

## **ModZOO**

### **Modélisation des écosystèmes marins basée sur les spectres de taille ou de biomasse.**

**Porteur du Projet :** Eric Benoit.

**Objet de la proposition :**

La modélisation constitue un outil central dans la compréhension des mécanismes des processus biologiques et physiques et dans la prédiction des états probables de l'écosystème marin. Les modèles actuels ne prennent que peu en compte la diversité fonctionnelle des organismes du zooplancton et leurs cycles de vie. Le projet vise donc à développer et valider une approche théorique par la modélisation mathématique de la dynamique du zooplancton dans les océans. L'effort portera sur l'utilisation du spectre de taille et de biomasse du compartiment de zooplancton et permettra de valoriser les données produites par un nouvel appareil, le ZOOSCAN, capable de fournir une image synoptique des communautés zooplanctonique sous la forme d'une distribution en tailles.

Le projet COMORE collabore déjà étroitement avec le laboratoire d'océanographie de Villefranche, mais avec une autre équipe qui travaille sur la croissance du phytoplancton (partie végétale du plancton), la collaboration proposée est donc nouvelle.

**Durée de la proposition :** 1 an

**Equipes impliquées :**

**INRIA**

Projet COMORE (Eric Benoit, Jean-Luc Gouzé)

**UMR7093**

Villefranche-sur-Mer : (Iars Stemmann, Pieter Vandromme)

L.O.V. (Laboratoire d'Océanographie de Villefranche sur Mer)

Directeur de l'Unité : Louis Legendre

**UMR7621**

Banyuls-sur-Mer : (Jean Marc Guarini)

L.O.B. (Laboratoire d'Océanographie Biologie)

Directeur de l'Unité : Jean Marc Guarini

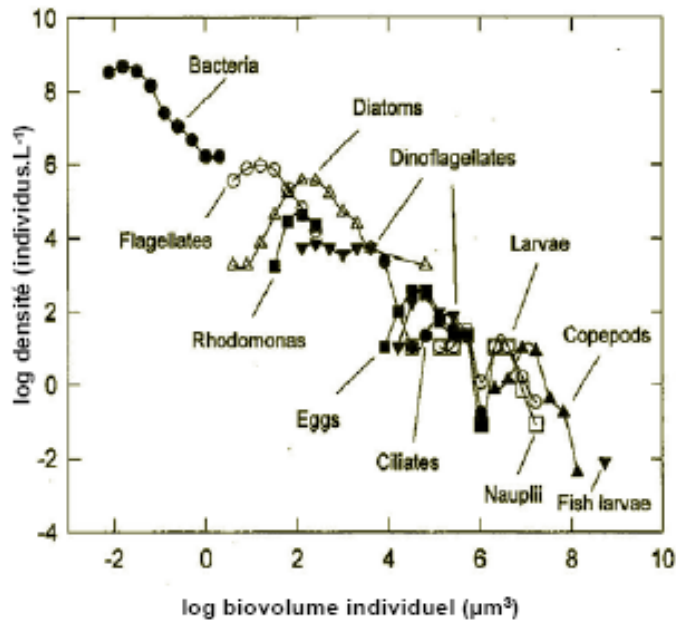
**Station zoologique de Naples :** Grazzia Mazzocchi

## Introduction et objectifs

Le « grand » public et la communauté scientifique s'intéressent à la relation entre la variabilité du climat et son effet sur les écosystèmes marins. Les questions importantes à résoudre concernent la qualité des changements, l'amplitude de ces changements et leurs chronologies. De nombreuses évidences suggèrent que les changements ne sont pas uniquement locaux mais aussi globaux, qu'ils ne sont pas lents mais abrupts, modifiant profondément la productivité et les ressources marines.

