



université de bretagne
occidentale

UNIVERSITE
BRETAGNE
LOIRE

THÈSE / UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Mention : Sciences Economiques

École Doctorale des Sciences de la Mer

présentée par

YI YANG

Préparée à l'Unité Mixte de Recherche
AMURE

Contribution à l'évaluation économique des marées vertes

Thèse soutenue le 15 décembre 2016

devant le jury composé de :

Jean BONCOEUR

Professeur, Université de Bretagne Occidentale / *directeur de thèse*

Eric DESLANDES

Professeur, Université de Bretagne Occidentale / *examinateur*

Jean-Marc DOUGUET

Maitre de conférences (HDR), Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines / *rapporteur*

Patrice GUILLOTREAU

Professeur, Université de Nantes / *rapporteur*

Shuguang LIU

Professeur, Université Océanique de Chine / *codirecteur de thèse*

Monique RAS – de MONCUIT

Coordinatrice Projet Innovation, Group Olmix / *examinatrice*

UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE
Ecole Doctorale des Sciences de la Mer

Thèse de doctorat en sciences économiques

CONTRIBUTION À L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE
DES MARÉES VERTES

Présentée et soutenue publiquement par

YANG Yi

Le 15 décembre 2016

Devant le jury composé de :

Jean BONCOEUR, professeur à l'Université de Bretagne Occidentale, directeur de thèse

Eric DESLANDES, professeur à l'Université de Bretagne Occidentale, examinateur

Jean-Marc DOUGUET, maître de conférences (HDR) à l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, rapporteur

Patrice GUILLOTREAU, professeur à l'Université de Nantes, rapporteur

LIU Shuguang, professeur à l'Université Océanique de Chine, codirecteur de thèse

Monique RAS – de MONCUIT, coordinatrice Projet Innovation du groupe Olmix, examinatrice

L'Université de Bretagne Occidentale n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses, ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

*« Lorsque souffle le vent du changement,
certains construisent des murs,
d'autres des moulins. »
Proverbe chinois*

Remerciements

La présente thèse a été préparée à l'Université de Bretagne Occidentale, au sein de l'Ecole Doctorale des Sciences de la Mer (EDSM) et du laboratoire AMURE (UMR 6308), dans le cadre d'un contrat CIFRE avec l'ANRT et la société Olmix. Je remercie ces institutions pour le soutien et la confiance qu'elles m'ont accordée, et sans lesquelles ce travail n'aurait pu voir le jour.

Je tiens à remercier vivement mon directeur de thèse, le professeur Jean Boncoeur pour avoir accepté de diriger la thèse, ainsi que pour sa grande disponibilité, son soutien et ses suggestions, ses encouragements, sa bienveillance et sa confiance tout au long de mes études. Qu'il reçoive le témoignage de toute ma gratitude. Je remercie vivement le professeur Liu Shuguang pour avoir accepté de codiriger ma thèse et m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche à l'Université Océanique de Chine durant la seconde année de ma thèse, ainsi que pour son aide et les facilités dont il m'a permis de bénéficier pour la réalisation de mon travail de terrain en Chine.

Je remercie mes rapporteurs, le docteur Jean-Marc Douguet et le professeur Patrice Guillotreau, ainsi que mes examinateurs, le professeur Eric Deslandes et le docteur Monique Ras – de Moncuit, pour m'avoir fait l'honneur de participer à mon jury de thèse et avoir accepté de porter un regard critique sur mon travail.

Je souhaite témoigner ma vive reconnaissance à Monsieur Hervé Balusson, PDG du groupe Olmix, pour son soutien financier et pour m'avoir donné l'opportunité de participer aux activités professionnelles de son entreprise, ainsi que pour sa confiance durant les quatre dernières années. Je remercie également le docteur Pi Nyvall Collen et le docteur Thomas Pavie pour leur aide à la compréhension scientifique du sujet et à la progression de mon travail de thèse au sein du groupe Olmix. Mes remerciements vont également à Monsieur David Cherel pour son aide dans le travail quotidien durant les deux premières années de thèse.

Je remercie Monsieur Michel Morvan et le docteur Fabienne Vallée pour la formation professionnelle qu'ils m'ont donnée et pour leur aide dans la recherche du

financement de ma thèse. Qu'ils reçoivent toute ma gratitude pour leur soutien et leur confiance précieuse durant les six dernières années.

Je remercie le docteur Alain Ménesguen (Ifremer), le docteur Liu Feng, le professeur Pang Shaojun, le professeur Yu Rencheng (Institute of Oceanology of Chinese Academy of Sciences), le professeur Chen Shang, (First Institute of Oceanography), le professeur Li Jingmei (Université Océanique de Chine), le docteur Wu Jifa (gouvernement de la zone économique de Huangdao), pour leurs suggestions scientifiques et leur aide documentaire.

Je tiens à remercier Madame Elisabeth Bondu, Madame Séverine Julien et Monsieur Nicolas Roncin pour m'avoir aidée à passer efficacement les procédures administratives tout au long de ma thèse. Je remercie le docteur Gérard Thouzeau pour son attention particulière dans la phase préparatoire de la thèse.

Je remercie sincèrement mes camarades Ji Sheng, Liu Tieying, Adeline Bas, Kevin Charles, Mathilde Jacquot, Jules-Francois Diatta, Marie Guingot, Bunei Nishimura et Séverine Michalak pour leur accompagnement tout au long de ma thèse et l'amitié chaleureuse qu'ils m'ont accordée.

Je voudrais exprimer ma plus grande gratitude à mes parents, Qin Lihua et Yang Fucun, pour leur soutien et leur aide inconditionnelle dans ma vie privée et professionnelle, pour leur patience et l'éducation qu'ils m'ont donnée, sans lesquelles rien n'aurait été possible. Je remercie également mon mari, Zhou Zhibin pour son soutien solide et sa compréhension très douce.

Table des matières

	Page
<u>Introduction</u>	9
<u>Chapitre 1. Les marées vertes en Mer Jaune</u>	19
1.1. Contexte	19
1.1.1. Cadre géographique	20
1.1.2. Contexte socio-économique	22
1.1.3. Contexte environnemental	24
1.2. Mécanisme	26
1.2.1. Identification de l'espèce dominante	27
1.2.2. Formation des marées vertes	30
1.2.3. Prolifération, échouage et récession	37
1.3. Impacts et réponses	39
1.3.1. Nuisances causées par les marées vertes	40
1.3.2. Gestion des marées vertes	42
1.3.3. Valorisation des ulves	49
1.4. Perceptions	52
1.4.1. Enquête auprès des acteurs et des experts	52
1.4.2. Enquête auprès du public	58
<u>Chapitre 2. Evaluation du coût social des marées vertes</u>	68
2.1. Modélisation qualitative et données économiques de base	69
2.1.1. Schéma théorique	69
2.1.2. Poids économique des principaux secteurs concernés	75
2.2. Coûts de gestion des marées vertes	77

2.2.1. Prévention	77
2.2.2. Mitigation	78
2.2.3. Valorisation	86
2.2.4. Synthèse des coûts de gestion	88
2.3. Coûts résiduels	89
2.3.1. Coûts pour l'aquaculture	89
2.3.2. Coûts pour l'industrie du tourisme	93
2.3.3. Pertes d'aménités pour les usagers du littoral	103
2.3.4. Synthèse des coûts résiduels	117
2.4. Coût social et scénarios de gestion des marées vertes	118
2.4.1. Synthèse et discussion des résultats de l'évaluation	118
2.4.2. Scénarios de gestion	126
<u>Chapitre 3. Mesure spatialisée des effets économiques de la valorisation des algues vertes</u>	134
3.1. Modèle théorique	136
3.1.1. Représentation de l'économie de la zone d'étude	136
3.1.2. Simulation des effets d'un choc de demande	145
3.1.3. Simulation des effets d'un choc de coût	158
3.1.4. Simulation des effets d'une innovation sur la zone d'étude	163
3.2. Application numérique	177
3.2.1. Présentation de l'outil de simulation	177
3.2.2. Simulation des effets nationaux et régionaux du programme	184
<u>Conclusion</u>	187
<u>Index des tableaux</u>	192
<u>Index des figures</u>	194
<u>Bibliographie</u>	196

Annexes	213
Annexe 1 Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès des acteurs et des experts : liste des entretiens	215
Annexe 2 Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès des acteurs et des experts : résumé des entretiens	216
Annexe 3 Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès du public : documents photographiques présentés aux répondants	238
Annexe 4 Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès du public : caractéristiques de l'échantillon	239
Annexe 5 Espèces sensibles aux marées vertes : surfaces d'élevage et productions en 2010 dans la province du Shandong, par zone ...	241
Annexe 6 Aquaculture marine : évolution des surfaces d'élevage et des productions dans la province du Shandong, période 2003-2015	242
Annexe 7 Indicateurs d'activité de l'industrie du tourisme dans le Shandong	243
Annexe 8 Indicateurs d'activité de l'industrie du tourisme (Chine entière)	244
Annexe 9 Produit intérieur brut de la République Populaire de Chine, 2000-2014	245
Annexe 10 Calcul de la perte de chiffre d'affaires subie par l'industrie touristique de la ville de Qingdao du fait des marées vertes	246
Annexe 11 Nomenclature du TES symétrique français en 64 produits	248
Annexe 12 Emploi par branche, France métropolitaine et Bretagne, année 2012	250
Annexe 13 Régionalisation des multiplicateurs de Leontief : résultats obtenus par les méthodes CLQ, ACLQ et FLQ (TES symétrique 2010)	252
Annexe 14 Estimation des effets amont du projet : France entière	254
Annexe 15 Estimation des effets amont du projet : région Bretagne	256

Introduction

L'occurrence du phénomène d'efflorescence algale, en mer et dans les eaux continentales, n'a cessé d'augmenter depuis trois décennies dans le monde (Anderson, 1989 ; Hallegraef et al., 1993 ; Glibert et Pitcher, eds, 2001 ; Zhou et Yu, 2007 ; Smetacek et Zingone, 2013 ; Chen et al., 2015 ; Kudela et al., 2015). Ce phénomène affecte aujourd'hui des régions aussi diverses que l'Amérique du Nord (Hudnell, 2010 ; Lewitus et al., 2012), l'Amérique du Sud (Castro et al., 2016), l'Asie de l'Est (Wei et al., 2001 ; Hiraoka et al., 2004 ; Largo et al., 2004 ; Wang et Wu, 2009 ; Yan et al. ; Park et al., 2013), l'Asie du Sud (Gheilani et al., 2011 ; Padmakumar et al., 2012), l'Australie (Mayer et Dandy, 1997), l'Afrique occidentale et australe (Probyn et al., 2010 ; Smetacek et Zingone, 2013), l'Europe (Sfrizo et Marcomini, 1996 ; Malta et al., 1999 ; Menéndez et al., 2000 ; Chevassus-au-Louis et al., 2012).

Désigné dans la littérature par l'acronyme anglais HAB (*Harmful Algal Bloom*), il consiste en une prolifération massive de micro-algues ou de macro-algues, qui ne sont pas toutes toxiques mais que leur prolifération rend nuisibles à l'écosystème, à la santé et / ou aux activités humaines (Turgeon et al., 1998).

Les HAB résultent de combinaisons variables de facteurs naturels et anthropiques (Sellner, et al., 2003). Les processus naturels favorisant les HAB sont notamment les courants ou les tempêtes, qui peuvent favoriser la dissémination de certaines espèces toxiques (Anderson, 2009). Le facteur climatique (Paerl et Huisman, 2008) se situe à la frontière des causes naturelles et des causes anthropiques. Parmi ces dernières, les plus fréquemment citées dans la littérature scientifique sont les pollutions agricoles, industrielles et urbaines, les activités qui concourent à l'eutrophisation des eaux étant considérées comme jouant un rôle majeur (Menesguen et al., 1995 ; Anderson et al., 2002 ; Anderson et al., 2008 ; Heisler et al., 2008 ; Chevassus-au-Louis et al., 2012 ; Dodds et Smith, 2016 ; Smith, 2016). D'autres facteurs anthropiques sont également cités, par exemple les transferts de mollusques réalisés par les conchyliculteurs et les opérations de déversement des eaux de ballast par les navires (Bergha et al., 2002 ; Anderson, 2009), ou encore certaines opérations d'aménagement littoral (Roy et al., 2016).

En eau douce, on observe des blooms de micro-algues bleues-vertes de type cyanobactéries dans les lacs eutrophisés (Howard, 1994 ; Paerl et al., 2001 ; Dodds et Smith, 2016 ; Smith, 2016). Qualifiés de « cyanoHAB », ces blooms consomment l'oxygène de l'eau et émettent des toxines nuisibles à la santé animale et humaine (Carmichael, 2001 ; Ramsdell et al., 2005 ; Lopez et al., 2008). Dans certaines régions, ils peuvent affecter l'approvisionnement en eau potable (Inamori et al., 1998 ; Paerl et al., 2001).

En mer, les efflorescences algales sont souvent désignées par la coloration qu'elles peuvent donner à l'eau : marées rouges, brunes, dorées ou vertes.

Les marées rouges sont provoquées par diverses micro-algues, notamment des dinoflagellées, produisant des toxines qui, par bioaccumulation dans divers organismes marins (notamment des mollusques bivalves) rendent ceux-ci impropres à la consommation humaine (Daranas et al., 2001 ; Glibert et Pitcher, eds, 2001). Ces toxines sont désignées par les effets que produit leur ingestion sur la santé humaine : PSP (*Paralytic Shellfish Poisoning*), DSP (*Diarrhetic Shellfish Poisoning*), NSP (*Neurotoxic Shellfish Poisoning*), ASP (*Amnesic Shellfish Poisoning*), ou encore CFP (*Ciguatera Fish Poisoning*, la ciguatera étant intoxication alimentaire provoquée par

la consommation de poissons de lagon, plus connue sous le nom de « gratte »). Ces effets toxiques, mortels dans certains cas (Fleming et al., 2011, Kudela et al., 2015), se manifestent à partir d'une concentration limitée des micro-algues qui en sont à l'origine dans l'eau de mer, et dont les blooms ne s'accompagnent pas nécessairement d'une coloration de l'eau.

Egalement provoquées par des micro-algues, les marées brunes sont apparues pour la première fois sur la côte Nord-Est des Etats-Unis en 1985 (Sieburth et al., 1988). Depuis lors, elles ont connu un large développement (Chen et al., 2015), touchant non seulement d'autres parties du littoral des Etats-Unis (Buskey et al., 2001 ; Buskey et al., 1997 ; Nuzzi et Waters, 2004), mais aussi l'Afrique du Sud (Probyn et al., 2001 ; Probyn et al., 2010) et la Chine (Kong et al., 2012 ; Zhang et al., 2012). Les espèces identifiées comme étant à l'origine de ces marées appartiennent à la classe *Pelagophyceae*, et sont nommées *Aureococcus anophagefferens* et *Aureoumbra lagunensis* (Chen et al., 2015). Une étude menée sur *Aureococcus* a montré que cette espèce était capable d'utiliser de multiples éléments nutritifs présents dans l'eau de mer et pouvait atteindre un taux de croissance élevé même dans des conditions difficiles, caractérisées par une faible concentration de nutriments et une faible luminosité (Sunda et al., 2006). Les micro-algues à l'origine des marées brunes sont toxiques pour les bivalves (Liu et Buskey, 2000 ; Bricelj et al., 2004), et peuvent entraîner des pertes de production majeures pour les activités qui les exploitent (Bricelj et Kuenster, 1989 ; Kraeuter et al., 2008). Elles sont également la cause de mortalités à grande échelle dans les herbiers marins (Onuf, 1996) et sont considérées comme des perturbateurs de l'écosystème (EDABs : *Ecosystem Disruptive Algal Blooms*) (Sunda et al., 2006).

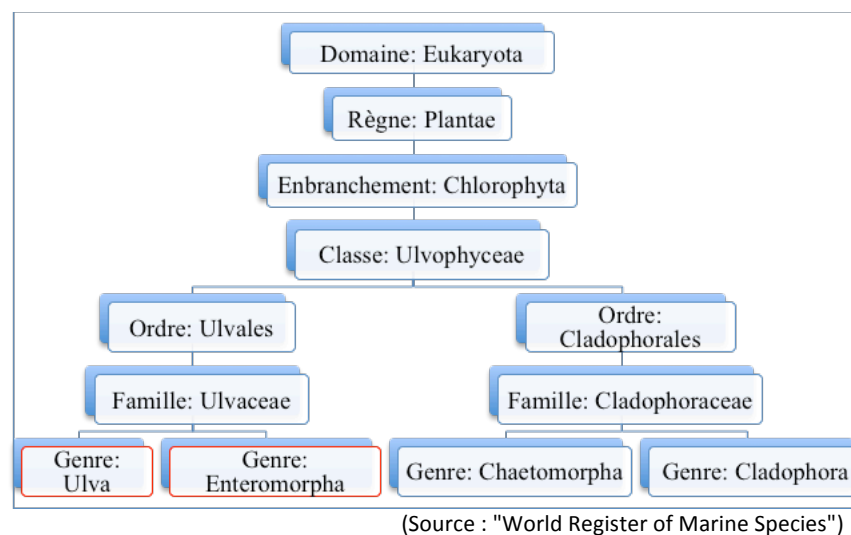
L'expression « marées dorée » est principalement utilisée pour décrire des blooms de macro-algues brunes, nommées *Sargassum natan* et *Sargassum fluitans* en référence à la Mer des Sargasses près des Bermudes (Laffoley et al., 2011 ; Smetacek et Zingone, 2013)¹. Traditionnellement peu présentes dans le Golfe du Mexique, elles y sont devenues récurrentes en été et créent des nuisances pour le tourisme (Gower et al.,

¹ L'expression sert également à désigner les blooms d'une micro-algue présente en eau douce, *Prymnesium parvum*. Les toxines émises par cette algue sont à l'origine de fortes mortalités de poissons dans les rivières du Texas depuis 1985 (Brazos River Authority et al., 2002).

2006 ; Williams et Feagin, 2010). L'augmentation de leur présence pourrait être liée à la forte concentration en éléments nutritifs apportés par le fleuve Mississippi (Lapointe, 1995). La télédétection par satellite montre que les algues apparaissent dans le nord-ouest du Golfe du Mexique au printemps, sont ensuite exportées vers la Mer des Sargasses et disparaissent en hiver, où elles coulent probablement au fond de la mer (Gower et King, 2011 ; Smetacek et Zingone, 2013). En 2011, « l'événement Sargassum » a touché les Caraïbes où il a causé des problèmes importants à l'industrie touristique locale, puis la marée dorée s'est étendue jusqu'à l'Afrique de l'ouest (Gower et al., 2013). Sur les côtes du Ghana, les nappes d'algues flottant à la surface de la mer entraînent des pertes importantes pour la pêche artisanale, en obstruant les filets et en empêchant le passage des pirogues (Smetacek et Zingone, 2013).

Les marées vertes, qui sont étudiées dans cette thèse, sont produites par des macroalgues appartenant le plus souvent aux familles des ulvacées (genres *Ulva* et *Enteromorpha*)¹ et des cladophoracées (genres *Chaetomorpha* et *Cladophora*) (Zhang et al., 2009) (**Fig. 1**).

Fig. 1. Classification phycologique simplifiée des ulves



En Europe, la famille des Cladophoracées se rencontre dans les marées vertes par exemple en Espagne, dans le delta de l'Ebre (Menéndez et al., 2000), celle des

¹ Selon Hayden et al. (2003), *Ulva* et *Enteromorpha* ne sont pas des genres distincts. Ces auteurs les regroupent sous le nom le plus ancien, *Ulva*.

ulvacées en Italie dans la lagune de Venise (Sfriso et Marcomini, 1996), ou aux Pays-Bas dans la Veerse Meer (Malta et al., 1999). En France, deux espèces de la famille des ulvacées, *Ulva rotundata* et *Ulva armoricana*, sont dominantes dans les marées vertes que connaît la Bretagne (Menesguen et Piriou, 1995 ; Charlier et al., 2007 ; Chevassus-au-Louis et al., 2012). En Asie, les marées vertes sont dominées par les espèces *Ulva lactuca* et *Ulva reticulata* aux Philippines (Largo et al., 2004), *Ulva fasciata* et *Ulva pertusa* au Japon (Hiraoka et al., 2004), *Enteromorpha prolifera* (également nommée *Ulva prolifera*) dans la Mer Jaune en Chine (Duan et al., 2012)¹.

L'origine des marées vertes a fait l'objet de travaux nombreux, notamment en France où elle sont devenues notables sur les côtes bretonnes dans les années 70, et s'y manifestent depuis lors de façon récurrente. Ces travaux, synthétisés dans (Chevassus-au-Louis, 2012), mettent en évidence le rôle de l'eutrophisation des eaux côtières dans la genèse des marées vertes, et montrent que le facteur limitant la prolifération des ulves est l'azote (Menesguen et Piriou, 1995)². Les apports d'azote permettant le développement des marées vertes bretonnes sont essentiellement d'origine terrigène, ce qui indique l'origine principalement agricole du phénomène (notamment les élevages intensifs de porcs et de volaille, très développés en Bretagne).

Les algues vertes ne sont pas toxiques. Elles sont classées comme algues alimentaires, et leurs potentialités de valorisation industrielle sont un sujet d'intérêt pour la recherche (Ray et Lahaye, 1995 ; Lahaye et Robic, 2007 ; Holdt et Kraan, 2011 ; Hardouin et al., 2016). Cependant, leur échouage en masse sur le littoral lors des marées vertes crée des nuisances importantes pour les activités humaines (aquaculture, activités récréatives) et, comme l'ont montré plusieurs épisodes récents sur les côtes bretonnes, leur décomposition est un facteur de danger pour la santé animale et humaine du fait des émissions d'hydrogène sulfuré qu'elle suscite (Tauzède et al., 2009 ; Boudet et al., 2011 ; Pucheux et al., 2011). Par ailleurs, les marées vertes sont suspectées de créer des perturbations dans l'environnement marin, notamment en

¹ Dans ce pays, la ville de Qingdao, sur la côte sud de la province du Shandong, a connu une marée verte particulièrement spectaculaire en 2008, alors qu'elle s'apprêtait à accueillir les épreuves nautiques des Jeux Olympiques.

² Alors que dans les blooms de micro-algues lacustres, le facteur limitant est plutôt le phosphore (Sanseverino et al., 2016).

créant les conditions favorables au développement de marées rouges (Wang et al., 2012).

Les nuisances générées par les HAB peuvent être classées en quatre grandes catégories : dommages à la santé publique, dommages à la pêche et à l'aquaculture, dommages aux activités touristiques et récréatives, dommages aux écosystèmes marins (Zingone et Oksfeld Enevoldsen, 2000 ; Anderson et al., 2012). Les coûts générés par les HAB sont quant à eux les coûts de gestion de ce phénomène et les coûts résiduels dans les quatre domaines ci-dessus, correspondant aux nuisances que les mesures de gestion n'ont pas permis d'éviter (Anderson, 2000 ; Hoagland, 2002).

Les mesures de gestion des HAB sont souvent classées en trois catégories : la prévention, le contrôle et la mitigation (Jewett et al., 2008 ; Anderson et al., 2012 ; Kirkpatrick et al., 2014). Bergha et al. classent quant à eux les stratégies des pouvoirs publics face aux HAB en quatre catégories, qui sont la prévention, la restauration, l'amélioration et l'inaction. Ces auteurs soulignent l'intérêt des mesures d'incitation, qui permettent d'internaliser les effets négatives qui favorisant les HAB (Bergha et al., 2002).

Les actions de vulgarisation et de communication auprès du public font également partie des politiques de gestion des HAB (Nierenberg et al., 2011 ; Hall et al., 2012 ; Smith et al., 2014). Selon Castro et al., l'information et l'éducation peuvent jouer un rôle important dans la prévention de ces phénomènes, en favorisant l'adoption de comportements plus favorables à la gestion durable des écosystèmes côtiers (Castro et al., 2016)¹. Le degré d'information du public sur les HAB a fait l'objet de plusieurs études. Hoagland et al. ont mis en évidence un « effet de halo », pouvant conduire à une baisse significative de la demande en produits de la mer sous l'effet d'une mauvaise information du public (Hoagland et al., 2002). Selon une enquête par téléphone et par e-mail concernant la perception de la sécurité alimentaire des produits de la mer en cas de HAB, les consommateurs interrogés seraient prêts à payer 7 dollars par an pour améliorer l'inspection de ces produits (Whitehead et al., 2003). Dans le cas des marées rouges en Floride, Nierenberg et al. ont montré que le

¹ Ces auteurs soulignent également l'importance du dialogue entre les différents niveaux de gouvernement, en vue de réduire les pollutions des eaux côtières d'origine terrigène.

degré d'information des résidents sur les HAB n'était pas nécessairement meilleur que celui des touristes (Nierenberg et al., 2010).

L'évaluation économique des coûts générés par les HAB peut constituer une aide à la décision importante pour les politiques publiques (Castro et al., 2016). Une revue de 29 papiers consacrés à ce sujet a été réalisée par Larkin et Adams (Larkin et Adams, 2013).

Hoagland et al. proposent une série de méthodologies pour évaluer les coûts à caractère marchand générés par les HAB : les effets sur la santé publique sont mesurés à l'aide des frais médicaux et des pertes de productivité résultant des pathologies causées par les HAB ; les effets sur l'aquaculture et la pêche commerciale sont estimés en termes de perte de chiffre d'affaires pour les producteurs et de perte de surplus pour les consommateurs ; les effets sur le tourisme sont estimés à travers la baisse de la dépense touristique ; les coûts de nettoyage (pour les macro-algues) sont calculés sur la base du coût moyen par mile nettoyé (Hoagland et al., 2002).

Pour les coûts non marchands, Bergha et al. distinguent les pertes de valeurs d'usage (pertes d'aménités pour les utilisateurs récréatifs du littoral par exemple) et les pertes de valeurs de non-usage (valeurs d'existence ou de legs attachées à la préservation de l'écosystème marin par exemple). Pour les premières, on peut mettre en œuvre les méthodes d'évaluation à base de préférences révélées (coût de déplacement, prix hédoniques) ou de préférences déclarées (évaluation contingente). Pour les secondes, seules les méthodes à base de préférences déclarées sont utilisables (Bergha et al., 2002).

Certains aspects du coût des HAB ont fait l'objet d'études particulières. Ainsi, en matière de santé publique, Hoagland et al. ont mis en évidence une influence statistiquement significative du phénomène des marées rouges en Floride sur les pathologies digestives et respiratoires, et ont estimé les coûts d'hospitalisation et les pertes de revenus d'activité qui en résultaient (Hoagland et al., 2014). Sur le même cas d'étude, Fleming et al. ont montré que, dans les coûts du traitement médical des HAB, il convenait de tenir compte des coûts ambulatoires (notamment pharmaceutiques), qui sont non négligeables (Fleming et al., 2011).

Dans le domaine du tourisme, des études de séries temporelles ont mis en évidence les pertes de revenus subies par les restaurants situés sur le littoral du fait des HAB en Floride (Larkin et Adams, 2007 ; Morgan et al., 2009). Cependant, s'il y a transfert de fréquentation, ces pertes peuvent avoir pour contrepartie des gains pour des restaurants situés dans l'intérieur des terres, ce qui pose la question de l'échelle à laquelle sont évalués les coûts (Alcock, 2007). Les HAB peuvent également produire des effets négatifs sur les valeurs foncières, du fait des pertes d'aménités subies par les résidents et la baisse de fréquentation touristique dans les zones impactées (Alcock, 2007 ; Dodds et al., 2009).

Au-delà des effets économiques directs des HAB, certaines études ont cherché à mesurer leurs effets globaux sur l'économie régionale. Evans et Jones ont évalué, à l'aide d'un modèle entrées-sorties régional, les effets d'une marée rouge au Texas (Evans et Jones, 2001). Dyson et Huppert ont utilisé la même méthode pour évaluer les effets régionaux de fermeture de plages à la suite d'un épisode de HAB dans l'Etat de Washington, sur la côte ouest des Etats-Unis (Dyson et Huppert, 2010). Lewitus et al. recommandent cette méthode pour l'évaluation des effets indirects et induits¹ des HAB (Lewitus et al., 2012). Dans la revue de littérature de Larkin et Adams, quatre papiers sur vingt-neuf utilisent la méthode input-output pour évaluer les effets économiques des HAB (Larkin et Adams, 2013).

Cette thèse s'intéresse aux aspects économiques des marées vertes en prenant appui sur deux études de cas : le cas de la Mer Jaune (Chine) et le cas breton (France). Ces deux cas présentent de fortes similitudes concernant la nature, les causes et les conséquences du phénomène des marées vertes, mais ils se distinguent aussi par quelques différences importantes. L'une d'elles concerne l'origine géographique des marées vertes qui impactent les côtes des deux zones d'étude : « endogène » dans un cas (au sens où la région où les marées vertes se forment est également la région qu'elles impactent), « exogène » dans l'autre (au sens où la région émettrice et la région principalement impactée sont distinctes). Cette différence a des conséquences potentiellement importantes en matière de gestion de la marée verte.

¹ C'est-à-dire des effets de filière et des effets liés aux variations de revenus des personnes concernées (pour plus de détails, cf. chapitre 3 de cette thèse).

Beaucoup d'articles scientifiques sur les marées vertes ont été publiés dans les domaines de la biologie, de la télédétection, de la chimie, de la pharmacologie. Certaines publications mentionnent le fait que ces marées entraînent des pertes économiques importantes, ou font état de certaines dépenses liées au ramassage des algues vertes. Mais elles ne donnent pas d'évaluations complètes des incidences économiques des marées vertes, et ne proposent pas de modèles formalisant ces incidences (Wang X.H. et al., 2009).

L'objectif de cette thèse est de contribuer à combler cette lacune en développant deux modélisations, appuyées chacune sur un cas d'étude. Prenant appui sur le cas de la Mer Jaune (Chine), la première s'attache à évaluer les effets des marées vertes dans une optique coût-avantage. La seconde modélisation, illustrée par le cas breton, s'intéresse aux effets potentiels sur l'économie régionale de la valorisation industrielle des algues récoltées à l'occasion des marées vertes. L'outil utilisé pour cet exercice est le modèle entrées-sorties.

Les deux études de cas formant la thèse s'inscrivent dans une optique d'économie appliquée. Différentes par les sujets abordés, les outils méthodologiques utilisés et les terrains d'application, elles cherchent à apporter des éléments de réponse à une même question, qui est celle de l'évaluation économique des marées vertes en vue de leur gestion rationnelle. En effet, cette gestion ne se limite pas à la minimisation des coûts sociaux engendrés par l'occurrence des marées vertes. Elle inclut aussi l'examen des possibilités de faire de cette source de nuisances une source de richesse économique, encore peu valorisée à ce jour (McHugh, 2003 ; Mesnildrey et al., 2012).

La thèse est organisée en trois chapitres.

Le premier chapitre analyse le phénomène des marées vertes en Mer Jaune. Plus récent et, de ce fait, moins documenté que celui des marées vertes en Bretagne, le cas de la Mer Jaune est aussi, par certains aspects, plus complexe. Cette complexité a deux aspects principaux : le premier concerne les mécanismes bioéconomiques à l'origine des marées vertes, le second sa dimension spatiale (la région émettrice et la région principalement impactée étant distinctes). S'appuyant sur une revue de la littérature scientifique et sur des enquêtes de terrain réalisées dans le cadre de la

préparation de cette thèse, ce chapitre présente les mécanismes de formation des marées vertes, leurs conséquences sur les zones impactées, les mesures de gestion mise en oeuvre et la perception du phénomène par les acteurs et par le public.

Le deuxième chapitre est consacré à une évaluation du coût social des marées vertes de la Mer Jaune. Sa première section propose une modélisation qualitative du phénomène et présente les données économiques de base relatives aux principaux secteurs d'activité concernés. Les deux sections suivantes sont consacrées à l'évaluation des différents éléments constituant le coût social des marées vertes de la Mer Jaune. Dans la dernière section, l'exercice d'évaluation est discuté et des scénarios de gestion sont comparés.

Le troisième chapitre propose une évaluation de l'impact économique potentiel, à différentes échelles spatiales, de la valorisation industrielle des ulves collectées lors des marées vertes. Les données technico-économiques utilisées pour caractériser cette opération sont celles du programme Ulvans, développé en Bretagne par le groupe Olmix. Le couplage de ces données micro-économiques avec celles, à caractère macro-économique, que fournit le tableau des entrées-sorties (TES) de la comptabilité nationale permet, sous diverses hypothèses, d'estimer les effets directs, indirects et induits de la valorisation des algues vertes. L'estimation de ces effets à l'échelle de la Bretagne s'appuie sur une régionalisation du TES national.

Chapitre 1.

