

MODELES DE CROISSANCE D'UNE POPULATION DE FILTREURS

A. Sciandra^a et C. Lobry^b

I - INTRODUCTION

Le colloque organisé lors des journées OXYTHAU (mai 1994) a révélé la complexité des échanges de matière inhérents à tout système biologique diversifié. Même si toutes les espèces ou groupes fonctionnels n'ont pas été identifiés, on peut admettre que l'étang de Thau est le siège de la plupart des processus de transformation qu'on peut identifier dans un milieu océanique : production primaire autotrophe et hétérotrophe, nitrification, dénitrification, reminéralisation, etc... Les résultats théoriques issus de modèles mathématiques (Bacher et al., 1995), et les bilans d'azote qui ont pu être effectués suggèrent qu'une source importante de l'azote finalement converti en huître proviendrait du sédiment. Bien que les organismes de la boucle microbienne n'aient pas fait l'objet d'investigations poussées, on peut penser qu'une partie non négligeable de la production végétale est d'origine régénérée.

La production de bivalves est étroitement associée à la production primaire, nouvelle ou régénérée, en raison de leur efficacité de filtration. Toutes les voies d'échange et de transformation au sein du réseau microbien aboutissent finalement à une production de matière que l'on extrait annuellement de l'étang. Pour que cette production puisse perdurer, les prélèvements doivent être compensés par des importations effectuées grâce aux échanges avec la mer ouverte, aux apports des bassins versants, la matière piégée dans le sédiment pouvant elle-même être recyclée.

Bien que ce point reste à préciser, l'essentiel des apports énergétiques externes est en dernier ressort constitué par de la matière inorganique dissoute. La part détritique pouvant être amenée par les bassins versants et les voies communiquant avec la mer, sédimente ou est reminéralisée.

Ce constat nous amène à considérer que les sels nutritifs, indépendamment des voies de transformation ultérieure, constituent une variable d'entrée primordiale

^a Ecologie du Plancton Marin - Station Zoologique, BP 28, 06230 Villefranche sur mer

^b Mathématiques - Système Dynamiques - Même adresse

dans le système. On peut donc se poser la question de savoir quel est le rendement de conversion de l'azote introduit dans l'étang de Thau en masse d'huître. A cause de la multitude des espèces présentes et des processus d'échanges de matière opérants, un tel bilan est très difficile à établir à partir d'une estimation approximative et parcellaire des flux associés.

Ceci nous amène à concevoir le problème de la conversion des sels nutritifs en huîtres sous un autre angle. Pour répondre à la question simple posée, il faut que celle-ci se rapporte à un système idéalisé. Etant donné le rôle prépondérant joué par les sels nutritifs, le phytoplancton et les bivalves, et que la question met en cause directement ces variables, il est possible de traiter le problème en leur faisant uniquement référence.

Une des particularités de l'étang de Thau est la répartition spatiale des zones de grossissement des huîtres implantées essentiellement le long de la bordure continentale de l'étang. La disposition des tables échelonnées régulièrement et traversées par un flux de phytoplancton et de sels nutritifs confère à l'ensemble du système des propriétés particulières : l'alternance d'aires où la production primaire et la filtration sont différemment favorisées n'est probablement pas sans effet sur la production d'huîtres, et sa stabilité. A titre d'exemple, les zones sans bivalve peuvent constituer des refuges pour leurs proies, où une biomasse de phytoplancton peut être maintenue et exportée vers les tables si les mouvements advectifs le permettent. Par ailleurs, si la prédation est importante au niveau des tables, l'excrétion d'ammoniaque et la reminéralisation des fèces peuvent également interférer avec la production de phytoplancton.

En contrepartie, les espaces non occupés par les tables sont évidemment improductifs. Que se passerait-il si des huîtres étaient placées dans ces zones ou si l'espacement entre les tables était plus faible ? Observerait-on une augmentation globale et significative de la production de bivalves ou au contraire, un épuisement de la production végétale ? Il n'y a pas, *à priori*, de solutions simples car la productivité d'un tel système, spatialement hétérogène, dépend de la combinaison des facteurs biologiques et hydrodynamiques : taux de croissance du phytoplancton, taux d'ingestion des bivalves, de reminéralisation, vitesse et direction des courants, niveau d'enrichissement en sels nutritifs. Sans même vouloir inclure tous les détails des mécanismes biologiques évoqués plus haut, on s'aperçoit que la question posée uniquement en termes globaux n'a pas de réponse immédiate car elle se rapporte à un système qui, par sa structure, peut avoir une dynamique complexe. Intuitivement, on peut considérer que les espaces sans huître vont être le siège d'une production primaire qui ne pourra se

développer que si le temps de résidence dans ces espaces est suffisant et si les conditions d'enrichissement le permettent.

La dimension spatiale n'est pas simple à prendre en considération car elle présuppose une bonne connaissance des conditions aux limites et des processus hydrodynamiques. D'ailleurs, il est dans les objectifs futurs du programme OXYTHAU d'évaluer le type de circulation régnant autour et à l'intérieur des tables. Ce n'est qu'après cet effort qu'une tentative de modèle hydrodynamique appliquée à la zone pourra être faite. Mais dans un premier temps, il est nécessaire de s'attacher à l'étude de cas d'école qui ne tiennent compte que du fait qu'il existe une hétérogénéité spatiale, sans nécessairement la représenter physiquement, ne serait-ce que pour évaluer son importance sur la production. Cette approche ne nécessite pas de moyens de calcul importants. Par contre, elle peut donner des indications sur ce que l'on est en droit d'attendre des effets de la spatialisation, pour peu que l'on connaisse les grandeurs caractéristiques des phénomènes impliqués.

