



Capacité et fonctionnement trophique de la baie de Seine: relation avec le recrutement des espèces nourricerie-dépendantes

- **Directeur de thèse** : Hervé Le Bris (herve.le.bris@agrocampus-ouest.fr)

- **Co-directeur de thèse** : Anik Brind'Amour (Anik.Brindamour@ifremer.fr)

Trophic capacity and functioning of the Seine Estuary : the link with recruitment of nursery-dependent fish species

The number of nursery-dependent recruits is highly correlated with the surface of coastal habitats and the quality of such habitats. Conserving adequate habitat size is thus essential in maintaining good recruitment in nursery-dependent fish species. The Seine estuary and its bay play an essential role of nursery for many species and contribute to the renewal of several fish and shellfish stocks. However, the estuary went through important morphological modifications since the early 19th century and much of these modifications accelerated in the last 30 years. Rochette et al. (2013) recently estimated a 40% loss of juvenile of sole in the Seine estuary since 1850 and Delsinne (2005) estimated that 33% of the nursery surface was loss in the meantime. Concurrently, the habitat quality (i.e; trophic aspect) of the Seine estuary also showed strong diminutions of potential prey of fish juveniles (e.g. *Hediste diversicolor*, Bessineton, 2009).

The general objective of the thesis is to understand the relationship between the trophic capacity of the bay of Seine and the production of fish juveniles. We are aiming to describe the trophic structures within and among different sectors in the bay of Seine, quantify the links among these sectors, and assess the relationship between the trophic functioning and the quality (growth and condition) of fish juveniles. The thesis is composed of three specific objectives:

1. Assessment of trophic structures and quantification of relative contribution of the different sectors to the diet of fish species;
2. Estimation of the temporal variability of the trophic capacity of the bay of Seine and its effect on juveniles growth and physical condition;
3. Interannual estimation of the trophic capacity of the bay of Seine and the link with fish recruitment

Keywords: Trophic capacity, recruitment, coastal ecosystems, seasonal and interannual variability, spatial distribution, bay of Seine

Profil de candidature souhaitée

Profil type d'ingénieur ou master 2 de recherche avec compétences suivantes:

Ecologie quantitative, connaissance du domaine marin, méthodes d'analyse statistiques, écologie des communautés

Quantitative ecology, marine ecology, statistical analysis, community ecology

Le contexte scientifique

Les habitats estuariens-côtiers sont des zones parmi les plus productives de l'océan (Seitz et al. 2014). Ils sont notamment utilisés par les juvéniles de nombreuses espèces de poissons marins dites « nourricerie dépendantes ». Cette étape de leur cycle de vie est caractérisée par une forte croissance et une mortalité supérieure à celle des adultes (Gibson, 1994). Ainsi, la fonction de nourricerie d'un habitat est définie par sa capacité à maximiser la croissance et la survie des juvéniles de poissons (Beck et al., 2001). Le nombre de recrues d'une espèce nourricerie-dépendante étant directement proportionnel à la superficie de ces habitats côtiers (Rijnsdorp et al. 1992), le maintien de la taille ainsi que de la qualité de tels habitats semble décisif dans le renouvellement de ces espèces de poissons. Or, les zones estuariennes-côtières subissent de fortes pressions anthropiques (McLusky and Elliott 2006). Ainsi, leur qualité se trouve souvent détériorée (contamination, excès des apports organiques, hypoxie; Gray et al. 2002) et leur superficie tend à diminuer par les endiguements (Goeldner-Gianella 2007), les développements portuaires, la chenalisation, les dragages et dépôts de dragage. Afin de préserver la fonction de nourricerie de ces milieux, il est nécessaire d'en comprendre les dynamiques spatiale et trophique et d'en identifier les facteurs explicatifs.

L'estuaire de Seine est particulièrement représentatif de la situation globale des milieux estuariens-côtiers. Depuis les 30 dernières années, l'estuaire a subi de profondes modifications morphologiques dont les conséquences ont été, pour certaines, caractérisées : réduction de l'espace disponible, réduction des surfaces intertidales, réduction du volume de l'estuaire, migration du dépôt-centre de la sédimentation vers l'aval, et ensablement significatif de l'estuaire aval. Or, cet estuaire assure une fonction de nourricerie, indispensable au développement des jeunes poissons marins qui rejoignent ensuite les populations du large et contribuent ainsi au recrutement, et donc au renouvellement des stocks de poissons adultes. De récents travaux ont estimé à plus de 40% la perte de production de juvéniles de soles en estuaire de Seine depuis 1850 (Rochette et al. 2013), la principale cause évoquée étant la forte diminution surfacique des nourriceries - estimée à près de 33% - pour cette espèce (Delsinne, 2005). En parallèle, la qualité trophique de certains habitats tels les vasières intertidales, montrent des diminutions importantes de proies potentielles de poissons (e.g. *Hediste diversicolor*, Bessineton, 2009).