Les marées vertes en Mer Jaune

Ce chapitre présente tout d’abord le contexte physique et humain du phénomène des marées vertes en Mer Jaune. Il analyse ensuite son mécanisme, en distinguant ses différentes phases. Dans une troisième section, il présente les impacts des marées vertes, puis les politiques de gestion qui sont mises en œuvre par les pouvoirs publics. Enfin, il présente la méthodologie et les résultats de deux enquêtes de terrain réalisées dans le cadre de cette thèse en vue d’appréhender les perceptions des acteurs et spécialistes d’une part, du grand public d’autre part.

1.1. Contexte

La zone d’étude est constituée par la Mer Jaune et par deux provinces chinoises riveraines, le Jiangsu, où le phénomène des marées vertes prend son origine, et le Shandong, qui en subit les principaux effets. On présente d’abord la situation géographique de la Mer Jaune et des deux provinces riveraines concernées par les marées vertes, puis la situation socio-économique de ces provinces, et enfin la situation environnementale de la Mer Jaune.

1.1.1. Cadre géographique

La Mer Jaune est une mer côtière de l'Océan Pacifique Nord-Ouest (**Fig. 2**). Séparée au nord-ouest de la Mer de Bohai par la péninsule du Liaodong et la péninsule du Shandong, elle est bordée au sud par la Mer de Chine Orientale (delta du Yangzi) et délimitée à l'est par la péninsule coréenne et l'île de Cheju-Do (Corée du Sud). La Mer Jaune septentrionale est la zone entourée par la péninsule du Liaodong, la péninsule du Shandong et la péninsule coréenne. La zone qui se trouve au nord de la Mer de Chine Orientale est appelée la Mer Jaune méridionale.

Fig. 2. La Mer Jaune



Source : Google Earth, consulté le 15 avril 2015

La Mer Jaune a une superficie de 380 000 km², dont environ 71 000 km² pour la partie septentrionale et 309 000 km² pour la partie méridionale. La température moyenne de l'eau en surface y est comprise entre 15 et 24°C, la salinité moyenne y est de 32, et elle borde la Chine sur 3132 km, soit 19% de la côte totale du pays (Ministère de protection de l'environnement de Chine, 2012).

La figure ci-dessous montre la localisation des deux provinces concernées par les marées vertes en Mer Jaune : le Jiangsu et, juste au nord de celui-ci, le Shandong.

Fig. 3. Localisation des provinces du Jiangsu et du Shandong

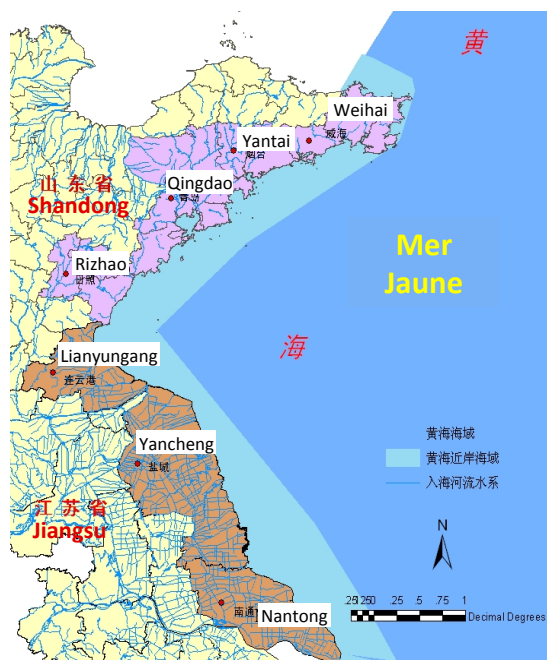


Source : <http://www.ambafrance-cn.org/>

Les zones directement concernées par les marées vertes, parce que celles-ci viennent s'échouer sur leurs rivages ou parce qu'elles se forment à proximité de leurs côtes, sont constituées de sept municipalités, ou villes-préfectures (divisions administratives situées à un niveau inférieur à celui de la province) : quatre dans le Shandong (du nord au sud : Weihai, Yantai, Qingdao, Rizhao), trois dans le Jiangsu (du nord au sud : Lianyungang, Yancheng, Nantong). La carte ci-dessous montre leur localisation.

**Fig. 4.
Localisation des
zones directement
concernées par les
marées vertes**

(Source : Ministère de la
protection de
l'environnement, 2012)



1.1.2. Contexte socio-économique

Les deux tableaux ci-dessous donnent un aperçu de la situation socio-économique des provinces du Jiangsu et du Shandong, et, à l'intérieur de celles-ci, des zones directement concernées par les marées vertes, comme zones d'émission (Jiangsu) ou comme zones impactées principales (Shandong).

Tab. 1. Densités de population et PIB par habitant (année 2013)

			Superficie (km ²)	Population (millions)	PIB (Mds CNY)	Densité (hab/km ²)	PIB/hab (CNY/hab)
Chine	Ensemble du pays		9 561 000	1 365,0	56 884,5	143	41 674
Jiangsu	Ensemble de la province		102 600	79,3	5 916,0	773	74 603
	Zone concernée par les marées vertes	Lianyungang	7 499	4,4	160,3	587	36 432
		Yancheng	16 972	7,2	312,0	424	43 333
		Nantong	8 001	7,3	503,9	912	69 027
		Total	32 472	18,9	976,2	582	51 651
Shandong	Ensemble de la province		157 128	96,9	5 468,5	617	56 434
	Zone concernée par les marées vertes	Weihai	5 436	2,8	233,8	515	83 500
		Yantai	13 746	7,0	528,1	509	75 443
		Qingdao	11 282	8,9	730,2	789	82 045
		Rizhao	5 348	2,8	135,3	524	48 321
		Total	35 812	21,5	1 627,4	600	75 693

* 1 euro = 7,26 CNY au 20/02/2016. Sources : communiqués statistiques du développement social économique des provinces du Jiangsu et du Shandong et des villes-préfectures concernées.

Tab. 2. Structure sectorielle du PIB (année 2010)

Secteur d'activité			Primaire	Secondaire	Tertiaire	Total
Chine	Ensemble du pays		10,1%	46,7%	43,2%	100%
Jiangsu	Ensemble de la province		6,2%	53,2%	40,6%	100%
	Zone concernée par les marées vertes	Lianyungang	15,3%	47,4%	37,4%	100%
		Yancheng	16,1%	48,4%	35,6%	100%
		Nantong	7,7%	55,9%	36,5%	100%
		Total	11,7%	51,9%	36,3%	100%
Shandong	Ensemble de la province		9,1%	54,3%	36,6%	100%
	Zone concernée par les marées vertes	Weihai	7,9%	55,9%	36,2%	100%
		Yantai	7,7%	58,9%	33,4%	100%
		Qingdao	4,9%	48,7%	46,4%	100%
		Rizhao	9,8%	54,8%	35,4%	100%
		Total	6,7%	53,7%	39,7%	100%

Sources : cf. tableau précédent.

Avec 79 et 97 millions d'habitants respectivement, le Jiangsu et le Shandong représentent 5,8% et 7,1% de la population chinoise totale en 2013. Appartenant à la zone côtière, ces deux provinces ont des densités de population élevées (773 habitants / km² dans le Jiangsu, 617 habitants / km² dans le Shandong), et des PIB par habitant sensiblement supérieurs à la moyenne nationale : le PIB par habitant dans la province du Shandong dépasse de 35% la moyenne de la Chine, et, dans le cas du Jiangsu, l'écart est de près de 80%. Toutefois, si l'on ne considère, à l'intérieur de chaque province, que les zones littorales concernées par les marées vertes (comptant 19 millions d'habitants dans le Jiangsu et 22 millions d'habitants dans le Shandong), l'écart entre Jiangsu et Shandong s'inverse : le PIB par habitant atteint 76000 CNY dans la zone littorale du Shandong concernée par les marées vertes (56000 CNY pour l'ensemble de la province), contre 52000 CNY dans la zone littorale du Jiangsu concernées par les marées vertes (75000 CNY pour l'ensemble de la province) : dans la première, le PIB par habitant dépasse de 81% la moyenne nationale, dans la seconde de 24%. Cette inversion s'explique par le fait que les trois villes-préfectures du Jiangsu que l'on prend en compte n'appartiennent pas à la zone économiquement la plus développée de la province, située au sud de celle-ci (le Sunan, qui comprend notamment les grandes villes de Nanjing, Wuxi, Suzhou, Zhenjiang). À l'inverse, dans le Shandong, la grande ville portuaire de Qingdao se trouve au cœur de la zone impactée par la marée verte.

La structure sectorielle du PIB fait apparaître, dans les deux provinces, une domination du secteur secondaire qui, en 2010, représentait 53% du PIB dans le Jiangsu et 54% dans le Shandong (contre 47% à l'échelle nationale). Cette domination se retrouve à peu près à l'identique dans les zones littorales des deux provinces concernées par les marées vertes. En revanche, la représentation du secteur primaire est plus importante dans la zone littorale du Jiangsu concernée par les marées vertes (près de 12% du PIB de la zone) que dans son homologue du Shandong (moins de 7% du PIB de la zone) où, corrélativement, le secteur tertiaire est plus développé (40% du

PIB de la zone, et jusqu'à 46% du PIB pour la ville-préfecture de Qingdao, où le secteur tertiaire fait pratiquement jeu égal avec le secteur secondaire).

Le tableau ci-dessous donne une vue de l'urbanisation dans les zones littorales des deux provinces concernées par les marées vertes. Le taux d'urbanisation moyen atteint 53% dans les trois villes-préfectures du Jiangsu, alors qu'il n'est que de 45% dans la zone homologue du Shandong. Toutefois, celle-ci connaît une forte hétérogénéité, avec une polarisation entre Qingdao d'une part, où le taux d'urbanisation atteint 63%, et les zones essentiellement rurales de Rizhao et Yantai, où les taux d'urbanisation ne sont que de 26% et 35% respectivement.

Tab. 3. Taux d'urbanisation dans les zones littorales concernées par les marées vertes

Province	Ville-préfecture	Taux d'urbanisation en 2010
Jiangsu	Lianyungang	52%
	Yancheng	52%
	Nantong	56%
	Total ci-dessus	53%
Shandong	Weihai	51%
	Yantai	26%
	Qingdao	63%
	Rizhao	35%
	Total ci-dessus	45%

Sources : communiqués statistiques du développement social et économique des villes-préfectures concernées.

1.1.3. Contexte environnemental

Le *Bulletin de l'environnement océanique en Chine* publie chaque année une classification des eaux marines. Fondée sur un « standard de qualité de l'eau de mer », cette classification comprend quatre grades notés I à IV par ordre de qualité décroissante, auxquels s'ajoute une catégorie « inférieure à IV » pour les eaux n'atteignant pas la qualité requise pour le grade IV. Le premier tableau ci-dessous présente, pour les mers dont la Chine est riveraine, la proportion des eaux classées en

grade I ou II, c'est-à-dire considérées comme ayant la meilleure qualité environnementale, en 2003 et 10 ans plus tard. Le tableau suivant montre, pour la Mer Jaune, l'évolution annuelle de cette proportion sur la période 2003-2013.

Tab. 4. Proportion des eaux classées au grade I ou II dans les mers côtières de la Chine

Année	Mer de Bohai	Mer Jaune	Mer de Chine orientale	Mer de Chine du Sud
2003	50%	69%	30%	58%
2012	67%	87%	38%	90%

Source : Bulletin de l'environnement océanique en Chine, 2003 et 2012

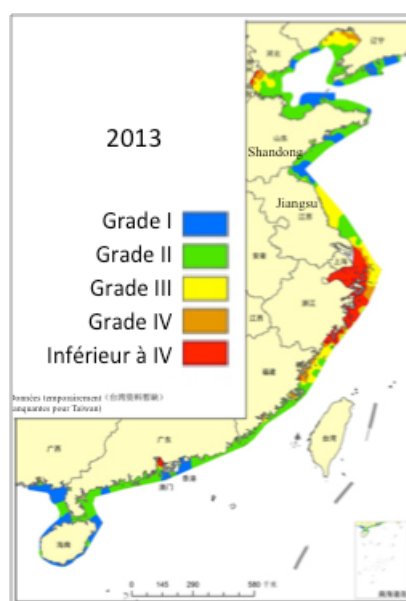
Tab. 5. Evolution de la proportion des eaux classées I ou II en Mer Jaune, 2003-2013

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Proportion	69%	83%	89%	84%	85%	93%	91%	87%	74%	87%	85%

Source : Bulletin de l'environnement océanique en Chine, 2003 à 2013

Ces deux tableaux suggèrent que la qualité moyenne de l'eau en Mer Jaune est meilleure que celle des mers adjacentes (Mer de Bohai au nord-ouest, et surtout Mer de Chine orientale au sud) et ne connaît pas de tendance globale à la dégradation : en dehors des années 2003 et 2011, la proportion des eaux classées I ou II y est toujours supérieure à 80%. Cependant, la qualité des eaux côtières varie de façon importante d'une zone à l'autre, comme le montre la carte ci-dessous.

**Fig. 5.
Carte de la qualité des
eaux côtières chinoises
en 2013**



Le déversement de polluants en Mer Jaune n'est pas négligeable. On distingue la pollution dite terrestre, qui est apportée par les rivières et celle, dite ponctuelle, qui provient des polluants directement déversés dans la mer. Selon le *Bulletin de l'environnement océanique en Chine*, la pollution terrestre joue un rôle considérable en Mer Jaune. Les principaux facteurs mis en cause sont l'agriculture, l'aquaculture, les insuffisances du traitement des eaux usées. Les travaux d'aménagement portuaire et la poldérisation des côtes (en particulier sur les côtes du Jiangsu) ont également une influence négative sur la qualité des eaux de mer. Les éléments nutritifs excédentaires évacués par les rivières (notamment les nitrates) sont une des raisons principales de l'eutrophisation de la Mer Jaune, et fournissent une condition favorable à l'explosion des algues vertes.

1.2. Mécanisme

L'apparition soudaine d'échouages massifs de macro-algues vertes à Qingdao en début d'été 2008, juste avant les Jeux Olympiques (Leliaert et al., 2009), a attiré l'attention du monde. Avec un million de tonnes d'algues vertes ramassées (poids frais) et, selon les estimations, environ deux millions de tonnes ayant coulé dans les fonds marins, cet événement constitue, à ce jour, la plus grande marée vertes connue au monde (Liu D. et al., 2010 ; Liu F., 2010). Depuis 2008, le phénomène se reproduit chaque année, avec une intensité plus ou moins forte.

La question s'est rapidement posée de l'origine et du mécanisme de la prolifération algale dans la Mer Jaune. Classiquement, le phénomène des marées vertes entretient une relation de causalité étroite avec le niveau d'eutrophisation des eaux côtières (Anderson et al., 2002 ; Heisler et al., 2008 ; Conley et al., 2009). D'où viennent les algues vertes qui s'échouent chaque année sur les côtes du Shandong ? La province du Jiangsu, dont le littoral accueille des activités d'aquaculture intensive et est fortement eutrophisé, a été d'emblée fortement soupçonnée (Sun et al., 2008 ; Ye et al., 2008 ;

Hu et al., 2010). Selon l'hypothèse qui s'est alors formée, sous l'effet de conditions océanographiques et météorologiques favorables, la masse d'algues vertes qui se forme sur ce littoral dérive vers le nord et réalise une migration de 200 km en mer pour échouer à la côte du Shandong (Liu D. et al., 2009 ; Liu F. et al., 2009 ; Zhang S. et al., 2009 ; Pang et al., 2010 ; Liu F. et al., 2013).

Dans cette section, nous présenterons d'abord la question de l'identification de l'espèce jouant le rôle principal dans les marées vertes de la Mer Jaune, puis celle du mécanisme de formation de ces marées. Enfin, nous décrirons le processus de prolifération, d'échouage et de récession des ulves.

1.2.1. Identification de l'espèce dominante

Quelle est l'espèce dominante dans la marée verte ? Les réponses apportées par les biologistes se situent sur trois plans.

✓ Combinaison des analyses morphologique et phylogénétique¹

Les études scientifiques ont montré que les algues vertes du genre *Ulva* ont une forte plasticité sur le plan morphologique. Leur croissance est en relation étroite avec la température et le niveau de salinité des eaux de mer, l'abondance des éléments nutritifs, la luminosité. Il existe des mécanismes d'activation par des facteurs environnementaux et, une fois ces mécanismes déclenchés, les algues vertes se différencient morphologiquement par la forme, le nombre de branches, etc. Pour cette raison, la seule analyse morphologique ne suffit pas à identifier avec précision l'espèce principale en cause dans la marée verte. Cette difficulté peut être surmontée

¹ La phylogénie est l'étude des relations de parenté entre êtres vivants.

en combinant l'analyse morphologique avec une analyse phylogénétique (Tan et al., 1999 ; Woolcott et King, 1999 ; Hayden et Waaland, 2004 ; Leskinen et al., 2004).

Selon les analyses phylogénétiques qui ont été menées, l'espèce principale en cause dans la formation de la marée verte de la Mer Jaune appartient au clade *Ulva-Linza-Procera-Prolifera* (Shimada et al., 2009 ; Zhang X. et al., 2011). Les algues vertes de l'espèce *Ulva Linza* avaient déjà été identifiées dans le milieu côtier de Qingdao (Tseng, 1962). D'après les analyses phylogénétiques, l'espèce en cause dans la marée verte entretient une relation génétique très proche avec l'espèce *Ulva Linza* (Liu F. et al., 2009 ; Liu F. et al., 2010).

Pour aboutir à une identification sans confusion, des analyses morphologiques (forme, existence de branches, etc.) ont été menées en complément (Wang J. et al., 2010). Ces différentes analyses ont amené les scientifiques à conclure que l'espèce dominante dans le phénomène étudié était *Ulva prolifera* (Leliaert et al., 2009 ; Zhang X. et al., 2009 ; Duan et al., 2012 ; Liu F. et al., 2012).

✓ Caractéristiques biologiques de l'espèce *Ulva prolifera*

L'espèce *Ulva prolifera* est une algue eurytherme et euryhaline, c'est-à-dire à forte tolérance en matière de température et de salinité. En laboratoire, *Ulva prolifera* peut survivre avec une échelle de température de 15-32 °C et un éventail de salinité de 7,2-53,5 (Wu et al., 2000). Espèce opportuniste, elle atteint son rythme de croissance maximal dans des eaux eutrophisées où le ratio azote / phosphore est de 10 à 1 (Liu F., 2010).

Du point de vue biologique, cette espèce se caractérise par une structure tubulaire avec une seule couche de cellules. Elle se reproduit de trois façons distinctes : par reproduction sexuée (fécondation), par reproduction asexuée (sporulation), et par fragmentation des thalles (appareils végétatifs des algues), un thalle détaché pouvant

donner naissance à une algue entière. Cette particularité est un facteur d'accélération de la marée verte lorsque les conditions favorables sont réunies (température, nutriments, luminosité...) (Lin et Shen, 2007 ; Gao et al., 2010).

✓ Réflexion rétrospective sur l'origine de la marée verte dans la Mer Jaune

Ulva prolifera n'est pas une espèce indigène de la zone côtière de Qingdao. Elle n'y avait pas été détectée avant 2008, et elle n'y a pas non plus été détectée pendant l'hiver qui a suivi la prolifération inédite de l'été 2008 (Liu D. et al., 2007 ; Li D. et al., 2008 ; Liu F., 2010). Selon les scientifiques, malgré la forte tolérance d'*Ulva prolifera* aux facteurs environnementaux, cette algue n'arrive probablement pas à survivre dans les conditions hivernales de la zone de Qingdao (Liu F. et al., 2009). Les télédétections provenant de la NASA ont montré que les nappes d'algues initialement observées lors des marées vertes se trouvaient dans le sud de la Mer Jaune, près des districts de Rudong et de Sheyang, qui appartiennent respectivement aux villes-préfectures de Nantong et Yancheng dans la province du Jiangsu (Li D. et al., 2008 ; Hu C. et al., 2010). Le caractère allogène des algues vertes a été également confirmé par les moyens moléculaires et phylogénétiques, qui ont montré la grande proximité génétique des algues vertes présentes sur les côtes de Qingdao pendant la marée verte avec les algues vertes présentes à Rudong en mer, dans les sédiments et sur les radeaux d'élevage de l'algue rouge *Porphyra yezoensis* (Tian et al., 2011).

Espèce allogène saisonnièrement proliférante, *Ulva prolifera* n'est cependant pas considérée comme une espèce invasive dans la zone de Qingdao, selon la définition donnée à ce terme par la Convention sur la diversité biologique. Dans celle-ci en effet, les espèces invasives se définissent non seulement par une prolifération mais aussi une implantation (Frésard, 2008). Les noms « *Ulva prolifera* » et « *Enteromorpha prolifera* » ne sont d'ailleurs pas répertoriés dans la base de données du programme global sur les espèces invasives (Global Invasive Species Database).

1.2.2. Formation des marées vertes

La marée verte a été observée pour la première fois à Qingdao en 2007. Malgré 6000 tonnes d'algue fraîche ramassées et 200 bateaux de pêche mobilisés, cet événement n'a pas attiré l'attention des scientifiques ni celle des autorités publiques. L'année 2008 marque un brutal changement d'échelle : environ 1 million de tonnes d'algues fraîches ramassées, 2000 bateaux de pêche, 1000 camions, 3000 personnes mobilisées dans les activités de ramassage pendant la période estivale, mobilisation de la marine militaire (Ocean and Fishery Department of Qingdao City ; State Oceanic Administration, 2010). Avec des intensités variables selon les années, le phénomène est devenu récurrent depuis lors. Comment se forme-t-il ? Et quelles sont les principales raisons de l'explosion des marées vertes dans la Mer Jaune ?

- ✓ « Réserve de semences » des propagules d'*Ulva prolifera* dans la province du Jiangsu

Plusieurs espèces d'algues vertes sont communes sur la côte de Jiangsu, notamment *Ulva prolifera*, *Ulva linza*, *Ulva compressa*, *Ulva flexuosa* (Ding et al., 2009 ; Zhang et al., 2011). Cependant, *Ulva prolifera* semble avoir le taux de croissance le plus rapide (Luo et al., 2012). Compte tenu du caractère de vasière de la zone intertidale et de la turbidité des eaux de mer proches de la côte du Jiangsu, celles-ci ne peuvent accueillir un lit d'algues *Ulva prolifera*, parce que l'absorption de la lumière y est insuffisante (Liu F., 2010 ; Li M., 2011). En revanche, les études scientifiques ont prouvé qu'il existe dans cette zone une « réserve de semences » d'*Ulva prolifera*, les propagules (sous forme de spores, de gamètes et / ou de thalles), qui sont largement présentes dans l'eau de mer et les sédiments (Liu F. et al., 2013), en attendant leur croissance au printemps lorsque les conditions environnementales sont favorables (Hoffmann et Santelice, 1991). Grâce à une forte capacité de tolérance des ulves, ces

propagules hivernent dans la zone côtière de Jiangsu, avec une densité d'environ 2000 propagules par litre de l'eau de mer (Liu F. et al., 2012).

✓ Eutrophisation et expansion des activités aquacoles

Un niveau d'eutrophisation élevé fait partie du contexte général dans lequel se forment les marées vertes (Heisler et al., 2008). Pendant la période d'avril à mai, la province du Jiangsu connaît de fortes précipitations, ce qui facilite le transfert des éléments nutritifs de la terre vers la mer et permet d'alimenter la croissance des ulves. Parallèlement, les eaux riches provenant du Delta du Yangzi dérivent vers le nord-est, donc vers le sud de la Mer Jaune, ce qui accentue également le niveau d'eutrophisation de cette zone (Xu et al., 2009 ; Zhang S. et al., 2009). Par conséquent, les eaux côtières de la province du Jiangsu sont eutrophisées par le déversement des lacs et des rivières et l'évacuation des polluants provenant des activités terrestres (industrielle, accélération de l'urbanisation, agriculture, etc.) (Ma et al., 2010).

Une autre source d'eutrophisation résulte du développement des bassins d'élevage intensif de crabes *Eriocheir sinensis*¹ et de crevettes *Penaeus vannamei*², espèces pour lesquelles le Jiangsu concentre respectivement 45% et 20% de la production nationale en 2013. Sur la période 2000-2013, la croissance de la production d'*Eriocheir sinensis* a été voisine de 9% par an en moyenne et, au cours des années 2010-2013, la production aquacole en eau douce de *Penaeus vannamei* a quant à elle augmenté de 12% par an (**Tab. 6**).

¹ Espèce chinoise se reproduisant en eau de mer mais grandissant en eau douce. C'est l'espèce la plus consommée dans le sud de la Chine.

² Espèce élevée en eau de mer ou en eau douce, introduite en Chine en 1988. C'est l'élevage en eau douce qui est mis en cause dans le cas des marées vertes (com. Pers.)

Tab. 6. Evolution de la production aquacole en eau douce de crabes *Eriocheir sinensis* et de crevettes *Panaeus vannamei*, 2000-2013 (unité : millier de tonnes)

Année	<i>Eriocheir sinensis</i>			<i>Panaeus vannamei</i> ¹		
	Jiangsu	Shandong	Chine entière	Jiangsu	Shandong	Chine entière
2000	112,0	13,49	232,4			
2005			438,4			440,8
2010	286,7	25,47	593,3	89,5	51,5	615,0
2011	305,4	30,86	649,2	96,5	45,4	660,0
2012	326,5	28,70	714,4	107,0	45,1	690,8
2013	325,8	26,50	729,9	127,0	47,8	617,4

¹ Les statistiques de production pour cette espèce commencent en 2003. Source : China Fishery Statistical Yearbook.

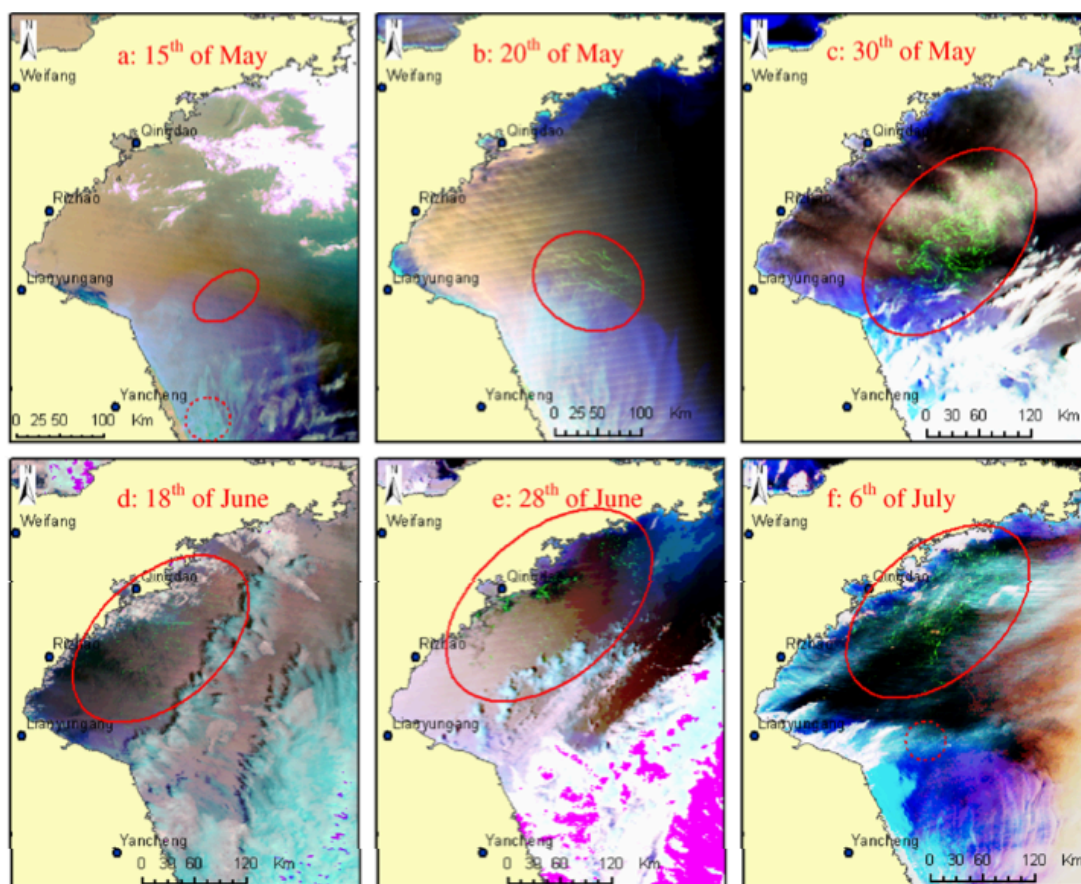
Dans le cas d'*Eriocheir sinensis*, cette croissance rapide est liée au développement d'une méthode d'alimentation des animaux en élevage par des rotifères¹, eux mêmes nourris par du fumier de poulet fermenté (méthode FCM, pour *Fermented Chicken Manure*) issu des élevages avicoles intensifs de la région (Liu D. et al., 2010 ; Pang et al., 2010 ; Wang J. et al., 2010 ; Liu F. et al., 2012). Au moins 50 000 tonnes de fumier sont utilisées annuellement à cet effet (Liu F. et al., 2013).

✓ Conditions océanographiques, météorologiques et biologiques

Selon les télédétections, les algues vertes partent des côtes du Jiangsu (Hu et al., 2008 ; Li D. et al., 2008 ; Hu et al., 2010), puis dérivent en mer vers le nord, sur une distance d'environ 150 km (Sun et al., 2008) (**Fig. 6**).

¹ Animaux aquatiques d'une taille comprise entre 50 microns et 3mm, et composant une partie du zooplancton.

Fig. 6. Trajectoire des algues vertes en Mer Jaune en 2008



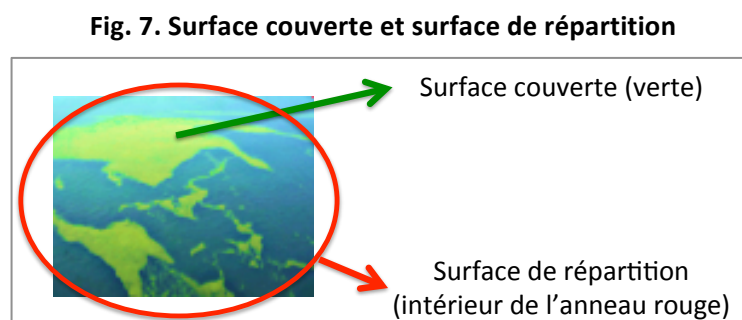
(Source : Liu D. et al., 2009)

Cette migration résulte d'une combinaison de conditions océanographiques, météorologiques et biologiques. De mai à juin, les flux de vent (sud-est et sud-ouest) et la direction des courants marins facilitent le déplacement des nappes d'algues vertes de Yancheng vers Qingdao (Li D. et al., 2009 ; Liu D. et al., 2009). Par ailleurs, de mai à juillet, la température monte et il y a un bon niveau d'ensoleillement en Mer Jaune. Le nombre de journées de grand vent baisse, ce qui donne lieu à moins de sédiment suspendu en mer, de sorte que l'eau de mer est plus claire et le processus de photosynthèse s'en trouve facilité (Li D. et al., 2009 ; Zhang S. et al., 2009). En parallèle, grâce à une forte tolérance aux conditions environnementales et à une forte longévité des thalles, des ulves continuent à se libérer des cellules germinales pendant qu'elles flottent en mer. Cela leur permet d'avoir une expansion efficace tout en

flottant (Ye et al., 2008 ; Zhang X. et al., 2009). Biologiquement actives, les ulves se reproduisent rapidement tout en se maintenant à flot par émission d'oxygène.

La pluviométrie et la nébulosité jouent également un rôle important. La quantité de précipitations dans le Jiangsu augmente en mai-juin. Les fortes précipitations ont un double effet : d'un côté, elles apportent des éléments nutritifs supplémentaires ; de l'autre, elles diminuent la teneur en eau des nuages, ce qui provoque une meilleure luminosité (Qiu et al., 2008 ; Yi et al., 2010 ; Chen et al., 2014). Joint à celui de la diminution du vent qui, en faisant baisser la turbidité de l'eau, permet une meilleure pénétration de la lumière, cet effet renforce l'activité de photosynthèse des ulves. L'oxygène émis forme des bulles dans leur structure tubulaire, ce qui améliore la flottabilité des thalles (Yang et al., 2009 ; Gayral, 2014). Le processus est cumulatif : les thalles flottant absorbent encore mieux la lumière à la surface de la mer, d'où une meilleure croissance et une augmentation de la surface couverte.

La surface couverte par les algues se distingue de leur surface de répartition. En effet, la répartition des algues à la surface de la mer n'est pas continue, de sorte que la surface de répartition englobe la surface des nappes (surface couverte) et les intervalles d'eau libre qui les séparent (**Fig. 7**).



