



**HAL**  
open science

**Sous-Action 11.1: Conséquences des perturbations anthropiques sur la population de sole (*Solea solea*)**  
**Conséquences des perturbations anthropiques sur la population de sole (*Solea solea*)**

Sebastien Rochette, Etienne Rivot, Olivier Le Pape

► **To cite this version:**

Sebastien Rochette, Etienne Rivot, Olivier Le Pape. Sous-Action 11.1: Conséquences des perturbations anthropiques sur la population de sole (*Solea solea*) Conséquences des perturbations anthropiques sur la population de sole (*Solea solea*): Rapport final du proramme européen Interreg 4A Charm 3, Action 11.1. 2012, 6 p. hal-00840502

**HAL Id: hal-00840502**

**<https://institut-agro-rennes-angers.hal.science/hal-00840502>**

Submitted on 7 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



sous-Action 11.1:  
Conséquences des  
perturbations anthropiques  
sur la population de sole  
(*Solea solea*)

**S. Rochette, E. Rivot, O. Le Pape**  
UMR 985 ESE, Agrocampus Ouest, Inra 65 rue de St Briec CS 84215 35042 Rennes  
Cedex, France





## 1. Introduction

Les populations de poissons marins sont sous l'influence de diverses pressions naturelles et anthropiques intervenant à tous les stades du cycle de vie et déterminant les taux de survie des individus et la taille des populations. Appréhender les conséquences de ces différentes pressions est un point d'entrée essentiel de l'approche écosystémique des pêches. La complexité des processus et la difficulté d'observation de ces populations en milieu naturel à tous les stades du cycle de vie font de la modélisation une approche privilégiée pour relever ce défi.

Au travers du cas d'étude de la sole commune (*Solea solea*) en Manche Est, population d'intérêt halieutique majeur, ce projet a conjugué différentes approches de modélisation permettant de quantifier les mortalités d'origine naturelle ou anthropique à différents stades du cycle de vie et d'évaluer leurs conséquences à l'échelle de la population.

## 2. Cartographie quantitative des nourriceries de sole en Manche Est et analyse rétrospective des conséquences de la dégradation de l'estuaire de Seine

Chez les poissons plats, la taille et la qualité des habitats de juvéniles déterminent le niveau du recrutement. Les nourriceries côtières et estuariennes qu'une forte proportion de ces espèces occupe au stade juvénile sont donc des habitats essentiels pour leur cycle de vie et cette dépendance est particulièrement avérée pour la sole (Riou et al., 2001). L'objectif de cette première partie du projet était d'évaluer les conséquences de la dégradation de ces habitats sur la population de soles de Manche Est. Cette étude s'est intéressée en particulier aux effets des perturbations anthropiques subies par l'estuaire de la Seine au cours des 150 dernières années (Le Pape et al., 2007).

Ce travail a d'abord nécessité d'étudier la répartition spatiale actuelle des nourriceries de soles en Manche Est. L'approche se base sur une modélisation statistique à partir de données de campagnes scientifiques de chalutage (5300 traits réalisés au chalut à perche depuis le début des années 80 sur les côtes françaises et anglaises de Manche Est) ciblant les juvéniles. L'analyse de ces données permet de quantifier la variabilité spatiale des indices d'abondance en fonction de différents facteurs de l'environnement. L'absence de juvéniles de soles dans la majorité des traits de chalut (67%) a conduit à utiliser un modèle statistique de type Delta pour analyser les données (approche de modélisation pour données de type "zero-inflated"). L'approche Delta consiste à proposer un modèle de mélange pour analyser les indices d'abondance en combinant deux modèles linéaires généralisés (GLM), l'un permettant d'analyser les facteurs de variabilité de la probabilité de présence, et l'autre la variabilité des indices d'abondance positifs. Par cette méthode, nous avons construit un modèle d'habitats préférentiels permettant d'identifier les facteurs clés expliquant les variations de densités de juvéniles dans différents habitats définis par un secteur géographique issu d'un découpage des côtes en sous-régions homogènes, un niveau de bathymétrie et un type de couverture sédimentaire. La préférence des juvéniles de soles pour les zones de faible profondeur et les sédiments meubles (Riou et al., 2001) a ainsi été confirmée.

Dans une deuxième phase, ce modèle d'habitat a été couplé avec des cartes de bathymétrie et de sédiment couvrant de façon exhaustive les différentes sous-régions de la Manche Est. Il a ainsi permis d'élaborer, à partir d'un Système d'Information Géographique, une cartographie représentant une vision moyenne, sur les 30 dernières années, des densités de juvéniles de sole en fonction des facteurs bathymétrie et sédiments sur l'ensemble de la Manche Est (Figure 1).