**La modélisation constitue un outil central dans la compréhension des mécanismes des processus biologiques et physique et dans la prédiction des états probables de l'écosystème marin.** Actuellement, les modèles biogéochimiques globaux mais aussi régionaux se focalisent sur les variables telles que les sels nutritifs et le phytoplancton pour lesquels il existe un cadre théorique important et des données abondantes. Les niveaux trophiques supérieurs et notamment le zooplancton sont très mal représentés dans ces modèles. **Les modèles actuels ne prennent que peu en compte la diversité fonctionnelle des organismes du zooplancton et les cycles de vie.** Une raison importante est que le zooplancton ne peut pas être échantillonné et analysé aussi rapidement que le phytoplancton et avec l'approche synoptique des observations spatiales de la couleur des océans. Pourtant le zooplancton constitue un verrou dans le transfert de la matière vers les échelons supérieurs de la chaîne trophique, mais il constitue également un élément de contrôle des flux biogéochimiques. De nombreux modèles tentent d'incorporer le zooplancton dans les modèles en en incluant quelques espèces clé. Cette démarche n'est toutefois pas satisfaisante dans la mesure où elle ne rend pas compte de la variabilité spécifique du compartiment zooplanctonique. **Le projet vise donc à développer et valider une nouvelle approche théorique par la modélisation mathématique de la dynamique du zooplancton dans les océans. Nous adapterons des modèles utilisés pour décrire de manière synoptique les populations de poisson par leur spectre de taille. L'effort portera sur la modélisation du spectre de taille et de biomasse du compartiment de zooplancton.** En effet, la taille des organismes zooplanctonique est une des variables les plus rapidement mesurées par les récents systèmes d'imagerie et constitue un bon indicateur de l'état de l'écosystème planctonique ainsi qu'un indice de la propagation de l'énergie des producteurs primaires jusqu'aux grands prédateurs marins (les poissons) .

L'une des méthodes d'étude des communautés d'organismes du milieu marin pélagique repose sur le classement des organismes, issus de diverses espèces, selon leur taille, sous la forme de spectres de biomasse ou de taille (Figure 1).



**Figure 1.** Représentation des densités de grands groupes fonctionnels du plancton d'une lagune méditerranéenne en fonction du biovolume (d'après Gilabert, 2001).

Dans les années 70, l'acquisition des spectres de taille s'est fortement développée suite à la réalisation de mesures in situ à l'aide d'appareils basés sur le principe du Coulter Counter, permettant ainsi le comptage et la mesure de particules dans la gamme de taille du phytoplancton, c'est à dire de 2 à 150  $\mu\text{m}$  (Sheldon, 1972). La facilité de ces mesures de spectres ont entraîné le développement de méthodes d'analyse adaptées fondées sur l'observation empirique que le spectre de biomasse en fonction du logarithmique de la taille décroît avec une pente constante. (Sheldon et al., 1972). La pente peut être représentative de l'efficacité du flux de matière au sein du réseau trophique (i.e., à une faible pente est associée une forte efficacité de transfert de matière, Gilabert (2001)). Un travail similaire a été effectué pour les pêcheries : la pente du spectre de taille des populations de poissons dans l'océan peut (ou ne peut pas) servir d'indicateur de la pression de la pêche (Platt and Denman, 1977; Silvert and Platt, 1978, 1980; Benoît and Rochet, 2004).