(Photo : SOA, Bulletin des désastres maritimes en Chine)

Le tableau ci-dessous donne une estimation des surfaces couvertes maximales par les marées vertes en Mer Jaune depuis 2008, ainsi que les surfaces de répartition

correspondantes. Il met en évidence la forte variabilité du rapport entre les deux types de surface en fonction des conditions hydroclimatiques.

Tab. 7. Marées vertes en Mer Jaune : surfaces couvertes et surfaces de répartition maximales, 2008-2014

Année	Surface couverte maximale (km ²)	Surface de répartition maximale (km ²)
2008	650	25 000
2009	2100	58 000
2010	530	29 800
2011	560	26 400
2012	267	19 610
2013	790	29 733
2014	540	50 000

Source : SOA, Bulletin des désastres maritimes en Chine, 2008 à 2014

- ✓ La question du rôle des cultures d'algue rouge *Porphyra yezoensis* dans le développement des marées vertes dans la Mer Jaune

Depuis une dizaine d'années, la culture en mer de l'algue rouge *Porphyra yezoensis*, en grande partie exportée vers le Japon, est devenue une activité économiquement importante dans le Jiangsu, où elle est pratiquée sur 21 000 hectares (Pang et al., 2010). Selon les statistiques de la pêche et de l'aquaculture en Chine, la culture de *Porphyra* (*haitanensis* et *yezoensis*) existe dans cette province depuis les années quatre-vingt et a eu un fort développement à partir de 2000. La production exprimée en poids sec y est passée de 7,47 milliers tonnes en 2000 à 18,06 milliers tonnes en 2005, et atteint 27,58 milliers tonnes en 2015, soit une progression annuelle moyenne de 9,1% sur 15 ans, sensiblement plus forte qu'à l'échelle nationale (+6,0%). Elle représente en 2015 presque le quart de la production nationale (**Tab. 8**).

Tab. 8. Evolution de la production d'algues *Porphyra*¹, 2000-2013
(unité : millier de tonnes de poids sec)

Année	Jiangsu	Shandong	Chine entière
2000	7,47	2,35	48,2
2005	18,06	4,26	80,4
2010	21,91	2,56	107,2
2011	22,70	0	102,8
2012	21,03	0,89	112,3
2013	27,72	0,55	113,9
2014	25,79	1,89	114,2
2015	27,58	0,69	115,9

¹ Espèces principales : *Porphyra haitanensis* et *P. yezoensis*. Source : China Fishery Statistical Yearbook.

Des radeaux en bambou utilisés dans la culture de *Porphyra yezoensis* ont souvent été trouvés dans les amas d'algues vertes échouées en baie de Qingdao. Bien qu'elles ne constituent pas une preuve scientifique, ces observations ont été présentées dans la presse comme indiquant l'origine de la marée verte (China Biotechnology Information Website, 2008).

La forte expansion de la culture de *Porphyra yezoensis* depuis 2000 s'est accompagnée d'une délocalisation de cette activité de la zone intertidale (vasières) vers la pleine mer. Certains auteurs ont établi un lien entre cette évolution et la formation des marées vertes (Liu D. et al., 2009 ; Keesing et al., 2011). Selon eux, tant que l'algoculture se déroulait dans la zone intertidale, les ulves y restaient stockées à l'échelle microscopique et n'avaient que peu de chances de sortir de la zone. Mais la délocalisation des sites de culture vers la pleine mer aurait favorisé la mobilité des ulves dans l'eau, accroissant ainsi la probabilité de formation des marées vertes.

L'hypothèse d'une relation étroite entre algoculture des algues rouges et marées vertes a été critiquée. Dans le Jiangsu, les sites de culture de *Porphyra yessoensis* ne coïncident pas avec les lieux où la famille *Ulvaceae*, dont l'espèce *Ulva prolifera*, est présente. Les algues vertes observées sur les filets et radeaux de culture de *Porphyra* appartiennent à des genres multiples, notamment *Ulva*, *Cladophora* et *Blidingia*, et la situation varie en fonction du site d'élevage (Liu F., 2010 ; Liu F. et al., 2013). De plus, la culture des algues rouges, pratiquée dans le Jiangsu depuis plus de trente ans, contribue à purifier l'eau de mer, ce qui ne favorise pas la croissance des ulves (Fei, 2004). Aussi, certains voient plutôt la cause principale des marées vertes dans le fort développement de l'élevage de crustacés, sous l'effet notamment de la méthode FCM-rotifères. En effet, en accentuant l'eutrophisation des eaux de mer, ce développement favorise la croissance des ulves (Pang et al., 2010 ; Liu F. et al., 2013).

Les deux hypothèses ne sont pas contradictoires, l'élevage de crustacés et la culture de *Porphyra* pouvant jouer des rôles complémentaires. Si les radeaux et filets servant à cette culture ne sont pas la source originelle du développement des algues vertes, ils jouent un rôle de substrat qui facilite ce développement. Ce rôle est accentué par le fait que, pendant et après la récolte des algues rouges, les éleveurs jettent les ulves et nettoient leurs équipements en mer, facilitant ainsi la propagation des ulves.

1.2.3. Prolifération, échouage et récession

Les ulves dérivent vers le nord et atteignent la côte méridionale du Shandong. Elles passent près de Rizhao de fin mai à mi-juin, puis arrivent massivement à Qingdao de mi-juin à fin juillet et, plus marginalement, à Yantai et Weihai. Les données publiées sur les quantités d'algues collectées sont très incomplètes et manquent d'homogénéité (**Tab. 9**). Elles permettent cependant d'illustrer l'ampleur du phénomène, et suggèrent que Qingdao est la zone la plus touchée.

Tab. 9. Données publiées sur les quantités d'algues ramassées dans le Shandong, 2007-2013 (unité : tonne fraîche)

Année	Qingdao			Rizhao	Yantai	Weihai
	En mer	À terre	Total			
2007	6 800 ¹					
2008	409 000 ¹					
2009	162 000 ⁴					20 000 ¹
2010	2 764 ¹	29 887 ¹	32 651 ¹		9 824 ¹	
2011	56 722 ¹					
2012	45 900 ³	80 100 ³	126 000 ³		50 651 ¹	
2013	55 500 ²	129 000 ⁶	184 500 ¹	101 000 ¹		
2014	37 700 ⁵	63 600 ⁵	101 300 ⁵			

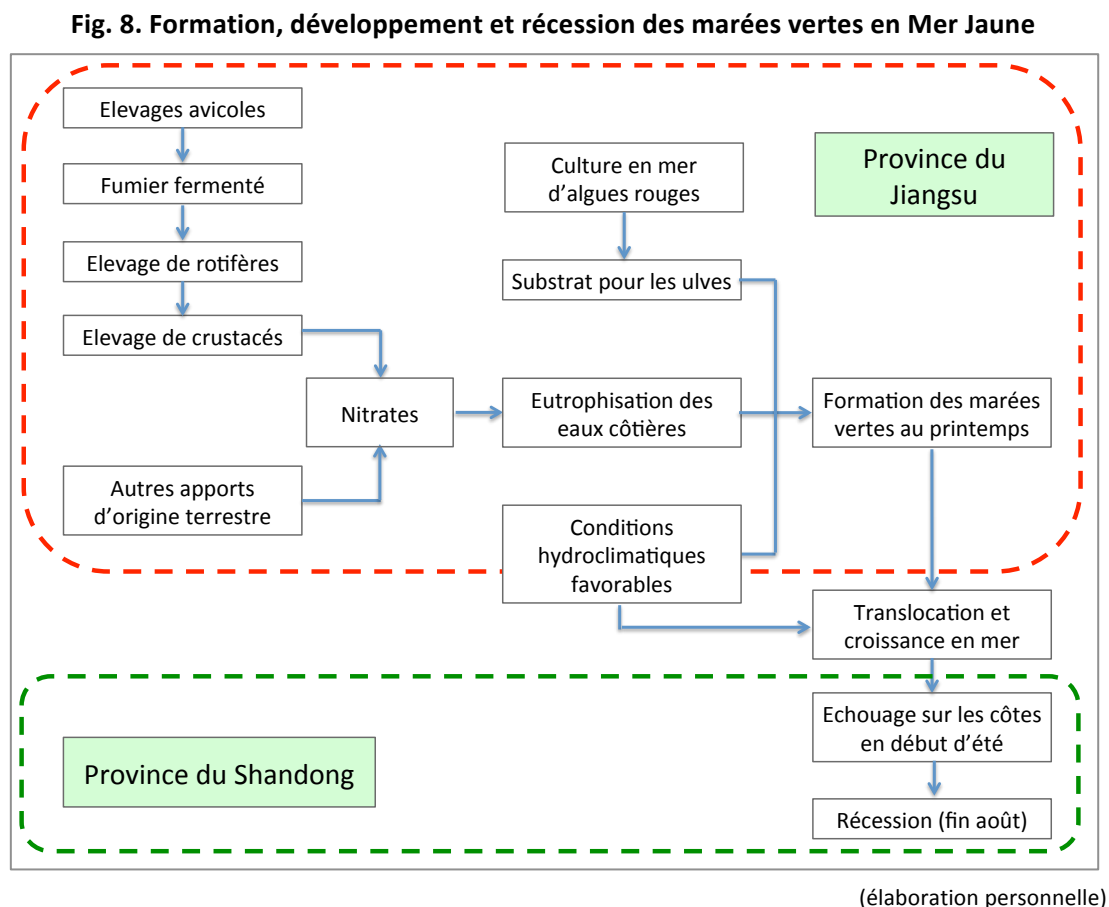
¹ Bulletins des catastrophes maritimes des villes concernées et des années concernées. ² Bulletin des désastres maritimes en Chine (SOA). ³ Bureau océanique et de la pêche de Qingdao. ⁴ Bulletin de la qualité de l'environnement marin en Chine, 2009. ⁵ Qingdao News Website. ⁶ Calculé par rapprochement des données publiées par ¹ et ².

La ville de Rizhao, située au sud-ouest de la ville Qingdao, est atteinte naturellement quelques jours plus tôt que celle-ci par les nappes d'algues vertes. Il semble pourtant que Rizhao soit touchée de façon moins importante, ce qui peut résulter de sa position géographique, cette ville étant seulement touchée à la marge par les nappes d'ulves lors de leur passage. Au contraire, Qingdao se situe au cœur de la zone vers laquelle se dirigent ces nappes, particulièrement la baie de Jiaozhou qui forme comme un bol servant de récipient naturel pour les ulves flottantes. Situées au nord-est de Qingdao, les villes de Yantai et Weihai sont moins touchées, sans doute en partie grâce aux mesures de mitigation prises par la ville de Qingdao (voir infra).

Selon les analyses océanographiques et météorologiques, la température et le niveau de salinité de l'eau de mer dans la zone de Qingdao sont favorables à la croissance des ulves de juin jusqu'au mois d'août. En fin de période estivale, de nombreuses journées pluvieuses et nuageuses à Qingdao empêchent l'absorption de lumière par les algues,

et cette mauvaise activité de photosynthèse contribue à faire couler les thalles au fond de la mer (Yang et al., 2009 ; Zhang et al., 2009).

Le schéma ci-dessous résume le processus de formation, développement et récession des marées vertes en Mer Jaune, tel qu'il se dessine à partir des informations que nous avons réunies.



1.3. Impacts et réponses

Les marées vertes impactent de façon négative le fonctionnement des écosystèmes et des activités humaines qui utilisent leurs services (1.3.1). Ces nuisances suscitent des réponses de la part des pouvoirs publics, en termes de surveillance, de mitigation et de

prévention, que nous regroupons sous le terme « gestion des marées vertes » (1.3.2). Parallèlement, des opérations de valorisation des algues vertes se développent (1.3.3).

1.3.1. Nuisances causées par les marées vertes

Les marées vertes sont suspectées d'impacter négativement la biodiversité (Zhou et al. 2015). En premier lieu, lors de la phase d'efflorescence des algues vertes en mer, les ulves concurrencent d'autres organismes pour la captation d'éléments nutritifs. En second lieu, lors de la phase de récession, les ulves en décomposition émettent des matières biochimiques potentiellement toxiques. Pendant les deux phases, les algues vertes consomment de l'oxygène dans l'eau de mer, inhibent éventuellement la production d'oxygène du phytoplancton et, par ailleurs, la couche d'algue verte flottant à la surface de la mer empêche l'entrée d'oxygène dans l'eau de mer. Cela pourrait favoriser l'apparition de marées rouges (Wang C. et al., 2012).

De façon plus directe, les marées vertes génèrent diverses nuisances pour plusieurs activités humaines se déroulant en mer ou sur la côte.

Elles sont de nature à gêner les activités de pêche, car les ulves peuvent obstruer les mailles des filets et s'enchevêtrer dans les hélices des navires, créant des destructions matérielles et des problèmes de sécurité. Toutefois, la saisonnalité des marées vertes atténue cette nuisance car l'essentiel de l'efflorescence des ulves se produit pendant une période où la pêche est interdite (repos biologique du 1^{er} juin au 1^{er} septembre). Dans le Jiangsu, la marée verte se manifeste dès le mois de mai, mais elle y est moins massive que dans le Shandong, qui n'est touché qu'en juin.

Dans la province du Jiangsu, où se forment les marées vertes, le développement des ulves a principalement un effet négatif sur la culture des algues rouges (*Porphyra*). La présence des ulves dans les algues rouges qui sont récoltées détériore en effet la qualité du produit, ce qui entraîne une baisse du prix de vente et donc du revenu des

algoculteurs. Les ulves sont appelées « légume de fantôme » par les algoculteurs du Jiangsu, qui doivent consacrer un temps de travail important au tri des ulves se trouvant parmi les algues rouges qu'ils récoltent.

Dans la province du Shandong, les nuisances provoquées par les marées vertes sont plus graves. Les nuisances les plus visibles concernent les activités récréatives et touristiques, les plages et le bord de mer étant recouvertes d'une épaisse couche d'algues vertes au cœur de la saison estivale¹.

Fig. 9. Vue de la marée verte sur la plage de Qingdao en juillet 2013



Source : China Daily, 3 Juillet 2013

Les nuisances dues à l'échouage massif d'algues vertes sur les côtes du Shandong concernent également l'aquaculture. En effet, les marées vertes peuvent causer, par anoxie, d'importantes mortalités dans les élevages d'ormeaux, de concombres de mer, de pétoncles, de palourdes et de méduses.

¹ La décomposition des ulves échouées à la côte est de nature à entraîner le même type de nuisances qu'en Bretagne (odeur nauséabonde, effet toxique), mais elle s'y produit moins rapidement car la nature des ulves n'est pas la même (voir supra, Introduction).

Les marées vertes génèrent des effets secondaires, liés aux activités de ramassage des ulves. Ces effets résultent des fuites d'algues et d'eau lors du transport à terre vers les lieux de stockage, de la pollution potentielle des eaux souterraines lors du stockage, ainsi que des odeurs nauséabondes (accroissement du nombre de moustiques et mouches), et des émissions éventuelle de gaz toxiques (H₂S). Le dessablement des plages lors du ramassage des ulves qui y sont échouées est également un problème majeur, en particulier pour certaines plages touristiques très réputées.

1.3.2. Gestion des marées vertes

Depuis 2008, les marées vertes sont devenues un phénomène récurrent en période estivale dans la Mer Jaune, suscitant des réactions de la part des autorités publiques, concernant la surveillance, l'information, la mitigation et la prévention. Après avoir décrit le cadre juridique et organisationnel de la gestion des marées vertes, nous en préciserons le contenu.

✓ Cadre juridique et organisationnel

À l'échelon national, le cadre législatif et réglementaire de la lutte contre les marées vertes est principalement constitué par les textes suivants :

- la loi sur la protection de l'environnement marin promulguée en 1982, dont la version révisée en 2000 mentionne le devoir pour le pollueur de réduire les nuisances qu'il provoque et, pour la partie restante, de compenser les dommages qui en résultent pour d'autres agents ;
- la loi sur les réponses d'urgence en cas de catastrophe, promulguée en 2007 ;
- la loi sur la prévention et le contrôle de la pollution des eaux, promulguée en 1984 et amendée en 2008 ;

- les « mesures pour l'analyse et le traitement des urgences environnementales » publiées par le Ministère de la protection de l'environnement en 2014 (remplaçant une version antérieure publiée en 2005).

Ces éléments sont complétés par des dispositions locales. À Qingdao, principale municipalité touchée par les échouages d'algues vertes, un « plan d'action d'urgence contre les catastrophes dues aux macro-algues marines » a été publié en 2009 afin d'améliorer l'efficacité des actions de lutte contre ce phénomène. L'organisation mise en place par ce plan est résumée dans le tableau ci-dessous.

Tab. 10. Organisation de la lutte contre les marées vertes dans la municipalité de Qingdao

Centre de commandement d'urgence de Qingdao	Division Mer	Responsable : bureau océanique et de la pêche
		Fonctions principales : télédétection, supervision, collecte en mer
		Soutiens : instituts de recherche locaux (FIO, IOCAS etc.)
	Division Terre	Responsable : comité de développement urbain et rural
		Fonctions principales : supervision et ramassage à terre
		Soutiens : bureau de protection de l'environnement, comité des transports
	Division Media	Responsable : département de propagande du comité du parti
		Fonctions principales : diffusion d'informations aux autorités et au public
	Division Expert	Responsable : bureau de la science et de la technologie
		Fonctions principales: recherches scientifiques sur la marée verte
		Soutiens : instituts de recherche et universités
	Division supervision financière	Responsable : Bureau de supervision
		Fonctions principales : vérification et supervision des unités de ramassage, allocation du budget.
		Soutiens : bureau des finances, bureau d'audit et bureau du prix des marchandises

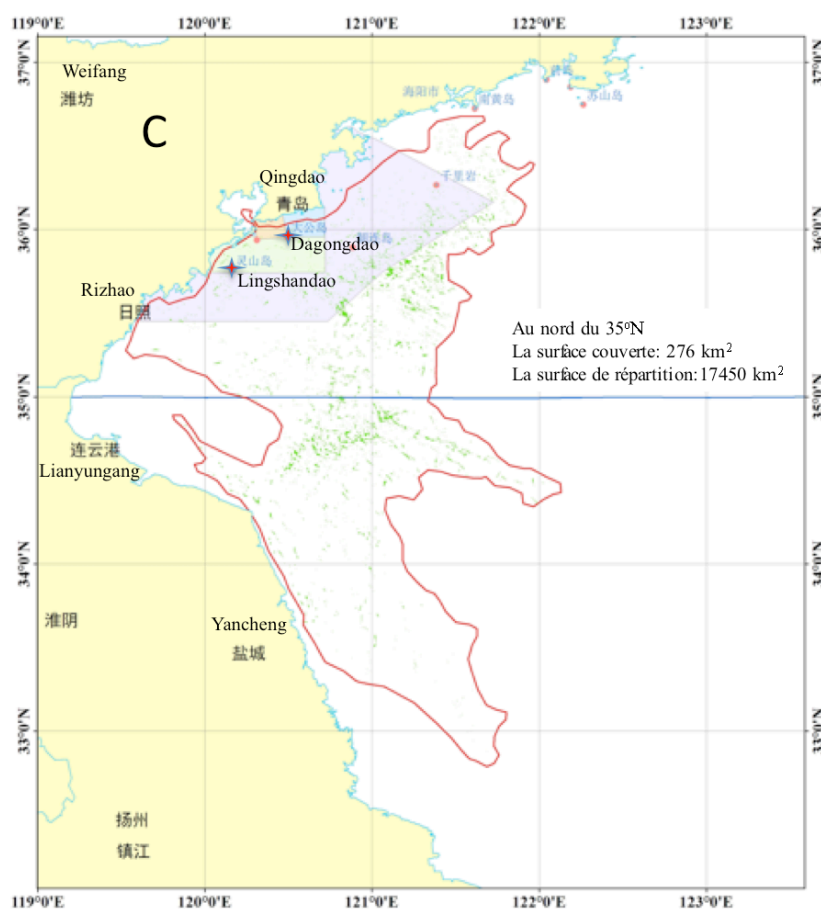
Source : Qingdao Marine Macroalgae Disaster Emergency Work Plan, 2012

Les mesures prises par les autorités publiques face aux marées vertes en Mer Jaune concernent principalement la surveillance, l'information et la mitigation. Des actions de prévention sont également mises en œuvre.

✓ Surveillance et information

Il existe deux modes de surveillance. Le premier, de type « bottom-up », repose sur les observations rapportées aux autorités locales par des acteurs de terrain (pêcheurs...). Le second, de type « top-down », est animé par la SOA (*State Oceanic Administration*, agence d'Etat chargée de la supervision et de la gestion des zones maritimes qui sont sous le contrôle de la République Populaire de Chine ainsi que de la protection de l'environnement côtier). Cette surveillance repose sur les observations réalisées par des navires, des drones et des satellites (télédétection). Pour la télédétection, le recours à la méthode SAR (Synthetic Aperture Radar) permet de compléter les données satellitaires pendant les journées de brouillard (Zhao et al., 2015). Ces moyens permettent de réaliser des cartes des marées vertes (**Fig. 10**).

Fig. 10. Distribution spatiale de la marée verte en Mer Jaune le 22 juin 2014



Source : document du gouvernement.

Les données recueillies par les dispositifs de surveillance permettent aux autorités de diffuser des informations sur les marées vertes. Ainsi, la municipalité de Qingdao diffuse régulièrement des bulletins d'information comportant un classement par niveau d'alerte (**Tab. 11**).

Tab. 11. Informations d'alerte prévues par le Plan d'action d'urgence de Qingdao contre les catastrophes dues aux macro-algues marines

Niveau d'alerte	Couleur d'alerte	Surface couverte	Surface de répartition	Prévision date d'arrivée	Délimitation zone géographique
Niveau I	Rouge	> 500 km ²	> 8000 km ²	Dans 3 jours	Au nord de la frontière maritime entre Qingdao et Rizhao*
Niveau II	Orange	[300-500 km ² [	> 7000 km ²	Dans 7 jours	
Niveau III	Jaune	[100-300 km ² [	> 5000 km ²	Dans 10 jours	Au nord de l'île Dagong*
Niveau IV	Bleu	> 50km ²	> 3000 km ²	Dans 20 jours	Au nord de l'île Lingshan*

* cf. Fig. 10. Source : Qingdao Marine Macroalgae Disaster Emergency Work Plan, 2012..

La diffusion d'informations en temps réel sur le développement des marées vertes se double d'actions de vulgarisation et de sensibilisation du public au phénomène des marées vertes. Ainsi, dans le Jiangsu, des sorties en mer consacrées aux marées vertes, destinées aux personnes volontaires assurant la propreté des zones côtières, ont été organisées par le gouvernement local (Lianyungang City Oceanic and Fishery Administration, 2014). À Qingdao, dans le cadre de la « journée de prévention et de réduction des sinistres » le 12 mai 2014, le Centre de prévision de la Mer Jaune septentrionale, dépendant de la SOA, a organisé une action de communication auprès des pêcheurs et des aquaculteurs en vue de leur faire prendre conscience des dangers potentiels de la marée verte pour leurs activités, et de les inciter à adopter des mesures préventives (North China Sea Branch of SOA, 2014). À Qingdao également, dans le cadre des opérations de volontariat organisées depuis 2008 pour le ramassage des ulves sur les plages, des actions de sensibilisation du grand public ont été mises en place, avec notamment des dégustations de produits culinaires à base d'algues vertes (Wang et Li, 2012).

✓ Mitigation

Au-delà de la surveillance et de l'information, les autorités publiques ont pris des mesures de mitigation, c'est-à-dire destinées à atténuer les conséquences des marées vertes. Ainsi, en vue de limiter la mortalité dans les élevages de palourdes, d'ormeaux et de concombres de mer, des produits et équipements visant à protéger les bassins ont été proposés ou recommandés aux aquaculteurs (poudre de zéolithe, poudre de pierre de Maifan, pompes à oxygène). Cependant, les principales mesures de mitigation concernent la collecte des ulves.

Dans la province du Jiangsu, au large de laquelle se forment les marées vertes, certaines actions de collecte en mer sont entreprises. Ainsi, la ville touristique de Lianyungang a installé un filet d'interception des algues vertes pendant la période d'efflorescence. Mais les activités de collecte des ulves sont globalement peu développées dans le Jiangsu, car la prolifération des ulves reste d'une ampleur limitée sur les côtes de cette province.

Les actions de collecte ont une beaucoup plus grande ampleur dans la province du Shandong, où s'effectuent les échouages massifs d'algues vertes.

La collecte des algues vertes s'y effectue à la côte et en mer. Le ramassage manuel et mécanique sur les plages et la collecte en mer par les bateaux de pêche sont les moyens traditionnellement utilisés depuis 2008. Un bateau-barge avec système de pompage centrifugé permettant de séparer les algues vertes pompées et l'eau de mer a été utilisé dans le cadre du « grand combat » de 2008, mais il s'agit d'un équipement militaire qui n'a pas été utilisé ultérieurement (document interne du gouvernement).

Depuis 2012, la municipalité de Qingdao a mis en place un système à grande échelle de filets d'interception des algues vertes en mer, permettant d'arrêter une grande partie des masses algales avant qu'elles n'atteignent la côte. Plusieurs moyens de

collecte innovants ont été développés : le chalutage « en boeuf » (effectué par deux bateaux tractant un même chalut), le « filet Gongdou » (deux chaluts latéraux, situés de part et d'autre de chaque bateau) et le « filet Shouchao » (opéré manuellement). Ces moyens correspondent respectivement à la collecte à grande, moyenne et petite échelle.

En 2014, le mode de ramassage en mer a fortement évolué grâce à la mise en place d'une plateforme de traitement des algues vertes en mer (**Fig. 11**).

Fig. 11. Plateforme de traitement des algues vertes en mer Haizhuangyuan



Source : CNTV, Qingdao Station

La plateforme est une sorte de bateau-barge mesurant 78 m. de longueur et 16,8 m. de largeur, équipé d'un dispositif de chargement pour récupérer les algues collectées par des bateaux de pêche et les déposer sur la plateforme, et de deux presses permettant de conditionner les algues. Le bateau-barge a une capacité de traitement de 3000 tonnes d'algues fraîches par jour, correspondant à 1000 tonnes après pressage. La réalisation du traitement intégré en mer ouvre un nouveau chapitre en termes d'efficacité dans le fonctionnement du ramassage. Nommé « 1+X » (1 plateforme et

X bateaux collecteurs), ce nouveau mode de fonctionnement permet d'économiser le temps précédemment passé par les bateaux de pêche en allers-retours entre le lieu de collecte et le lieu de débarquement à terre. On estime qu'il permet de doubler la quantité moyenne collectée par un bateau en une journée. Suite à cette innovation, la part de la collecte en mer devrait augmenter significativement par rapport au ramassage des algues sur le littoral¹.

✓ Prévention

À la différence des mesures de mitigation qui ont pour objet de limiter les conséquences négatives du phénomène une fois qu'il est apparu, les mesures de prévention visent à empêcher cette apparition, en agissant sur ses causes.

Les causes des marées vertes en Mer Jaune sont, comme on l'a vu, relativement complexes, et mettent en jeu plusieurs secteurs d'activité. À ce jour, les seules mesures préventives concernent les installations de culture d'algues rouges au large des côtes du Jiangsu. En vue de limiter la prolifération des ulves, les algoculteurs de cette province ont obligation, lorsqu'ils rapportent à terre leurs équipements de culture, de rapporter également toutes les ulves qu'ils ont collectées, avec interdiction de les jeter en mer ou sur la plage. Les équipements de culture doivent être nettoyés à terre avant réutilisation. La méthode préconisée est de placer les filets d'élevage dans des chambres de congélation, afin de tuer les ulves qui s'y trouvent mais, en pratique, cette méthode est réservée aux entreprises ayant des moyens suffisamment importants.

¹ Selon une information parue dans la presse, l'usage de la plateforme aurait permis de faire passer le rapport entre la quantité d'algues collectées en mer et la quantité ramassée à terre de 1/1,9 en 2013 à 1/0,6 en 2014 (Qingdao Daily). Toutefois cette annonce n'est pas cohérente avec les données sur les quantités collectées publiées par ailleurs (cf. supra, **Tab. 9**).

1.3.3. Valorisation des ulves

Si les marées vertes causées par la prolifération saisonnière des ulves causent d'importantes nuisances, ces algues constituent, par ailleurs, une matière première traditionnellement exploitée à des fins alimentaires.

C'est notamment le cas dans la province du Zhejiang, située juste au sud du Jiangsu. Dans cette province, la société *Xuwen*, créée en 2008 à Xiangshan, transforme les algues vertes *Ulva prolifera* en condiments destinés au marché japonais. Selon les informations fournies par l'entreprise, la production était de 140 tonnes en 2013.

Fig. 12.
Spécialités alimentaires de
la province du Zhejiang à
base d'*Ulva prolifera*

Source : Xiangshan
Xuwen Development of
Seaweed Co., Ltd



Dans le Jiangsu, l'entreprise *Hairui Food*, créée en 2004 à Yancheng et spécialisée dans l'algoculture et la transformation de l'algue rouge *Porphyra yezoensis*, s'intéresse également depuis 2014 à l'algue verte *Ulva prolifera* dans le cadre d'un partenariat avec des universitaires. L'entreprise souhaite transformer les algues vertes en épices et condiments destinés à être vendus comme produits de haut de gamme sur le marché japonais.

Ces deux cas illustrent la différence profonde qui sépare les conditions de l'exploitation industrielle d'une matière première de celles de la valorisation des matériaux collectés lors d'une marée verte. En effet, dans le but d'assurer à ses

produits une meilleure qualité, l'entreprise *Xuwen* cultive elle-même les ulves qu'elle utilise comme matière première. L'entreprise *Hairui Food* est confrontée à un problème similaire. En effet, selon les tests qu'elle a effectués, les ulves récoltées en mer ne lui permettraient pas de satisfaire les exigences en termes de qualité du marché sur lequel elle veut se développer, ce qui l'incite à se tourner vers la culture des ulves. À cette fin, elle réalise des expérimentations en mer, sous des conditions de contrôle visant notamment à éviter les risques de prolifération.

Dans la province du Shandong, où l'impact des marées vertes est maximal, l'exploitation des macro-algues est une activité fortement développée. La société *Bright Moon Seaweed Group*, créée en 1968 pour la production d'iode, est devenue aujourd'hui leader mondial dans la production d'alginate. Avec neuf filiales et 2300 employés, le groupe a réalisé en 2013 un chiffre d'affaires de 2,57 milliards de yuans (CNY) et une exportation de 66 millions de dollars (source : documentation de l'entreprise). Cette entreprise exploite les algues brunes et rouges et produit des alginate et autres produits dérivés, y compris des produits à haute valeur ajoutée (cosmétiques, pharmaceutiques, alimentaires, etc.). Créée en 2000, la société *Gather Great Ocean Algae Industry Group* compte quatre filiales et 600 employés, et travaille également dans la culture et la transformation des macro-algues (source : documentation de l'entreprise). Prenant appui sur leur expérience dans le domaine des macro-algues, ces entreprises ont, après 2008, cherché à traiter les ulves apportées par les marées vertes sur les côtes de la province. Toutefois, elles y ont renoncé, à cause des impuretés importantes contenues dans les algues collectées lors des opérations de ramassage et du coût élevé de traitement de ces algues.

Le problème de la qualité des algues collectées lors des marées vertes est, pour une bonne part, lié à celui des conditions dans lesquelles s'effectue cette opération. À cet égard, la collecte en mer est nettement préférable au ramassage sur la plage, et la mise en œuvre, en 2014, de la plateforme de traitement des ulves en mer et du système

« 1+X » qui l’accompagne (voir supra) est de nature à faire baisser sensiblement les coûts de l’opération. Cette plateforme est opérée par l’entreprise *Qingdao Seawin Biotech Group*, qui pratique la valorisation des ulves apportées à Qingdao par les marées vertes.

Créée en août 2000 par l’Université Océanique de Chine (UOC), cette entreprise a reçu son appellation actuelle en novembre 2013, et divers acteurs sont aujourd’hui présents dans son capital (*Qingdao Huatong state-owned capital operation Co.LTD*, *Qingdao Daily Newspaper*, *Ocean University of China Holdings LTD*, *Qingdao University Science Park*, etc.). Elle comporte plusieurs filiales, consacrées respectivement à la production, à la R&D, à la commercialisation. La surface totale des usines de production était de 23,3 hectares en 2009 (**Tab. 12**). En 2014, le groupe a inauguré son usine de troisième phase sur 3,6 ha dans l’arrondissement de Jianzhou à Qingdao. Cette usine représente un investissement de 100 millions de CNY et une capacité journalière de traitement de 3000 tonnes fraîches d’algues vertes (Ocean University of China, 2014). Les produits se décomposent en quatre principales valorisations : engrais, additifs pour l’alimentation animale, extraction de polysaccharides et extraction de glycopeptides. Selon l’entreprise, les productions annuelles de ces quatre produits se sont élevées respectivement à 50 000 tonnes, 10 000 tonnes, 3 000 tonnes et 300 tonnes en 2014 (Qingdao Seawin Biotech Group, 2014). En 2013, le chiffre d’affaires, le résultat d’exploitation et le résultat net du groupe étaient respectivement de 77,28 millions, 4,35 millions et 3,38 millions de CNY (Qingdao Property Exchange).