Un des principaux enjeux de la compréhension du fonctionnement trophique des nourriceries et notamment celle de la baie de Seine, vient de la difficulté à expliquer les facteurs impliqués dans le recrutement des espèces nourriceries-dépendantes. Selon Nash (1998), les surfaces restreintes des habitats de nourriceries seraient à l'origine de l'amortissement de la variabilité des abondances des stades pélagiques (œufs et larves). Les nourriceries agiraient comme goulot d'étranglement où seul un certain nombre d'individus, défini par les caractéristiques de la nourricerie survivra au premier été. Ceci met en avant une caractéristique fondamentale des nourriceries : leur capacité d'accueil limitante (Iles & Beverton 2000). La capacité d'accueil des nourriceries correspond donc à un potentiel d'accueil défini par les caractéristiques de la nourricerie (Myers et al. 2001). Plusieurs facteurs sont connus pour influencer sur cette capacité : des facteurs assez stables à courte échelle temporelle comme la surface couverte par un type de sédiments et une gamme de bathymétrie (Rijnsdorp et al. 1992, Rochette et al. 2010), mais aussi des facteurs variables comme la température, les apports terrigènes influant sur la quantité de nutriments et la salinité, la nourriture disponible ainsi que la présence de prédateurs (Gibson 1994, Kostecki et al. 2010, Tableau 2015). Cette capacité d'accueil est donc dynamique dans le temps (Nash et al. 2007). Parmi ces composantes, le rôle joué par le facteur trophique fait toujours l'objet de débats (Gibson 1994). La question est alors de savoir si les ressources alimentaires sont limitantes et jouent un rôle de régulation des quantités de juvéniles de poissons et donc de la capacité d'accueil de la nourricerie. Plus largement, l'étude du fonctionnement de ces habitats vise à mieux appréhender les phénomènes de régulation du recrutement des espèces nourricerie-dépendantes et donc de leur renouvellement et de leur maintien.

De récents travaux portant sur les populations de juvéniles de poissons ont montré la présence de migrations estivales des espèces marines de l'amont vers l'aval de l'estuaire de la Seine (projet MODHANOUR). La variation de la condition des juvéniles associée à ces migrations suggère une évolution saisonnière de la disponibilité alimentaire sur ces zones. La diminution de la disponibilité des proies benthiques sur les zones en amont de l'estuaire durant l'été (van der Veer et al., 2016) pourrait être en effet une des causes de ce patron de migration en baie de Seine. Les résultats du projet MODHANOUR suggèrent, tout comme les travaux de Tecchio et al. 2015, une zonation spatiale du fonctionnement de la baie de Seine et une répartition spatiale dynamique à l'échelle mensuelle. Alors que ces travaux soulignent un fonctionnement sectorisé de la baie de Seine, ils indiquent toutefois notre incapacité actuelle à expliquer les processus sous-jacents à ce dynamisme spatiale et aux effets sur le recrutement et la condition physique des juvéniles de poissons.

L'objectif général de la thèse est de comprendre les liens entre la capacité trophique de la baie de Seine et la production de juvéniles de poissons. Il s'agit de décrire les structures trophiques au sein et entre les secteurs de la baie de Seine, de quantifier les liens trophiques entre ces secteurs et de déterminer les relations entre leur

fonctionnement trophique et la qualité (croissance et condition) des juvéniles de poissons. La thèse comporte trois objectifs particuliers:

1. Analyse des réseaux trophiques et estimation de la contribution relative des différents secteurs au régime alimentaire des espèces sélectionnées;
2. Estimation de la variabilité saisonnière de la capacité trophique de la baie de Seine et effets sur la croissance et la condition physique des juvéniles
3. Quantification de la variabilité interannuelle de la capacité trophique et étude du lien avec le recrutement des espèces ciblées