Nous pensons qu'une étude théorique du système ou d'une de ses composantes doit être menée simultanément à une approche descriptive des processus, chacune d'elle apportant des informations de nature différente et donc complémentaires. Comme nous l'avons déjà évoqué, la quantité d'informations disponibles sur l'écosystème de l'étang de Thau est très importante, et à cause de cela, difficile à utiliser. Afin d'être guidés dans l'élucidation de certaines questions, nous devons nous attacher à l'étude de systèmes dynamiques simples au départ, bâtis sur des hypothèses simplificatrices donc fortes. Nous n'avons pas pour ambition de répondre par oui ou par non à des questions du type précédent mais de sensibiliser les recherches expérimentales aussi bien que la formalisation mathématique sur certains points, en apportant une information dépourvue d'ambiguïté. L'avantage de l'analyse mathématique des systèmes dynamiques est d'aboutir à des conclusions sans avoir à effectuer de simulations numériques. En effet, un modèle numérique dit "réaliste" du système de production comporterait au minimum un nombre important de variables jugées essentielles : sels nutritifs (1 paramètre au moins), phytoplancton (2 paramètres), huîtres (2 paramètres), répartition spatiale (2 paramètres), advection (1 paramètre). Une démarche pourrait consister à chercher à déterminer le jeu de paramètres qui maximise la production d'huître. En fait, il n'existe pas d'algorithme approprié dont on puisse garantir la fiabilité. D'un autre côté, prendre des décisions à partir des simulations est illusoire, compte tenu du grand nombre de sorties possibles résultant de la combinaison de huit paramètres.

Deux questions peuvent être abordées suivant cette optique :

. Compte tenu d'un certain nombre d'entrées dans le système (enrichissement, reminéralisation, etc...), quel peut être le taux de conversion des sels nutritifs en huîtres ? Dans quel domaine de variation ce taux de conversion peut-il évoluer pour différentes combinaisons d'entrées ?

. L'effet de la spatialisation des zones de production d'huîtres est-il favorable ou défavorable ? La répartition actuelle est-elle optimale pour la production et pour l'écosystème de l'étang de Thau dans son ensemble ?

II - MATERIELS ET METHODES : LES MODELES ETUDIES

A - Modèle (1,1) : "répartition homogène"

$$s'_1 = -\frac{s_1}{1+s_1}x_1 + U - ds_1$$

$$x'_1 = \frac{s_1}{1+s_1}x_1 - \frac{x_1}{e+x_1}Y - dx_1$$

$$s'_2 = -\frac{s_2}{1+s_2}x_2 + d(s_1 - s_2)$$

$$x'_2 = \frac{s_2}{1+s_2}x_2 - \frac{x_2}{e+x_2}Y + d(x_2 - x_1)$$

Les équations ci-dessus modélisent la situation suivante : deux régions de l'espace contiennent des nutriments (s_1 et s_2) du phytoplancton (x_1 et x_2) des filtreurs en quantités égales (Y) ; la première région est alimentée en nutriments de façon constante (U) et un courant constant entre la première et la seconde région ainsi que de la seconde région vers l'extérieur du système est responsable d'un transport de nutriments et de phytoplancton (les termes où d est en facteur).

B - Modèle (0,2) : "répartition hétérogène"

$$s'_1 = -\frac{s_1}{1+s_1} x_1 + U - ds_1$$

$$x'_1 = \frac{s_1}{1+s_1} x_1 - dx_1$$

$$s'_2 = -\frac{s_2}{1+s_2} x_2 + d(s_1 - s_2)$$

$$x'_2 = \frac{s_2}{1+s_2} x_2 - \frac{x_2}{e+x_2} 2Y + d(x_2 - x_1)$$

Ce modèle est identique au modèle (1,1) à ceci près que les filtreurs ont été supprimés de la première région et leur quantité a été doublée dans la seconde.

III - DISCUSSION : LE COMPORTEMENT DES MODELES

L'analyse mathématique et les simulations montrent que dans le cas des filtreurs répartis de façon homogène la quantité de sels nutritifs filtrée croît en fonction de Y, passe par un maximum (84 % des sels nutritifs injectés dans le système pour les paramètres utilisés), décroît puis chute brutalement pour une certaine valeur de Y pour laquelle se produit une disparition totale du plancton (équivalent du "surpâturage").

Dans le cas du système hétérogène, le rendement est toujours légèrement meilleur (86 % au maximum) que dans le cas homogène mais surtout il n'y a pas de disparition du plancton. Quelle que soit la quantité de filtreurs la persistance du plancton est assurée. La région vide de filtreurs agit effectivement bien comme un "refuge" pour la population de phytoplancton, comme le laissait prévoir l'intuition. Les simulations montrent qu'en plus d'une meilleure stabilité cette solution possède un meilleur rendement.

BIBLIOGRAPHIE

BACHER (C.), BIOTEAU (H.), CHAPPELLE (I.), 1995 -Modeling the impact of a cultivated oyster population on the nitrogen dynamics : the Thau lagoon case (France). *Ophelia* (sous presse).