Tab. 12. Evolution des implantations industrielles du Qingdao Seawin Biotech Group

Phases d’investissement	Site	Superficie (hectares)
Investissement initial	Weihai	8,0
	Qingdao	11,3
Second investissement (2009)	Qingdao	4,0
Troisième investissement (2014)	Qingdao	3,6
Total		26,9

Source : (Qingdao Seawin Biotech Group)

1.4. Perceptions

Dans le cadre de cette thèse et avec l'appui logistique de l'Université Océanique de Chine, deux enquêtes de terrain ont été menées en vue d'appréhender la façon dont est perçu, dans la société, le phénomène des marées vertes. La première enquête a été menée, dans les provinces du Shandong et du Jiangsu, auprès d'un échantillon d'experts et d'acteurs impliqués, à un titre ou un autre, dans le phénomène des marées vertes en Mer Jaune. La seconde, centrée sur la ville de Qingdao, a été menée auprès d'un échantillon de population fréquentant les sites littoraux.

1.4.1. Enquête auprès des acteurs et des experts

Après avoir décrit l'objectif et la méthodologie de cette enquête, nous analyserons ses principaux résultats, en distinguant les réponses par province.

✓ Objectif et méthodologie de l'enquête

Outre le recueil d'un certain nombre d'informations factuelles, l'objectif de cette enquête était d'appréhender la façon dont les marées vertes sont perçues par les acteurs. Deux critères ont été retenus dans la sélection des personnes interrogées : l'activité (susitant un certain type de relation à la marée verte) et la géographie (région émettrice / région réceptrice). La technique d'enquête a été l'entretien en face-à-face sur la base d'un questionnaire semi-ouvert, incluant les points suivants :

- causes du phénomène des marées vertes en Mer Jaune ;
- incidences sur les activités humaines ;
- mesures de gestion des marées vertes ;
- possibilités de valorisation des ulves.

Les entretiens se sont déroulés du 8 au 18 juin 2014 dans la province du Jiangsu, et tout au long de l'année 2014 dans le Shandong. Au total, une trentaine d'entretiens ont été réalisés, dont 17 se sont révélés intéressants à exploiter. Ils ont été classés selon la nomenclature suivante, reflétant le type de relation à la marée verte des personnes interrogées :

- Expertise scientifique (biologie marine, économie de l'environnement)
- Aquaculture et pêche
- Gouvernement local
- Traitement opérationnel des marées vertes (collecte et transport des ulves)
- Transformation industrielle des algues

La liste de ces entretiens figure en annexe 1, et le résumé de chacun d'eux en annexe 2. Le tableau ci-dessous indique leur répartition par province et par catégorie :

Tab. 13. Enquête auprès des acteurs et des experts : nombre d'entretiens, par province et par catégorie de répondant

Province	Shandong	Jiangsu	Total
Expertise scientifique	3	0	3
Aquaculture / pêche	0	3	3
Collectivités territoriales	1	2	3
Traitement des marées vertes	4	1	5
Transformation des algues	2	1	3
Total	10	7	17

(élaboration personnelle)

Pour des raisons pratiques, certaines activités n'ont pas pu être couvertes par l'enquête (c'est en particulier le cas des activités aquacoles autres que la culture des algues). En outre, il convient de souligner que les opinions recueillies dans le cadre de

l'enquête ont un caractère personnel, et ne reposent pas nécessairement sur des résultats scientifiquement prouvés.

✓ Réponses à l'enquête : province du Jiangsu

Dans la province du Jiangsu, où les marées vertes trouvent leur origine, la majorité des répondants n'est pas d'accord avec la mise en relation de l'apparition de la marée verte dans la Mer Jaune et des activités d'algoculture de *Porphyra*. Certains d'entre eux affirment que les *Ulva prolifera* proviennent de la province du Zhejiang qui se situe plus au sud (opinion déjà relevée par Yi et al., 2009) et certains pensent que les algues arrivent dans la province du Shandong sous l'effet des typhons. Les répondants de la province du Jiangsu semblent ne pas avoir beaucoup de connaissances sur la problématique des marées vertes (l'existence du phénomène, l'espèce dominante, les causes potentielles). On constate que les acteurs « immigrants » (qui travaillent actuellement dans la province du Jiangsu mais sont originaires d'autres régions chinoises) acceptent mieux les hypothèses scientifiques (causalité potentielle entre la marée verte et le secteur aquacole/algoculture) que certains répondants autochtones.

Concernant la valorisation, tous les acteurs y sont favorables. Cependant, on peut distinguer un groupe « pessimiste » et un groupe « optimiste ». Le groupe « pessimiste » considère la valorisation intéressante comme idée, mais ne croit pas qu'elle puisse se concrétiser sous la forme d'une activité économiquement rentable. En premier lieu, parce que la récolte d'ulves dans la province du Jiangsu serait trop faible et trop saisonnière pour permettre le développement d'une activité de transformation industrielle à grande échelle. En second lieu, parce que la qualité de ces ulves ne serait pas assez bonne, du fait de la forte proportion de sable dans le produit de la récolte. En revanche, le groupe « optimiste » croit à la possibilité de valoriser les ulves à l'échelle industrielle. Pour les personnes appartenant à ce groupe, la saisonnalité ne serait pas une barrière, du fait du développement parallèle de l'algoculture de l'espèce *Ulva*. Quantitativement, ce développement permettrait de

régulariser l'approvisionnement en matière première durant l'année, et qualitativement, il permettrait d'améliorer la qualité des ulves, donc de vendre le produit plus cher. En parallèle, l'industrialisation de l'activité permettrait de réutiliser partiellement certains anciens équipements délaissés par les activités de transformation de *Porphyra* et de procurer des emplois à des travailleurs non qualifiés qui étaient auparavant employés dans ce secteur, et qui ont perdu leur emploi sous l'effet d'innovations technologiques.

Tous les répondants reconnaissent que la marée verte provoque des nuisances, mais on distingue cependant un groupe « radical » et un groupe « modéré ». Le groupe « radical » est plutôt composé d'acteurs qui travaillent sur le terrain. Ces répondants considèrent la marée verte comme un « désastre » (produisant, selon la formule employée par l'un d'eux, une « haine qui pénètre jusqu'à la moelle des os »). En effet, ils voient dans les marées vertes une menace pour la vie des pêcheurs, de façon directe par les problèmes de sécurité qu'elles posent et de façon indirecte par leurs conséquences économiques sur leur activité de pêche (cette remarque concerne essentiellement l'activité des pêcheurs du Jiangsu, pendant la période qui précède l'interdiction de pêche). Le groupe « modéré » admet que les marées vertes provoquent effectivement des nuisances, mais pas au point de constituer un désastre pour la province du Jiangsu. En effet, les conditions n'y sont pas réunies pour le développement de marées vertes à grande échelle, du fait notamment de la turbidité des eaux littorales.

En ce qui concerne la gestion des marées vertes, les répondants considèrent que les actions menées au niveau de la province du Jiangsu gardent un caractère marginal, et recensent plusieurs contraintes limitant la portée de ces actions : 1) manque d'intégration terre – mer, liée à une mauvaise coordination des services gouvernementaux, à la non-harmonisation des normes de contrôle et à l'absence d'une gestion intégrée ; 2) manque de financement : une enveloppe spéciale a été dédiée à

l'abatement de la marée verte en 2008, mais l'enveloppe s'est beaucoup rétrécie les années suivantes ; 3) manque de personnel qualifié, notamment dans les domaines de la télédétection et de l'analyse biologique des ulves ; 4) manque de responsabilité, la mise en place d'un mécanisme « pollueur – payeur » s'avérant problématique en l'absence d'un consensus sur le partage des responsabilités dans la genèse des marées vertes.

✓ Réponses à l'enquête : province du Shandong

Dans cette province qui constitue la principale zone impactée par les marées vertes, il y a un consensus chez les personnes enquêtées, aussi bien en ce qui concerne les mécanismes à l'origine du phénomène qu'en ce qui concerne ses conséquences, généralement qualifiées de « désastre ».

Pour ce qui est des activités de valorisation des ulves récoltées dans le cadre des marées vertes, tous les acteurs s'y déclarent favorables malgré la forte saisonnalité de la ressource. Mais on peut distinguer un groupe « business » et un groupe « science » (cette distinction ne recoupe pas exactement celle des activités professionnelles des répondants : le groupe « business » peut inclure des scientifiques et, symétriquement, le groupe « science » peut inclure des responsables d'entreprise). Les répondants du groupe « business » trouvent que les produits transformés sont actuellement des produits trop basiques, dont le prix de vente n'est pas suffisant pour couvrir les coûts de transformation sans subvention. Ils sont pour cette raison favorables à une montée en gamme de la transformation des ulves. Les répondants du groupe « science » se montrent sceptiques sur ce point, car ils pensent que la teneur en protéines des ulves, ingrédient important pour fabriquer des produits de haute valeur ajoutée, n'est pas suffisamment élevée (par exemple par rapport au soja), de sorte que le coût d'extraction et exploitation des protéines contenues dans les ulves serait probablement trop élevé pour que cette activité puisse devenir compétitive.

Quant à la gestion des marées vertes, les acteurs interrogés dans la province du Shandong considèrent que les mesures de mitigation prises dans cette province sont adéquates. Diverses activités sociales ont été organisées pour favoriser la participation du public à la collecte des algues vertes échouées, par exemple le ramassage par des volontaires, voire la dégustation. La diffusion de l'information par le média joue un rôle très important dans la vulgarisation scientifique et l'information du public. À titre d'illustration, le terme scientifique *Ulva prolifera* est couramment connu par les habitants de la province du Shandong, contrairement à ceux de la province du Jiangsu.

✓ Synthèse

Dans les deux provinces où a été menée l'enquête, les répondants reconnaissent que les marées vertes sont source de nuisances et causent des pertes économiques diverses. Ils sont par ailleurs généralement favorables à l'idée de transformer ces nuisances en source de richesse par le développement d'activités de valorisation industrielle, débouchant autant que possible sur des produits à haute valeur ajoutée.

Cependant, il existe aussi des différences d'appréciation. Dans une large mesure, ces différences renvoient à la localisation des répondants, selon qu'ils se situent dans le Jiangsu ou dans le Shandong. En premier lieu, on constate un désaccord, selon la province concernée, en ce qui concerne les mécanismes à l'origine du phénomène : alors que les répondants du Shandong mettent clairement en cause le rôle joué par certaines activités économiques situées dans le Jiangsu, ce point de vue n'est pas partagé par les répondants de cette province, particulièrement ceux qui en sont originaires. De façon atténuée, cette différence d'appréciation entre répondants des deux provinces se retrouve en ce qui concerne la gravité des nuisances provoquées par les marées vertes : alors que celles-ci sont généralement considérées comme un désastre dans le Shandong, les appréciations sont plus diversifiées dans le Jiangsu. On relève également des différences d'appréciation entre les deux provinces en ce qui concerne les politiques de gestion des marées vertes et l'information du public.

Dans le domaine des actions de valorisation, il existe des différences d'appréciation, qui ne renvoient pas forcément à la localisation des répondants. Les opinions dans ce domaine divergent quant aux possibilités de développer une filière économiquement rentable par le biais d'une montée en gamme des activités de transformation des ulves collectées lors des marées vertes.

Tab. 14. Enquête auprès des acteurs et des experts : typologie des réponses

	Shandong (province réceptrice)	Jiangsu (province émettrice)
Caractérisation du phénomène comme une nuisance	Consensus : « désastre »	« Radicaux » vs « modérés »
Origine potentielle du phénomène	Consensus : dans le Jiangsu	« Immigrants » vs « autochtones »
Activité de valorisation	« Business » vs « science »	« Optimistes » vs « pessimistes »
Mode de gouvernance	Consensus : bonne réaction	Consensus : manque de moyens

(élaboration personnelle)

1.4.2. Enquête auprès du public

Parallèlement à l'enquête auprès des décideurs et des spécialistes, une seconde enquête d'opinion concernant les marées vertes a été menée auprès du grand public. Comme pour l'enquête précédente, on décrira ci-dessous son objet et sa méthodologie, puis ses principaux résultats.

✓ Objectif et méthodologie de l'enquête

L'enquête « grand public » a été réalisée à Qingdao¹. Son objectif était double : appréhender les perceptions de la population locale et touristique concernant le

¹ Il était prévu initialement de mener la même enquête dans la province du Jiangsu. Pour des raisons matérielles, il n'a pas été possible d'administrer un nombre suffisant de questionnaires dans cette province pour que les résultats soient exploitables.

phénomène des marées vertes, et estimer son consentement à payer pour le traitement de ce phénomène. Seule la partie de l'enquête concernant le premier objectif sera présentée ici, l'autre partie étant examinée au chapitre 2 dans le cadre de l'analyse coût-avantage.

Contrairement à l'enquête auprès des spécialistes, l'enquête grand public a été réalisée sous la forme d'un questionnaire fermé. Celui-ci comportait trois parties.

Tab. 15. Enquête auprès du public : structure du questionnaire¹

Parties du questionnaire	Nature des questions
1 ^{ère} partie : perception de la marée verte	• Connaissance des marées vertes
	• Impacts perçus des marées vertes
	• Attitude face aux marées vertes
2 ^{ème} partie : consentement à payer	(cf. infra, chapitre 2)
3 ^{ème} partie : caractéristiques socio-économiques du répondant	• Genre
	• Âge
	• Niveau d'éducation
	• Occupation professionnelle
	• Revenu personnel
	• Lieu de résidence

Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

L'enquête s'est déroulée du 15 juillet au 10 septembre 2014, c'est-à-dire en période estivale, marquée par une forte fréquentation du bord de mer par les résidents et les touristes, mais après la période d'explosion de la marée verte. Des algues vertes étaient encore visibles sur le littoral, mais de façon discontinue.

¹ Une version préliminaire comportait davantage de questions, permettant notamment d'aborder la question des pratiques récréatives sur le littoral.

Un test sur une version préliminaire du questionnaire a été effectué sur un petit nombre de personnes. Ce test a conduit à raccourcir le questionnaire, qui s'est révélé trop long à administrer dans sa version initiale, et à rendre plus attrayante la stratégie d'approche des personnes enquêtées, en distribuant des cartes postales du littoral aux personnes qui acceptaient de répondre à l'enquête.

Le questionnaire a été administré par une équipe de 5 personnes¹ sous forme d'entretiens en face-à-face auprès de personnes de 16 ans et plus sollicitées aléatoirement dans des lieux publics de la ville de Qingdao² (trois plages, une place et un parc proche d'une plage, et un site touristique proche d'une autre plage). Des documents photographiques concernant les marées vertes et les opérations de collecte des algues étaient présentés aux répondants pendant l'administration du questionnaire (annexe 3).

Au total, 432 questionnaires ont été remplis, dont 425 se sont révélés exploitables. Le taux de refus a été faible, mais différencié selon les publics. Les personnes âgées, en particulier, se sont montrées souvent plus réticentes à répondre à l'enquête. Le temps moyen mis pour remplir un questionnaire (y compris les explications fournies par l'enquêteur) a été de l'ordre de 15 mn.

On présente ci-dessous les résultats correspondant aux parties 1 et 3 du questionnaire. Les réponses à la partie 2, portant sur le consentement à payer, seront présentées au chapitre 2.

¹ Deux doctorants économistes, trois étudiants en master d'économie de l'OUC.

² Certains questionnaires ont été remplis par voie d'auto-administration, l'enquêteur distribuant des questionnaires simultanément à plusieurs personnes et se tenant à proximité pour répondre à leurs interrogations. Par ailleurs, une soixantaine de questionnaires (14% du total) ont été remplis par voie électronique, notamment lorsque les personnes sollicitées n'avaient pas le temps de remplir le questionnaire sur place.

✓ Profil des répondants

Les résultats concernant la partie 3 du questionnaire, relatif au profil socio-économique des répondants, sont détaillés dans l'annexe 4. Les observations suivantes peuvent être faites à l'examen de ces résultats :

- En ce qui concerne le lieu de résidence des répondants, l'échantillon se partage de façon presque égale en deux sous-ensembles : habitants de Qingdao et des municipalités voisines de Rizhao, Yantai et Weihai¹ (233 répondants, habitant pour la plupart à Qingdao, et représentant 55% de l'échantillon) d'une part ; personnes ayant leur lieu de résidence principal à l'extérieur de cette zone (192 répondants, 45% de l'échantillon) d'autre part. Ces deux sous-ensembles seront par la suite désignés respectivement sous les appellations de « résidents » et « non-résidents ».
- Les femmes sont plus présentes que les hommes au sein de l'échantillon (56% contre 44%) ; ce déséquilibre concerne essentiellement le groupe des résidents, où les femmes représentent près de 60% des répondants (52% chez les non-résidents). Il a été remarqué que, lorsque les personnes sollicitées étaient en couple ou en famille, c'était souvent aux femmes qu'était attribuée la mission de répondre à l'enquête.
- L'âge moyen des répondants est de 32,3 ans. La structure par âge fait apparaître une très faible proportion de personnes âgées (les plus de 60 ans représentent moins de 2% de l'échantillon), ce qui résulte de la conjonction de deux

¹ Rappelons que ces quatre municipalités bordent le littoral sud de la province du Shandong impacté par les marées vertes de la Mer Jaune (supra, section 1.1).

phénomènes : moindre présence de ces personnes dans les lieux d'enquête, et plus grande réticence de leur part à répondre à l'enquête (cf. supra).

- La composition de l'échantillon par niveau d'éducation fait ressortir une forte domination des niveaux d'éducation supérieurs (les personnes ayant une éducation de niveau universitaire représentent près des trois-quarts de l'échantillon), ce qui, pour une part, résulte du phénomène mentionné au point précédent (le niveau d'éducation étant plus élevé chez les moins de 60 ans) ; par ailleurs, la domination des niveaux d'éducation supérieurs apparaît plus marquée chez les non-résidents (81%) que chez les résidents (67%).
- En ce qui concerne la composition par catégories d'occupation, on relève une faible présence des agriculteurs, ouvriers et retraités. Les catégories les plus nombreuses sont les employés (21%) et les étudiants (17%).
- Le revenu déclaré par les répondants s'élève en moyenne à 3532 CNY par mois. Il est plus élevé dans le sous-échantillon des non-résidents (4073 CNY par mois) que dans celui des résidents (3086 CNY par mois). Globalement, 60% des répondants déclarent un revenu compris entre 2000 et 6000 CNY, 25% un revenu inférieur à 2000 CNY¹, et 15% un revenu supérieur à 6000 CNY.

Pour ce qui concerne le groupe des résidents (composé à plus de 95% d'habitants de la municipalité de Qingdao), il est possible de donner une vue de la représentativité de l'échantillon à l'aide des informations statistiques disponibles sur la population résidant à Qingdao (tableau ci-dessous).

¹ Il convient de souligner que l'échantillon comprend 5% de répondants âgés de 16 et 18 ans, déclarant dans leur quasi-totalité un revenu personnel inférieur à 1000 CNY par mois.

Tab. 16. Données statistiques sur la population résidant à Qingdao, année 2010

Population totale (millions d'habitants)		8,7151
Composition par sexe	• Hommes • Femmes	50,4% 49,6%
Composition par classe d'âge	• Moins de 15 ans • 15 à 64 ans • 65 ans et plus	13,4% 76,3% 10,3%
Composition par niveau d'éducation (population de 15 ans et plus)	• Aucun • Primaire • Collège • Enseignement supérieur	4,8% 17,3% 58,9% 18,0%
Salaire mensuel moyen (CNY)		2379

Source : municipalité de Qingdao, recensement de la population 2010 et annuaire statistique 2010.

Les données du tableau ci-dessus mettent en évidence le caractère non-représentatif de l'échantillon, en ce qui concerne les résidents. Des distorsions importantes apparaissent en ce qui concerne le ratio hommes / femmes (sous-représentation des hommes), la pyramide des âges (sous-représentation des personnes âgées) et la structure par niveau de formation (sur-représentation des diplômés de l'enseignement supérieur). Cette dernière distorsion peut expliquer une partie de l'écart entre le revenu déclaré par les répondants (3086 CNY par mois) et le salaire moyen des résidents (2379 CNY par mois), mais il convient de tenir compte également de la différence temporelle existant entre ces deux données (2014 dans le premier cas, 2010 dans le second cas)¹.

Les distorsions évoquées ci-dessus résultent largement du choix des lieux d'enquête. En effet, l'objectif de ce choix n'était pas d'obtenir une image fidèle de la population résidente, mais de se mettre en capacité d'interroger un nombre suffisamment élevé

¹ À titre d'illustration, de 2010 à 2014 la croissance cumulée du PIB chinois par habitant est estimée à 52,5% en prix courants (taux annuel moyen : 11,1%), et à 33,6% en prix constants (taux annuel moyen : 7,5%) (source : Banque mondiale, World Development Indicators, 2016).

de personnes (résidentes ou non) susceptibles d'être confrontées aux marées vertes dans le cadre d'activités récréatives (promenade, baignade, etc.).

✓ Perception des marées vertes par les répondants

Les résultats concernant la perception des marées vertes sont présentés ci-dessous en distinguant les deux sous-échantillons que constituent les résidents d'une part, les non-résidents d'autre part.

La première question portait sur la connaissance du phénomène. 70% des répondants déclarent avoir connaissance du phénomène des marées vertes, et la proportion est proche de 90% chez les résidents. Elle est en revanche d'à peine 50% chez les non-résidents, ce qui peut s'expliquer par le fait que la période à laquelle a eu lieu l'enquête n'était pas celle de l'explosion de la marée verte.

**Tab. 17. Réponses à la question 1 :
« Avez-vous connaissance du phénomène des marées vertes ? »**

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Oui	205	88%	94	49%	299	70%
Non	28	12%	98	51%	126	30%
Total	233	100%	192	100%	425	100%

Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les personnes ayant déclaré avoir connaissance du phénomène étaient invitées à indiquer par quel moyen principal elles avaient acquis cette connaissance. Pour les deux-tiers des résidents, cette connaissance s'est faite par vue directe de la marée verte, alors que pour les non-résidents, c'est principalement par l'intermédiaire des média que les marées vertes se sont fait connaître.

Tab. 18. Réponses à la question 2* :**« Par quel moyen avez-vous pris connaissance du phénomène des marées vertes ? »**

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Vue directe	133	65%	25	27%	158	53%
Media	65	32%	62	66%	127	42%
Autres	7	3%	7	7%	14	5%
Total	205	100%	94	100%	299	100%

* Pour les personnes ayant répondu « oui » à la question 1. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les répondants ayant déclaré avoir connaissance des marées vertes étaient également invités à donner leur avis sur le caractère éventuellement dommageable du phénomène. Dans une large majorité (70%), les répondants des deux sous-échantillons considèrent que les marées vertes sont une source de nuisances. À peine un cinquième des répondants les considèrent comme inoffensives. La proportion des personnes qui ne se prononcent pas est toutefois plus forte chez les non-résidents (17%) que chez les résidents (9%).

Tab. 19. Réponses à la question 3* :**« Pensez vous que les marées vertes créent des dommages ? »**

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Oui	150	73%	59	63%	209	70%
Non	37	18%	19	20%	56	19%
Ne se prononce pas	18	9%	16	17%	34	11%
Total	205	100%	94	100%	299	100%

* Pour les personnes ayant répondu « oui » à la question 1. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les répondants considérant les marées vertes comme nuisibles étaient interrogés sur la nature des dommages principaux que, selon eux, celles-ci suscitaient. Deux types de dommages se détachent nettement de leurs réponses : les dommages écologiques dus à une perte de biodiversité (cités par 43% des répondants) et les pertes économiques pour les activités aquacoles (32% des répondants). Les dommages pour

les activités récréatives arrivent loin après (10% des répondants), à égalité avec les dommages supposés pour la santé humaine. Les non-résidents mettent davantage l'accent sur les dommages écologiques que les résidents (51% contre 39%), et se montrent beaucoup moins sensibles aux dommages pour l'aquaculture (17% contre 37%). Cette activité locale leur est sans doute moins familière que pour les résidents.

Tab. 20. Réponses à la question 4* :

« Selon vous, dans quel domaine les marées vertes ont-elles les effets les plus graves ? »

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Biodiversité	59	39%	30	51%	89	43%
Aquaculture	56	37%	10	17%	66	32%
Activités récréatives	15	10%	6	10%	21	10%
Santé humaine	12	8%	9	15%	21	10%
Autre	8	5%	4	7%	12	6%
Total	150	100%	59	100%	209	100%

* Pour les personnes ayant répondu « oui » à la question 3. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les répondants considérant les marées vertes comme un phénomène dommageable étaient également interrogés sur la conduite à tenir face à ce phénomène. Dans leur quasi-totalité, les non-résidents comme les résidents considèrent qu'il ne faut pas se contenter d'attendre que les marées vertes se résorbent spontanément, mais qu'il faut prendre contre elles des mesures de lutte active.

Tab. 21. Réponses à la question 5* :

« Selon vous, quelle attitude faut-il adopter face aux marées vertes ? »

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
Prendre des mesures de lutte active	147	98%	59	100%	206	99%
Laisser le phénomène se résorber spontanément	2	1%	0	0%	2	1%
Ne se prononce pas	1	1%	0	0%	1	0%
Total	150	100%	59	100%	209	100%

* Pour les personnes ayant répondu « oui » à la question 3. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Au-delà de cette position de principe, la question de l'implication personnelle des répondants dans la lutte contre les marées vertes sera examinée au chapitre 2, à travers l'analyse des réponses à la deuxième partie du questionnaire, portant sur le consentement à payer.

Chapitre 2.

Evaluation du coût social des marées vertes

Prenant appui sur le cas d'étude présenté au chapitre précédent, ce chapitre propose une première évaluation économique du phénomène des marées vertes. Le cadre retenu est celui de l'analyse coût-avantage, qui connaît de nombreuses applications dans le domaine de l'économie de l'environnement (Pearce et al., 2006). Dans une première section, on présente le schéma théorique de cette évaluation et les données économiques de base relatives aux principaux secteurs d'activité concernés (2.1). Dans les deux sections suivantes, on propose une évaluation des différents types de coûts pris en compte : coûts de gestion des marées vertes (2.1.2) et coûts résiduels (2.1.3). La dernière section est consacrée à la synthèse et à la discussion des différentes évaluations réalisées, et à la discussion de scénarios de gestion des marées vertes en Mer Jaune (2.1.4).

2.1. Modélisation qualitative et données économiques de base

À notre connaissance, les seules chiffres disponibles sur le coût des marées vertes en Mer Jaune sont ceux qu'a publiés la SOA (State Ocean Administration) pour les années 2008, 2009 et 2012 dans son rapport annuel sur les désastres maritimes en Chine (SOA, Bulletin des désastres maritimes en Chine). Ces chiffres ne sont accompagnés d'aucune explication sur le champ couvert ou sur la méthodologie de calcul, ce qui rend leur interprétation très difficile. Avec des moyens plus limités, nous tentons ici un exercice d'évaluation reposant sur des bases méthodologiques explicites.

Dans cette section, on établit le cadre théorique de l'exercice (2.1.1), puis on dresse un tableau du poids économique des principaux secteurs d'activité concernés par le cas d'étude (2.1.2).

2.1.1. Schéma théorique

L'analyse coût-avantage requiert en principe que tous les effets sociaux du phénomène étudié soient comptabilisés en termes monétaires.

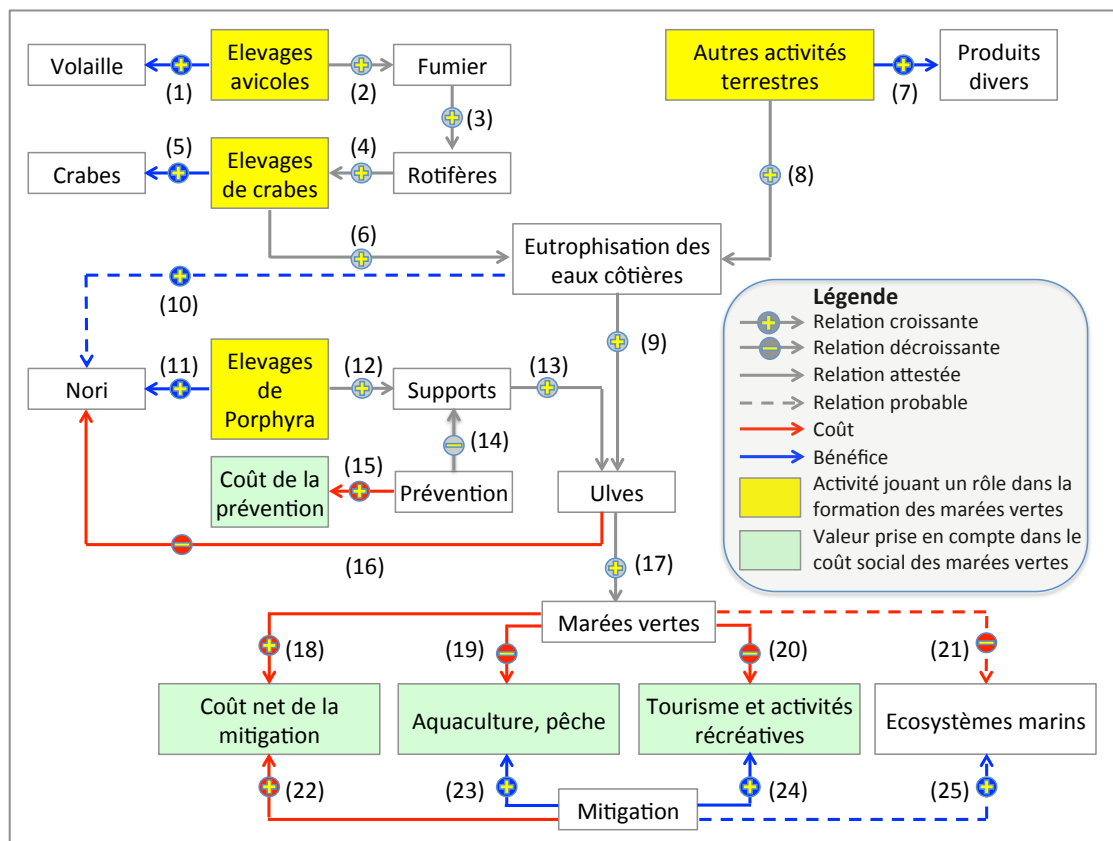
En pratique, cette opération se heurte souvent au caractère difficilement quantifiable d'une partie des effets à prendre en compte. La difficulté peut tenir à la nature qualitative de certains effets, aux incertitudes scientifiques concernant les relations entre le phénomène considéré et certains de ces effets supposés, ou, plus banalement, aux insuffisances du système d'information statistique. En outre, lorsque les effets considérés ont un caractère non marchand, leur traduction en termes monétaires présente une difficulté supplémentaire, puisqu'il s'agit de donner des valeurs à des

biens ou services qui, par définition, n'ont pas de prix de marché. Des méthodes ont été élaborées pour traiter cette difficulté, consistant à estimer le consentement à payer de la population pour des biens ou des services dénués de prix de marché (ou son consentement à recevoir en dédommagement de la privation de biens ou services n'ayant pas de prix de marché). Les unes prennent appui sur des biens ou services marchands qui, d'une façon ou d'une autre, peuvent être associés au phénomène considéré (méthodes à base de « préférences révélées »), les autres reposent sur des scénarios fictifs destinés à faire apparaître directement les consentements à payer ou à recevoir (méthodes à base de « préférences déclarées »). Si elles ont fait l'objet de développements académiques importants depuis un demi-siècle, ces méthodes connaissent encore des limites importantes, dont celle que représente le coût de leur mise en œuvre. Cela peut expliquer que leur diffusion reste limitée dans le domaine pratique de la gestion environnementale, qui pourtant constitue, en principe, un de leurs champs d'application privilégiés (Marre et al., 2015).

Dans les développements qui suivent, il n'est pas tenu compte des difficultés de quantification qui viennent d'être évoquées. L'objectif est d'établir le schéma logique de ce que devrait être une évaluation économique des effets des marées vertes de la Mer Jaune dans les termes de l'analyse coût-avantage. Les sections suivantes, qui aborderont le problème de la quantification empirique, montreront que ce programme théorique n'a pu être que très partiellement réalisé dans le cadre de la présente thèse.

En complétant le schéma de formation des marées vertes en Mer Jaune proposé au chapitre 1 (section 1.2, **Fig. 8**) par les informations concernant les impacts de ces marées vertes et les mesures de gestion et de valorisation mises en œuvre (supra, sections 1.3 et 1.4), on peut construire le schéma conceptuel ci-dessous.

