de *D. rerio*.

L'étude des effets de l'uranium sur le métabolisme de *D. rerio* est prévu en 2010. L'exposition de *D. rerio* à l'uranium risque d'influencer certaines valeurs de paramètres DEB (Tableau).

L'objectif est de trouver quel paramètre est modifié. L'identification de ce paramètre permettra de connaître le mode d'action prédominant de l'uranium sur le métabolisme.

Le modèle présenté dans ce poster permettra d'étudier alors les conséquences de la modification de ce paramètre au niveau de l'individu (e.g. croissance, reproduction).

*corresponding author: starr-light.augustine@irsn.fr

¹Laboratoire de Radioécologie et d'Ecotoxicologie, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Bât 186, BP 3, 13115 Saint-Paul-Lez-Durance Cedex, France

²Department of Theoretical Biology, Vrije Universiteit, de Boelelaan 1087, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

ESTIMATION DES PARAMETRES

TAB Paramètres primaires DEB. Ces paramètres sont estimés à partir des données de la littérature ([1][2][3][6][7]). L'estimation est faite avec le logiciel DEBtool. J : joules; d : jours.

symbole	valeur	unité	description
$\{p_{Am}\}$	16.72	J d ⁻¹ cm ⁻²	Taux d'assimilation lié à la surface
K_X	0.95	-	Fraction d'énergie dans la nourriture fixée dans la réserve
\bar{v}	0.04	L d ⁻¹	Conductance de l'énergie
κ	0.54	-	Fraction d'énergie de la réserve mobilisée vers la croissance et la maintenance
κ_R	0.96	-	Fraction d'énergie allouée à la reproduction fixée dans les œufs
$\{p_M\}$	28.93	J d ⁻¹ cm ⁻³	Taux d'énergie par unité de volume investi dans la maintenance somatique
k_J	0.004	d ⁻¹	Taux d'énergie investie dans la maintenance de la maturité
$\{E_G\}$	2714	J cm ⁻³	Coût de la synthèse d'une unité de structure
E_H^b	0.1717	J	Seuil d'énergie investie dans la maturation à la naissance
E_H^p	5.281	J	Seuil d'énergie investie dans la maturation à la métamorphose
E_H^j	415.8	J	Seuil d'énergie investie dans la maturation à la puberté
σ_G	0.13	-	Coefficient de stress de Gombertz
b_w	9.09 10 ⁻²⁶	d ⁻²	Accélération Weibull

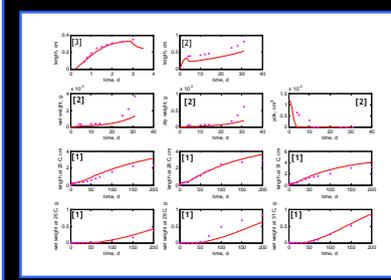


FIG. 3 Comparaison des sorties du modèle avec les données de la littérature. En rouge sont tracées les simulations DEB. Les points roses représentent les jeux de données publiés. Les chiffres correspondent aux références bibliographiques.

La valeur de la maintenance de la maturité reste encore mal estimée, ce qui influence les seuils de maturité provoquant la naissance, la métamorphose et la puberté, ainsi que la valeur de la longueur maximale.

Il est important de souligner que l'estimation des paramètres est effectuée sur tous les jeux de données simultanément utilisant un critère de maximum de vraisemblance.

Remerciements:

Ce travail de thèse a été financé par le projet ENVIRON et par la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Références:

- [1] Barrionuevo, W.R., Burggren, W.W. O2 consumption and heart rate in developing zebrafish (*Danio rerio*): Influence of temperature and ambient O2. 1999. *Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp Physiol.* 276:505-513
- [2] Bagatto, B., Pelster, B., Burggren, W.W. Growth and metabolism of larval zebrafish: Effects of swim training. 2001. *J. Exp. Biol.* 204(24):4335-4343.
- [3] Kimmel, C. B., W. W. Ballard, et al. (1995). "Stages of embryonic development of the zebrafish." *Developmental Dynamics* 203(3): 253-310.
- [4] Kooijman, S. A. L. M., Ed. (2000). *Dynamic energy and mass budgets in biological systems*, Cambridge.
- [5] Pecquerie, L., P. Pettigau, et al. (2009) "Modeling fish growth and reproduction in the context of the Dynamic Energy Budget theory to predict environmental impact on anchovy spawning duration." *Journal of Sea Research* doi:10.1016/j.seares.2009.06.002
- [6] Spence, R., Gerlach, G., Lawrence, C., Smith, C. The behaviour and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. 2008. *Biol. Reviews*, 83(1):13-34
- [7] Eaton, R. C., Farley R. D. Spawning cycle and egg production of zebrafish, *Brachydanio rerio* in the laboratory. 1974. *Copeia*, 1:195-204.