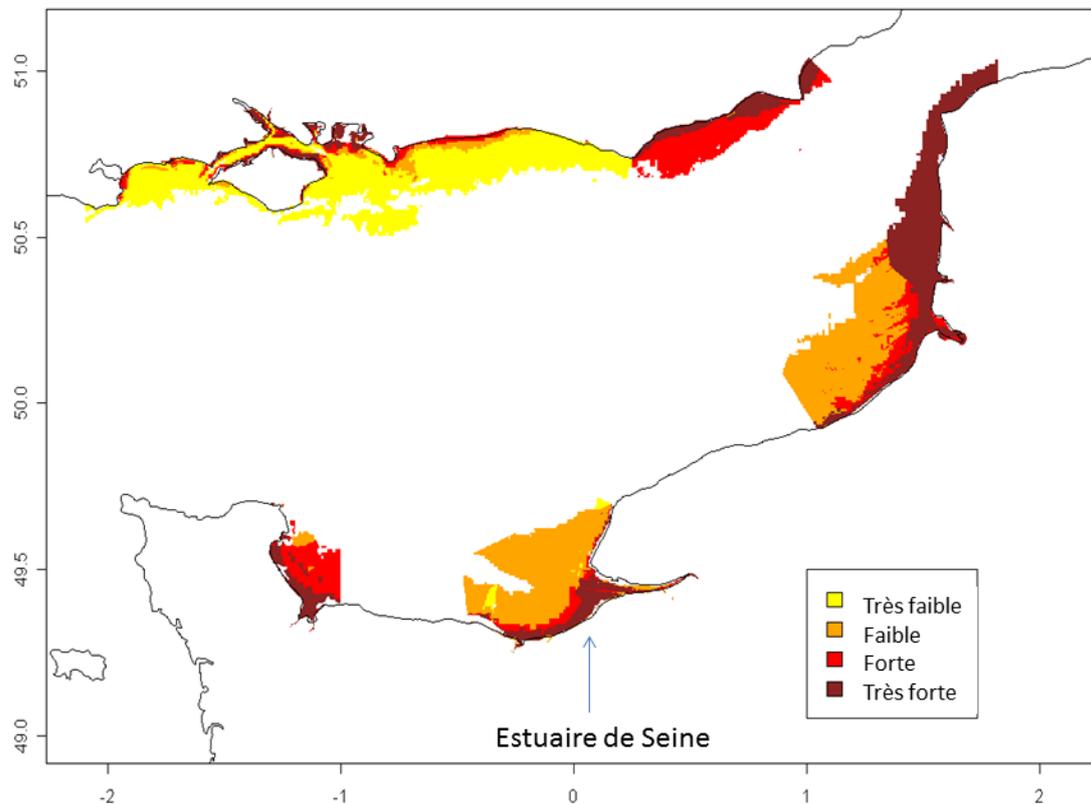


Figure 1 : Carte quantitative des juvéniles de sole nés dans l'année en Manche Est (en unité relative de capture par unité d'effort lors des campagnes scientifiques au chalut à perche de maillage 20 mm étiré)

La contribution de chaque sous-région au recrutement total à l'échelle de la population de la Manche Est a été quantifiée. Cette analyse a confirmé les observations antérieures de Riou et al. (2001) et Gilliers et al. (2004) portant sur la faible production de la nurricerie de l'estuaire de Seine. À couverture sédimentaire et bathymétrie égales, les densités en estuaire de Seine sont significativement inférieures à 4 des 6 autres nurriceries de la Manche Est. En particulier, ces densités sont moitié moins importantes que celles de la baie des Veys, secteur adjacent à l'estuaire de Seine. Ainsi, l'estuaire de Seine, qui représente 18% de la surface côtière de nurriceries de la Manche Est, ne contribue qu'à 14% du recrutement total. Cette faible production est étonnante, car l'estuaire de la Seine est le plus vaste de la Manche Est, avec un débit 10 fois supérieur aux autres fleuves. Les estuaires étant les zones les plus productives, très favorables aux juvéniles de soles, cet estuaire devrait potentiellement héberger des densités de juvéniles plus fortes et contribuer de manière plus conséquente au recrutement total.