Fig. 13. Schéma conceptuel pour l'évaluation économique des marées vertes en Mer Jaune



(élaboration personnelle)

Ce schéma illustre les points suivants :

- Deux types d'activités contribuent à la formation des marées vertes dans les eaux côtières du Jiangsu : celles qui participent à l'eutrophisation de ces eaux (relation (9)) et celles qui fournissent des supports physiques permettant aux jeunes ulves de se développer (relation (13)).
- L'eutrophisation des eaux côtières du Jiangsu (relations (6) et (8)) est le produit de diverses activités industrielles, agricoles et urbaines (1)(5)(7) dont les effluents se déversent dans les eaux côtières. Parmi ces activités, l'élevage de crabes *Eriocheir sinensis* (5) nourris avec des rotifères produits à partir de fumier de poulet fermenté (relations (1)(2)(3)(4)) est suspecté de jouer un rôle notable dans le

déclenchement des marées vertes, du fait de la concomitance du développement de cette activité et de l'apparition des marées vertes.

- Les supports permettant aux jeunes ulves de se développer en dépit de la turbidité des eaux côtières du Jiangsu sont, essentiellement, les installations de culture d'algues rouges *Porphyra yezoensis* (nori) (relations (11)(12)). Là aussi, la concomitance du développement de ces installations en pleine mer et de l'apparition des marées vertes est considérée comme un indice sérieux du rôle joué par les premières dans le développement des secondes.
- Le développement des ulves peut être limité par le nettoyage des installations de culture des algues rouges (radeaux, filets) et l'interdiction du rejet en mer des ulves par les algoculteurs (14). Ces mesures, adoptées au titre de la prévention des marées vertes, présentent un coût pour les algoculteurs (15).
- Les relations entre production de nori et algues vertes sont relativement complexes. En effet, si les radeaux et filets qu'utilisent les algoculteurs pour produire le nori constituent un support matériel permettant aux jeunes ulves de se fixer et de se développer, ce phénomène nuit en retour à leur activité (16), car il diminue la qualité de leur produit et accroît leur travail. Par ailleurs, il est probable que l'eutrophisation des eaux côtières, qui favorise le développement des algues vertes au large des côtes du Jiangsu en leur apportant les nutriments dont elles ont besoin, exerce également, pour la même raison, un effet favorable sur la pousse des algues rouges (10).
- Sous l'effet de conditions hydroclimatiques favorables, les ulves forment des marées vertes qui dérivent vers le nord et s'échouent sur les côtes du Shandong (17), où elles engendrent diverses nuisances. Celles-ci concernent principalement les activités aquacoles et halieutiques (19), et les activités récréatives et touristiques (20). Les premières sont touchées par des surmortalités dans les parcs

d'élevage et des entraves à la pêche, les secondes par les nuisances que crée la présence massive d'algues en décomposition sur le littoral, en particulier sur les plages en pleine saison touristique. Pour partie, ces nuisances correspondent à des coûts marchands (baisses de chiffre d'affaires des aquaculteurs, des pêcheurs et des entreprises du secteur touristique), et pour partie à des coûts non-marchands (pertes d'aménités pour les populations utilisant le littoral à des fins récréatives). Outre ces nuisances pour des activités humaines bien identifiées, les marées vertes sont susceptibles d'engendrer des dommages proprement environnementaux (21).

- Les actions de mitigation mises en œuvre lors des marées vertes consistent notamment à collecter les algues à terre et en mer. Elles permettent d'atténuer les effets négatifs qui viennent d'être mentionnés (23)(24)(25). Parallèlement, elles engendrent des coûts, qui peuvent être diminués par la valorisation d'une partie des algues vertes collectées, ce que traduit l'expression « coût net » (22).
- Le phénomène des marées vertes peut ainsi être présenté comme le résultat de l'interaction entre plusieurs activités, générant des bénéfices à travers les produits qu'elles fournissent (relations (1)(5)(7)(11)), mais aussi des coûts liés aux nuisances provoquées par les marées vertes (relations (16)(19)(20)(21)) et à la mise en œuvre des actions entreprises pour prévenir ces marées et en atténuer les effets (relations (15)(18)). Ces coûts, dont la somme forme le coût social des marées vertes, ont largement le caractère d'effets externes. En effet, dans leur majorité, ils ne sont pas supportés par les activités qui sont à leur origine¹.

¹ La culture d'algues rouges occupe une place particulière, dans la mesure où cette activité contribue à la formation des marées vertes en fournissant des supports facilitant la croissance des jeunes ulves, et subit aussi des nuisances du fait de la présence de ces ulves. Il s'agit toutefois d'un phénomène qui se situe en amont de la marée verte proprement dite.

Le coût social des marées vertes (C_{MV}) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$(1) \quad C_{MV} = C_{gest} + C_{dom}$$

où C_{gest} représente le coût des mesures de gestion des marées vertes, et C_{dom} le coût des dommages résiduels¹ provoqués par ces marées.

Les coûts de gestion des marées vertes s'écrivent :

$$(2) \quad C_{gest} = C_{prév} + C_{mitig} - Val$$

où $C_{prév}$ et C_{mitig} représentent les coûts de mise en œuvre des mesures de prévention et de mitigation² respectivement, et Val les bénéfices issus de la valorisation d'une partie des algues collectées³.

Les coûts des dommages résiduels s'écrivent quant à eux :

$$(3) \quad C_{dom} = C_{aqua} + C_{tour} + C_{récré} + C_{env}$$

Dans l'expression ci-dessus, C_{aqua} , C_{tour} et $C_{récré}$ représentent les dommages résiduels causés par les marées vertes, respectivement au secteur de l'aquaculture et de la pêche, à l'industrie du tourisme et aux activités récréatives non marchandes. Le terme C_{env} représente le coût de la détérioration de l'écosystème marin, en dehors des dommages aux activités précitées. Par la suite, ce coût, peu documenté, ne sera pas pris en compte⁴.

¹ Dommages que les mesures de gestion des marées vertes n'ont pas permis de neutraliser.

² On inclut ici les actions de surveillance et d'information dans la mitigation.

³ À côté des coûts de prévention et de mitigation, les coûts de gestion des marées vertes pourraient inclure des coûts de compensation (monétaire ou en nature). Toutefois, à notre connaissance, il n'y a pas d'opérations de compensation dans le cas étudié ici.

⁴ La question des dommages environnementaux sera cependant évoquée dans le cadre de l'analyse contingente (voir infra, section 2.3.3).

2.1.2. Poids économique des principaux secteurs concernés

Le tableau ci-dessous dresse un état des lieux concernant les principaux secteurs d'activité impliqués dans le cas d'étude.

Tab. 22. Estimation du poids économique des principaux secteurs d'activité concernés par le phénomène des marées vertes dans la Mer Jaune (année 2012)

Province	PIB ¹	Secteur d'activité	Chiffre d'affaires	Valeur ajoutée	
	(milliards de CNY)		(milliards de CNY)	milliards de CNY	% du PIB
Jiangsu	5405,8	Aviculture ²	54,1		
		Aquaculture en eau douce ³	75,7	39,5	0,71%
		dont crabes <i>Eriocheir sinensis</i>	32,0		
		Aquaculture en mer ³	12,4	6,3	0,12%
		dont algues <i>Porphyra yezoensis</i> (nori)	0,8		
		Pêche maritime ³	12,1	6,4	0,12%
Shandong	5001,3	Aquaculture en mer ³	65,6	40,0	0,80%
		dont espèces sensibles aux marées vertes ⁴	15,2		
		Pêche maritime ³	37,3	21,9	0,44%
		Tourisme (dépense touristique) ¹	452,0		

¹ Communiqués statistiques du développement économique et social des provinces concernées.

² China Animal Industry Yearbook.

³ China Fisheries Statistical Yearbook.

⁴ Holothuries, ormeaux, pétoncles, palourdes, méduses. Productions valorisées à l'aide des prix tirés de la base statistique de la FAO (taux de change USD/CNY : Banque Mondiale).

Le poids économique des principaux secteurs concernés par les marées vertes, en amont ou en aval, est appréhendé ici à partir de deux indicateurs. Le premier est le chiffre d'affaires, c'est-à-dire (aux variations de stocks près) la valeur annuelle de la production de chacun de ces secteurs. Le second, plus significatif mais moins disponible, est la valeur ajoutée (production moins consommations intermédiaires),

c'est-à-dire la contribution du secteur considéré au produit intérieur brut (PIB). La dernière colonne du tableau fait apparaître cette contribution, à l'échelle régionale, lorsque les données sont disponibles.

Le premier constat est la forte domination du tourisme, au moins en termes de chiffre d'affaires (il n'existe pas de données disponibles concernant la valeur ajoutée de ce secteur) : dans le Shandong, le chiffre d'affaires de l'industrie du tourisme représente plus de quatre fois le chiffre d'affaires cumulé de la pêche et de l'aquaculture en mer.

Un second constat est le poids économique modeste, à l'échelle des provinces concernées, des secteurs d'activité répertoriés dans le tableau, à l'exception du tourisme. Dans le cas de l'aquaculture marine par exemple, alors que le Shandong représente 30% de la production nationale du secteur, la contribution de celui-ci au PIB de la province ne dépasse pas 0,8%. Toutefois, cette image est trop restrictive, pour trois raisons.

En premier lieu, les données du tableau ne prennent en compte que le poids économique direct de chaque secteur, c'est-à-dire ignorent les effets indirects¹ et induits qui seront au cœur de l'étude menée au chapitre 3 (exception faite pour la filière aviculture – élevage de crabes).

En second lieu, les sources de l'eutrophisation de la mer côtière, qui est une condition nécessaire au développement des marées vertes, ne se limitent pas aux secteurs mentionnés dans le tableau. Comme on l'a signalé précédemment, de nombreuses activités agricoles, industrielles et urbaines participent à cette eutrophisation, particulièrement importante au sud du Jiangsu. Ces sources ne figurent pas dans le

¹ À l'exception de la filière FCM (Fermented Chicken Manure) pour l'élevage de crabes d'eau douce dans le Jiangsu.

tableau, non seulement parce qu'elles sont très diffuses, mais surtout parce qu'il existe une forte suspicion que la cause directe du phénomène des marées vertes qui s'est manifesté de façon spectaculaire à partir de 2008 réside dans le développement rapide de deux activités au cours des années précédentes : la filière FCM pour l'élevage du crabe d'eau douce *Eriocheir sinensis*, et la culture de l'algue rouge *Porphyra yeoensis* en pleine mer. Alors que la première a accru l'eutrophisation de l'eau de mer, la seconde a fourni les supports physiques permettant aux jeunes ulves de se développer, surmontant l'obstacle de la forte turbidité des eaux côtières du Jiangsu.

En troisième lieu, les activités représentées dans le tableau appartiennent toutes au secteur marchand. Or le secteur non-marchand est également affecté par les marées vertes, à travers les pertes d'aménités qu'elles infligent aux usagers récréatifs du littoral (vacanciers et populations locales). Il n'existe pas d'indicateur monétaire du « poids » économique de ces activités non marchandes (d'où leur absence dans le tableau ci-dessus), mais nous tenterons d'évaluer en termes monétaires le coût infligé aux usages non-marchands du littoral par les marées vertes (voir infra 2.3.3).

2.2. Coûts de gestion des marées vertes

Le coût annuel de la gestion des marées vertes (C_{gest}) est composé du coût des opérations de prévention ($C_{prév}$) et du coût des opérations de mitigation (C_{mitig}), diminué des bénéfices éventuels retirés de la valorisation (Val) d'une partie des algues collectées lors des marées vertes (cf. relation (2) supra). Dans cette section, on cherchera à quantifier chacun de ces trois composants.

2.2.1. Prévention

Le terme « prévention » peut être compris de différentes façons. Pour les aquaculteurs du Shandong par exemple, les marées vertes sont source de mortalité dans leurs

élevages, et tout ce qui vise à limiter cette mortalité est considéré comme de la prévention. Considérant le phénomène des marées vertes dans son ensemble, nous réserverons le terme « prévention » aux mesures qui visent à empêcher la formation des marées vertes ou à limiter leur ampleur, et rangerons dans la catégorie « mitigation » toutes les opérations qui interviennent une fois les marées vertes formées.

Considérées dans ce sens, les seules opérations de prévention actuellement mises en œuvre sont celles qui sont menées par les cultivateurs de nori du Jiangsu, en vue d'empêcher la propagation en mer des ulves qui se sont accrochées aux radeaux et filets d'élevage (tri des ulves, récupération et nettoyage à terre des installations). On ne dispose pas d'informations détaillées sur le coût de ces opérations. Selon le responsable de l'association des éleveurs de *Porphyra* que nous avons interrogé dans le cadre de l'enquête de terrain auprès des acteurs (Annexe 2, entretien n°11), ce coût peut être estimé en moyenne à 60 CNY par mu (900 CNY par ha), ce qui, pour une surface de culture estimée à 21000 ha en 2010 (Pang et al., 2010), donne un coût total annuel d'environ 19 millions de CNY, représentant environ 2,5% du chiffre d'affaires de cette activité (voir infra, section 2 de ce chapitre).

2.2.2. Mitigation

Les mesures intervenant une fois que les marées vertes se sont formées sont toutes rangées dans la catégorie des opérations de mitigation. Elles comportent les catégories suivantes (le coût correspondant est noté entre parenthèse) :

- Opérations de surveillance (C_{surv})
- Installation de filets pour l'interception des algues (C_{filet})
- Opérations spécifiques visant à protéger les élevages aquacoles (C_{protec})
- Opérations de collecte des algues en mer et à terre (C_{coll})

On évalue donc le coût de la mitigation sur la base de la relation suivante :

$$(4) \quad C_{mitig} = C_{surv} + C_{filet} + C_{protec} + C_{coll}$$

Les coûts des opérations de mitigation sont supportés par les budgets publics, à l'exception des coûts des opérations spécifiques de protection des élevages aquacoles, qui sont supportés par les aquaculteurs.

Les informations dont on dispose en vue d'estimer les différents coûts de mitigation sont présentées ci-dessous, ainsi que la méthodologie utilisée. Sauf mention contraire, ces informations sont issues des entretiens avec les personnes en charge du traitement des marées vertes que nous avons rencontrées dans le cadre de la présentation de cette thèse (Annexe 1).

✓ Coût de surveillance

Les informations dont nous disposons en matière de coût de surveillance des marées vertes (C_{surv}) concernent la télédétection par satellite (achat d'images) et les autres formes de surveillance. Selon les informations recueillies dans chaque province, les coûts annuels correspondant à ces opérations s'élèvent à 10 millions de CNY dans le Jiangsu et à 3-5 millions de CNY dans le Shandong. Nous retiendrons une estimation annuelle totale de 14 millions de CNY pour C_{surv} .

✓ Coût des filets

En ce qui concerne les filets d'interception des algues, nous disposons du coût et des caractéristiques d'un filet installé en 2012 dans un arrondissement de la municipalité de Qingdao, ainsi que de la longueur totale des filets installés dans les municipalités de Qingdao, Weihai et Yantai. Selon ces informations, le coût d'un filet est de 3,523 millions de CNY pour une longueur de 12000 mètres, soit 294 CNY par mètre linéaire, et 50 km de filets ont été installés sur les côtes de Qingdao, Weihai et Yantai,

ce qui donne une estimation de 14,7 millions de CNY pour le coût total de ces filets. Le coût annuel correspondant est probablement plus faible, car au moins une partie de ces filets peut être réutilisée plusieurs années consécutives. Nous faisons l'hypothèse d'une durée de vie moyenne de 3 ans pour ces équipements, ce qui conduit à une estimation du coût annuel des filets d'interception (C_{filet}) de 5 millions de CNY sur le littoral des trois municipalités précitées. En l'absence de données sur les filets qui ont pu être posés dans d'autres zones littorales, nous ne tiendrons compte que de ce coût.

✓ Coût de protection des élevages aquacoles

Les mesures spécifiques de protection de l'aquaculture contre les marées vertes concernent les exploitations aquacoles pour lesquelles ces marées sont cause de mortalité chez les animaux en élevage¹. Les exploitations concernées sont principalement localisées sur la côte sud du Shandong, et les mesures de protection préconisées par les autorités publiques consistent à équiper les bassins d'élevage d'ormeaux et d'holothuries (concombres de mer) en pompes à oxygène, et à répandre de la poudre de zéolithe ou de pierre de Maifan sur les vasières où sont élevées des palourdes. On dispose des informations suivantes concernant le coût de ces mesures :

- Coût d'installation des pompes : 6000 CNY par hectare
- Coût d'épandage de la poudre de zéolithe : 338 CNY par hectare
- Coût d'épandage de la poudre de pierre de Maifan : 585 CNY par hectare

¹ Contrairement aux autres coûts de mitigation, ces coûts ont un caractère privé, c'est-à-dire sont supportés par les aquaculteurs eux-mêmes. Considérés sous cet angle, ils entrent dans la même catégorie que les coûts de la prévention des marées vertes supportés par les éleveurs de nori.

L'estimation du coût global de ces mesures se heurte à deux difficultés, concernant d'une part l'estimation des coûts annuels par hectare pour la protection des bassins et des vasières, et d'autre part les surfaces concernées par les mesures de protection.

Pour le premier point, en ce qui concerne les pompes à oxygène installées dans les bassins d'élevage d'ormeaux et d'holothuries, nous faisons l'hypothèse conventionnelle d'une durée de vie moyenne de 5 ans. Il en résulte un coût annuel estimé à 1200 CNY par hectare pour l'équipement des bassins. Pour l'épandage de poudre sur les vasières où sont élevées les palourdes, en l'absence d'informations sur les quantités relatives des deux produits susceptibles d'être utilisés, nous faisons l'hypothèse conventionnelle d'une répartition par moitié, ce qui conduit à un coût annuel estimé à 461 CNY par hectare de vasière protégé.

Pour le second point, nous disposons des surfaces totales d'élevage pour les espèces concernées en 2010, par municipalité et à l'échelle de la province :

Tab. 23. Surfaces d'élevage d'holothuries, ormeaux et palourdes dans le Shandong en 2010 (hectares)

	Holothuries et ormeaux (bassins)	Palourdes (vasières)
Rizhao	593	1 042
Qingdao	4 223	14 326
Yantai	37 647	11 999
Weihai	15 379	4 084
Total ci-dessus	57 842	31 451
Total Shandong	64 396	97 437

Source : cf. annexe 5

En 2010, la surface en élevage dans les quatre municipalités du littoral sud de la province du Shandong, exposé aux marées vertes, représentait environ 58000 ha pour les holothuries et les ormeaux (90% de la surface totale en élevage dans la province),

et 31000 ha pour les palourdes (32% de la surface totale en élevage dans la province). Cependant, pour la municipalité de Yantai, seul un cinquième environ du littoral se trouve sur la façade sud du littoral du Shandong, le reste étant sur la façade nord, non exposée aux marées vertes. Par ailleurs, il n'est pas certain que toutes les exploitations aquacoles exposées aient pris les mesures de protection préconisées. À défaut d'informations plus précises, nous supposons conventionnellement que les surfaces où ces mesures sont mises en œuvre représentent 20% des surfaces en élevage à Yantai, 50% des surfaces en élevage à Rizhao et à Weihai, et 100% des surfaces en élevage à Qingdao (municipalité la plus touchée par les marées vertes). Cette hypothèse nous donne une estimation de 20000 ha de bassins à holothuries et à ormeaux équipés de pompes, et de 19000 ha de vasières à palourdes concernées par les épandages de poudre. L'estimation du coût annuel total des mesures de protection des élevages aquacoles est alors la suivante :

Tab. 24. Estimation du coût de la protection de l'aquaculture

	Coût à l'hectare (CNY / ha)	Surface concernée (ha)	Coût annuel total (millions de CNY)
Pompes (ormeaux et holothuries)	1200	20 000	24,0
Poudre (palourdes)	461	19 000	8,8
Coût annuel total des mesures de protection de l'aquaculture (C_{protec})			32,8

(Elaboration personnelle)

Cette estimation du coût annuel de la protection des élevages aquacoles d'espèces sensibles aux marées vertes représente environ 0,3% du chiffre d'affaires annuel des élevages potentiellement concernés dans le Shandong (voir supra, **Tab. 22**).

✓ Coût de collecte des algues

Une partie des algues est collectée en mer et une autre partie est ramassée sur le littoral après échouage. Les algues ainsi recueillies sont ensuite conditionnées et acheminées vers le lieu d'incinération ou de décharge, ou encore vers l'usine où elles sont valorisées. Le coût de collecte inclut en principe toute cette chaîne d'opérations.

Des opérations de collecte sont effectuées dans les deux provinces concernées par les marées vertes. Dans le Jiangsu, selon les informations que nous avons recueillies, 26 bateaux sont mobilisés pour la collecte des algues en mer. Le coût total de cette opération est estimé à 15 millions de CNY par an en moyenne (nous ne disposons pas d'informations sur le mode de calcul permettant d'obtenir ce résultat).

Pour le Shandong, on dispose d'informations plus détaillées. Communiquées par les responsables et les agents des opérations de collecte que nous avons rencontrés lors de l'enquête de terrain, ces informations concernent seulement la municipalité de Qingdao.

Le coût d'usage des bateaux utilisés pour la collecte des algues en mer varie selon le type de bateau concerné. Il est estimé, en moyenne, à 354 CNY par tonne collectée en 2012. La quantité collectée en mer au large de Qingdao étant de 45900 tonnes cette année là (cf. **Tab. 9**), le coût total d'utilisation des bateaux s'élève à 16,25 millions de CNY, auquel il convient d'ajouter 2,4 millions de CNY pour les coûts portuaires. Le coût total de la collecte en mer à Qingdao est donc de 18,65 millions de CNY en 2012, soit en moyenne 406 CNY par tonne collectée. Ce coût est susceptible d'évoluer significativement à partir de 2014, suite à la mise en service de la plateforme de traitement des algues en mer et de la méthode « 1+X » (cf. chapitre 1, section 1.3.2). Faute de données précises sur ce point, cette innovation n'est pas prise en compte dans le calcul présenté ici.

En ce qui concerne la collecte des algues sur le littoral, on dispose d'informations sur le coût de la main d'œuvre effectuant le nettoyage des plages de Qingdao¹. Le salaire mensuel des personnes affectées à cette tâche est de 1500 CNY pour le personnel permanent et de 900 CNY pour le personnel temporaire. En l'absence d'informations sur la répartition entre ces deux catégories, nous retenons une estimation de 1200 CNY pour le salaire mensuel moyen des personnes affectées au nettoyage des plages. À partir des informations recueillies sur une des plages de Qingdao touchées par les marées vertes, nous estimons à 540 personnes-mois le temps de travail consacré au ramassage des algues vertes sur les plages de cette ville en 2014, ce qui correspond à un coût de main d'œuvre total de 648000 CNY. La quantité d'algues ramassée sur les plages de Qingdao en 2014 s'élevant à 63600 tonnes (cf. **Tab. 9**), le coût moyen de la main d'œuvre affectée à cette tâche est estimé à environ 10 CNY par tonne.

Par ailleurs, le coût de conditionnement et d'acheminement des algues collectées est estimé à 104 CNY par tonne en 2014 (en dehors de la plateforme de traitement en mer mise en service cette année là, non prise en compte dans l'estimation).

En résumé, sur la base des informations recueillies à Qingdao, nous estimons les coûts moyens de collecte dans cette municipalité à 406 CNY/tonne pour la collecte en mer, 10 CNY/tonne pour le ramassage sur les plages (coût de la main d'œuvre), et 104 CNY/tonne pour le conditionnement et l'acheminement à terre des algues. Nous appliquons ces coûts moyens aux quantités annuelles moyennes collectées à Qingdao lors des années 2012 et 2013, pour lesquelles nous disposons de données complètes

¹ Comme le montrent les documents photographiques reproduits en annexe 3, une partie au moins du ramassage des algues sur les plages est mécanisée. Nous ne connaissons pas le coût d'usage spécifique des équipements utilisés à cet effet, qui est agrégé avec le coût des équipements utilisés pour le conditionnement et l'acheminement des algues.

(cf. **Tab. 9**) et qui, par ailleurs, précèdent la mise en œuvre de la plateforme de traitement en mer¹ :

Tab. 25. Estimation des coûts de collecte à Qingdao, 2012-2013 (moyenne annuelle)

	Quantité (tonnes)	Coût moyen (CNY/tonne)	Coût annuel total (millions de CNY)
Collecte en mer	50 700	406	20,58
Collecte à terre (main d'œuvre)	104 550	10	1,05
Conditionnement / acheminement	155 250	104	16,15
Total			37,78

(élaboration personnelle)

Les informations sur la collecte des algues vertes dans le reste du Shandong sont beaucoup plus lacunaires. On ne dispose de données statistiques sur les quantités collectées à Rizhao, Yantai et Weihai que pour quelques années, et le mode de collecte de ces algues n'est pas précisé (cf. **Tab. 9**). Sur les trois années pour lesquelles des informations ont été publiées par d'autres municipalités que Qingdao (2009, 2010 et 2013), les données publiées sur les quantités collectées dans ces municipalités représentent en moyenne 34% de celles qui sont relatives à Qingdao. Sur cette base très limitée, nous estimerons les coûts de collecte dans l'ensemble du Shandong en augmentant d'un tiers les coûts de collecte de Qingdao, ce qui donne un coût de collecte annuel estimé à 50 millions de CNY pour cette province. En additionnant les coûts de collecte du Jiangsu et du Shandong, nous obtenons finalement une estimation de $15 + 50 = 65$ millions de CNY pour le coût de collecte annuel total (C_{coll}).

¹ Jusqu'à la mise en œuvre de cette plateforme, toutes les algues collectées passaient par la même chaîne de conditionnement / acheminement. Leur devenir ultime était en revanche différent, les algues collectées en mer s'avérant plus aptes à la valorisation que les algues ramassées sur le littoral.

2.2.3. Valorisation

La valorisation d'une partie des ulves collectées lors des marées vertes à Qingdao est actuellement réalisée par l'entreprise *Qingdao Seawin Biotech Group* (cf. supra, 1.3.3). Les données économiques disponibles concernant cette activité sont celles que l'on peut trouver sur le site du *Qingdao Property Exchange*, sur lequel les sociétés procédant à des opérations immobilières doivent déposer une notice d'information. Selon ces informations, sur les huit premiers mois de l'année 2013, le chiffre d'affaires de l'entreprise s'élevait à 77,28 millions de CNY, et son résultat d'exploitation était de 4,35 millions de CNY. Si l'on fait l'hypothèse que l'activité de l'entreprise sur l'ensemble de l'année est à l'image des huit premiers mois, on obtient une estimation du résultat d'exploitation égale à 6,53 millions de CNY pour l'année 2013. C'est la seule base dont nous disposons pour estimer le bénéfice généré par la valorisation des algues (*Val*).

Il convient d'en souligner les limites. Non seulement cette estimation repose uniquement sur le résultat de huit mois d'une seule année mais, par ailleurs, les données ayant permis de calculer ce résultat ne sont pas connues. Le rôle des aides publiques, en particulier, n'est pas explicité¹.

En outre, par définition, le résultat d'exploitation ne prend pas en compte le coût d'opportunité du capital investi dans l'entreprise, et donc constitue un indicateur excessivement optimiste du bénéfice généré par la valorisation des algues². Nous

¹ Le résultat d'exploitation est la différence entre les produits et charges d'exploitation, les premiers incluant les subventions d'exploitation reçues. Par ailleurs, les aides publiques peuvent prendre d'autres formes que celle de subventions d'exploitation.

² À la différence du résultat d'exploitation, le résultat net prend en compte les charges financières, mais ces charges, tributaires de la structure du financement de l'entreprise, ne constituent pas un indicateur du coût d'opportunité du capital qui y est immobilisé, toutes origines confondues.

connaissions la valeur de l'investissement réalisé par l'entreprise en 2014 (100 millions de CNY), mais nous n'avons pas d'information sur la valeur du capital immobilisé dans cette entreprise en 2013. Nous pouvons en revanche estimer ce que devrait être son montant maximal pour que son coût d'opportunité soit couvert par le résultat d'exploitation.

Pour cela, nous utilisons le taux d'intérêt moyen des prêts bancaires, corrigé de l'inflation, comme indicateur du coût d'opportunité du capital. Selon les données publiées par la Banque mondiale, le taux d'intérêt moyen des prêts bancaires en Chine s'est élevé, sur la période 2010-2015, à 5,72% en termes nominaux et à 2,38% en termes réels (Banque mondiale, World Development Indicators, 2016). Si nous retenons ce dernier taux, le montant du capital immobilisé dans l'entreprise en 2013 (toutes sources de financement confondues) ne devait pas excéder :

$$6,53 / 0,0238 = 274 \text{ millions de CNY}$$

pour que son coût d'opportunité puisse être compensé par le résultat d'exploitation de l'année. Si l'on se réfère au ratio des surfaces des différentes tranches d'investissement réalisées, cette condition apparaît très incertaine : entre la troisième tranche, réalisée pour un coût de 100 millions de CNY en 2014, et les deux tranches précédentes, le ratio des surfaces est de 1 à 6,5 (cf. **Tab. 12**). Cependant, les technologies étant différentes, ce ratio n'est pas un indicateur fiable pour estimer le ratio des valeurs investies. Les informations dont nous disposons ne permettent donc pas d'apporter de conclusion sur le signe (positif ou négatif) du résultat économique net des opérations de valorisation des algues vertes menées jusqu'ici. Les données de cette valorisation sont susceptibles de changer significativement, suite à la réalisation, en 2014, de la 3^{ème} tranche d'investissement de l'entreprise et à la mise en service de la plateforme de collecte des algues en mer (cf. supra, chapitre 1, sections 1.3.2 et 1.3.3).

2.2.4. Synthèse des coûts de gestion des marées vertes

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de la quantification des différents éléments entrant dans le coût de gestion des marées vertes :

Tab. 26. Estimation des coûts de gestion des marées vertes : synthèse

Elément	Estimation*	Commentaire
$C_{prév}$	19	- Coût de nettoyage des installations de culture de nori dans le Jiangsu - Estimation à base de dire d'expert
C_{surv}	14	- Coût de la télédétection et autres formes de surveillance dans les deux provinces - Estimation à base de dires d'expert
C_{filet}	5	- Estimation à partir du prix et des caractéristiques d'un filet, et de la longueur totale des filets installés à Qingdao, Yantai et Weihai (pas de données pour d'autres zones) - Hypothèse conventionnelle sur la durée de vie moyenne des filets (3 ans)
C_{protec}	33	- Estimation à partir du coût à l'hectare des mesures de protection spécifiques recommandées (pompes à oxygène, épandage de poudre) et des surfaces potentiellement concernées. - Hypothèse conventionnelle sur la durée de vie moyenne des pompes (5 ans) - Incertitude sur les surfaces effectivement concernées.
C_{coll}	65	- Coût de la collecte en mer (avant 2014), à terre, et du conditionnement / acheminement des algues. - Estimation à partir des données recueillies dans le Jiangsu et à Qingdao. - Peu d'informations sur l'estimation Jiangsu. - Incertitude sur les quantités collectées dans le Shandong, hors Qingdao.
Val	7	- Valeur annualisée du résultat d'exploitation de <i>Qingdao Seawin Group</i> pour 8 mois de l'année 2013, publié sur le site <i>Qingdao Property Exchange</i>. - Pas de précision sur les aides publiques susceptibles d'affecter le RE. - Indicateur de toutes façons par excès (coût d'opportunité du capital non pris en compte) - N'intègre pas les effets de la nouvelle tranche d'investissement réalisée en 2014 par l'entreprise.

* Millions de CNY par an (élaboration personnelle).

À partir des résultats ci-dessus et des relations (4) et (2), on obtient l'estimation du coût annuel moyen de la gestion des marées vertes :

$$\begin{aligned}
 (4) \quad C_{mitig} &= C_{surv} + C_{filet} + C_{protec} + C_{coll} \\
 &= 14 + 5 + 33 + 65 = 117 \text{ millions de CNY} \\
 (2) \quad C_{gest} &= C_{prév} + C_{mitig} - Val \\
 &= 19 + 117 - 7 = 129 \text{ millions de CNY}
 \end{aligned}$$

2.3. Coûts résiduels

Les coûts résiduels que l'on cherche à quantifier ici sont ceux qui correspondent aux dommages aux activités que les mesures de gestion n'ont pas permis d'éviter. Les activités considérées sont l'aquaculture, l'industrie tourisme et les activités non marchandes utilisant le littoral à des fins récréatives. La pêche n'est pas prise en compte, car nous n'avons pas d'éléments pour quantifier les dommages qu'elle subit (gêne et risques pour les pêcheurs du fait de la présence de nappes d'algues sur les lieux de pêche). Nous savons seulement que leur ampleur est limitée par la saisonnalité des marées vertes : l'efflorescence des algues en mer se produit, pour une large part, à une période où la pêche est interdite.