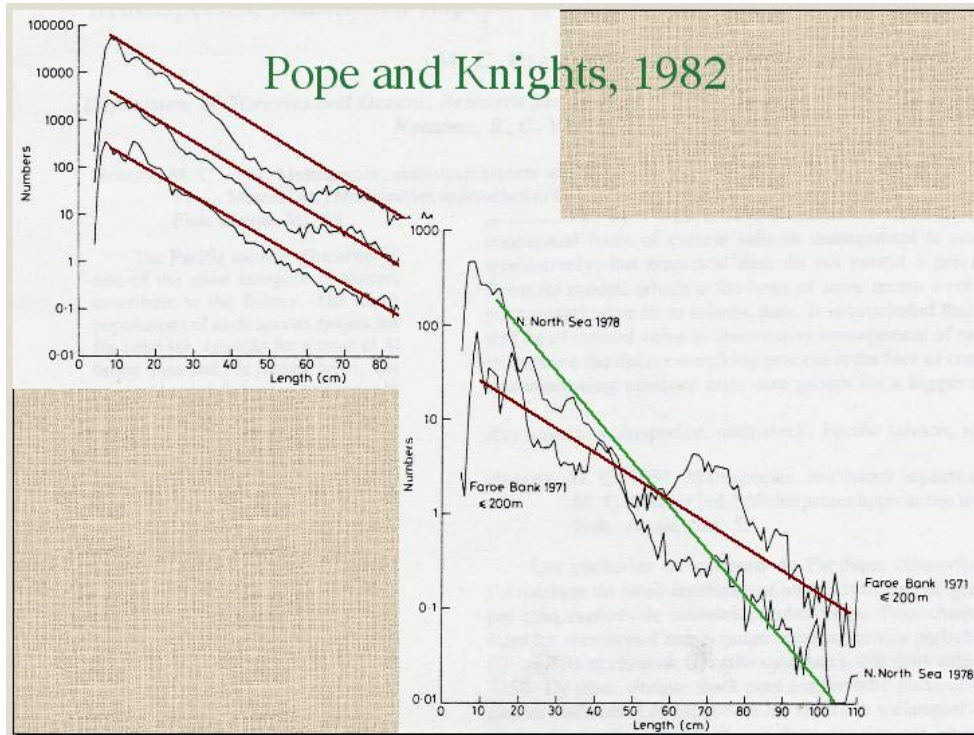


Figure 2 : Spectres de taille de populations de poissons

Un frein à l'utilisation de ces modèles spectraux dans les modèles biogéochimiques est qu'ils sont complexes et ne peuvent donc pas être intégrés sans simplification dans les gros modèles. **Il convient donc de développer une approche mathématique poussée afin de d'évaluer l'impact de représentations simplifiées sur la dynamique du plancton.** Parallèlement à l'approche théorique, des **simulations** seront étudiées.

On modélise l'évolution du spectre de taille, représenté par la densité des individus  $u(x, t)$  de taille  $x$  à l'instant  $t$ . Pour cela on représente de manière globale les processus de croissance, de mortalité et de prédation, en supposant une probabilité de prédation  $\varphi(x)$  associée à la taille  $x$  (Benoit et Rochet, 2004) :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t}(x, t) = & - \frac{\partial}{\partial x} \left[ K A e^{\alpha x} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-q} \varphi(q) u(x - q, t) u(x, t) dq \right] \\ & - A e^{\alpha x} \int_{-\infty}^{\infty} e^{\alpha q} \varphi(q) u(x + q, t) u(x, t) dq \\ & - \mu_0 e^{\alpha x} u(x, t)^2 . \end{aligned}$$

où :

La croissance est représentée par le terme :

$$g(y, t) = K A e^{\alpha y} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-q} \varphi(q) u(y - q, t) dq .$$

la mortalité par prédation :

$$\mu(x, t) = Ae^{zx} \int_{-\infty}^{\infty} e^{zq} \varphi(q) u(x + q, t) dq.$$

Ces modèles, développés pour des populations de poissons, font l'hypothèse d'un taux de croissance constant, cette hypothèse devra notamment être revisitée pour des populations zooplanctoniques.

Le Laboratoire d'Océanographie de Villefranche sur Mer, a développé et commercialisé un appareil permettant la digitalisation rapide des échantillons de plancton (le ZOOSCAN). Cet appareil est maintenant commercialisé sous licence du CNRS. L'utilisation intensive de cet instrument permet de lever une partie des contraintes d'analyse et peut fournir des résultats nécessaires à l'élaboration et à la validation de cadres théoriques et de modélisation, en donnant notamment une idée des spectres  $u(x, t)$  à différents instants. Le Laboratoire de Villefranche dispose de suffisamment de données (série temporelle depuis 1966, figure 2) pour commencer cet exercice.