Originalité et caractère innovant

En termes de méthode d'approche, l'originalité du projet réside principalement dans l'utilisation de données, jusqu'ici rarissime, sur les compartiments benthiques (macro- et méio-faune) et sur le rôle du compartiment suprabenthique (copépodes, amphipodes, cumacés, mysidacés) lors de la phase d'installation des juvéniles au printemps (mai). Vis-à-vis de l'écosystème étudié, l'originalité est d'intégrer un ensemble de secteurs, jusqu'ici traité séparément. Par rapport à la question centrale de la thèse l'établissement d'un lien entre la capacité trophique et le recrutement permettrait d'améliorer nos connaissances sur l'absence de relation entre le stock et le recrutement des espèces halieutiques (e.g. sole, plie, flet, merlan, grondin).

Données disponibles

En ce qui concerne les communautés benthodémersales (juvéniles de poisson et méga-invertébrés), les données proviennent des campagnes d'échantillonnage au chalut à perche avec des résolutions spatiales et temporelles différentes de la baie et de l'estuaire de la Seine.

- Campagne NourSeine : automne (1995-2002; 2008-2010; 2017-2019)
- Suivi GPMH : de mai à octobre (2000-2017)
- Suivi DCE : 3 années sur 6 au printemps et à l'automne (2006-...)

En ce qui concerne les communautés de macro-invertébrés benthiques (proies des juvéniles de poissons), des données de campagnes d'échantillonnage (benne) sont aussi disponibles dans la base MABES (UMR M2C)

Les campagnes prévues dans le projet CAPES (mai et octobre 2017) couvrant une grande étendue spatiale compléteront cet ensemble de données et permettront de disposer de données isotopiques sur les différentes communautés et habitats (eau, sédiments, faune endo et supra benthique, mégafaune benthique, poissons)

Des données environnementales et en particulier celles sur les débits des fleuves en Manche et les données de température, salinité, oxygène dissous, turbidité en baie de Seine seront issues des modèles (MARS 3D) et obtenues *in situ* via les campagnes d'échantillonnages.

Les données sur le recrutement des espèces ciblées (sole, plie, rouget) seront issues du CIEM.

Approches méthodologiques

1. L'analyse des réseaux trophiques et l'estimation de la contribution relative des différents secteurs au régime alimentaire des espèces sélectionnées seront effectuées à l'aide des données isotopiques et des données issues des contenus digestifs. L'outil isotopique est particulièrement approprié pour tracer l'intégration des apports terrigènes dans les réseaux trophiques estuariens ou marins, du fait de la différence marquée de signature isotopique entre les productions primaires terrestres et marines. Dans cette partie seront comparées les structures des réseaux trophiques de chaque secteur à l'aide d'indices fonctionnels de diversité isotopiques (Layman et al. 2007, Jackson et al 2011, Brind'Amour & Dubois 2013), qui caractériseront l'ensemble des compartiments échantillonnés (i.e. colonne d'eau, sédiment, benthos, poisson). Ces indices permettent d'estimer la largeur de la niche trophique (insensible aux signatures extrêmes et nombre de taxa), l'expansion trophique (verticale ou horizontale) du réseau, la redondance trophique et la divergence trophique entre les espèces de la communauté. La contribution relative des différents secteurs au régime alimentaire des espèces sera abordée avec l'utilisation d'un modèle de mélange (Parnell et al. 2010). Ces modèles permettent d'estimer la proportion de chacun des secteurs à la composition isotopique des juvéniles des espèces ciblées. Ce modèle a déjà été utilisé dans un contexte estuarien sur les juvéniles de sole (Le Pape et al. 2013). En parallèle de l'approche par modélisation, une évaluation réelle des espèces consommées par les juvéniles sera effectuée via l'analyse de contenus digestifs.
2. L'estimation de la variabilité saisonnière de la capacité trophique de la baie de Seine et l'identification des effets sur la croissance et la condition physique des juvéniles sera abordée en deux temps. Dans un premier temps, la capacité trophique de la nourricerie de la baie de Seine sera estimée par le rapport de la consommation des poissons sur la production benthique de la baie. Ceci sera fait en quantifiant la production benthique de l'estuaire en adaptant un coefficient générique permettant d'estimer de la