2.3.1. Coûts pour l'aquaculture

Pour l'aquaculture, en dehors des effets que subissent les éleveurs de nori du fait de la présence d'ulves sur leurs installations (phénomène antérieur à la marée verte proprement dite, et déjà pris en compte au titre du coût de la prévention), l'impact négatif des marées vertes est dû aux mortalités que la présence des algues vertes peut

provoquer dans les zones d'exploitation. Cinq espèces principales sont soumises à ce risque : les holothuries, les ormeaux, les palourdes, les pétoncles et les méduses¹. L'annexe 5 présente, pour l'année 2010, les surfaces en élevage et les productions de ces cinq espèces, dans le Shandong et, plus spécifiquement, dans les quatre municipalités riveraines de son littoral sud, exposé aux marées vertes.

On ne dispose que d'informations très limitées sur le coût des marées vertes pour les activités aquacoles. Selon des informations de terrain recueillies à la suite de la marée verte de 2008, les pertes dans les élevages touchés par la marée verte auraient été voisines, cette année là, de 100% pour les ormeaux et les holothuries et de 80% pour les pétoncles (Mao et al., 2009). Mais les surfaces touchées ne sont pas connues. Depuis lors, selon les avis recueillis lors des entretiens avec les acteurs et les experts (cf. annexes 1 et 2), les opérations d'interception des algues en mer et les mesures prises par les aquaculteurs (supra, section 2.1.2) auraient permis d'éviter l'essentiel des mortalités dues aux marées vertes.

Les données permettant de tester cette opinion manquent de précision. En effet, les informations relatives à l'évolution des productions et des surfaces d'élevage pour les espèces sensibles ne sont pas disponibles à une échelle plus fine que celle de la province (Annexe 6). Pour ces espèces, la part des quatre municipalités formant le littoral sud de la province du Shandong était la suivante en 2010 :

¹ Les trois premières espèces font, depuis 2009, l'objet de mesures de protection spécifiques qui ont été décrites précédemment (supra, section 2.1.2). Selon les informations recueillies, certains aquaculteurs ont pris d'autres mesures, consistant notamment à déplacer leurs bassins d'élevage pour les rendre moins vulnérables aux marées vertes. Il n'a pas été possible d'estimer leur coût.

Tab. 27. Part des municipalités du littoral sud du Shandong dans la production d'espèces sensibles aux marées vertes, année 2010

Espèces sensibles	Holothuries	Ormeaux	Pétoncles	Palourdes	Méduses	Total
Rizhao	1,4%	0,0%	0,2%	1,0%	0,0%	0,7%
Qingdao	9,5%	19,7%	8,9%	35,0%	0,0%	24,5%
Yantai	36,7%	18,5%	58,8%	5,6%	2,4%	25,8%
Weihai	48,9%	61,8%	23,7%	13,3%	69,9%	18,7%
Total ci-dessus	96,4%	100,0%	91,6%	54,9%	72,4%	69,7%
Reste du Shandong	3,6%	0,0%	8,4%	45,1%	27,6%	30,3%
Total Shandong	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Source : cf. annexe 5.

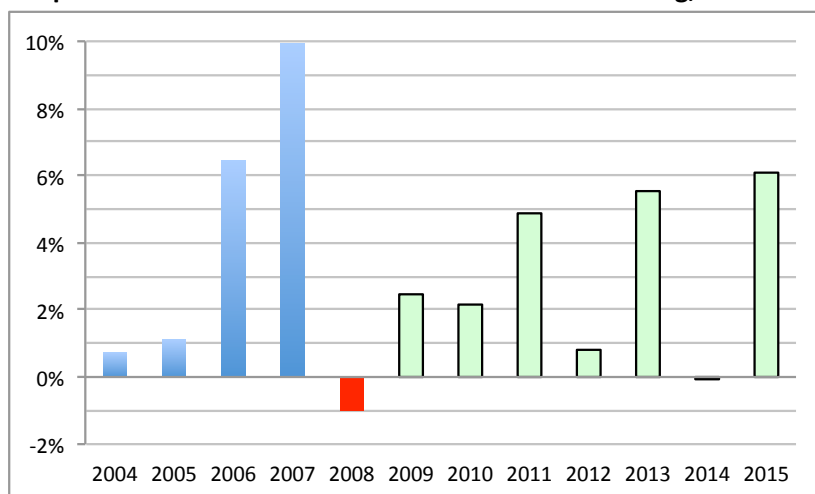
En 2010, les quatre municipalités de la zone exposée aux marées vertes fournissaient 70% de la production provinciale totale d'espèces sensibles à ce phénomène¹. La proportion dépasse 90% pour les holothuries et les pétoncles, et elle atteint 100% pour les ormeaux. La proportion est la plus faible pour les palourdes, où elle atteint cependant 55% du total provincial. Sur la base de ce constat, on peut penser qu'une éventuelle perturbation due aux marées vertes sera perceptible dans les séries statistiques disponibles à l'échelle de la province.

Le graphique ci-dessous visualise les taux de croissance annuels de la production totale d'espèces sensibles aux marées vertes dans la province du Shandong, de 2003 à 2015. Il fait apparaître une baisse limitée de cette production en 2008 (-1%)², suivie de taux de croissance généralement positifs les années suivantes.

¹ Rappelons toutefois que la majeure partie du littoral de la municipalité de Yantai, qui fournit environ un quart de la production provinciale totale, se situe sur la façade nord de la presqu'île du Shandong.

² Cette baisse concerne deux espèces : les pétoncles (-6%) et les méduses (-12%). Pour cette dernière espèce, la production est caractérisée par une forte instabilité d'une année à l'autre (cf. annexe 6).

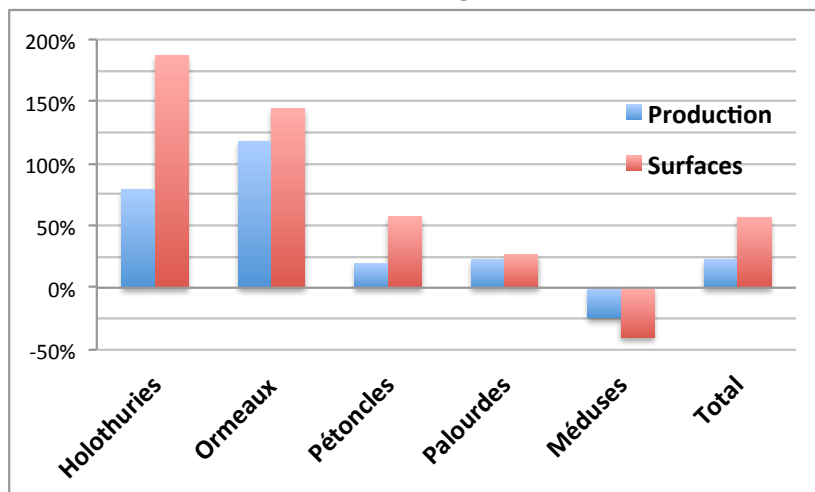
Fig. 14. Evolution du taux de croissance annuel de la production aquacole d'espèces sensibles aux marées vertes dans le Shandong, 2004-2015



Source : cf. annexe 6.

La comparaison, pour chaque espèce, des niveaux moyens d'activité pour la période précédant les marées vertes et pour la période où elles se manifestent permet de préciser ce point :

Fig. 15. Taux de variation des surfaces d'élevage moyennes et de la production aquacole moyenne d'espèces sensibles aux marées vertes dans le Shandong, de 2003-2007 à 2008-2015



Source : cf. annexe 6

D'une période à l'autre, les surfaces exploitées en espèces sensibles aux marées vertes ont augmenté de près de 60% dans le Shandong, et la production de ces espèces a augmenté de 23%¹. À l'exception des méduses, cette augmentation de l'activité concerne toutes les espèces, et elle est particulièrement forte pour les holothuries et les ormeaux (dont la production a plus que doublé d'une période à l'autre). Globalement, d'une période à l'autre, la production d'espèces sensibles aux marées vertes a progressé dans le Shandong sensiblement au même rythme que la production des autres espèces marines aquacoles (+21%).

Ces résultats confortent donc l'opinion précédemment mentionnée, selon laquelle, après l'année 2008, les mesures adoptées par les pouvoirs publics et les aquaculteurs avaient permis de prévenir le risque de mortalité dans les élevages dû aux marées vertes. Nous supposons donc que les coûts des marées vertes pour les aquaculteurs du Shandong se limitent aux coûts de protection que nous avons comptabilisés dans le cadre des coûts de mitigation, et que les coûts résiduels pour leurs activités sont devenus négligeables.

2.3.2. Coûts pour l'industrie du tourisme

L'effet négatif des marées vertes sur les activités récréatives a été illustré de façon spectaculaire par l'échouage massif d'algues survenu à Qingdao en 2008, alors que cette ville s'appêtait à accueillir les épreuves nautiques des Jeux Olympiques. Depuis lors, la récurrence des marées vertes affectant Qingdao et le littoral environnant est considérée comme une nuisance chronique pour ces activités, qui sont fortement développées sur ce littoral. La sévérité de cette nuisance est aggravée par le fait que

¹ Il existe un décalage temporel entre la mise en exploitation d'une zone et la récolte qui en résulte. Variable selon les espèces, ce décalage est estimé en moyenne à 3 ans.

les marées vertes s’y manifestent en pleine saison touristique (cf. par exemple annexe 2, entretien n°4).

Les coûts potentiels que génèrent les marées vertes pour les activités récréatives sont de deux types : des coûts marchands, résultant de la baisse d’activité que les marées vertes sont susceptibles d’entraîner pour l’industrie locale du tourisme (hôtellerie, etc.) ; des coûts non marchands, correspondant aux pertes d’aménités que supportent, lors des marées vertes, les personnes fréquentant le littoral à des fins récréatives (baigneurs, promeneurs, etc.). Cette section est consacrée aux coûts marchands subis par l’industrie du tourisme. Les coûts non marchands correspondant aux pertes d’aménités subies par les usagers récréatifs seront examinés à la section suivante.

✓ Poids économique de l’industrie du tourisme dans les zones impactées par les marées vertes

Le littoral du sud du Shandong, où arrivent les marées vertes, est une zone d’importance touristique particulière. Comme le montre le tableau ci-dessous, cette zone accueille environ le tiers des visiteurs de l’ensemble de la province, et ces visiteurs génèrent localement 40% de l’ensemble de la dépense touristique¹ dans la province. La ville de Qingdao concentre à elle seule 18% de l’ensemble de cette dépense, alors que sa part dans le PIB du Shandong n’est que de 13%, et sa part dans la population de 9%.

¹ La dépense touristique représente l’ensemble des dépenses effectuées par les touristes dans les transports, l’hébergement, la restauration, les visites de sites, activités de loisir et achats.

Tab. 28. Indicateurs de l'économie touristique dans le Shandong, année 2011

	Nombre de touristes		Dépense touristique	
	Millions	%	Milliards de CNY	%
Rizhao	24,5	6%	15,1	4%
Qingdao	50,7	12%	68,1	18%
Yantai	39,2	9%	40,5	11%
Weihai	24,1	6%	25,3	7%
Total littoral sud	138,5	33%	148,8	40%
Reste du Shandong	285,7	67%	224,9	60%
Total Shandong	424,2	100%	373,7	100%

Sources : cf. annexe 7.

L'importance de l'économie touristique sur le littoral du sud du Shandong peut être précisée en rapportant les revenus générés par le tourisme au PIB ou à la population de la zone considérée :

Tab. 29. Indicateurs du poids du tourisme dans l'économie locale, année 2013

	Dépense touristique / PIB local	Dépense touristique / Population locale*
Rizhao	15,5%	7500
Qingdao	12,8%	10500
Yantai	10,2%	7800
Weihai	14,5%	12100
Total littoral sud	12,5%	9400
Reste du Shandong	10,8%	5500
Total Shandong	11,3%	6400
Total Chine	5,0%	2170

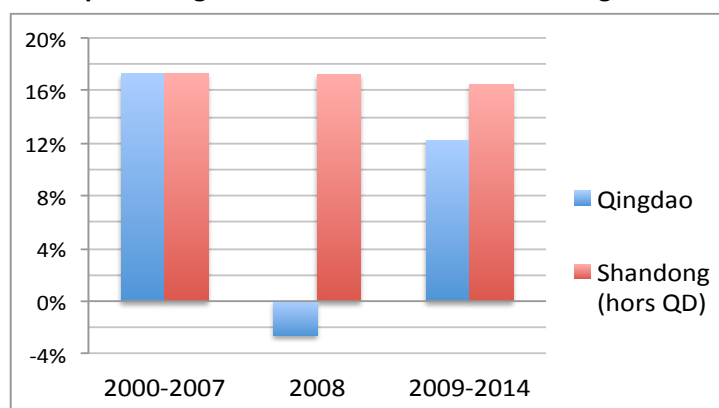
* unité : CNY par habitant. Sources : cf. annexes 7 et 8.

Comme l'indique le tableau ci-dessus, en 2013 la dépense touristique s'élevait en moyenne à 12,5% du PIB sur le littoral sud du Shandong, contre 10,8% dans le reste de la province, et 5% à l'échelle nationale. Rapportée à la population locale, elle y représentait 9400 CNY par habitant, c'est-à-dire 70% de plus que dans le reste de la province, et 3,3 fois plus qu'à l'échelle nationale.

✓ Evolution de la dépense touristique à Qingdao et dans le reste du Shandong

Les données disponibles concernant la dépense touristique dans la province du Shandong sur la période 2001-2014 sont reproduites dans l'annexe 7. Ces données, exprimées en CNY courants, peuvent être converties en CNY constants à l'aide du déflateur du PIB chinois (annexe 9). La figure ci-dessous fait apparaître les taux de croissance annuels moyens en volume (CNY constants) de la dépense touristique de la période 2001-2014 pour Qingdao, principale ville touchée par les marées vertes, et pour le reste de la province. Trois sous-périodes sont distinguées : les années 2001-2007, l'année 2008 marquée par la première marée verte de grande ampleur, et les années 2009-2014, pendant lesquelles les marées vertes sont récurrentes.

Fig. 16. Taux de croissance annuels moyens en volume de la dépense touristique à Qingdao et dans le reste du Shandong, 2001-2014



Source : cf. annexes 7 et 9.

Alors que, jusqu'en 2007, la dépense touristique connaissait la même croissance à Qingdao que dans le reste du Shandong (17,6% par an en volume, en moyenne), elle chute dans cette ville en 2008 (-2,6%), contrairement au reste de la province où la croissance se poursuit à un rythme pratiquement inchangé (17,2%). À partir de 2009, la croissance de la dépense touristique à Qingdao (12,2% par an en moyenne) est nettement moins rapide que pendant les années 2001-2007, mais aussi que dans le reste de la province (16,5%). La singularité du cas de Qingdao à partir de 2008 peut

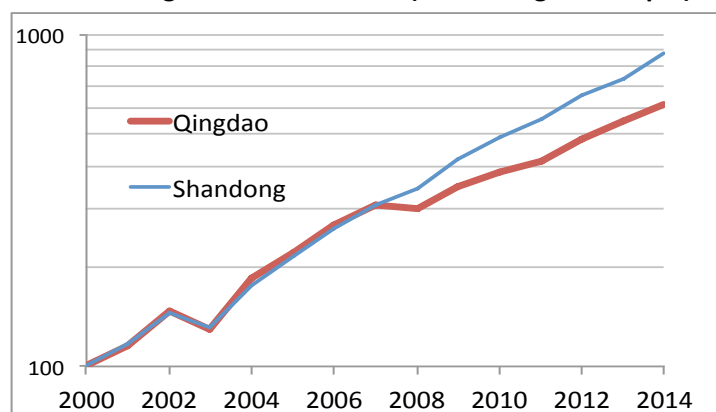
être mise en relation avec les marées vertes¹. C'est en effet en 2008 que se manifeste à grande échelle le phénomène dans cette ville, où il devient ensuite récurrent.

- ✓ Perte de chiffre d'affaires pour l'industrie du tourisme de Qingdao imputable aux marées vertes

Nous faisons l'hypothèse que la singularité observée à Qingdao à partir de 2008 est en relation avec les marées vertes qui, depuis cette année, atteignent chaque année massivement la ville. Deux méthodes sont mises en œuvre pour évaluer la perte de qui en résulte pour l'industrie touristique de cette ville. L'une repose sur la comparaison de l'évolution de la dépense touristique à Qingdao et à l'échelle provinciale, l'autre sur la mise en relation de l'évolution de la dépense touristique locale et de la conjoncture économique nationale.

La première méthode repose sur le constat du décrochage, à partir de 2008, de la dépense touristique à Qingdao par rapport à l'ensemble du Shandong :

Fig. 17. Indices en volume de la dépense touristique à Qingdao et dans le Shandong, base 100 en 2000 (échelle logarithmique)



Source : cf. annexes 7 et 9.

¹ Cette singularité ne se retrouve pas, ou de façon très atténuée, dans les autres villes du littoral sud du Shandong, qui sont moins impactées par les marées vertes.

Si l'on fait l'hypothèse que les marées vertes sont à l'origine de ce décrochage, on peut estimer leur coût pour l'industrie touristique de Qingdao à partir de l'écart entre les deux courbes du graphique ci-dessus. Le détail du calcul est présenté en annexe 10 (1^{ère} méthode). Le résultat est une perte de chiffre d'affaires estimée à 23,9 milliards de CNY constants 2014 par an, en moyenne, sur la période 2008-2014. Cette perte représente près du quart du chiffre d'affaires théorique qu'aurait généré, en l'absence de marée verte, l'industrie touristique à Qingdao pendant la période, selon l'hypothèse retenue.

La seconde méthode consiste à relier l'évolution de la dépense touristique locale à celle de l'activité économique nationale. Le tourisme en Chine est en effet essentiellement un tourisme domestique (cf. annexe 8)¹ et, de ce fait, on peut supposer qu'il dépend fortement de la conjoncture intérieure. Or, sous l'effet notamment de la conjoncture internationale, cette dernière a connu un ralentissement depuis 2008 : le rythme annuel de croissance en volume du PIB chinois est passé de 10,8% sur la période 2000-2007 à 8,6% sur la période 2009-2014 (taux calculé à partir des données reproduites en annexe 9). Ce ralentissement est susceptible d'impacter négativement l'activité touristique, indépendamment de l'effet de la marée verte.

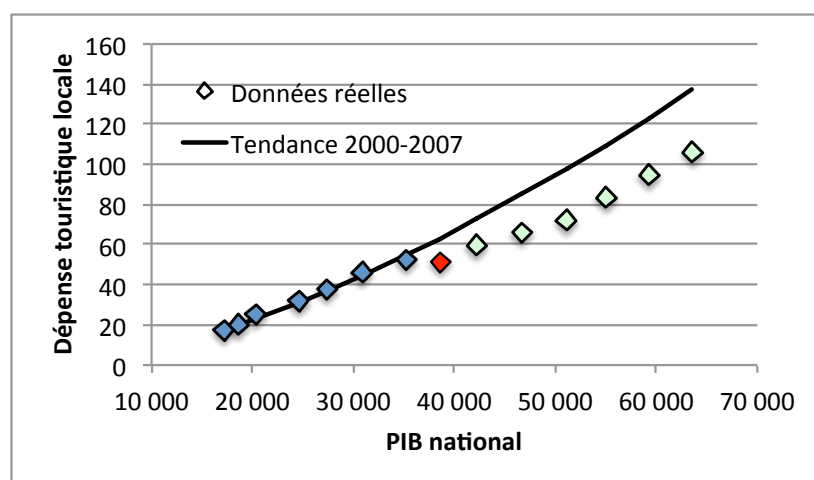
En vue de distinguer ces deux effets, on estime l'élasticité moyenne de la dépense touristique à Qingdao (y) par rapport au PIB chinois (x) sur la période 2000-2007, puis, étant donné l'évolution de x à partir de 2008, on calcule ce qu'aurait été

¹ Selon les données reproduites dans cette annexe, les touristes nationaux représentent aujourd'hui plus de 90% de la fréquentation touristique totale, et génèrent plus de 80% de la dépense touristique totale en Chine (on ne dispose pas de données similaires à des échelles plus fines). Ces proportions sont en augmentation, traduisant le rapide développement de la pratique du tourisme au sein de la population chinoise.

l'évolution de y sur cette deuxième période, si l'élasticité était restée la même qu'à la période antérieure. L'écart entre cette dépense théorique et la dépense constatée est alors imputé à la marée verte.

Le graphique ci-dessous met en relation le PIB national et la dépense touristique à Qingdao, sur la période 2000-2014¹. Chaque point correspond à une année : les points de couleur bleu foncé correspondent aux années 2000-2007, le point en rouge à l'année 2008, les points en vert clair aux années ultérieures. La courbe en trait plein correspond à la tendance des années 2000-2007, c'est-à-dire à la relation qui aurait été constatée sur l'ensemble de la période si l'élasticité de la dépense touristique à Qingdao par rapport au PIB national était restée la même que lors des années 2000-2007.

Fig. 18. Relation entre PIB national et dépense touristique de Qingdao, années 2000-2014 (unité : milliards de CNY 2014)



Sources : cf. annexes 7 et 9.

À partir de 2008, on constate un écart entre la série de points correspondant aux données réelles et la courbe théorique (courbe à élasticité constante). Selon

¹ L'année 2003 a été exclue, compte tenu de son caractère atypique (épidémie de SRAS).

l'hypothèse retenue ici, cet écart représente le coût des marées vertes pour l'industrie touristique de Qingdao. Le détail du calcul est présenté en annexe 10 (2^{ème} méthode). Le résultat est une perte de chiffre d'affaires estimée à 22,2 milliards de CNY constants 2014 par an, en moyenne, sur la période 2008-2014. Cette perte représente 22,5% du chiffre d'affaires théorique qu'aurait généré, en l'absence de marée verte, l'industrie touristique à Qingdao pendant la période, selon l'hypothèse retenue.

✓ Discussion

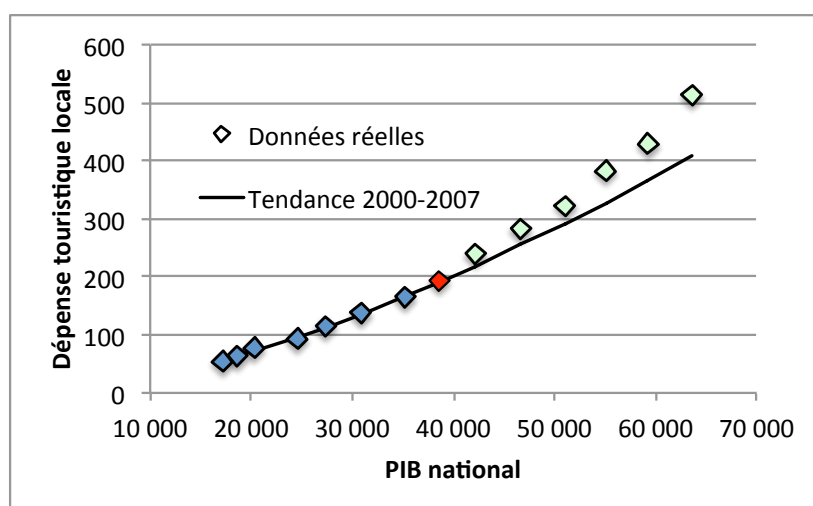
Les deux méthodes utilisées aboutissent à des résultats voisins : selon la méthode retenue, on obtient une estimation du coût des marées vertes pour l'industrie touristique de Qingdao comprise entre 22,2 et 23,9 milliards de CNY par an, en moyenne, depuis 2008 (prix constants 2014). Par rapport au chiffre d'affaires touristique annuel moyen de la période (76,1 milliards de CNY 2014), cette estimation représente un manque à gagner de l'ordre de 30%.

Cependant, ces deux méthodes souffrent d'une même limite. Que l'estimation du coût des marées vertes résulte d'une mise en relation de l'activité touristique locale avec son homologue régionale ou avec la conjoncture macroéconomique nationale, elle se fonde sur une simple concomitance entre les marées vertes et les évolutions statistiques observées. Le phénomène des marées vertes est suffisamment massif et la rupture de tendance concomitante en matière de revenu touristique suffisamment nette pour suggérer un lien de causalité entre les deux événements, mais on ne peut exclure que des facteurs non contrôlés aient également joué un rôle.

Par ailleurs, la mesure de la perte de chiffre d'affaires imputée aux marées vertes est tributaire de l'échelle spatiale adoptée. En effet, les marées vertes ont pu conduire

certains touristes à modifier leur lieu de séjour¹, de sorte que certaines zones ont pu bénéficier de ce transfert (Alcock, 2007). L'évaluation globale de l'effet des marées vertes sur l'industrie du tourisme nécessiterait que l'on prenne en compte le phénomène de transfert spatial de séjours touristiques. Les données dont nous disposons n'apportent pas d'indications précises sur ce point. Si l'on applique à la province du Shandong, hors Qingdao, la méthode des élasticités décrite précédemment, on constate une augmentation de l'élasticité de la dépense touristique de cette zone par rapport au PIB sur la période 2008-2014, relativement à la période 2000-2014 :

Fig. 19. Relation entre PIB national et dépense touristique dans le Shandong hors Qingdao, années 2000-2014 (unité : milliards de CNY 2014)



Sources : cf. annexes 7 et 9.

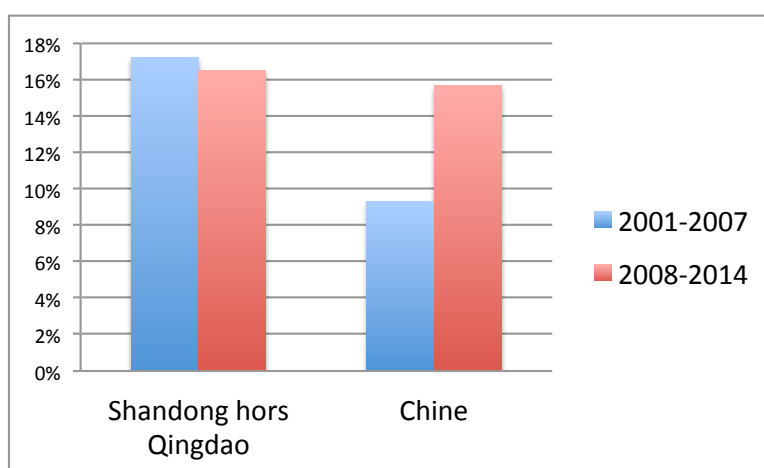
Alors qu'à Qingdao, l'élasticité moyenne de la dépense touristique par rapport au PIB national passait de 1,55 en 2000-2007 à 1,42 en 2009-2014, dans le même temps elle augmentait de 1,51 à 1,87 dans le reste de la province du Shandong. Ce résultat

¹ Cette hypothèse comportementale concerne essentiellement le tourisme dit « de villégiature », qui ne représente qu'une partie des déplacements touristiques. Les données statistiques disponibles ne permettent pas d'isoler cette catégorie.

suggère un possible transfert de fréquentation touristique depuis la ville de Qingdao, fortement impactée par les marées vertes, vers le reste de la province, peu ou pas impactée. Toutefois, la mise en relation des résultats illustrés par le graphique ci-dessus et le précédent invite à la prudence. En effet, l'écart annuel moyen observé dans le Shandong, hors Qingdao, pour la dépense touristique sur la période 2008-2014 par rapport à la tendance antérieure est de 43,2 milliards de CNY 2014¹, soit, en valeur absolue, près de deux fois l'écart obtenu par la même méthode pour la ville de Qingdao (-22,2 milliards de CNY 2014). En d'autres termes, l'augmentation constatée de l'élasticité de la dépense touristique dans le reste de la province ne peut s'expliquer par le seul effet d'un transfert de fréquentation depuis cette ville.

La comparaison des taux de croissance de la dépense touristique dans le Shandong (hors Qingdao) et à l'échelle nationale vient renforcer ce constat :

Fig. 20. Croissance de la dépense touristique dans le Shandong (hors Qingdao) et à l'échelle nationale (taux annuels moyens en volume)



Sources : cf. annexes 7, 8 et 9.

¹ Calculé selon la méthode présentée à l'annexe 10.

Comme le montre le graphique ci-dessus, alors qu'avant 2008, le taux de croissance de la dépense touristique dans le Shandong (hors Qingdao) était presque deux fois plus élevé que le taux national, la forte augmentation de ce dernier dans la période suivante a rendu les deux taux presque égaux. L'augmentation de l'élasticité de la dépense touristique par rapport au PIB national observée dans le Shandong (hors Qingdao) après 2008 (+25%) n'est donc pas une spécificité de cette zone : dans le même temps, elle a augmenté beaucoup plus fortement à l'échelle nationale (+125%). Ce résultat renforce la présomption selon laquelle le transfert de fréquentation depuis Qingdao n'a joué qu'un rôle limité dans l'augmentation d'activité de l'industrie touristique du reste de la province après 2008.

2.3.3. Pertes d'aménités pour les usagers du littoral

Pour évaluer en termes monétaires les pertes d'aménités supportées par les usagers récréatifs du littoral du fait des marées vertes, il faut recourir à l'une des méthodes d'évaluation des valeurs non marchandes évoquées à la section 2.1.4 de ce chapitre. À cet effet, l'enquête sur la perception des marées vertes réalisée auprès du public à Qingdao pendant l'été 2014 (supra, chapitre 1, section 1.4.2) comportait un volet consacré au consentement à payer des répondants, selon un scénario d'évaluation contingente. Dans cette section, nous présenterons d'abord ce scénario, puis les résultats de la partie de l'enquête lui correspondant. Enfin, nous examinerons dans quelle mesure ces résultats peuvent être utilisés pour une évaluation globale des pertes d'aménités subies par les usagers du littoral.

✓ Scénario d'évaluation contingente

La 2^{ème} partie du questionnaire de l'enquête était dédiée au scénario d'évaluation contingente. Elle comportait les questions suivantes :

Tab. 30. Enquête auprès du public : 2^{ème} partie du questionnaire

Question	Modalités de réponse
6. Seriez-vous d'accord pour contribuer personnellement au financement de la lutte contre les marées vertes ?	A. Tout-à-fait d'accord
	B. Plutôt d'accord
	C. Plutôt en désaccord
	D. Pas du tout d'accord
7. Si vous ne souhaitez pas contribuer (réponse C ou D à la question 6), pour quelle raison principale ?	A. Revenu insuffisant
	B. Pas intéressé
	C. Ce n'est pas à moi de financer ces actions
	D. Manque de confiance dans l'utilisation de ma contribution
	E. Autre / ne se prononce pas
8. Si vous acceptez de contribuer (réponse A ou B à la question 6), sous quelle forme préféreriez-vous le faire ?	A. Don au gouvernement local
	B. Don à une ONG locale
	C. Don à l'occasion de consommations sur le site ¹
	D. Ticket d'entrée sur les plages
	E. Taxe perçue par le gouvernement central
9. Combien seriez-vous prêt(e) à payer pour le financement d'une collecte des algues en mer ² ?	Carte ce paiement (CNY / an) : 0, 2, 5, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, > 5000.
10. Combien seriez-vous prêt(e) à payer pour le financement d'un ramassage des algues sur les plages ³ ?	

¹ Sous la forme d'un pourcentage des paiements effectués lors de consommations de boisson, nourriture, etc.

² Précision apportée au répondant : opération permettant de protéger à la fois l'environnement marin et les usages récréatifs. ³ Précision apportée au répondant : opération permettant de protéger les usages récréatifs, mais pas l'environnement marin. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

L'anonymat des réponses était garanti, et la présentation du scénario contingent était accompagnée de photos illustrant les programmes soumis à l'évaluation (annexe 3), ainsi que de précisions concernant le caractère purement hypothétique du scénario, élaboré dans le cadre d'une recherche universitaire.

✓ Résultats de l'enquête concernant l'évaluation contingente

La présentation des résultats relatifs au scénario contingent ne porte que sur la partie de l'échantillon composé des personnes ayant déclaré avoir connaissance du phénomène des marées vertes (réponse positive à la 1^{ère} question de l'enquête), soit 299 répondants au total (cf. chapitre 1, **Tab. 17**). Comme pour la présentation des résultats relatifs à la perception des marées vertes (supra, chapitre 1), on distinguera les réponses apportées par les résidents (essentiellement des habitants de Qingdao) et par les non-résidents (essentiellement des touristes).

Interrogés sur le principe d'une contribution personnelle au financement de la lutte contre les marées vertes, les répondants avaient la possibilité de se déclarer pleinement favorables, favorables avec réserves, réticents ou opposés à ce principe (modalités A, B, C et D de la question 6). Dans leur grande majorité (près de 80%), ils se sont déclarés favorables ou plutôt favorables au principe de la contribution. Seule une toute petite minorité (3%) a manifesté sans ambiguïté son opposition, celle-ci prenant beaucoup plus souvent la forme d'une réticence à contribuer (18%).

