

Résumé

L'aquaculture et la pêche impactent l'environnement, les ressources et le fonctionnement des écosystèmes. L'un des enjeux en écologie est de placer ces activités anthropiques dans un cadre de développement durable, en améliorant leurs rentabilités économiques, leurs attractivités sociales et leurs bilans environnementaux. Du fait des besoins en ressources croissants, les impacts sur l'environnement sont de plus en plus décriés. Afin de quantifier et de limiter ces impacts, différentes méthodes d'évaluation environnementale ont vu le jour. L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode pertinente pour évaluer le bilan environnemental d'un produit en prenant en compte l'ensemble de ses étapes de vie, "du berceau à la tombe", depuis l'extraction des matières premières et leurs transformations pour l'élaboration du produit, jusqu'à la fin de vie. L'ACV offre ainsi une vision holistique et multicritère du lien entre le système de production et l'environnement. Cette thèse porte sur l'adaptation de l'ACV au domaine de l'aquaculture et de la pêche en Tunisie. Son objectif est d'explorer les perspectives offertes par cette méthodologie afin de mieux caractériser le fonctionnement des systèmes de production de poissons et leur lien avec l'environnement. De plus, ce travail permet de fournir des recommandations stratégiques de gestion basées sur les résultats d'évaluations et de comparaisons pour améliorer les deux filières et assurer leurs durabilités.

Le premier volet de ce travail s'est focalisé sur l'adaptation de l'ACV au domaine aquacole. L'ACV a été appliqué à la totalité des fermes aquacoles tunisiennes, spécialisées dans l'élevage du bar (*Dicentrarchus labrax*) et de la daurade (*Sparus aurata*) dans des cages en mer. Six catégories d'impacts ont été incluses : acidification, eutrophisation, réchauffement climatique, occupation des surfaces terrestre, demande d'énergie cumulée et production primaire nette. Une ACV plus spécifique a été développée pour étudier l'impact environnemental lié à une seule ferme aquacole. Ensuite, des propositions d'améliorations ont été formulées, notamment pour la catégorie "sea-use" afin de mieux évaluer l'impact de l'occupation de l'espace marin. Pour cela, un modèle Meramod a été mis en place permettant de quantifier l'impact de la ferme aquacole sur les fonds marins. Ces études ont montré que les pratiques aquacoles et la production d'aliment de poisson sont les

contributeurs majeurs aux impacts environnementaux, ceci est expliqué par l'utilisation de farine et d'huile de poisson dans la fabrication de l'aliment.

Le deuxième volet de cette thèse a consisté à développer l'ACV au chalutage de fond dans le Golfe de Gabès, un haut lieu de la pêche en Tunisie. Dans un premier temps, l'ACV a permis d'évaluer les impacts environnementaux liés à la production d'une tonne de produits de la mer. Les catégories d'impacts étudiées sont l'épuisement des ressources abiotiques, l'acidification, l'eutrophisation, le réchauffement climatique, l'appauvrissement de la couche d'ozone, la formation d'oxydants photochimiques, la toxicité humaine, l'écotoxicité marine, l'écotoxicité terrestre, l'occupation des surfaces terrestre et la demande d'énergie cumulée. Ensuite, des indicateurs de qualité de l'écosystème (production primaire requise, indice trophique marin, indice des prédateurs supérieurs, niveau trophique des captures, etc.) ont été calculés pour compléter les résultats de l'ACV et prendre en compte la composante écologique dans l'analyse environnementale. Le modèle écosystémique Ecopath with Ecosim a permis de calculer ces indicateurs. Le module spatialisé Ecospace a été développé pour évaluer les conséquences environnementales et écosystémiques de différentes mesures de gestion simulées dans le Golfe de Gabès. Les résultats de cette analyse ont montré que les impacts sont proportionnels à la quantité de carburant nécessaire pour la production. En effet, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation du carburant est un facteur clé pour améliorer le bilan environnemental de l'activité de pêche au chalut de fond.

Au final, les bilans environnementaux de l'aquaculture et du chalutage de fond en Tunisie ont été comparés. Une méta-analyse a été conduite pour comparer les impacts environnementaux en Tunisie à ceux d'autres écosystèmes et pour d'autres systèmes de production de produits de la mer. Les résultats révèlent que l'aquaculture a un potentiel d'eutrophisation plus élevé que la pêche. Par contre, la majorité des autres impacts étudiés sont plus accentués pour le chalutage de fond.