production annuelle d'énergie à partir de simples données d'observation de biomasses de proies (Tableau et al. 2015). Ce coefficient, dénommé ABEC (Available Benthic Energy Coefficient), est propre à chacune des espèces de proies et permet de quantifier les quantités de nourriture disponibles dans la nurserie. Il a pour particularité de prendre en compte le niveau d'accessibilité des proies, définie à partir des analyses des contenus stomacaux. Cette production sera mise en relation avec un modèle de consommation alimentaire des juvéniles de poissons développé sur une autre zone de nurserie dans le golfe de Gascogne (Tableau 2015) et que le thésard devra adapter pour la baie de Seine. Ensuite, dans un deuxième temps sera mise en relation la capacité trophique estimée au mois de mai et octobre avec les estimations de croissance journalière calculées au début et à la fin de la période estivale (mai et octobre) et avec la condition physique des individus estimée à l'aide de différents indices (coefficient de condition de Fulton, indice hépatosomatique, ratio élémentaire C/N). La croissance sera basée sur la lecture des otolithes et réalisées dans le cadre du projet NOURSEINE (AO FEAMP 2016).

3. La quantification de la variabilité interannuelle de la capacité trophique et l'étude du lien avec le recrutement des espèces ciblées sera étudiée en deux temps. Dans un premier temps, seront testés des proxys d'estimation de la capacité trophique via l'utilisation de données issues des chalutages à perche. Des pistes ont déjà été identifiées (Tableau 2015), il reste toutefois à les tester et à en définir les limites méthodologiques. Ensuite, seront mis en relation la variabilité interannuelle de la capacité trophique estimée ci-haut avec certaines variables environnementales, notamment le débit de la Seine et les indices de recrutement estimés par le CIEM.

Les collaborations avec des laboratoires extérieurs.

Les collaborations envisagées sont d'abord avec l'UMR ESE de l'Agrocampus Ouest qui co-encadrera la thèse. Des collaborations avec l'UMR M2C de l'Université de Caen et des collaborations internes Ifremer sont aussi envisagées notamment avec l'unité RH et le LERN de Port-en-Bessin, ainsi qu'avec l'unité halieutique MMN de Boulogne sur Mer et le pôle de sclérologie.

Echéancier prévisionnel des travaux

Période	Activité	Produit
Nov.17 - Jan.18	Bibliographie et mise en forme des données pour les analyses	chapitre introduction de la thèse
Fév. - Déc. 2018	Quantification de la variabilité interannuelle de la capacité trophique et étude du lien avec le recrutement des espèces ciblées	article scientifique
Janv. - Sept. 2019	Analyse des réseaux trophiques et estimation de la contribution relative des différents secteurs au régime alimentaire des espèces sélectionnées	article scientifique
Oct. 19 - Apr. 2020	Estimation de la variabilité temporelle de la capacité trophique de la baie de Seine et effets sur la croissance et la condition physique des juvéniles	article scientifique
Mai- Oct 2020	Rédaction du manuscrit de thèse	manuscrit de thèse

Références

- Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B.S., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F., Weinstein, M.P., 2001. The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. *Bioscience* 51, 633–641.
- Bessineton, C. 2009. Chapter 9: Historical Records of the Nereis diversicolor Population in the Seine Estuary. In *Environmental Assessment of Estuarine Ecosystems, A Case Study*. Edited by Claude Amiard-Triquet and Philip S. Rainbow, CRC Press 2009. Pages 188–197.
- Brind'Amour A., and Dubois, S.F. (2013) Isotopic Diversity Indices: How Sensitive to Food Web Structure? *PLoS ONE* 8(31): e84198. doi:10.1371/journal.pone.0084198
- Delsinne N., 2005. Evolution pluri-millénaire à pluri-annuelle du prisme sédimentaire d'embouchure de la Seine. Facteurs de contrôle naturels et d'origine anthropique. Thèse de doctorat, Université de Caen. 185p
- Gibson, R., 1994. Impact of Habitat Quality and Quantity on the Recruitment of Juvenile Flatfishes. *Neth. J. Sea Res.* 32, 191–206.
- Goeldner-Gianella, L., 2007. Perceptions and Attitudes Toward De-polderisation in Europe: A Comparison of Five Opinion Surveys in France and the UK. *J. Coast. Res.* 1218–1230.
- Gray, J.S., Wu, R.S., Or, Y.Y., 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 238, 249–279.

