

Définir des politiques de pêches grâce à la théorie de la viabilité

Laetitia Chapel¹, Guillaume Deffuant¹, Sophie Martin¹ et Christian Mullan²

¹ Cemagref, LISC

² IRD, GEODES

Mots-Clés : théorie de la viabilité, écosystème marin, gestion de la pêche, support vector machines.

Introduction

Mullan *et al.* (2004) ont proposé un modèle dynamique d'évolution de biomasse de l'écosystème marin du sud du Benguela, composé de cinq compartiments (détritus, phytoplancton, zooplancton, poisson pélagique et poisson benthique). Ils ont étudié ce modèle dans une perspective de viabilité, en recherchant les états qui permettent à la biomasse de chaque espèce de rester dans un intervalle donné. Au lieu d'étudier les états durables de cet écosystème marin en considérant une pêche constante, nous nous intéressons ici aux politiques de pêche qui permettent de garder le système viable.

Résultats et discussion

- Le modèle de viabilité : l'écosystème du sud Benguela

En utilisant une approche classique (Walters *et al.*, 1997), on suppose que la perte de biomasse d'une espèce i due à sa prédation par les autres espèces j dépend linéairement de leurs biomasses (B_i et B_j), avec les coefficients respectifs r_{ji} et d_{ji} :

$$(1) \quad \frac{dB_i(i \rightarrow)}{dt} = - \sum_j (r_{ji} B_j + d_{ji} B_i).$$

La variation de la biomasse B_i prend également en compte la consommation de biomasse des autres espèces j par l'espèce i , multipliée par un coefficient de croissance g_i . Le gain de biomasse pour l'espèce i est alors donné par :

$$(2) \quad \frac{dB_i(i \leftarrow)}{dt} = g_i \sum_j (r_{ij} B_i + d_{ij} B_j).$$

Le modèle de l'écosystème du sud du Benguela considère les interactions trophiques (prédation, consommation et pêche Y) entre les cinq compartiments :

$$(3) \quad \frac{dB_i}{dt} = \frac{dB_i(i \leftarrow)}{dt} - \frac{dB_i(i \rightarrow)}{dt} - Y_i$$

Mullan *et al.* (2004) ont pris en considération l'incertitude sur les paramètres r_{ij} et d_{ij} , ce qui est exprimé par :

$$(4) \quad r_{ij} \in [\bar{r}_{ij} - \delta r_{ij}, \bar{r}_{ij} + \delta r_{ij}], d_{ij} \in [\bar{d}_{ij} - \delta d_{ij}, \bar{d}_{ij} + \delta d_{ij}].$$

Ils ont étudié ce modèle dans une perspective de viabilité, dans le but d'étudier la persistance de l'écosystème et de définir l'impact de la pêche. A partir de ce travail, nous avons inclus la pêche comme un compartiment à part entière du système, afin de mettre en évidence les politiques de pêche qui permettent au système de rester viable. Pour garantir un système pérenne, les contraintes de viabilité sont définies par :

$$(5) \quad \begin{cases} 0 \leq m_i \leq B_i \leq M_i, \\ 0 \leq y_{\min} \leq Y_i \leq y_{\max}, Y_i \in [-\delta y, +\delta y] \end{cases}$$

où m_i et M_i sont respectivement le niveau minimal et maximal de la biomasse de l'espèce i qui peuvent être contenus dans l'écosystème, y_{\min} et y_{\max} sont respectivement le niveau minimal et maximal de la pêche sur les poissons pélagiques et les poissons benthiques. Le

paramètre δy permet de limiter l'évolution de la pêche entre deux pas de temps. Ces contraintes, qui sont les valeurs critiques d'un système durable, permettent de lier politique de pêche et principe de persistance de l'écosystème.

- La théorie de la viabilité

Le but de la théorie de la viabilité (Aubin, 1991) est de contrôler un système dynamique afin qu'il puisse survivre dans un ensemble d'états admissibles K , appelé l'ensemble des contraintes de viabilité. Un état est dit viable si, à partir de ce point, il existe au moins une évolution qui reste indéfiniment dans K . Le *noyau de viabilité* est l'ensemble de tous les états viables et est noté $Viab(K)$. Aubin (1991) donne les théorèmes qui permettent de déterminer le noyau de viabilité sans considérer l'ensemble des séries d'actions de contrôles.

De tels problèmes sont fréquents en écologie ou en économie, quand le système se détériore ou meurt lorsqu'il quitte une certaine zone de l'espace des états. Par exemple, Béné *et al.* (2001) ont étudié le management d'une ressource renouvelable comme un problème de viabilité.

Dans l'écosystème marin du sud du Benguela, les contrôles sont les incertitudes sur les paramètres r_{ij} et d_{ij} et la variation maximale de la pêche δy .

Simulations numériques

Afin d'estimer le noyau de viabilité, nous utilisons un nouvel algorithme, basé sur (Saint Pierre, 1994). Sa principale caractéristique est qu'il donne une expression analytique de l'estimation du noyau de viabilité, afin de permettre l'utilisation de techniques standard d'optimisation pour calculer les contrôles. Cette expression analytique est fournie par une procédure d'apprentissage particulière, les support vector machines (SVM) (Vapnik, 1998).

La définition du noyau de viabilité grâce à ce nouvel algorithme permet d'étudier l'impact de la pêche sur le système et de définir des politiques de pêches durables. On montre que pour certains niveaux de biomasse, il y a une limite de pêche à ne pas franchir et que dans certains autres cas, la pêche peut être augmentée sans mettre en péril la persistance de l'écosystème.

Conclusion

Résoudre le problème de viabilité permet d'obtenir toutes les politiques de pêches qui garantissent un système pérenne. La définition du noyau de viabilité offre de plus des possibilités de négociation avec les gestionnaires de la pêche puisque, pour un état viable, il peut exister plusieurs politiques de contrôle qui permettent de garder un système pérenne.

La principale difficulté jusqu'à présent avec la théorie de la viabilité était le manque de méthodes pour résoudre des problèmes en grande dimension. L'utilisation d'une procédure d'apprentissage comme les SVM donne à cette théorie un plus grand potentiel pratique.

References

- Aubin J.P. *Viability Theory*. Birkhäuser, 1991.
- Béné, C., Doyen, L. and Gabay, D. A viability analysis for a bio-economic model. *Ecological Economics*, 36:385-396, 2001.
- Mullon, C., Curry, P. and Shannon, L. Viability model of trophic interactions in marine ecosystems. *Natural Resource Modelling*, 17(1):27-58, 2004.
- Saint-Pierre, P. Approximation of viability kernel. *Appl. Math. Optim.*, 29:187-209, 1994.
- Vapnik, V. *Statistical Learning Theory*. Wiley, 1998.
- Walters, C., Christensen, V. and Pauly, D. Structuring dynamic models of exploited ecosystems for trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish Bio. and Fish.*, 7:139-172, 1997.