

Approche écosystémique et évolutive de l'exploitation des espèces

pour une gestion durable des socio-écosystèmes liés à la pêche

encadrant principal : Nicolas Loeuille (Pr Sorbonne Université, iEES Paris, UMR7618, Paris)

co-encadrant : Pr Jean Christophe Poggiale (MIO, UMR7294, Marseille)

collaborateur : Eric Tromeur (Ministère de l'écologie, Bureau de la biodiversité et des ressources)

Résumé du projet :

Dans le contexte actuel de la crise de la biodiversité, une gestion durable des populations directement exploitées par l'homme est primordiale. Dans le cadre des pêches, la gestion se fait par modulation de l'effort de pêche, dans l'espace ou dans le temps, sous forme de régulations ou d'incitations (eg, définition de quotas, aires marines protégées). La très grande majorité de ces régulations se fait espèce par espèce et ignorent les aspects écosystémiques (eg, changement du réseau d'interaction) et évolutifs (variation de l'âge à maturité, de la taille adulte). Le présent projet de thèse propose d'étudier ces deux verrous et leurs implications pour la durabilité socio-écologique de ces systèmes. Il s'agit de comprendre comment différents scénarios de pêche affectent la propagation des effets indirects au sein du réseau écologique, mais également comment ces pressions de pêche peuvent affecter la coévolution des espèces. Enfin, la mise en place d'aires marines protégées étant un outil important de la gestion actuelle des pêches, nous proposons de considérer explicitement ces aspects spatiaux prenant en compte l'hétérogénéité des pressions de sélections (zones exploitées vs pêchées) à l'échelle de la région.

Contexte du projet :

Le développement massif des pêches au cours du dernier siècle, à l'échelle mondiale, a profondément affecté les écosystèmes marins. En 2016, la FAO évaluait ainsi que 30% des stocks exploités étaient surexploités. Une étude anglaise portant sur 118 ans de pêche au chalut propose une évaluation encore plus inquiétante, estimant que 88% des espèces sont surexploitées et des pertes de biomasse pouvant atteindre 94%¹. A l'échelle du réseau, ces déclin vident certaines niches écologiques, favorisant le basculement de ces systèmes vers des états alternatifs. Toujours à l'échelle du réseau, les espèces de grandes tailles, généralement prédateurs de sommet de chaîne trophique, sont souvent plus fortement exploitées. Plus de 90% des individus poissons de grande taille ont ainsi disparu des océans au cours des 50 dernières années². Cette diminution de l'abondance des grands prédateurs est susceptible de modifier en cascade les abondances des espèces de niveau trophique inférieur (cascades trophiques)^{3,4}.

Parce que la pêche exerce une surmortalité importante pour la population, les individus se reproduisant précocement peuvent passer leurs gènes à la génération suivante, les autres étant contre-sélectionnés. Du fait des contraintes de croissance, ces individus sont plus petits en moyenne au moment de la reproduction. Ces phénomènes évolutifs rapides ont été bien décrits au cours des dernières décennies^{5,6}. Une évolution vers des tailles plus petites contraint à terme la durabilité économique de l'activité (les grands individus jouant un rôle majeur dans la reproduction du stock⁷) et ses effets écologiques (la taille contraignant de nombreuses interactions écologiques). De tels phénomènes évolutifs ont accompagné l'effondrement des populations de morue au large de Terre Neuve et contraint leur restauration⁵.

Ces aspects sont généralement ignorés dans la gestion des pêches actuelle. Les modèles utilisés s'appuient sur des critères monospécifique (eg, MSY (productivité soutenable maximale) en Europe, et MEY (productivité économique maximale) en Australie). Le projet de thèse présenté ici s'intéresse donc à cette interface réseau/évolution et a pour but de mieux comprendre comment elle affecte la durabilité des pêches, tant du côté écologique (maintien de la diversité et des structures des réseaux écologiques) que du côté économique (maintien de la productivité et du rendement des pêches).

Questions de recherche et méthodologies proposées

Le travail de thèse proposé se découpe en trois axes indépendants mais complémentaires. Chacun des axes peut mener à des résultats et des publications indépendantes.

Axe 1: Effets des pêches sur la dynamique du réseau d'interactions

Dans ce premier axe, nous proposons d'étudier comment la répartition de l'effort de pêche entre les différentes espèces du réseau affecte sa dynamique et la durabilité de l'activité. Les modèles dynamiques utilisés seront basés sur la taille moyenne des individus présents au sein du réseau trophique. Ce trait phénotypique (taille corporelle) est effectivement idéal pour lier les effets écologiques et évolutifs: (1) la taille corporelle définit largement la position des différentes espèces au sein du réseau trophique (espèces grandes en sommet de chaîne); (2) les politiques d'effort de pêche sont souvent basées sur la taille corporelle (eg, quotas sur la taille ou du fait de contraintes techniques, eg mailles de filets). De nombreux modèles écologiques basés sur la taille peuvent être utilisés, tant du point de vue des dynamiques écologiques⁸ que du point de vue éco-évolutif⁹. En utilisant ces modèles, nous testeront les prédictions suivantes: (i) une pêche équilibrée entre les différentes tailles permet une meilleure durabilité socio-écologique du système en minimisant les effets indirects de la pêche (hypothèse dite du "balanced harvesting"¹⁰); (ii) l'évolution vers des tailles plus petites permet la sauvegarde de certaines populations exploitées (hypothèse dite "Evolutionary rescue") mais diminue le rendement potentiel futur de l'activité.