Ce travail a permis d'étudier les impacts environnementaux de l'activité aquacole et de la pêche au chalutage de fond en Tunisie. Les résultats de cette thèse ont un intérêt pour les gestionnaires en proposant des voies d'amélioration des deux secteurs afin de les placer dans un contexte de développement durable.

Mots clés: Analyse de Cycle de Vie (ACV), impact environnemental, aquaculture, pêche, chalutage de fond, modèle écosystémique, Tunisie, Golfe de Gabès.

Abstract

The main goal of ecology is to place human activities within a framework of sustainable development by enhancing their economic benefits, their social attractiveness and their environmental performances. Ecosystems that support fisheries and aquaculture are subject to several alterations of significant relevance to their functioning and to their abilities to provide goods and services. Therefore, the long-term sustainability of fishing is a major concern from an environmental and ecological viewpoint. Both activities carry risks of negative environmental impacts because of its close relation with the immediate environment. To better understand environmental impacts and ensure the sustainability of fishing and aquaculture, it is necessary to develop an integrative science-based approach to impact assessment. In this context, Life Cycle Assessment (LCA) has emerged as a robust method to estimate potential environmental impacts associated with seafood production throughout the supply chain. It allows the assessment of environmental impacts, at a global scale, taking into account all stages of a product's life, "from cradle to grave", from raw-material extraction to phases of construction, use, and disposal or recycling. This thesis focuses on the adaptation of LCA to demersal trawling and aquaculture in Tunisia. The objective of this work is to explore how LCA improves the environmental evaluation of seafood production systems and how it helps to better understand their functioning and their links with the environment throughout the production stages. In addition, this work provides practical information and strategic recommendations based on assessment and comparison results to improve fishing and aquaculture sectors and ensure their sustainability.

This work is divided into three principal parts. First, Life Cycle Assessment (LCA) was applied to assess potential environmental impacts generated by production of 1 ton of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*) on all sea-cage aquaculture farms in Tunisia. Six impact categories were included: acidification, eutrophication, global warming, land occupation, total cumulative energy demand and Net Primary Production Use (NPPuse). Then, a specific LCA was developed to assess the environmental performance of only one aquaculture farm. A refinement of "sea use" impact category was proposed to assess impacts of aquaculture on the area of sea required and

seabed degradation; for that, a MERAMOD model was developed to quantify the amount of organic matter deposit under the cages. Results revealed that rearing practices and fish feed were the greatest contributors to the impacts studied due to the production of fish meal and oil and the low efficiency of feed use, which generated large amounts of nitrogen and phosphorus emissions. Therefore, it is essential to optimize diet formulation and to follow better feeding strategies and farming practices to lower feed-conversion ratios and consequently improve the environmental performance of aquaculture farms.

In the second part of this thesis, LCA was applied to demersal trawlers in the Gulf of Gabes, considered as one of the most productive fishery areas in Tunisia. LCA was developed to assess the environmental performance landing 1 t of seafood with demersal trawlers. Impact categories included in the study were abiotic depletion potential, acidification potential, eutrophication potential, global warming potential, ozone depletion potential, photochemical oxidant formation potential, human toxicity potential, marine eco-toxicity potential, terrestrial eco-toxicity potential, land occupation potential, and total cumulative energy demand. Then, ecosystem quality indicators were determined using an ecosystem modeling tool, Ecopath with Ecosim (EwE), and were combined with LCA to increase the relevance of both tools' assessments when applied to fisheries. Ecospace, the spatial module of EwE, was used to simulate different management scenarios. Results showed that impact intensity was proportional to the amount of fuel consumed to land 1 t of seafood. LCA also revealed that fish production and fuel and lubricating oil production contributed most to environmental impacts. Thus, improvements should focus principally on improving the efficiency of fuel use.

Finally, environmental performances of aquaculture and demersal trawling in Tunisia were compared. A meta-analysis was developed to compare environmental impact in Tunisia with those in other seafood production systems worldwide. Results revealed that aquaculture had higher eutrophication potential than demersal trawling. However, the majority of other impact categories were higher for demersal trawling.

LCA is a valuable tool for assessing how to improve environmental sustainability of demersal trawling and aquaculture; it provides stakeholders with insights into the main operational issues that require improvement.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Environmental impact, marine aquaculture, fisheries, demersal trawling, Tunisia, Gulf of Gabes.