Tab. 31. Réponses à la question 6 : « Seriez-vous d'accord pour contribuer personnellement au financement de la lutte contre les marées vertes ? »

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
A. Tout-à-fait d'accord	112	55%	36	38%	148	49%
B. Plutôt d'accord	51	25%	38	40%	89	30%
C. Plutôt en désaccord	36	18%	18	19%	54	18%
D. Pas du tout d'accord	6	3%	2	2%	8	3%
Total	205	100%	94	100%	299	100%

Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Cette large adhésion de principe se retrouve chez les résidents comme chez les non-résidents. Toutefois, elle apparaît un peu moins ferme chez ces derniers : la proportion de ceux qui se déclarent tout-à-fait favorables à une contribution

personnelle au financement de la lutte contre les marées vertes n'y est que de 38% (contre 40% de « plutôt favorables »), alors qu'elle atteint 55% chez les résidents (contre 25% de « plutôt favorables »).

La question 7 visait à explorer les motivations des opposants et des réticents au principe de la contribution (modalités C et D de réponse à la question 6). Chez les résidents comme chez les non-résidents, ces répondants représentent environ un cinquième de l'effectif total considéré¹. Parmi les modalités de réponse proposées dans le cadre de cette question, deux correspondaient à ce que la littérature sur l'évaluation contingente appelle des « zéros de protestation ». Ces refus de contribuer ne traduisent pas un manque d'intérêt (ou une incapacité de payer) pour la chose que l'on cherche à évaluer à travers le scénario contingent, mais un refus du principe sur lequel repose ce scénario. Il est important d'isoler ces « faux zéros », car leur présence dans les réponses est de nature à biaiser l'estimation de l'objet que l'on cherche à évaluer.

La modalité C de la question 8 correspond au zéro de protestation classique : ceux qui l'adoptent affirment par ce biais le caractère illégitime de la contribution qui leur est demandée, car le financement devrait selon eux reposer sur d'autres personnes. Il a été jugé utile d'ajouter une seconde modalité de réponse traduisant elle aussi un refus d'entrer dans le scénario, cette fois par méfiance vis-à-vis de l'affectation effective des fonds qui seraient récoltés (modalité D).

¹ Rappelons que les personnes ayant déclaré ne pas connaître les marées vertes sont exclues de l'analyse du scénario contingent. Les opposants et réticents dont il est question ici sont donc des personnes qui, préalablement à l'enquête, avaient une certaine connaissance du phénomène.

**Tab. 32. Réponses à la question 7 :
« Si vous ne souhaitez pas contribuer, pour quelle raison principale ? »**

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
A. Revenu trop faible	5	12%	0	0%	5	8%
B. Pas concerné	0	0%	0	0%	0	0%
C. Ce n'est pas à moi de payer	13	31%	8	40%	21	34%
D. Manque de confiance dans l'utilisation des fonds	14	33%	7	35%	21	34%
E. Autre / ne se prononce pas	10	24%	5	25%	15	24%
Total	42	100%	20	100%	62	100%

Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les zéros de protestation représentent un peu plus des deux tiers (68%) des refus de contribuer et des réticences à contribuer. Cette proportion est plus élevée chez les non-résidents (75%) que chez les résidents (64%). Dans les deux cas, les zéros de protestation se répartissent de façon équilibrée entre les deux modalités proposées par le questionnaire. Parmi les autres motivations mises en avant, il est à noter l'absence de réponses faisant clairement état d'un manque d'intérêt pour la lutte contre les marées vertes, et le faible nombre de réponses ouvertement motivées par une contrainte budgétaire (5%). Toutefois, près d'un quart des opposants et réticents au principe de la contribution ne motivent pas clairement leur choix.

La question 8 s'adressait aux répondants s'étant déclarés pleinement ou modérément favorables au principe de la contribution (réponses A et B à la question 6). Elle visait à connaître leurs préférences concernant le véhicule de paiement. On sait en effet que la nature de ce véhicule est susceptible d'influencer significativement le consentement à payer (Voltaire et al., 2011). Par cette question proposant une liste relativement diversifiée, il s'agissait, en l'absence d'informations préalables sur les véhicules de paiement les mieux acceptés, de minimiser le risque d'obtenir à l'étape suivante des CAP biaisés du fait de véhicules de paiement jugés inadéquats.

Trois types de paiement étaient proposés, présentant un caractère plus ou moins contraignant : don volontaire, ticket d'entrée pour les plages, impôt prélevé par l'Etat central. Le premier type était lui-même subdivisé en trois modalités : don ponctuel au gouvernement local, don ponctuel à une ONG locale, don sous forme d'un pourcentage des prix payés pour les consommations sur les plages ou à proximité de celles-ci (boissons, snacks, etc.).

Tab. 33. Réponses à la question 8 :
« Si vous acceptez de contribuer, sous quelle forme préféreriez-vous le faire ? »

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
A. Don au gouvernement local	16	10%	14	19%	30	13%
B. Don à une ONG locale	30	18%	12	16%	42	18%
C. Don à l'occasion de consommations	14	9%	3	4%	17	7%
D. Ticket d'entrée à la plage	29	18%	18	24%	47	20%
E. Taxe perçue par le gouvernement central	74	45%	27	36%	101	43%
Total	163	100%	74	100%	237	100%

Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

L'impôt prélevé par l'Etat central est le véhicule de paiement préféré par une majorité relative de répondants (43%). Les différentes formes de dons totalisent 38% des réponses, le paiement sous forme de ticket pour accéder aux plages 20% des réponses.

Les questions 9 et 10 avaient pour objet de quantifier le consentement à payer. Il était indiqué à chaque personne enquêtée que le véhicule de paiement était celui qui avait sa préférence (telle que déclarée à la question précédente), et la proposition de paiement était présentée sous la forme d'une carte de paiement (pour un an, correspondant à un épisode de marée verte). Cette carte, large et détaillée, s'échelonnait de 0 à 5000 CNY par an (supra, **Tab. 30**). Une modalité « plus de 5000 CNY » était également offerte.

Le consentement à payer des répondants était testé pour deux prestations distinctes. La première (question 9) consistait en un programme de récolte des algues vertes en mer, la seconde (question 10) en un programme de ramassage des algues sur les plages¹. Il était expliqué que, dans les deux cas, le programme permettrait de sauvegarder efficacement les usages récréatifs du littoral mais qu'en outre, dans le premier cas, l'opération de collecte en mer serait bénéfique pour l'environnement, alors que dans le second cas, le ramassage sur les plages avait des conséquences environnementales défavorables (prélèvement involontaire de sable et d'organismes vivants). L'objectif poursuivi à travers ces deux questions était de distinguer, au sein du consentement à payer des répondants, les motivations relatives aux valeurs d'usage récréatives (en principe sauvegardées par les deux programmes) et les motivations relatives à la préservation de l'environnement (pour laquelle le programme de collecte en mer était présenté comme supérieur au programme de ramassage sur la côte). En principe, l'écart entre les deux consentements à payer devait révéler la valeur spécifique attachée par les répondants à la préservation de l'environnement marin.

Outre les précisions relatives à la nature des deux programmes, il était indiqué aux personnes répondant au questionnaire qu'elles devaient se placer dans l'hypothèse d'un paiement effectif, c'est-à-dire bien considérer ce que leur paiement représentait par rapport à leurs possibilités financières. Une question de la 3^{ème} partie du questionnaire, concernant le profil socio-économique des répondants (cf. annexe 3), portait sur le revenu des personnes enquêtées et visait, notamment, à tester le réalisme économique des réponses apportées dans le cadre du scénario contingent.

¹ Comme on l'a vu au chapitre précédent, ces opérations sont déjà mises en œuvre. Il s'agissait, dans le scénario contingent, de les renforcer afin d'obtenir des résultats plus complets.

Les trois tableaux ci-dessous synthétisent les réponses concernant les consentements à payer pour les deux programmes. Les zéros de protestation, identifiés par l'intermédiaire des réponses à la question 7, ont été exclus.

Tab. 34. Réponses à la question 9 : « Combien seriez-vous prêt(e) à payer pour le financement d'une collecte des algues en mer ? »

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
• 0 CNY / an*	16	9%	5	6%	21	8%
• de 1 à 10 CNY / an	59	33%	11	14%	70	27%
• de 11 à 50 CNY / an	43	24%	28	35%	71	28%
• de 51 à 100 CNY / an	44	25%	25	32%	69	27%
• de 101 à 500 CNY / an	17	9%	10	13%	27	10%
Total	179	100%	79	100%	258	100%

* Zéros de protestation exclus. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Tab. 35. Réponses à la question 10 : « Combien seriez-vous prêt(e) à payer pour le financement d'un ramassage des algues sur les plages ? »

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
• 0 CNY / an*	17	9%	5	6%	22	9%
• de 1 à 10 CNY / an	64	36%	12	15%	76	29%
• de 11 à 50 CNY / an	37	21%	30	38%	67	26%
• de 51 à 100 CNY / an	39	22%	24	30%	63	24%
• de 101 à 500 CNY / an	22	12%	8	10%	30	12%
Total	179	100%	79	100%	258	100%

* Zéros de protestation exclus. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

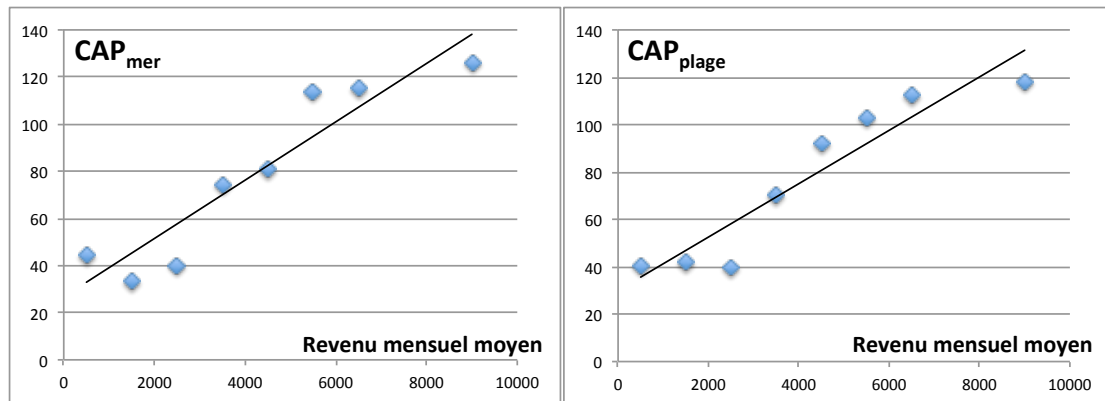
Tab. 36. Consentements à payer : valeurs centrales et dispersion

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Collecte en mer	Ramassage sur la plage	Collecte en mer	Ramassage sur la plage	Collecte en mer	Ramassage sur la plage
CAP médian (CNY)*	30	20	50	50	50	50
CAP moyen (CNY)*	62	62	82	77	68	67
Ecart-type (CNY)*	88	86	96	95	91	89
Coefficient de variation**	1,42	1,37	1,17	1,22	1,34	1,32

* Zéros de protestation exclus. ** Ecart-type / moyenne. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les consentements à payer déclarés pour les deux programmes sont généralement modérés. Ils ne dépassent jamais 500 CNY, et ne dépassent 1% du revenu annuel des répondants que dans moins de 5% des cas¹ (le pourcentage moyen est de 0,25%)². Ils sont par ailleurs bien corrélés au revenu déclaré, comme l'illustre la figure ci-dessous.

Fig. 21. Relation entre CAP* moyen et classe de revenu



CAP_{mer} = consentement à payer pour le programme de collecte en mer. CAP_{plage} = consentement à payer pour le programme de ramassage sur la plage. Zéros de protestation exclus. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Ces données financières, jointes au fait que les personnes n'ayant jamais entendu parler des marées vertes avant l'enquête ont été exclues de l'évaluation, constituent une présomption de réalisme de l'exercice.

Le résultat le moins intuitif de cet exercice est le fait que les consentements à payer pour les deux programmes sont très proches l'un de l'autre (**Tab. 34, 35 et 36 supra**). Ainsi, pour les résidents, le consentement à payer moyen est de 62 CNY pour la collecte en mer comme pour le ramassage sur les plages. Les consentements à payer sont plus élevés chez les non-résidents, mais restent très proches pour les deux

¹ Dans leur quasi-totalité, ces cas se rencontrent chez des répondants âgés de 16 à 18 ans, qui déclarent un revenu personnel inférieur à 500 CNY par mois et ne sont pas financièrement indépendants.

² Le pourcentage maximal est de 5%, et correspond au cas de figure décrit à la note précédente.

programmes : 82 CNY pour la collecte en mer, 77 CNY pour le ramassage sur la plage. Cette grande proximité se manifeste également si l'on compare les consentements à payer déclarés pour les deux programmes par chaque répondant : comme le montre le tableau ci-dessous, plus des trois-quarts des répondants déclarent exactement le même consentement à payer pour les deux programmes. Seuls 15% d'entre eux manifestent une préférence pour le programme de collecte en mer.

Tab. 37. Comparaison des CAP* pour la collecte en mer et pour le ramassage sur la plage

	Résidents		Non-résidents		Total	
	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence	Effectif	Fréquence
• $CAP_{mer} > CAP_{plage}$	19	11%	19	24%	38	15%
• $CAP_{mer} = CAP_{plage}$	144	80%	52	66%	196	76%
• $CAP_{mer} < CAP_{plage}$	16	9%	8	10%	24	9%
Total	179	100%	79	100%	258	100%

* Zéros de protestation exclus. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Alors que la supériorité environnementale du programme de collecte en mer a été soulignée lors de l'administration du questionnaire, le résultat ci-dessus apparaît d'autant plus contre-intuitif que les répondants ont, par ailleurs, été beaucoup plus nombreux à mentionner l'environnement que les activités récréatives comme principale victime des marées vertes (supra, chapitre 1, **Tab. 19**).

Deux hypothèses peuvent être avancées pour rendre compte de ce paradoxe. La première est celle d'un décalage possible entre l'intérêt de principe manifesté pour l'environnement et la réalité du consentement à payer (même hypothétique) pour sa préservation. La seconde hypothèse, non exclusive de la première, tient à la crédibilité des deux scénarios : alors que le ramassage des algues sur les plages est une opération aux effets bien visibles, l'efficacité de la collecte en mer, notamment sur le plan environnemental, peut être plus incertaine par une partie des répondants.

Deux indices viennent étayer l'hypothèse d'une moindre crédibilité du scénario de collecte en mer. Le premier est le fait qu'environ 10% des répondants déclarent un

consentement à payer plus élevé pour le ramassage sur les plages que pour la collecte en mer. Le second est le décalage que l'on constate entre les réponses des résidents et celles des non-résidents : alors que seulement 11% des résidents déclarent un consentement à payer plus élevé pour la collecte en mer que pour le ramassage sur la plage, ce pourcentage atteint 24% chez les non-résidents. Compte tenu de la période à laquelle a eu lieu l'enquête (après le pic de la marée verte), la visibilité supérieure du ramassage sur les plages et de ses effets peut être plus présente à l'esprit des résidents qu'à celui des non-résidents, qui, on l'a vu, sont proportionnellement moins nombreux à avoir une connaissance directe du phénomène (supra, chapitre 1, **Tab. 18**).

✓ Evaluation des pertes d'aménités subies par les usagers

Pour évaluer les pertes d'aménités que les marées vertes font subir aux usagers récréatifs du littoral, il faut réintroduire dans l'évaluation des consentements moyens à payer les personnes n'ayant pas connaissance des marées vertes, puis extrapoler ces consentements à la population de référence.

On réalise la première opération en faisant l'hypothèse que les personnes ignorant l'existence d'un problème ont un consentement à payer nul pour son traitement, qui conduit à affecter un « vrai zéro » aux personnes de l'échantillon ayant répondu négativement à la première question de l'enquête (cf. supra, chapitre 1, **Tab. 17**). On obtient alors la modification suivante des consentements à payer moyens :

Tab. 38. Réintégration des personnes ayant déclaré ne pas connaître les marées vertes dans l'évaluation des consentements à payer

CAP moyen* (CNY)	Résidents		Non-résidents		Total	
	Collecte en mer	Ramassage sur la plage	Collecte en mer	Ramassage sur la plage	Collecte en mer	Ramassage sur la plage
avant réintégration	62	62	82	77	68	67
après réintégration	54	54	37	35	46	45

* Zéros de protestation exclus. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

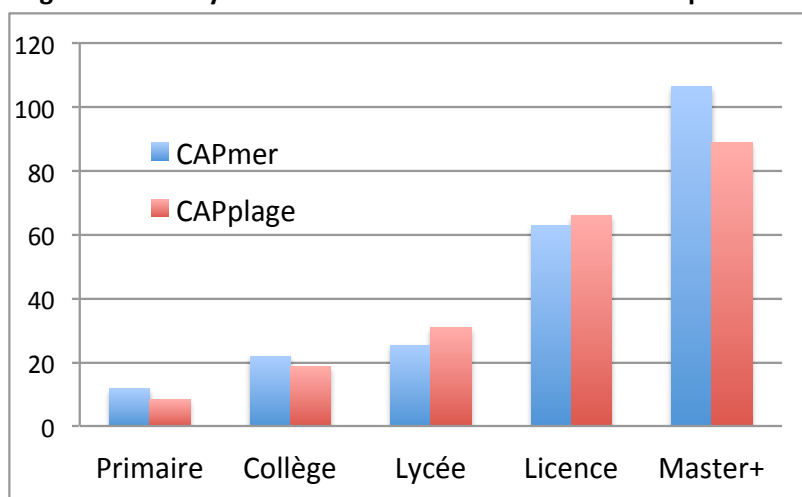
La réintégration fait baisser de façon plus importante les consentements à payer moyens des non-résidents (-55%) que ceux des résidents (-13%). Ce décalage résulte de la proportion plus élevée, chez les non-résidents, de répondants déclarant ne pas connaître les marées vertes (55% chez les non-résidents, contre seulement 12% chez les résidents – cf. chapitre 1, **Tab. 17**).

L'extrapolation des résultats de l'échantillon requiert que l'échantillon de l'enquête soit représentatif de la population concernée. À défaut, il convient de le redresser selon des critères jugés significatifs. Cette opération se heurte toutefois à l'insuffisance des connaissances concernant la population-mère. Celle-ci se compose en principe de deux sous-populations : les résidents et les touristes.

Concernant les touristes, on dispose de statistiques concernant le nombre de personnes visitant chaque année Qingdao (Annexe 7). Selon ces statistiques, le nombre moyen de touristes ayant visité Qingdao s'est élevé à 56,8 millions de personnes par an sur la période 2010-2014. En multipliant par cet effectif les consentements à payer moyens des non-résidents issus de l'enquête (supra, **Tab. 38**), on obtient une évaluation de 2 à 2,1 milliards de CNY pour la perte d'aménité annuelle subie par les non-résidents du fait des marées vertes qui atteignent Qingdao (selon le programme de collecte proposé). Cependant, cette estimation est fragile, car on ne dispose d'aucune information permettant de juger de la représentativité de l'échantillon de l'enquête.

Les statistiques concernant les résidents sont plus détaillées (supra, **Tab. 16**). Comme on l'a vu au chapitre 1, elles montrent que l'échantillon de l'enquête n'est pas représentatif de la population résidant à Qingdao, selon les critères socio-économiques usuels. Une des distorsions les plus nettes concerne le niveau d'éducation : près des deux tiers des répondants résidents ont un niveau d'éducation supérieur, alors que cette catégorie représente moins de 20% de la population âgée d'au moins 15 ans résidant à Qingdao. Or les résultats de l'enquête font apparaître une forte différenciation des consentements à payer selon le niveau d'éducation (**Fig. 22**).

Fig. 22. CAP moyen* selon le niveau d'éducation des répondants



* Résidents, zéros de protestation exclus. Source : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 (élaboration personnelle).

Les données disponibles concernant les niveaux d'éducation peuvent être utilisées pour redresser les CAP moyens issus de l'enquête. Cette opération s'effectue en multipliant les CAP moyens par niveau d'éducation issus de l'enquête par des coefficients de pondération reflétant la structure de la population de Qingdao selon ce même critère. Cette opération est décrite dans le tableau ci-dessous. Elle aboutit à des CAP moyens redressés très proches pour les deux programmes, et voisins de 30 CNY.

Tab. 39. Redressement de l'échantillon pour le calcul des CAP moyens des résidents

Niveau d'éducation	Pondérations		Consentements à payer*	
	Echantillon	Population	CAP _{mer}	CAP _{plage}
• Primaire / aucun	2,9%	22,1%	11,67	8,33
• Secondaire	32,4%	59,9%	24,01	26,10
• Enseignement supérieur	64,7%	18,0%	70,52	70,04
Consentement à payer moyen de l'échantillon			53,76	54,03
Consentement à payer moyen redressé			29,66	30,08

* Zéros de protestation exclus. Le CAP des répondants ne connaissant pas les marées vertes (réponse « non » à la question n°1) a été posé égal à zéro. Sources : enquête auprès du public, Qingdao, été 2014 / Municipalité de Qingdao, recensement de la population 2010 (élaboration personnelle).

Il n'existe aucune garantie que les CAP ainsi redressés soient représentatifs de ceux de la population résidente, dans la mesure où d'autres facteurs non contrôlés ici (de

caractère socio-économique ou comportemental¹) peuvent entrer en jeu. Tout au plus peut-on considérer que le redressement présenté ci-dessus est de nature à éliminer une source de distorsion majeure. Par ailleurs, il se situe clairement dans une démarche conservatrice, dans la mesure où il induit une baisse sensible (d'environ 45%) des CAP moyens par rapport à ceux qui résultent directement de l'enquête.

La population de Qingdao était de 8,9 millions d'habitants en 2013 (supra, chapitre 1, **Tab. 1**). Selon les informations disponibles pour l'année 2010 (supra, chapitre 1, **Tab. 16**), 86,6% des habitants de cette ville ont au moins 15 ans. Si l'on ne retient que cette tranche d'âge, voisine de celle qui a été retenue pour l'enquête, on obtient une population de référence de 7,7 millions de personnes. En multipliant par cet effectif les consentements moyens à payer des résidents après redressement des résultats de l'enquête (supra, **Tab. 38**), on obtient une évaluation voisine de 230 millions de CNY pour la perte d'aménité annuelle subie par les résidents.

Toutefois, les personnes âgées sont, comme on l'a vu, très peu présentes dans l'échantillon de l'enquête : les répondants âgés de plus de 60 ans ne représentent que 2% du sous-échantillon « résidents » et, selon les informations fournies par les enquêteurs, il s'agit vraisemblablement de personnes appartenant à la tranche d'âge 60-65 ans. Or, selon les statistiques disponibles, en 2010 les personnes âgées de 65 ans et plus formaient 10,3% de la population résidant à Qingdao. Leur quasi-absence dans l'échantillon rend particulièrement hasardeux tout exercice d'extrapolation concernant cette catégorie de la population, dont on peut suspecter que le comportement en matière d'usages récréatifs du littoral n'est pas le même que celui des personnes plus jeunes. C'est pourquoi, dans l'optique conservatrice évoquée précédemment, il semble préférable de ne retenir que la tranche d'âge 15-64 ans dans

¹ En ce domaine, les lieux sur lesquels s'est déroulée l'enquête ne sont sans doute pas neutres, et peuvent avoir créé un biais de sélection.

la population de référence, soit 6,8 millions de personnes. En multipliant par cet effectif les consentements moyens à payer des résidents après redressement des résultats de l'enquête (supra, **Tab. 38**), on obtient une évaluation d'environ 200 millions de CNY pour la perte d'aménité annuelle subie par les résidents âgés de 15 à 64 ans. Cette évaluation est beaucoup plus faible que celle qui est attribuée aux non-résidents (2-2,1 milliards de CNY), ce qui s'explique à la fois par l'écart des consentements à payer moyens (35-37 CNY pour les non-résidents, contre 30 CNY pour les résidents après redressement) et par l'écart des populations de référence (6,8 millions pour les résidents, contre 56,8 millions pour les non-résidents).

2.3.4. Synthèse des coûts résiduels

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de l'évaluation des coûts résiduels des marées vertes :

Tab. 40. Estimation des coûts résiduels des marées vertes : synthèse

Élément	Estimation*	Commentaire
C_{aqua}	0	- Coût représentant la mortalité résiduelle causée par les marées vertes dans les élevages d'espèces sensibles après 2008 - Ne prend pas en compte le coût des mesures de protection prises par les aquaculteurs (comptabilisé dans les coûts de gestion des marées vertes) - Imprécision due à l'échelle géographique des données (évolutions sur l'ensemble de la province du Shandong et non sur les zones impactées)
C_{tour}	22 200	- Estimation du manque à gagner pour l'industrie du tourisme imputée à la présence des marées vertes - Qingdao uniquement - Ne prend pas en compte de possibles transferts de fréquentation vers d'autres zones
$C_{récré}$	2 250	- Estimation du consentement à payer des résidents (200) et des touristes (2050) par évaluation contingente - Enquête de terrain à Qingdao uniquement - Problème de représentativité de l'échantillon

* Millions de CNY par an (élaboration personnelle).

À partir des résultats ci-dessus et de la relation (3), on obtient l'estimation du coût annuel moyen des dommages résiduels causés par les marées vertes :

$$(3) \quad C_{gest} = C_{aqua} + C_{tour} + C_{récré} \\ = 0 + 22\,200 + 2\,250 = 24\,450 \text{ millions de CNY}$$

2.4. Coût social et scénarios de gestion des marées vertes

Cette section récapitule et discute les résultats de l'exercice d'évaluation du coût social des marées vertes (2.4.1) puis, sur la base de ces résultats, considère différents scénarios de gestion du phénomène (2.4.2).

2.4.1. Synthèse et discussion des résultats de l'évaluation

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats des différentes estimations que nous avons réalisées en vue de quantifier le coût social des marées vertes en Mer Jaune.

Tab. 41. Récapitulatif de l'évaluation du coût social des marées vertes*

Coût de gestion des marées vertes	Prévention		$C_{prév}$	19
	Mitigation	Surveillance	C_{surv}	14
		Filets d'interception	C_{filet}	5
		Protection des élevages aquacoles	C_{protec}	33
		Collecte	C_{coll}	65
		Total	$C_{mitig} = C_{surv} + C_{filet} + C_{protec} + C_{coll}$	117
	Valorisation des algues vertes		Val	7
Total net		$C_{gest} = C_{prév} + C_{mitig} - Val$	129	
Coût des dommages résiduels	Aquaculture (après 2008)		C_{aqua}	0
	Industrie du tourisme		C_{tour}	22 200
	Activités récréatives non marchandes		$C_{récré}$	2 250
	Total		$C_{dom} = C_{aqua} + C_{tour} + C_{récré}$	24 450
Coût social des marées vertes			$C_{MV} = C_{gest} + C_{dom}$	24 579

* coût annuel moyen après 2008, en millions de CNY. Elaboration personnelle.

Il convient tout d'abord de rappeler les limites générales qui pèsent sur les évaluations résumées dans le tableau ci-dessus :

- Les données que nous avons utilisées pour évaluer les éléments du coût social des marées vertes sont très diverses : données statistiques officielles à caractère national, régional et local, données quantitatives et qualitatives recueillies lors des enquêtes de terrain auprès des acteurs et du public, avis d'experts. Comme nous l'avons indiqué dans les développements qui précèdent, leur degré de précision, de fiabilité et d'exhaustivité est très inégal.
- Les méthodologies que nous avons mises en œuvre pour traiter ces données sont elles-mêmes très variables, mais toujours très simples, voire rudimentaires. Des traitements plus approfondis, faisant notamment appel à l'économétrie, seraient nécessaires pour affiner et, éventuellement, redresser les calculs assez grossiers qui ont été réalisés. Dans la majorité des cas cependant, il semble que le facteur limitant soit celui des données disponibles.
- Les limitations qui pèsent sur la disponibilité des données nous ont conduit à négliger certains aspects du coût social des marées vertes. C'est notamment le cas des dommages infligés à la pêche (gêne et risques suscités par les nappes d'ulves sur les lieux de pêche), probablement assez limités du fait de la saisonnalité des marées vertes, qui coïncide pour une large part avec la période d'interdiction de pêche dans la zone où elles se développent. Une autre lacune concerne les dommages à l'écosystème marin, en dehors des coûts subis par les activités humaines utilisant les services de cet écosystème. La raison fondamentale pour laquelle cet aspect du coût social des marées vertes n'a pas été pris en compte tient aux incertitudes scientifiques qui entourent le sujet : les effets environnementaux des marées vertes sont mal connus. La question a été abordée sous l'angle des perceptions du public, à l'occasion de l'enquête de terrain que nous avons menée à Qingdao. Les résultats sont apparemment contradictoires : d'un côté, les

répondants considèrent généralement que les dommages à l'environnement constituent un effet négatif majeur des marées vertes mais, par ailleurs, la comparaison de leurs consentements à payer selon les deux véhicules de paiement proposés ne fait pas ressortir, chez la majorité d'entre eux, une valorisation spécifique de la protection de l'écosystème.

Avec les réserves qu'imposent ces limites, plusieurs observations peuvent être faites concernant les résultats présentés ci-dessus. Nous les regrouperons en deux rubriques : celles qui concernent l'ampleur du coût social des marées vertes, et celles qui concernent sa répartition.

✓ Importance quantitative du coût social des marées vertes

L'ordre de grandeur auquel nous parvenons concernant le coût annuel total des marées vertes (24,58 milliards de CNY par an en moyenne) est très éloigné de celui des chiffres publiés à ce sujet par la SOA, qui fait état d'un coût de 1,289 milliards de CNY pour l'année 2008, de 641 millions de CNY pour 2009 et de 300 millions de CNY pour 2012 (SOA, Bulletin du désastres maritimes en Chine, 2008, 2009, 20012). La méthodologie et le champ de cette évaluation ne sont pas précisés, ce qui rend difficile la comparaison avec notre propre évaluation. Dans celle-ci, l'essentiel du coût provient de l'évaluation du manque à gagner pour l'industrie touristique (22,2 milliards de CNY) et de la perte d'aménité subie par les usagers non marchands (2,25 milliards de CNY). Nous ignorons si ces éléments du coût des marées vertes ont été pris en compte dans l'évaluation de la SOA et, au cas où ils l'ont été, selon quelle méthode.

Pour prendre la mesure de l'importance quantitative de l'estimation à laquelle nous parvenons, on peut tout d'abord la rapprocher du PIB des deux provinces concernées par le phénomène (cf. supra, **Tab. 22**). Selon cette estimation, le coût annuel moyen des marées vertes en Mer Jaune représente environ 0,24% du PIB cumulé du Jiangsu

et du Shandong (10406,1 milliards de CNY en 2012). Le fait que notre évaluation soit dominée par le coût pour l'industrie touristique et les activités récréatives s'explique en premier lieu par le poids du tourisme dans l'économie de la zone d'étude qui, au vu des statistiques disponibles, apparaît beaucoup plus important que celui des autres secteurs d'activité impactés (supra, **Tab. 22**). Toutefois, on ne peut exclure qu'il résulte également d'artefacts issus de notre méthode d'évaluation.

Le premier artefact possible tient à une éventuelle surévaluation du coût des marées vertes pour l'industrie touristique. Rappelons que celle-ci n'a accusé une baisse de son activité qu'en 2008 à Qingdao, la croissance de la dépense touristique reprenant dès l'année suivante en dépit de la récurrence des marées vertes. Le manque à gagner que nous avons estimé pour cette industrie résulte de l'écart observé par rapport à des tendances antérieures, en tenant compte du ralentissement de la croissance économique intervenu après 2008. Parmi d'autres facteurs possibles de biais, figure le fait que nous n'avons pas inclus dans notre estimation l'effet d'éventuels transferts de fréquentation vers des zones du Shandong non (ou moins) impactées que Qingdao par les marées vertes. En effet, l'existence de ces transferts nous a paru difficile à attester sur la base des statistiques disponibles.

Une autre source d'artefact peut être la non prise en compte ou la sous-évaluation de coûts marchands autres que ceux qui sont supportés par l'industrie du tourisme. En particulier, en ce qui concerne les coûts résiduels pour les activités, nous n'avons pas évalué les coûts pour la pêche, et nous avons conclu à l'inexistence de coûts résiduels pour l'aquaculture du Shandong après 2008. Dans les deux cas cependant, les ordres de grandeur en jeu permettent de conclure que les biais possibles ne sont pas de nature à bouleverser l'évaluation : le chiffre d'affaires cumulé de la pêche maritime dans le Jiangsu et dans le Shandong est de 40 milliards de CNY en 2012 (cf. **Tab. 22**), et l'essentiel de l'activité de ce secteur se déroule en dehors de la période des marées vertes ; quant au chiffre d'affaires de l'aquaculture marine, pour les espèces sensibles

aux marées vertes, il ne dépasse pas 15,2 milliards de CNY en 2012 pour l'ensemble de la province du Shandong (y compris les zones non impactées par les marées vertes).

