

Sujet de thèse

Modélisation du transfert des radionucléides dans les réseaux trophiques en Méditerranée.

Le contexte

La modélisation du transfert et du comportement des radionucléides dans les milieux aquatiques est un des enjeux environnementaux de l'IRSN et de la radioécologie. Pendant des décennies les scientifiques se sont focalisés sur le transfert des radionucléides aux organismes principalement sous l'angle de facteur de concentration ou de transfert, ce qui s'est avéré être une connaissance fondamentale (AIEA, 2004). Cependant, dans ces études, les organismes sont généralement considérés par espèce ou par groupe ce qui ne permet pas d'appréhender la dynamique de transfert dans les réseaux trophiques. Depuis une quinzaine d'années la communauté scientifique milite pour des études sur le transfert des contaminants dans les réseaux trophiques, besoin ravivé, en ce qui concerne les radionucléides, par l'accident survenu sur la centrale de Fukushima en mars 2011 et qui a conduit aux rejets les plus importants jamais effectués en milieu marin (Buesseler et al., 2011, 2017). Les études de terrain pour appréhender ces transferts requièrent un très grand nombre d'échantillons et de mesures qui s'avèrent de toute façon parcellaire en regard de la complexité des réseaux trophiques. La modélisation constitue dans ce cas un outil puissant qui permet de pallier à ce manque de données.

La modélisation du transfert des radionucléides vers les organismes marins est l'un des défis que s'est lancé le projet AMORAD (ANR-11-RSNR-002/2013-2022) piloté par l'IRSN. Devant la difficulté de couvrir, par la modélisation, l'ensemble des échelles spatio-temporelles impliquées dans ce type d'étude, le but du projet était de développer plusieurs types de modélisations, chacun répondant à des échelles spatio-temporelles données. Ces modèles ont été jusqu'à présent développées sur la problématique de l'impact des rejets de la centrale de Fukushima sur les organismes marins (Belharet et al., 2016, 2019 ; Fievet et al., 2017 ; Booth et al, in prep ; Senina et al., in prep)

Il est nécessaire de s'attacher aujourd'hui au développement de ce type de modélisation sur les côtes françaises. Dans le cadre de ce sujet de thèse la zone géographique choisie est celle du Golfe du Lion eu égard au fait qu'il est soumis aux apports du Rhône, l'un des fleuves les plus nucléarisés au monde, et que diverses équipes scientifiques y étudient les réseaux trophiques. Dans cette zone sont d'ailleurs concentrés 90% des débarquements des pêcheries françaises de Méditerranée.

Etat des connaissances sur la zone d'étude

Depuis plusieurs années divers programmes de recherche étudient l'alimentation des principales espèces en termes de biomasse et d'importance pour le fonctionnement des réseaux trophiques pélagiques et benthiques du golfe du Lion ainsi que son rôle dans le transfert de contaminants (ANR MERLUMED, ANR COSTAS, ANR AMPED etc). Ces informations, complétées par des données de la littérature, ainsi que les estimations de biomasse des espèces (campagnes halieutiques PELMED, MEDITS) et de débarquement (Système d'Information Halieutique de l'IFREMER) ont permis de réaliser un premier modèle Ecopath pour le Golfe du Lion (Bănaru et al., 2013a,b). Cette étude soulignait encore de nombreuses lacunes notamment en ce qui concerne l'alimentation de certaines espèces d'intérêt commercial mais elles ont été pour partie complétées par la suite (Le Bourg et al., 2015 ; Bănaru, 2019).

Cette structure du modèle et ces informations récentes sur l'alimentation des espèces constitueront la base pour la mise en place des modules Ecospace et Ecotracer sur le golfe du Lion.

Contenu de la thèse et déroulement de la thèse

Ce projet de thèse propose donc l'utilisation de la suite de modèles Ecopath with Ecosim (EwE), Ecospace ainsi que du module Ecotracer (Walters et al., 1997, 1999, 2018; Christensen et al., 2008) pour l'étude spécifique du devenir des radionucléides sur la zone du Golfe du Lion. Cette étude ne vise pas particulièrement des mesures de terrain excepté ponctuellement s'il s'avérait que des données cruciales étaient manquantes. Il s'agit donc

essentiellement d'un travail de modélisation écosystémique allant du plancton aux prédateurs supérieurs basé sur des données *in situ* existantes et issues de la littérature.

I. Le candidat(e) devra dans un premier temps se focaliser sur le choix d'une part de l'étendue de la zone d'étude et la période cible pour la paramétrisation du modèle EwE et d'autre part des groupes et des espèces à représenter dans le modèle qui couvriraient les compartiments pélagique et démersal-benthique

II. La seconde phase sera la mise en œuvre du module Ecospace qui donne une représentation spatiale des groupes fonctionnels du modèle avec une allocation dynamique de la biomasse sur une grille

III. La troisième phase portera sur le couplage avec un modèle hydrodynamique et/ou de dispersion des radionucléides et l'utilisation du module Ecotracer pour l'étude du transfert des radionucléides aux organismes.

Durant cette phase le couplage avec différents modèles hydrodynamiques développés sur la Méditerranée sera envisagé.

Le module Ecotracer a fait l'objet d'une validation sur la zone de Fukushima (Booth et al., in prep) et il s'agira de tester ce modèle sur un autre réseau trophique et dans un premier temps dans une situation à l'équilibre.