Axe 2: Adaptation de l'effort de pêche et durabilité

L'effort de pêche peut également répondre et s'adapter aux variations des différentes espèces présentes, à différentes échelles spatio-temporelles. A l'échelle de l'entreprise de pêche, l'effort peut être redistribué d'une zone de pêche à l'autre, selon les prises. A plus grandes échelles (nationales ou internationales), régulations et quotas peuvent changer en fonction des abondances, par exemple dans des buts de conservation des espèces et/ou de maintien des rendements de pêches. Une approche simplifiée de cette question¹¹, basée sur un couple proie-prédateur montre que, de façon surprenante, l'adaptation de l'effort de pêche peut conduire à des basculements abrupts. L'application de tels résultats dans un contexte plus complexe (nombreuses espèces, plusieurs niveaux trophiques), demeure cependant peu évidente. Nous prédisons que les changements abrupts devraient être plus réduits dans ce contexte réseau, l'effort variant de façon alors plus continue. Nous étudierons comment la durabilité du système dépend de ces processus d'adaptation

Axe 3: Gestion spatiale de l'effort de pêche (eg, Aires marines protégées)

Etant donnée la gestion précaire actuelle des pêches, la mise en place d'Aires marines protégées fait actuellement figure d'alternative viable. Elle pourrait permettre une bonne durabilité, les zones laissées en réserve alimentant en poissons les zones adjacentes pêchées. Une question importante concerne alors le design optimal de telles zones protégées (eg, proportion de l'espace à protéger, une grande zone protégée ou plusieurs petites, etc)¹². Les travaux sur cette question ignorent généralement les aspects réseaux et évolutifs.

Pourtant, la mise en place de réserve crée de fait des conditions de sélection hétérogènes dans l'espace. Selon les taux de dispersion des espèces (et donc des flux de gènes entre les différentes zones), les effets de telles aires marines protégées peuvent donc être très différents, et influencer les dynamiques éco-évolutives liées à la pêche. L'effet de cette hétérogénéité sera différent pour les espèces de grande taille pour lesquelles l'échelle spatiale de la recherche de nourriture est plus importante. Nous étudierons ces questions et prédictions, en développant des modèles spatialement explicites au sein desquels nous ferons varier spatialement l'effort de pêche (eg, modèles discrets avec différents patches). Ces modèles spatialement explicites étant plus complexes à mettre en place, cet axe sera d'abord envisagé sous un angle simplifié (eg, en utilisant non pas un réseau, mais deux ou trois espèces en chaîne trophique), puis développé à l'échelle du réseau.

Démarche, encadrement et candidat :

Pour chacun des trois axes, des modèles de départ sont clairement identifiés, le plus souvent en lien avec des travaux passés des encadrants. Outre les simulations de réseaux proposés, des situations plus simples (eg, nombre restreint d'espèces, scénarios simplifiés de pêche) seront également recherchées afin de pouvoir analyser plus complètement (mathématiquement) les dynamiques associées. La comparaison avec des cas empiriques permettra de discuter la pertinence des modèles. La collaboration envisagée dans cette thèse avec Eric Tromeur (bureau de la biodiversité et des ressources) permettra de développer cette interface. Le sujet, à l'interface entre durabilité des socio-écosystèmes, dynamiques éco-évolutives et application aux changements globaux, est susceptible d'intéresser des journaux importants du domaine (eg, *Ecology Letters*, *American Naturalist*, *Global Change Biology*).

L'encadrement sera mené par Nicolas Loeuille et Jean Christophe Poggiale. Les deux encadrants se côtoient depuis de nombreuses années et ont déjà entamé collaborations et co-encadrements. N. Loeuille a développé de nombreux modèles écosystémiques et éco-évolutifs. JC Poggiale est spécialiste de modélisation mathématique appliquée à l'écologie. Leurs précédents travaux^{3,4,9,11} sur la structure en taille des réseaux et populations facilitera la mise en place du projet. Les deux co-encadrants ont une expérience importante dans l'encadrement de thésards. Eric Tromeur, non encadrant, prendra part à la collaboration. Sa participation permettra de discuter de certains aspects empiriques et donc d'approfondir la discussion concernant la validation des modèles.

Ce projet est particulièrement adapté à des profils de master type BEE (Biodiversité Ecologie Evolution) orientés vers les aspects théoriques et la modélisation ou à des profils de master de modélisation ou mathématiques appliquées.

Références

1. Thurstan, R. H. et al (2010). *Nature communications*, 1(1), 1-6.
2. Myers, R. A., & Worm, B. (2003). *Nature*, 423(6937), 280-283.
3. Maury, O. & Poggiale, J.-C., (2013), *Journal of Theoretical Biology*, 324, 52-71
4. Guiet, J., Poggiale, J.-C. & Maury, O., (2016), *Ecological Modelling* 337, 4-14
5. Olsen, E. M., Heino, M., Lilly, G. R., et al. (2004). *Nature*, 428(6986), 932-935.
6. Conover, D. O., & Munch, S. B. (2002). *Science*, 297(5578), 94-96.
7. Barneche, D. R., et al. (2018). *Science*, 360(6389), 642-645.
8. Schneider, F., Brose, U., Rall, B. et al. (2016) *Nature Communications* 7, 12718.
9. Loeuille, N., & Loreau, M. (2005). *PNAS*, 102(16), 5761-5766.
10. Garcia et al. (2012). *Science*, 335, 1045-1047
11. Tromeur, E., & Loeuille, N. (2018). *bioRxiv*, 290460.
12. Gaines, S. D. et al. (2010). *PNAS*, 107(43), 18286-18293