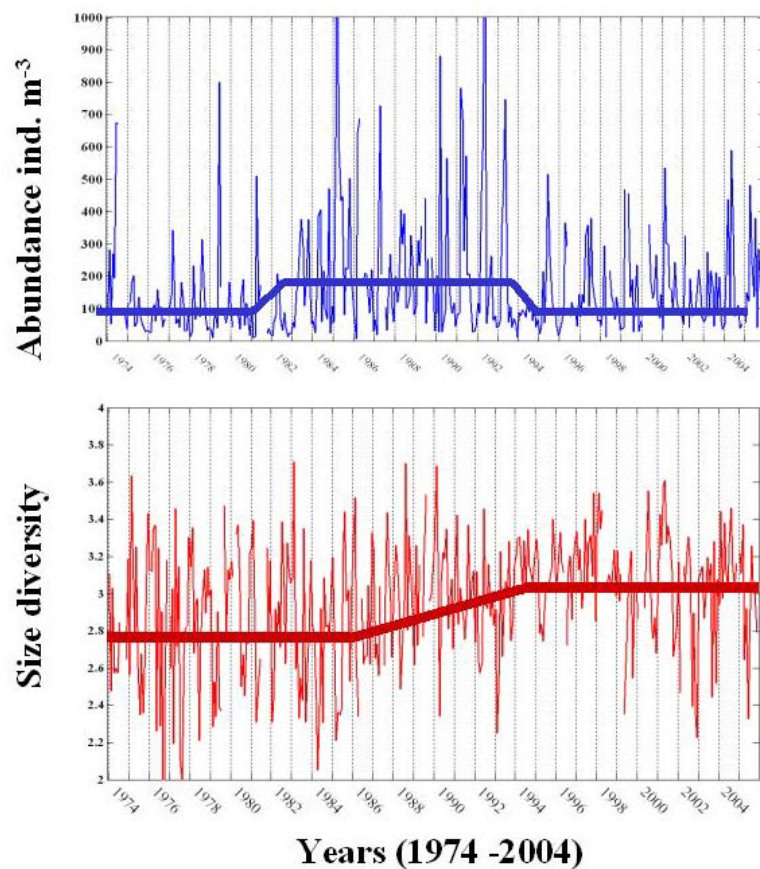


Figure 2: Exemple de série temporelle d'abondance des copépodes (groupe majoritaire du zooplancton), c'est un indice du moment d'ordre 1 de  $u(x, t)$ .

## Les enjeux

Les développements techniques récents en acoustique, électronique et en imagerie dans l'échantillonnage du zooplancton permettent d'étudier plus précisément l'abondance et la distribution du zooplancton in situ et notamment les structures de taille avec un niveau de résolution extrêmement fin ( $< 10 \mu\text{m}$ ). **Il est certain que les spectres de taille seront utilisés massivement dans un futur proche. Il apparaît donc approprié de développer un cadre théorique et mathématique pour pouvoir exploiter au maximum l'information écologique contenue dans les spectres de taille analysés automatiquement par le ZOOSCAN.**

L'objectif du projet est de combiner une approche théorique fondée sur des algorithmes basés sur les spectres de taille, des simulations des modèles mis au point et un dispositif expérimental fortement informatisé unique au monde qui permet d'obtenir des informations pertinentes sur la dynamique du zooplancton.

## Etat actuel du projet

Le projet de sauvegarde et d'exploitation scientifique des données historiques du plancton est soutenue par différentes sources : le ministère de la Recherche via une bourse de thèse pour Pieter Vandromme et par les projets EUR-OCEAN et SESAME sur le plan matériel. Les échantillons ont été digitalisés par le ZOOSCAN depuis 1966 à la fréquence de deux par mois et pour certaines périodes quotidiennement. Elles sont donc prêtes pour être utilisées pour la construction de modèles mathématiques et les simulations.

Dans ce cadre, l'action Color va être plus spécifiquement mise à profit pour renforcer les liens avec le Laboratoire d'Océanographie de Villefranche sur Mer, en étudiant l'implication de diverses modélisations dans le calcul de la dynamique du zooplancton. Les modèles qui sont actuellement utilisés pour le zooplancton sont très frustes, et pourraient être améliorés en prenant en compte les spectres de taille. L'objet de la collaboration consistera donc à proposer de nouveaux modèles de dynamique du zooplancton. Ces modèles évolueront au fil des données produites par le ZOOSCAN.

## **Modalités de la collaboration**

### ➤ INRIA

Eric Benoît , Jean Luc Guouze  
Stagiaire XXX (en co-direction avec L Stemmann)

Eric Benoît, mathématicien, a une compétence dans la modélisation par spectres de taille de la dynamique de population de poissons qu'il a acquise lors d'un travail en collaboration avec Marie-Joëlle Rochet (IFREMER). Outre un travail théorique, il a effectué de nombreuses simulations pour illustrer les résultats.