Une approche de modélisation complémentaire menée en dehors du projet Charm, dans le cadre du projet européen Vector (7<sup>ème</sup> programme cadre) a montré que les apports de larves sont pourtant en moyenne du même ordre que sur les autres secteurs de la Manche Est, hormis la baie de Rye (Rochette et al., 2012). En particulier, ils ne sont pas inférieurs aux arrivées de larves sur les secteurs adjacents, tels que la baie des Veys, qui hébergent pourtant des densités de juvéniles supérieures. Cette analyse montre que les apports de larves ne peuvent, à eux seuls, expliquer les faibles densités de juvéniles de soles en estuaire de Seine. L'effet de la contamination (Gilliers et al., 2006), pourrait expliquer ces faibles densités par un phénomène de mortalité accrue des larves, notamment lors de la métamorphose ou au cours des semaines suivantes, période critique de la vie des jeunes poissons.

Enfin, la projection de ce modèle d'habitat sur des cartes historiques des mêmes facteurs à l'échelle de l'estuaire de la Seine a permis de cartographier l'évolution de la production de cette nurricerie au cours des 150 dernières années. Les conséquences de la dégradation de la surface et de la qualité des



habitats de l'estuaire de la Seine ont ainsi été analysées localement, puis l'impact sur le recrutement total à l'échelle de la Manche Est a pu être estimé. La partie aval de l'estuaire de la Seine a subi d'importantes modifications morphologiques au cours des 150 dernières années. Le modèle d'habitat, appliqué aux cartes historiques de l'estuaire de la Seine, a montré que la diminution de 33% de sa surface, entre 1850 et aujourd'hui, a entraîné une perte de 42% de son potentiel de production (Figure 2a). De plus, à bathymétrie et sédiment égal, la densité de juvénile en Seine est nettement inférieure à celle des autres secteurs. De ce fait, à l'échelle de la population de soles de la Manche Est, cette perte de 42% de la production de juvénile en Seine ne représente que 4% de baisse de la production totale de juvéniles. Toutefois, la contamination chimique de la Seine est 4 à 10 fois plus importante que celle des autres secteurs de la Manche Est (Courrat et al., 2009). Si l'on avance l'hypothèse que la faible productivité de la Seine résulte de ce niveau de contamination élevé, *a fortiori* si les apports de larves y sont équivalents, il paraît cohérent de considérer qu'à bathymétrie et sédiment égal, la productivité de la Seine en 1850 se rapprochait de celle des secteurs moins contaminés. Sous cette hypothèse, nous avons estimé que la conjonction de la perte de surface de l'estuaire de la Seine et de l'augmentation de la contamination jusqu'à son niveau actuel, aurait provoqué la perte de 15 à 32% du recrutement total. Une perte de 17%, établie sur les densités moyennes de la baie des Veys qui est la plus proche de l'estuaire de Seine, semble la valeur la plus probable (Figure 2bc).

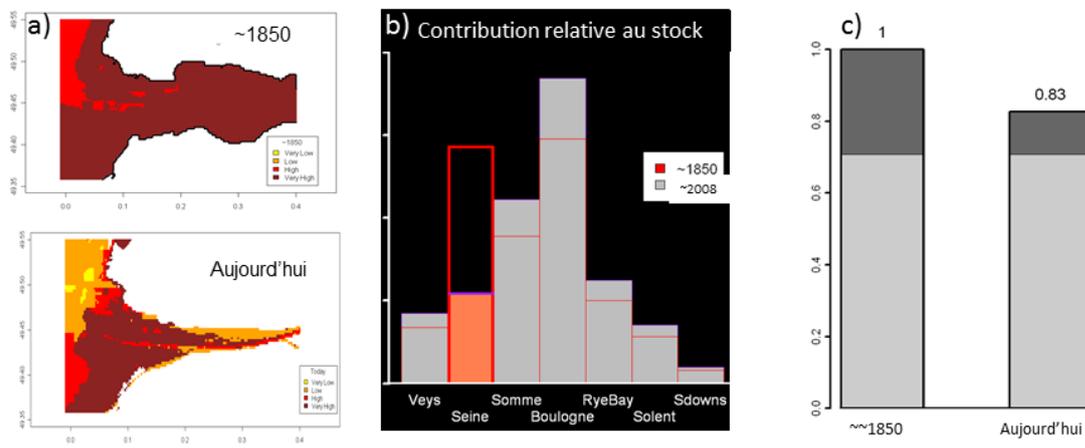


Figure 2 : Conséquences des pertes de fonctionnalité de la nurserie de sole de l'estuaire de Seine de 1850 à nos jours pour la population de Manche Est a) cartes quantitatives historiques de la nurserie en estuaire de Seine b) perte en estuaire de Seine et contribution respectives des différents secteurs côtiers et estuariens de Manche Est c) conséquences à l'échelle de la population de Manche Est