Une fois le module Ecotracer validé sur la zone du Golfe du Lion différents scénarios seront établis pour tester leur influence sur le transfert des radionucléides en situations contrastées telles que i) des variations dans les apports du Rhône (fortes crues, fortes concentrations en lien avec des hypothétiques accidents de durée variable, conditions météorologiques, etc) ii) la modification de la production phytoplanctonique (augmentation ou diminution de la biomasse des différentes classes de taille de phytoplancton) ou iii) les activités de pêche qui pourraient modifier l'importance relative des compartiments trophiques par effet cascade et donc les transferts trophiques de ces contaminants.

Cette thèse de doctorat permettra d'améliorer la compréhension des processus de transferts des radionucléides dans les réseaux trophiques du golfe du Lion pour lesquels il existe actuellement de nombreuses données sur l'alimentation des espèces qui les composent. Elle bénéficiera d'un contexte favorable au niveau national avec le rattachement au projet ANR-AMORAD (2013-2022) piloté par l'IRSN et la conduite de travaux similaires sur d'autres contaminants notamment dans l'ANR Jeunes Chercheurs et Jeunes Chercheuses CONTAMPUMP, piloté par le M.I.O. (2020-2023).

.....

Moyens expérimentaux, outils de simulation, nécessaires à la réalisation de la thèse :

La modélisation se fera par le biais d'une suite de modèles Ecopath-Ecosym-Ecospace-Ecotracer sous licence PRO. Les outils informatiques nécessaires seront fournis à l'étudiant.e.

Lieux de travail : LRTA Laboratoire de Recherche sur les Transferts de radionucléides dans les écosystèmes Aquatiques Cadarache.

Encadrement

Sabine Charmasson (IRSN-LRTA)

Compétences requises : Master sciences de la mer, océanographie ou écologie, une expérience dans l'utilisation des modèles mathématiques serait appréciée

Date limite d'envoi des candidatures (CV, lettre de motivation, lettre/s de recommandation): **30 avril 2020** Contact : sabine.charmasson@irsn.fr ,

REFERENCES

- Agence Internationale de l’Energie Atomique, 2004.** Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment. *Technical Reports Series* No.422.
- Bănaru D, 2019.** Structure et fonctionnement des écosystèmes marins : analyses trophiques, modélisation et contamination. *Rapport d’Habilitation à Diriger les Recherches*, Aix Marseille Université, 105p.
- Bănaru D, Mellon-Duval C, Roos D, Bigot JL, Souplet A, Jadaud A, Beaubrun P, Fromentin JM, 2013b.** Trophic interactions in the Gulf of Lions ecosystem (northwestern Mediterranean) and fishing impacts. *ICES Journal of Marine Systems*, 111-112: 45-68.
- Bănaru D, Ballerini T, Mellon-Duval C, 2013a.** A standardized model to investigate the effects of fisheries in the Mediterranean Sea: the case of the Gulf of Lion. *Rapp. Comm. Int. Mer. Médit.* 40th CIESM congress
- Belharet M, Charmasson S, Tsumune D, Arnaud M, Estournel C (2019)** Numerical modelling of 137Cs content in the pelagic species of the Japanese Pacific coast following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident using a size structured food-web model. *PLoS ONE* 14(3):e0212616.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212616>.
- Belharet M., Estournel. C., Charmasson S., 2016** Ecosystem model-based approach for modelling the dynamics of 137Cs transfer to marine plankton populations : application to the Western North Pacific Ocean after the Fukushima nuclear power plant accident. *Biogeosciences* 13, 499-516, doi:10.5194/bg-13-499-2016, 2016.
- Booth S., Walters W., Charmasson S., Christensen V. in prep.** An Ecopath with Ecosim model for eastern Japan: describing the marine environment and its fisheries prior to the Great East Japan earthquake
- Buesseler K., Aoyama M. and Fukasawa M., 2011:** Impacts of the Fukushima Nuclear Power Plants on Marine Radioactivity. *Environ. Sci. Technol.* 45:9931-35
- Buesseler K., Dai M., Aoyama M., Benitez-Nelson C., Charmasson S., Higley K., Maderich V., Masqué P., Morris P., Oughton D., Smith J.N., 2017.** Fukushima-derived radionuclides in the ocean: transport, fate and impacts. *Annual review in Marine science*, 9:173-203.
- Christensen, V., Walters, C.J., Pauly, D., 2008.** Ecopath with Ecosim: a user’s guide. Fish. Cent. Univ. Br. Columbia Vanc. 154.
- Fiévet Bruno, Pascal Bailly-du-Bois, Philippe Laguionie, Mehdi Morillon, Mireille Arnaud, Pascal Cunin, 2017.** A dual pathways transfer model to account for changes in the radioactive caesium level in demersal and pelagic fish after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *PLoS ONE* 12(3): e0172442.doi:10.1371/journal.pone.0172442.
- Le Bourg B, Bănaru D, Saraux C, Nowaczyk A, Le Luherne E, Jadaud A, Bigot JL, Richard P, 2015.** Trophic niche overlap of sprat and commercial small pelagic teleosts in the Gulf of Lions (NW Mediterranean Sea). *Journal of Sea Research*, 103, 138-146.
- Senina I., Lehodey P., Rossi V., Charmasson S., Tateda Y., in prep.** Developing operational model to quantify radioactive contaminations of pelagic marine food-webs.
- Walters, C., Christensen, V., Pauly, D., 1997.** Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Rev. Fish Biol. Fish.* 7,139–172.
- Walters, C., Pauly, D., Christensen, V., 1999.** Ecospace: prediction of mesoscale spatial patterns in trophic relationships of exploited ecosystems, with emphasis on the impacts of marine protected areas. *Ecosystems* 2, 539–554.
- Walters, C., Christensen V., 2018:** Ecotracer: analyzing concentration of contaminants and radioisotopes in an aquatic spatial-dynamic food web model. *Journal of Environmental Radioactivity* 181 (2018) 118–127