### ➤ CNRS Villefranche sur Mer

Lars Stemmann  
Pieter Vandromme

La problématique de l'utilisation des spectres de taille des particules marines pour contraindre les modèles biogéochimiques et pour caractériser les systèmes marins est utilisée depuis près de 10 ans par Lars Stemmann (Stemmann et al., 2000 ; Stemmann et al., 2004a et b, Guidi et al., 2007). Il a notamment participé au développement de plusieurs instruments du laboratoire au sein de son équipe (le Profileur Vidéo Marin et le ZOOSCAN). Néanmoins son expertise porte plus sur l'utilisation des données nouvelles pour étudier l'écosystème marin. Depuis 3 ans il dirige le projet de digitalisation et d'analyse statistique des échantillons de plancton marin de la série temporelle du Point B (commencée en 1966) dans le cadre des projets Européens SESAME et EUR-OCEAN. Ce travail constitue le sujet de thèse de Carmen Garcia Comas qui doit aboutir en Décembre 2008. L'utilisation des nouvelles données en vu d'assimilation dans les modèles fait partie de la thèse de Pieter Vandromme qui vient de la commencer (Octobre 2007).

### ➤ CNRS Banyuls sur Mer

Jean Marc Guarini, coencadre la thèse de Pieter Vandromme. Modélisation de métapopulations d'organismes vivant sur les fonds marins.

### ➤ Station zoologique de Naples :

Grazzia Mazzocchi est une experte en taxonomie du plancton marin. Son expertise ponctuelle permettra d'associer certaines parties du spectre à des fonctionnalités spécifiques, notamment au niveau de la prédation de chaque organisme.

### *Références :*

Benoît, E. and Rochet, M.J. : A continuous model of biomass size spectra governed by predation and the effects of fishing on them, *Journal of Theoretical Biology*, 226, 9-21, 2004

Gilbert : Short-term variability of the planktonic size structure in a Mediterranean coastal lagoon. *Journal of Plankton Research* Vol. 23, no. 2, pp. 219-226. 2001

Grosjean, P., Picheral, M., Warembourg, C., and Gorsky, G.: Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the zooscan digital imaging system, *Ices Journal of Marine Science*, 61, 518-525, 2004.

Guidi, L., Stemmann, L., Legendre, L., Picheral, M., Prieur, L., and Gorsky, G.: Vertical distribution of aggregates (> 110  $\mu$  m) and mesoscale activity in the northeastern atlantic: Effects on the deep vertical export of surface carbon, *Limnology and Oceanography*, 52, 7-18, 2007.

Platt, T., and Denman, K.: Organization in pelagic ecosystem, *Helgolander Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 30, 575-581, 1977.

Silvert and Platt : Dynamic energy-flow model of the particle size distribution in pelagic ecosystems. In: *Evolution and ecology of zooplankton communities*, 1980

Silvert and Platt : Energy flux in the pelagic ecosystem: a time-dependent equation. *Limnol. Oceanogr.*, 23(4), 813-816, 1978

Sheldon, R. W., Prakash, A., and Sutcliffe Jr, W. H.: The size distribution of particles in the ocean, *Limnology and Oceanography*, 17, 327-340, 1972.

Stemmann, L., Picheral, M., and Gorsky, G.: Diel variation in the vertical distribution of particulate matter (>0.15 mm) in the nw mediterranean sea investigated with the underwater video profiler, *Deep-Sea Research Part I*, 47, 505-531, 2000.

Stemmann, L., Jackson, G. A., and Gorsky, G.: A vertical model of particle size distributions and fluxes in the midwater column that includes biological and physical processes - part ii: Application to a three year survey in the nw mediterranean sea, *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 51, 885-908, 2004a.

Stemmann, L., Jackson, G. A., and Ianson, D.: A vertical model of particle size distributions and fluxes in the midwater column that includes biological and physical processes - part i: Model formulation, *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 51, 865-884, 2004b.