- Iles TC, Beverton RJH. 2000. The concentration hypothesis: the statistical evidence. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 57: 216–227.
- Jackson MC, Donohue I, Jackson AL, Britton JR, Harper DM, Grey J, 2012. Population-level metrics of trophic structure based on stable isotopes and their application to invasion ecology. *PLoS ONE* 7: 1–12.
- Kostecki C, Le Loc'h F, Roussel J-M, Desroy N, Huteau D, Riera P, Le Bris H, Le Pape O. 2010. Dynamics of an estuarine nursery ground: the spatio-temporal relationship between the river flow and the food web of the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) as revealed by stable isotopes analysis. *Journal of Sea Research* 64: 54–60.
- Layman CA, Quattrochi JP, Peyer CM, Allgeier JE ,2007. Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. *Ecology Letters* 10: 937–944.
- Le Pape O, Moderan J, Beaune G, Riera Pascal, Nicolas D, Savoye N, Harmelin-Vivien M, Darnaude AM, Brind'Amour A, Le Bris H, Cabral H, Vinagre C, Pasquaud S, Franca S, Kostecki C, 2013. Sources of organic matter for flatfish juveniles in coastal and estuarine nursery grounds: A meta-analysis for the common sole (*Solea solea*) in contrasted systems of Western Europe. *Journal Of Sea Research*, 75, 85-95.
- McLusky, D.S., Elliott, M., 2006. *The Estuarine Ecosystem - ecology, threats and management*, 3rd ed. Oxford University Press.
- Myers RA, MacKenzie BR, Bowen KG, Barrowman NJ. 2001. What is the carrying capacity for fish in the ocean? A meta-analysis of population dynamics of North Atlantic cod. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 1464–1476.
- Nash RDM. 1998. Exploring the population dynamics of Irish Sea plaice, *Pleuronectes platessa* L., through the use of Paulik diagrams. *Journal of Sea Research* 40: 1–18.
- Nash RDM, Geffen AJ, Burrows MT, Gibson RN. 2007. Dynamics of shallow-water juvenile flatfish nursery grounds: application of the self-thinning rule. *Marine Ecology Progress Series* 344: 231–244.
- Parnell, Andrew C., Inger R, Bearhop, S, Jackson, AL, 2010. Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *PLoS ONE* 5(3): e9672. doi:10.1371/journal.pone.0009672
- Rijnsdorp, A.D., Van Beek, F.A., Flatman, S., Millner, R.M., Riley, J.D., Giret, M., De Clerck, R., 1992. Recruitment of sole stocks, *Solea solea* (L.), in the Northeast Atlantic. *Neth. J. Sea Res.* 29, 173–192.
- Rochette, S., Rivot, E., Morin, J., Mackinson, S., Riou, P., Le Pape, O., 2010. Effect of nursery habitat degradation on flatfish population: Application to *Solea solea* in the Eastern Channel (Western Europe). *J. Sea Res.* 64, 34–44.
- Rochette S., Le Pape O., Vigneau J., Rivot E. ,2013. A hierarchical Bayesian model for embedding larval drift and habitat models in integrated life cycles for exploited fish. *Ecological Applications*, 23(7), 1659-1676.
- Seitz RD, Wennhage H, Bergström U, Lipcius RN, Ysebaert T. 2014. Ecological value of coastal habitats for commercially and ecologically important species. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 71: 648–665.
- Tableau, A. 2015. Interactions trophiques au sein de communautés benthodémersales et capacité trophique des nourriceries côtières. Cofinancement Ministère de l'Agriculture et région Bretagne. Thèse de doctorat, AgroCampus ouest, 161 p.
- Tableau, A., Le Bris, H., and Brind'Amour, A. 2015. Available Benthic Energy Coefficient (ABEC): a generic tool to estimate the food profitability in coastal fish nurseries. *Marine Ecology Progress Series* : 522:203-218
- Tecchio, S., Tous Rius, A., Dauvin, J.C., Lobry, J., Lassalle, G., Morin, J., Bacq, N., Cachera, M., Chaalali, A., Villanueva, C.M., Niquil, N., 2015. Is ecological status of transitional water ecosystems linked to a mosaic of food-web emergent properties? *Ecological Modelling*, 312, 91-101.
- van der Veer, H.W., Jung, A.S., Freitas, V., Philippart, C.J.M., Witte, J.I., 2016. Possible causes for growth variability and summer growth reduction in juvenile plaice *Pleuronectes platessa* L. in the western Dutch Wadden Sea. *J. Sea Res.*