### 3. Développement d'un modèle intégré du cycle de vie de la population de sole de Manche Est, en tenant compte des différentes pressions anthropiques, de la dégradation des nurseries à la pêche

La partie précédente du projet, et le travail sur les apports de larve réalisé par ailleurs, ont permis de quantifier l'importance des effets du transport larvaire et de la qualité des habitats de nurserie côtières et estuariennes sur la variabilité du recrutement et le renouvellement de la population. En particulier, le modèle d'habitat a permis de mettre en évidence l'influence de la quantité et de la qualité des nurseries sur la densité des jeunes stades après la métamorphose et la sédentarisation des larves. Ces approches successives soulignent l'intérêt de considérer les processus impliqués dans l'histoire de vie des jeunes stades pour comprendre la dynamique de la population. Par ailleurs, la sole de Manche Est est exploitée par différentes pêcheries, ce qui génère une mortalité par pêche importante chez les individus âgés de 2 ans et plus, qui se combine aux pressions exercées sur les jeunes stades.



Dans la seconde partie du projet, nous avons développé un modèle de cycle de vie spatialisé, en intégrant les résultats précédents, afin d'évaluer l'impact de la dérive larvaire et de la capacité d'accueil des nourriceries, en parallèle des effets de la pêche, sur le renouvellement de la population de soles de Manche Est (Rochette et al., soumis). Un modèle dynamique à espaces d'état a été utilisé afin de faire explicitement la distinction entre les états du système (ici essentiellement les abondances dans les différents stades de développement au cours du temps) et les observations (captures commerciales, indices d'abondance scientifiques, ...). L'estimation des paramètres et états du système est réalisée dans le cadre statistique Bayésien, adéquat pour intégrer de multiples sources d'observation de nature variée et comprenant des données manquantes (séries incomplètes d'apports de larves et d'indices d'abondance de juvéniles sur les nourriceries). La comparaison entre les apports de larves et les indices relatifs d'abondance sur les nourriceries ne permet pas de quantifier les mortalités après la métamorphose et leur sédentarisation benthique. Un des intérêts principaux de ce modèle de population réside dans le couplage des modèles de dispersion et d'habitat avec un modèle statistique de captures aux âges, permettant des estimations quantitatives du recrutement dans chaque nourricerie. Ainsi, ce modèle devait estimer les mortalités au cours du cycle de vie et notamment les paramètres de mortalité au niveau de chaque nourricerie.

Dans un premier temps, une approche de simulation a été développée pour tester les performances de la méthode d'estimation sous plusieurs scénarios permettant d'évaluer les capacités d'estimation du modèle, en présence de données manquantes dans les indices d'abondance de juvéniles et dans le cas où les paramètres de survie et de dispersion larvaire sont mal connus. Cette approche a permis de quantifier les performances d'estimation du modèle et de valider la capacité de la méthode d'estimation à fournir des estimations fiables même dans une configuration où l'information disponible est dégradée, comme c'est le cas dans notre cas d'étude. En particulier, les paramètres de la dynamique de la population mais aussi les capacités d'accueil des nourriceries ont pu être estimés avec un niveau d'incertitude satisfaisant.

Le modèle a ensuite été ajusté sur les données disponibles sur les trois dernières décennies pour la population de soles en Manche Est, en intégrant les acquis précédents. Les estimations d'abondance de la population adulte ont tout d'abord été comparées à celles du groupe de travail du CIEM. Ajusté sur les données du cas d'étude, le modèle a permis d'estimer la biomasse féconde et la mortalité par pêche et donne des résultats similaires à ceux de l'évaluation du CIEM. L'intérêt de prendre en compte les jeunes stades du cycle de vie et le fractionnement des habitats de juvéniles sur des sites côtiers et estuariens distincts a ensuite été analysé. Plus particulièrement, les estimations des paramètres de mortalité densité-dépendantes entre les larves et les juvéniles ont été comparés entre les nourriceries. La contribution respective de ces différents secteurs au renouvellement de la population a pu être quantifiée et discutée au regard des perturbations anthropiques subies par les habitats de nourricerie. Les estimations des paramètres de mortalité au niveau des nourriceries montrent que le contraste de productivité entre les nourriceries de Manche Est semble provenir essentiellement de différences entre les paramètres de mortalité. Si l'on examine plus particulièrement les résultats concernant l'estuaire de Seine, celui-ci semble connaître des épisodes d'apports larvaires limitant. Toutefois, malgré la prise en compte de ces variations d'apports de larves, il présente toujours une productivité plus faible que toutes les autres nourriceries. Ce résultat est en accord avec les constats antérieurs sur la faible capacité de ce secteur très anthropisé (Riou et al., 2001; Gilliers et al., 2006; Rochette et al., 2010).

Cette seconde partie du projet a permis de poser les fondations méthodologiques pour construire un modèle de cycle de vie spatialisé permettant d'intégrer les différentes sources de mortalité sur la population de soles de la Manche Est. Ce modèle est une plateforme permettant l'intégration de différentes sources de données à tous les stades du cycle de vie, et en particulier les sorties de modèles hydrodynamiques et de modèles d'habitats, pour appréhender la répartition spatiale des jeunes stades et la contribution des différents habitats à la population. Ce modèle intégré constitue un cadre permettant de se projeter dans de nombreuses pistes de recherche. En l'état, les résultats obtenus appellent toutefois à développer encore la modélisation des processus de dispersion et de



mortalité pendant la phase pélagique, mais aussi des processus de mortalité densité-dépendants après la métamorphose sur les nurseries, avant une utilisation opérationnelle.

#### 4. Conclusion

Ce projet a permis d'estimer l'influence de l'altération d'un estuaire fortement anthropisé, l'estuaire de Seine, sur le renouvellement d'une espèce de poisson plat d'intérêt halieutique majeur, la sole commune, à l'échelle de la population exploitée en Manche Est. La perte de recrutement estimée dans le cadre de ce projet (-17% environ) du fait de la dégradation de cet estuaire se répercute dans des proportions équivalentes sur la taille de la population ainsi que sur les pêcheries qui ciblent cette ressource (Cordier et al., 2011).

L'analyse des effets conjugués des différentes pressions, notamment anthropiques, avec le modèle développé au cours de la seconde phase du projet devrait conduire à une meilleure estimation de leurs conséquences sur le renouvellement de la population. Elle pourra aussi permettre d'évaluer l'effet de mesures de gestion spatialisées sur le cycle de vie des ressources exploitées, en constituant un outil d'aide à la décision pour la gestion durable de cette ressource exploitée. Des travaux sont en cours actuellement pour poursuivre cette dynamique de recherche.

#### 5. Bibliographie

Cordier, M., Pérez-Agundez, J., O'Connor, M., Rochette, S., Hecq, W. (2011) Quantification of interdependencies between economic systems and ecosystem services: An input-output model applied to the Seine estuary. *Ecological Economics* 70 : 1660-1671.

Courrat A., Lepage M., Girardin M., Laffargue P., Nicolas D., Lobry J., Le Pape O. (2009). Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81 : 179-190.

Gilliers, C., Le Pape O., Morin J., Desaunay Y, Amara R. (2006). Are growth and density quantitative estimators of essential fish habitat quality? An application to the common sole *Solea solea* nursery grounds. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 69 : 96-106.

Le Pape O., Gilliers C., Riou, P., Morin J., Amara R. (2007) Convergent signs of degradation of both the capacity and the quality of an essential fish habitat: synthesis on the Seine estuary (France), an highly anthropised estuary of which flatfish nursery function is altered. *Hydrobiologia* 588 : 225-229.

Riou P., Le Pape O., Rogers S. (2001). Relative contributions of different sole and plaice nurseries to the adult population in the Eastern Channel: application of a combined method using Generalized Linear Models and a Geographic Information System. *Aquatic Living Resources* 14: 125-135.

Rochette S., Le Pape O., Vigneau J, Rivot E. (soumis). A Bayesian state-space model to merge larval drift and juvenile habitat models with exploited fish population dynamics. *Ecological Applications*.

Rochette S., Huret M., Rivot E., Le Pape O. (2012). Coupling hydrodynamic and individual-based models to simulate long-term larval supply to coastal nursery area. *Fisheries and oceanography* 21 : 229-242.

Rochette S., Rivot E., Morin J., Mackinson S., Riou P., Le Pape O. (2010). Effect of nursery habitat destruction on flatfish population renewal. Application to common sole (*Solea solea*, L.) in the Eastern Channel (Western Europe). *Journal of Sea Research* 64 : 34-44.