Une source de biais plus importante peut résider dans le secteur non marchand. D'une part, nous avons renoncé à évaluer le coût environnemental des marées vertes, ce qui entraîne une surestimation potentielle de la part des coûts marchands (notamment touristiques) dans l'évaluation du coût social des marées vertes. D'autre part, l'évaluation que nous avons réalisée des pertes d'aménités subies par les usagers récréatifs du littoral (2250 millions de CNY) est soumise à de fortes incertitudes. Parmi celles-ci, la question de la représentativité de notre échantillon tient une place centrale. Portant exclusivement sur la composition par niveau d'éducation du sous-échantillon des résidents, le redressement statistique auquel nous avons procédé n'est sans doute pas suffisant. Nous avons effectué des choix méthodologiques conservateurs qui sont de nature à biaiser notre estimation vers le bas : l'affectation d'un consentement à payer nul aux personnes qui n'avaient pas déclaré avoir eu connaissance des marées vertes avant l'enquête, et l'exclusion, dans la population des résidents, de la tranche d'âge des personnes de 65 ans et plus. Toutefois, d'autres facteurs non contrôlés (notamment l'effet du lieu d'enquête) sont susceptibles d'agir en sens inverse. Tout au plus peut-on relever que les consentements à payer obtenus pour un phénomène aussi fortement médiatisé que les marées vertes à Qingdao restent limités, en valeur absolue (30 CNY par personne et par an pour les résidents après redressement, 35-37 CNY par personne et par an pour les touristes), mais aussi en rapport avec les revenus des déclarants (en moyenne 0,25% du revenu des répondants ayant déclaré avoir connaissance du phénomène, zéros de protestation exclus).

✓ Répartition du coût social des marées vertes

Rapportés au chiffre d'affaires des activités concernées, les coûts infligés par les marées vertes apparaissent très variables. En amont du phénomène, les cultivateurs du

nori supportent des coûts liés au tri des algues et au nettoyage de leurs équipements de culture, qui ont été estimés à 19 millions de CNY et comptabilisés dans les coûts de gestion des marées vertes au titre de la prévention¹. Ces coûts, intégralement supportés par les producteurs, représentent 2,4% du chiffre d'affaires de l'activité de culture de nori du Jiangsu. Selon notre estimation, les activités aquacoles situées en aval (élevages d'espèces sensibles aux marées vertes) ne supportent plus, après 2008, que les coûts de la protection des exploitations contre la mortalité causée par les marées vertes. Ces coûts, comptabilisés dans les coûts de gestion des marées vertes au titre de la mitigation, sont eux aussi intégralement supportés par les producteurs et ont été estimés à 33 millions de CNY. Cette estimation représente 0,22% du chiffre d'affaires de l'aquaculture des espèces concernées dans la province du Shandong. L'estimation est plus élevée pour l'industrie du tourisme, non seulement en termes absolus, mais aussi en relation avec le chiffre d'affaires de l'activité : selon cette estimation, le manque à gagner imputable aux marées vertes représente, en moyenne, environ 5% de la dépense touristique totale dans la province du Shandong et, à l'intérieur de celle-ci, environ 30% pour la ville de Qingdao (soit environ 23% de la dépense qui aurait été enregistrée en l'absence de marée verte). Rappelons enfin que, pour les usages récréatifs du littoral, l'estimation de la perte d'aménité résultant de notre évaluation contingente représente en moyenne 0,25% du revenu des personnes concernées.

La répartition du coût social des marées vertes entre coût de gestion et coût résiduel fait apparaître une écrasante prédominance de ce dernier (plus de 99% du total). Ce

¹ Une partie de ce coût vise à prévenir un manque à gagner interne, dans la mesure où la présence d'ulves dans le nori fait baisser sa valeur marchande. Ce n'est pas le tri des algues qui contribue à la prévention des marées vertes, mais le fait de ne pas rejeter à la mer les ulves issues de ce tri et du nettoyage des équipements. En pratique, nous ne disposons pas d'informations permettant de distinguer ces deux aspects du travail imposé aux algoculteurs par la présence des ulves sur leurs exploitations.

déséquilibre s'explique essentiellement par le poids du tourisme et des activités récréatives dans l'évaluation. Il serait encore accru, mais de façon marginale, par la prise en compte des coûts résiduels pour la pêche (et, éventuellement, de coûts résiduels pour l'aquaculture que nous aurions omis de comptabiliser). Par ailleurs, notre estimation des coûts de gestion est minorée par le fait que nous avons comptabilisé les bénéfices de la valorisation en déduction de ces coûts. Toutefois, cet effet, probablement surestimé dans notre estimation (voir supra, 2.2.3), reste tout à fait marginal, au moins jusqu'en 2013. La situation concernant la valorisation devrait évoluer avec les investissements réalisés en 2014 (supra, 1.3.3).

Le coût social des marées vertes peut également être réparti entre coût supporté par les pouvoirs publics (coût public) et coût supporté par des agents privés (coût privé). Le coût public se limite au coût de gestion, dont il ne représente qu'une partie. En effet, à l'intérieur du coût de gestion, les coûts de prévention (19 milliards de CNY) et les coûts de protection des élevages (33 milliards de CNY) sont supportés par les aquaculteurs, de sorte que près de 40% du coût brut de la gestion des marées vertes (136 milliards de CNY) est supporté par des producteurs privés. Compte tenu de la faible part des coûts de gestion dans le coût social total des marées vertes, il ressort donc de notre estimation que l'essentiel du coût social des marées vertes est supporté par des agents privés (aquaculteurs, industrie du tourisme, usagers récréatifs). Cependant, ce résultat sous-estime probablement le coût public, pour deux raisons. La première est l'impact de la perte de revenus privés sur les recettes fiscales, dont nous n'avons pas tenu compte dans nos calculs. La seconde est l'absence de données sur les aides publiques à la valorisation des algues.

En ce qui concerne la répartition géographique du coût social des marées vertes, on note en premier lieu que les coûts résiduels estimés sont supportés par la province du

Shandong, à l'exception de la perte d'aménité d'une partie des usagers du littoral¹. Ce résultat traduit le fait que le Shandong est la province principalement impactée par le phénomène (cf. supra, chapitre 1). Il sous-estime toutefois les coûts résiduels supportés par le Jiangsu, notamment du fait de la non-prise en compte de l'impact des marées vertes sur la pêche (cf. entretiens en Annexe 2). Pour les coûts de gestion des marées vertes, la répartition par province est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 42.
Répartition par province des coûts de gestion estimés des marées vertes*

	Jiangsu	Shandong	Total
Prévention	19		19
Surveillance	10	4	14
Filets		5	5
Protection aquaculture		33	33
Collecte	15	50	65
Total brut	44	92	136
Valorisation		7	7
Total net	44	85	129

* Coûts annuels moyens, en million de CNY (Elaboration personnelle)

Selon notre estimation, environ un tiers du coût total de gestion des marées vertes est supporté par la province du Jiangsu (en premier lieu au titre des opérations de prévention mises en œuvre par les algoculteurs de la province), les deux tiers restant étant supportés par la province du Shandong (en premier lieu au titre de la collecte des algues). Certains éléments du coût de gestion sont absents du tableau ci-dessus (par

¹ Touristes provenant de l'extérieur du Shandong. Dans le cadre de l'enquête auprès du public que nous avons menée à Qingdao, 80% des personnes du sous-échantillon des non-résidents résidaient à l'extérieur du Shandong (5% dans le Jiangsu, 75% dans les autres provinces de la Chine).

exemple la pose de filets d'interception dans certaines municipalités), et par ailleurs certaines estimations, notamment à dire d'expert, ont un caractère imprécis. Mais ce constat ne permet pas de conclure à l'existence d'un biais d'estimation en faveur d'une province.

Enfin, en ce qui concerne la répartition des coûts selon le rôle joué dans le développement des marées vertes, les résultats de notre estimation font apparaître une application très incomplète du principe pollueur-payeur au cas d'étude. Si l'on se limite aux activités dont le rôle dans le développement des marées vertes fait l'objet d'une identification assez précise, c'est-à-dire la filière FCM pour l'élevage de crabes et la culture de nori, on constate que seule la seconde participe au coût de la lutte contre les marées vertes, à travers les opérations de prévention réalisées par les algoculteurs, dont le coût est estimé à 19 millions de CNY et représente 2,4% de leur chiffre d'affaires. La filière FCM-crabes, qui a, comme la culture du nori, connu dans le Jiangsu un développement spectaculaire dans les années 2000 (supra, **Tab. 6** et **Tab. 8**) n'est, à notre connaissance, pas contrainte de participer à la lutte contre les marées vertes. Son poids dans l'économie de la province est beaucoup plus lourd que celui de la culture de nori : pour le seul élevage de crabes, le rapport des chiffres d'affaires est de l'ordre de 40 à 1 (**Tab. 22**). Pour couvrir l'ensemble des coûts de gestion des marées vertes (autres que ceux qui sont supportés par les éleveurs de nori), il suffirait, d'après notre estimation, que les éleveurs de crabes contribuent à ces opérations à hauteur de 0,35% de leur chiffre d'affaires de 2012.

2.4.2. Scénarios de gestion

L'analyse coût-avantage vise principalement à permettre la comparaison de scénarios alternatifs dans le domaine des politiques publiques. Dans le cas étudié ici, plusieurs scénarios peuvent être envisagés en matière de gestion par les pouvoirs publics du phénomène des marées vertes. Nous en retenons trois :

- Scénario 1 : statu quo
- Scénario 2 : abattement
- Scénario 3 : valorisation

Le premier scénario a été décrit dans le cadre de l'évaluation du coût social de la marée verte. Les deux autres scénarios, du fait de leur caractère hypothétique, ne peuvent être caractérisés de façon aussi détaillée. Nous les décrivons ci-dessous, et les comparons au scénario 1.

✓ Scénario 2 : abattement

Le scénario d'abattement consiste à traiter le problème des marées vertes à la source, c'est-à-dire à s'attaquer aux causes mêmes des marées vertes. Comme on l'a vu, ces causes sont vraisemblablement multiples, mais il existe une forte suspicion que l'explosion des marées vertes en Mer Jaune à partir de 2008 ait été rendue possible par le développement rapide et simultané de l'élevage de crabes *eriocheir sinensis* selon la filière FCM et de la culture en pleine mer d'algues rouges *Porphyra yezoensis*. Si l'on fait l'hypothèse selon laquelle c'est la combinaison de ces deux développements qui permet les marées vertes, on en déduit qu'il suffit de ramener l'une des deux activités à son niveau antérieur pour y mettre fin. Si l'on retient l'hypothèse moins favorable selon laquelle le développement d'une seule des deux activités aurait suffi à provoquer les marées vertes, il convient de faire porter l'abattement sur les deux activités simultanément.

Le tableau ci-dessous met en évidence l'incidence qu'aurait, sur chaque activité, le fait de ramener le niveau de production à son niveau antérieur à l'apparition des marées vertes (défini comme le niveau moyen des années 2000-2006) :

**Tab. 43. Scénario d'abattement :
variations d'activité dans les secteurs à la source des marées vertes**

	Culture d'algues rouges	Elevage de crabes
(a) Production* moyenne 2000-2006	12,14	181,80
(b) Production* moyenne 2007-2013	23,78	297,31
(c) Baisse d'activité* requise par le scénario 2 : (c) = (a) – (b)	- 11,64	- 115,51
(d) Prix moyens** 2007-2013	30,98	100,36
(e) Perte de chiffre d'affaires*** dans le scénario 2 : (e) = (c) × (d)	- 360,61	-11 592,58

* Milliers de tonnes. ** Milliers de CNY / tonne. *** Millions de CNY. Source : China Fisheries Yearbook.

Selon les résultats ci-dessus, s'il suffit de restreindre une seule des deux activités, il est nettement moins coûteux de faire porter l'abattement sur la culture d'algues rouges que sur l'élevage de crabes : alors que la perte de chiffre d'affaires est de 361 millions dans le premier cas, elle atteint 11,59 milliards de CNY dans le second cas.

En supposant que l'abattement soit efficace, le résultat du scénario 2 (relativement au scénario 1 correspondant au statu quo) serait égal, en valeur absolue, aux coût de la marée verte correspondant au scénario 1, diminué de la perte de chiffre d'affaires pour l'activité ou les activités subissant l'abattement. Dans le tableau ci-dessous, on calcule ce résultat sous trois hypothèses : abattement portant sur la culture de nori (H1), abattement portant sur l'élevage de crabes (H2), abattement portant sur les deux activités simultanément (H3).

Tab. 44. Scénario d'abattement : calcul du résultat net* selon l'hypothèse d'abattement

Résultats du scénario 2 relativement au scénario 1		H1 (nori)	H2 (crabes)	H3 (nori et crabes)
Bénéfices (= coûts des marées vertes évités)	Coûts de gestion	129	129	129
	Coûts résiduels	24 450	24 450	24 450
	Total	24 579	24 579	24 579
Coûts (= abattement)		361	11 593	11 954
Résultat net		24 218	12 986	12 625

* Millions de CNY. Elaboration personnelle.

Le scénario 2 apparaît largement bénéficiaire dans les trois hypothèses, même si l'hypothèse d'un abattement portant exclusivement sur la culture de nori (H1) apparaît beaucoup plus favorable que les deux autres. Cependant, même dans l'hypothèse la plus favorable, le scénario ne permet pas de dégager de bénéfices suffisants pour compenser le coût de l'abattement si, au titre des coûts économisés, on ne considère que les coûts de gestion des marées vertes (129 millions de CNY, selon notre estimation). Ce constat souligne l'importance d'une appréhension non tronquée du coût social des marées vertes.

Par ailleurs, même si l'efficacité du scénario était garantie, sa mise en œuvre pourrait se heurter à une difficulté importante du fait de ses effets distributifs : alors que ses bénéficiaires se trouveraient essentiellement dans une province (le Shandong), les coûts de sa mise en œuvre reposeraient sur des activités localisées dans l'autre province (le Jiangsu). Le tableau ci-dessous illustre cette dissymétrie :

Tab. 45. Répartition par province des coûts et bénéfices du scénario d'abattement*

Résultats du scénario 2 relativement au scénario 1		Jiangsu	Shandong	Autres	Total
Bénéfices	Coûts de gestion	44	85		129
	Tourisme		22 200		22 200
	Activités récréatives**	102	610	1 538	2 250
	Total	146	22 895	1 538	24 579
Coûts [H1 ; H3]***		[361 ; 11 954]			[361 ; 11 954]
Résultat net [H1 ; H3]***		[-215 ; -11 808]	22 895	1 538	[24 218 ; 12 625]

* Millions de CNY. ** Ventilation des usagers récréatifs selon le lieu de résidence. *** selon l'hypothèse d'abattement. Elaboration personnelle.

Pour le Jiangsu, même dans l'hypothèse la plus favorable, les coûts du scénario d'abattement l'emportent largement sur ses bénéfices : pour cette province, les bénéfices sont estimés à 146 millions de CNY alors que les coûts s'élèvent à 361

millions de CNY dans l'hypothèse H1. Par suite, même si le scénario est efficace pour l'ensemble formé par les deux provinces, les incitations à le mettre en œuvre risquent d'être faibles dans le Jiangsu.

Coase a montré que ce genre de difficulté pouvait en principe être résolu par une négociation directe entre les parties et que, sur le plan de l'efficacité (entendue comme la capacité à rejoindre une situation Pareto-optimale), il était indifférent que les pollueurs indemnisent les pollués ou l'inverse (Coase, 1960). Cependant, comme l'a souligné son auteur, cet énoncé (appelé ultérieurement « théorème de Coase ») suppose l'absence de coûts de transaction, ce qui est souvent loin de la réalité, en particulier lorsque les sources ou les cibles de la pollution sont diffuses.

Par ailleurs, pour que la négociation censée aboutir à une solution efficace puisse se tenir, il est indispensable qu'il y ait un consensus initial entre les parties sur la répartition légitime des droits à agir sur l'environnement. Par exemple, les pollueurs n'accepteront d'indemniser les pollués que s'ils reconnaissent que ces derniers ont un droit légitime à ne pas subir les effets de la pollution issue de leur activité (et inversement : pour que les pollués acceptent l'idée d'indemniser les pollueurs en contrepartie de la réduction de leur activité polluante, il faut qu'ils admettent que ces derniers ont un droit légitime à polluer l'environnement). Or il arrive fréquemment que la négociation coasienne soit bloquée par l'absence de cet accord initial entre les parties (voir par exemple Boncoeur et al., 2000).

Le déblocage de la situation exige alors l'intervention d'une autorité supérieure (en général étatique), dans le but d'imposer aux parties une « règle du jeu » susceptible de les faire converger vers une solution efficace. Cette intervention peut prendre la forme d'une contrainte administrative (normes) ou reposer sur un mécanisme économique d'incitations (taxation ou distribution, gratuite ou payante, de droit à polluer transférables). Toutefois, l'efficacité de cette intervention n'est pas garantie. Non seulement la forme qu'elle prend est susceptible d'influer fortement sur le résultat

(Costello et al., 2008), mais, en outre, les mobiles réels de l'intervention publique peuvent être assez éloignés de la recherche d'un optimum de Pareto (recherche de la « paix sociale » par exemple, ou neutralisation des groupes de pression ayant la capacité de nuisance la plus forte - Mesnil, 2008).

✓ Scénario 3 : valorisation

La valorisation d'une partie des algues collectées lors des marées vertes est pratiquée à Qingdao depuis 2008 par une entreprise filiale de l'Université Océanique de Chine, qui porte aujourd'hui le nom de *Qingdao Seawin Biotech Group*. Se bornant dans un premier temps à sécher les algues pour les transformer ensuite en engrais, cette valorisation évolue vers des formes plus sophistiquées avec la mise en service, en 2014, d'une nouvelle implantation industrielle dédiée au bio-raffinage et dotée d'une capacité de traitement de 3000 tonnes par jour (cf. chapitre 1, section 1.3.3).

Les données sur la valorisation que nous avons utilisées dans le cadre de l'évaluation du coût social des marées vertes (scénario 1) ne prennent pas en compte cette nouvelle étape. En dépit de leur caractère très limité, elles nous ont permis de constater que, jusqu'en 2013, la valorisation n'a occupé qu'une place marginale dans le bilan économique global des marées vertes. La situation devrait évoluer avec l'investissement réalisé en 2014, mais nous ne disposons pas de données suffisantes sur ce changement pour construire un scénario documenté intégrant les nouvelles conditions de la valorisation. Rappelons que, sur la question des opportunités de valorisation industrielle des algues vertes, des avis différents ont été émis par les industriels du secteur que nous avons rencontrés dans le cadre de notre enquête auprès des acteurs (supra, chapitre 1, section 1.3.3 et annexe 2). On se bornera ici à présenter certaines contraintes auxquelles est soumise la valorisation des algues vertes collectées dans le cadre des marées vertes.

Une première contrainte concerne la qualité des ulves récoltées. Le ramassage sur le littoral est peu propice à la valorisation, les ulves collectées par ce moyen étant dégradées et mélangées à des matériaux divers. De ce point de vue, la collecte en mer est plus intéressante, et cet avantage vient s'ajouter à d'autres bienfaits de ce mode de collecte : il permet d'éviter les dommages causés par l'échouage des algues sur le littoral, ainsi que les dommages consécutifs à l'enlèvement des algues échouées (dégradation des plages notamment). L'inconvénient majeur de ce mode de collecte est son coût élevé (cf. supra, 2.2.2), du fait notamment de la dispersion spatiale des algues en mer : sur les années 2008-2014, la surface maximale de répartition des algues en mer lors des marées vertes représente en moyenne 44 fois la surface maximale couverte (supra, **Tab. 7**). La mise en œuvre, en 2014, d'un nouveau système de collecte appuyé sur une barge de traitement des algues (« méthode 1+X » - cf. chapitre 1, section 1.3.2) est de nature à faire baisser le coût de la collecte en mer et donc à contribuer à la viabilité économique de la valorisation, dans des proportions qu'il conviendrait de préciser.

Une seconde contrainte est la disponibilité de la matière première. Si les marées vertes qui se produisent chaque année en Mer Jaune ont depuis 2008 un caractère massif, leur abondance est très irrégulière. On ne dispose pas d'estimations annuelles sur les biomasses, mais seulement d'estimations concernant les surfaces en mer occupées par les algues pendant ces épisodes (supra, **Tab. 7**). Selon l'indicateur de la surface maximale couverte, l'ampleur des marées vertes peut varier selon les années d'un facteur 1 à 8 environ. Lors de la marée verte de 2008, la biomasse totale a été estimée à 3 millions de tonnes (Sun et al., 2008), pour une surface couverte de 650 km², ce qui donne un ratio de 4600 tonnes par km² environ. Si l'on applique ce ratio aux surfaces couvertes lors des marées ultérieures, on obtient une estimation de la biomasse maximale comprise entre 1,2 million de tonnes et 9,7 millions de tonnes selon les années. Une partie de ces algues coule naturellement (environ les deux tiers selon l'estimation réalisée en 2008), et les algues « survivantes » suivent des itinéraires et se

déplacent à des rythmes qui peuvent varier d'une année à l'autre selon les conditions hydroclimatiques (d'où l'importance de la télédétection). Cette variabilité, qui complique la planification des opérations de collecte en mer, peut être illustrée par l'écart entre les valeurs extrêmes du rapport entre surface de répartition et surface couverte : ces valeurs s'établissent à 27,7 et 92,6 sur la période 2008-2014 (supra, **Tab. 7**).

Une piste pour contourner cette difficulté serait de réaliser la collecte des algues « en amont », c'est-à-dire au large des côtes du Jiangsu, plutôt que de celles du Shandong. Outre l'avantage d'une moindre dispersion spatiale, des effets potentiellement intéressants pour la valorisation industrielle pourraient provenir du fait de collecter les ulves à un stade plus précoce de leur cycle de vie. L'échelle de l'opération serait en outre radicalement différente : selon une étude scientifique récente (He et al., 2015), une tonne d'ulves dans la province du Jiangsu donne lieu en moyenne à 200-300 tonnes d'ulves dans la province du Shandong.

Chapitre 3.

Mesure spatialisée des effets économiques de la valorisation des algues vertes

L'insuffisance des données concernant la valorisation des algues récoltées lors des épisodes de marée verte constitue une limite importante de l'analyse coût-avantage présentée au chapitre précédent. Elle affaiblit l'évaluation du coût social des marées vertes et, de plus, ne permet pas de construire un scénario documenté concernant le développement de la valorisation à la suite des investissements récemment réalisés dans ce domaine (supra, chapitre 2, section 2.4.2).

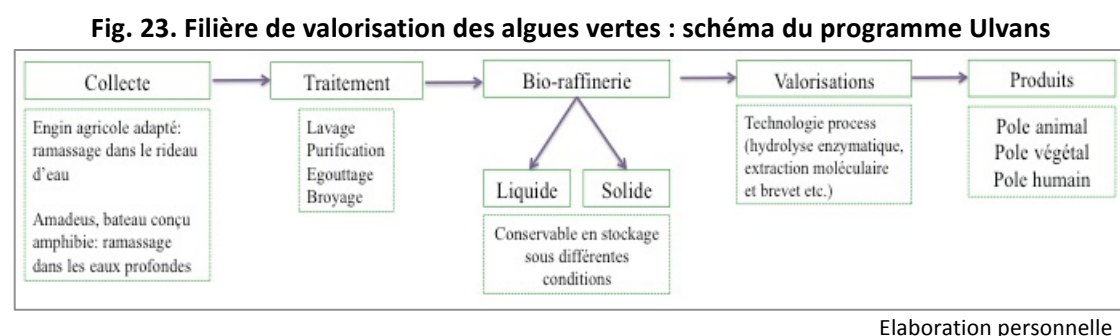
Par ailleurs, la quantification des incidences économiques des marées vertes que l'on a menée au chapitre précédent n'a pas couvert les effets indirects et induits du phénomène (effets de filière¹ et effets générés par les modifications de revenus). La prise en compte de ces effets aurait nécessité le recours à des données et outils qui n'étaient pas disponibles, ou pas accessibles, aux échelles spatiales pertinentes.

Le troisième chapitre de cette thèse a pour ambition de traiter ces deux questions. Il se focalise sur la valorisation industrielle des algues vertes et cherche à mesurer, à différentes échelles spatiales, les effets économiques de cette valorisation, en prenant en compte non seulement les effets directs, mais aussi les effets indirects et les effets induits. Pour des raisons de disponibilité des données, l'analyse menée dans ce chapitre concerne une zone différente de celle qui a fait l'objet des deux chapitres précédents. Cette zone est la Bretagne, où les marées vertes sont également un phénomène

¹ En dehors de la description qualitative de la filière aviculture – élevage de crabes suscitée par le développement de la méthode FCM dans la province du Jiangsu (voir supra, chapitre 2, section 2.1.1).

récurrent et ont donné lieu à une opération de valorisation industrielle constituant la base du cas étudié dans ce chapitre.

Cette opération a été développée, sous le nom de programme Ulvans, par un consortium conduit par une entreprise basée dans le Morbihan, la société Olmix (www.olmix.com), spécialisée dans la valorisation des algues, et qui est le partenaire industriel de la présente thèse dans le cadre d'un contrat CIFRE. Lancé en 2012 avec le soutien financier de la Banque Publique d'Investissement, le programme Ulvans représente un investissement total de 25 millions d'euros (Guillas, 2013)². Son objet est le développement d'une filière de valorisation des algues vertes en Bretagne, depuis la collecte jusqu'à la mise en marché de nouveaux produits dans les domaines de la santé et de la nutrition végétale, animale et, éventuellement, humaine (**Fig. 23**). À cette fin, une bio-raffinerie dédiée au traitement des algues a été mise en service en 2013 à Plouénan, dans le Finistère. Le montant de cet investissement est de 5 millions d'euros, et la capacité de traitement de l'usine est de 100 tonnes d'algues par jour.



Il s'agit, dans ce chapitre, de mesurer les retombées économiques directes, indirectes et induites du programme Ulvans à l'échelle nationale et à l'échelle régionale. Dans un premier temps, on décrit le modèle théorique de l'évaluation (3.1). Puis on présente l'application numérique de ce modèle au cas d'étude (3.2).

² dont 10,7 millions d'euros de soutien public (4 millions sous forme de subvention, 6,7 millions sous forme d'avance remboursable).

3.1. Modèle théorique

Cette section expose les principes d'une modélisation permettant de simuler, à l'échelle d'une zone donnée, l'impact économique potentiel d'une innovation industrielle consistant à transformer une ressource primaire jusque là inexploitée en intrant utilisable par des entreprises situées à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone. Trois indicateurs macroéconomiques sont privilégiés : le produit intérieur brut (PIB), l'emploi et le solde des échanges extérieurs de la zone. L'outil utilisé pour la simulation est le *tableau entrées-sorties* (TES), dans sa version dite « symétrique ».

Dans un premier temps, on décrit la façon dont le TES représente l'économie de la zone d'étude (3.1.1). Les deux sous-sections suivantes sont consacrées à deux modèles construits à partir du TES en vue de simuler les effets de chocs exogènes sur l'économie de la zone : choc de demande (3.1.2), puis choc de coût (3.1.3). Enfin, on utilise ces deux modèles pour simuler les effets potentiels de l'innovation sur l'économie de la zone (3.1.4).

3.1.1. Représentation de l'économie de la zone d'étude

Après avoir décrit le principe du TES, on introduit la distinction entre TES standard et TES symétrique, puis on formalise les relations existant au sein d'un TES symétrique.

1) Principe du TES

Issu des travaux de Leontief sur la structure de l'économie américaine (Leontief, 1941), le TES est un tableau statistique utilisé en comptabilité nationale pour représenter les flux annuels de biens et services caractérisant le fonctionnement de l'économie d'une zone déterminée (le plus souvent un pays). Le principe de cette représentation consiste à ventiler le système productif de la zone entre différentes

branches, formées d'unités de production homogènes fournissant un même *produit*³. Le point de départ de la construction du TES est donc une *nomenclature de produits*, à caractère plus ou moins désagré. À chaque produit de la nomenclature correspond une branche, formée des unités de production homogènes de la zone fournissant ce produit. Il existe donc, en principe, une relation bijective entre branches et produits⁴.

Le TES est un tableau à double entrée dans lequel les produits figurent en ligne, les branches en colonne. Croisant produits et branches, sa partie centrale décrit les relations qui s'établissent au sein du système productif à l'occasion des échanges interbranches de produits utilisés comme consommations intermédiaires (consommations productives de biens non durables et de services extérieurs).

La lecture du TES par ligne permet de connaître l'équilibre ressources-emplois pour chaque produit. Les ressources sont constituées par la production domestique (provenant de la zone) et les importations (production provenant de l'extérieur de la zone). Les emplois des produits sont ventilés entre emplois intermédiaires (utilisations du produit comme consommation intermédiaire par les branches) et emplois finals : consommation finale, formation brute de capital fixe (FBCF), variation de stocks, exportations (utilisations du produit à l'extérieur de la zone).

La lecture du TES par colonne permet de décomposer la production de chaque branche en consommations intermédiaires et valeur ajoutée (écart entre la valeur de la production de la branche et celle de ses consommations intermédiaires, permettant normalement d'amortir les immobilisations et de rémunérer les facteurs de production et les entrepreneurs).

Le TES permet de calculer le PIB de la zone par deux voies : par application de la définition du PIB comme somme des valeurs ajoutées des branches, et par le biais de l'équilibre global des ressources et des emplois des produits.

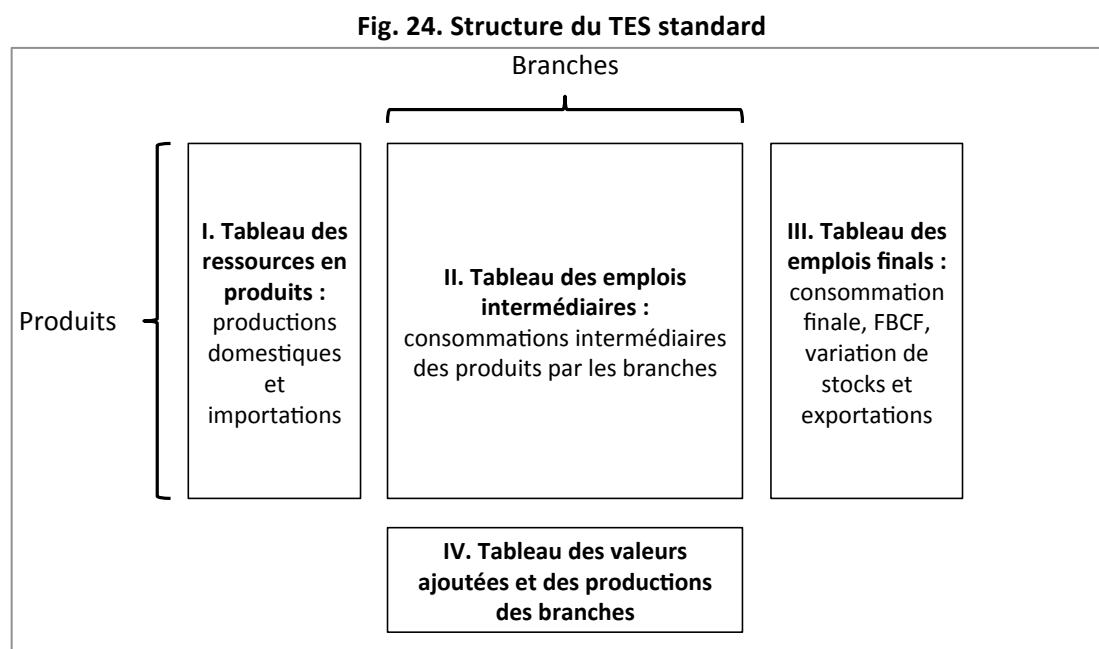
³ Lorsqu'une entreprise produit des biens ou services appartenant à différents postes de la nomenclature, elle est ventilée, au prorata de ses différentes productions, en plusieurs unités de production homogènes.

⁴ En pratique, ce principe connaît des exceptions, qui constituent un des aspects de la différence entre TES standard et TES symétrique.

2) TES standard et TES symétrique

On distingue deux types de TES : le TES « standard », et le TES « symétrique ». La différence entre ces deux versions concerne, notamment, le traitement des importations⁵. Seul ce point sera développé ici (pour une présentation détaillée du passage du TES standard au TES symétrique dans le cas français, voir Braibant et Arthaut, 2011).

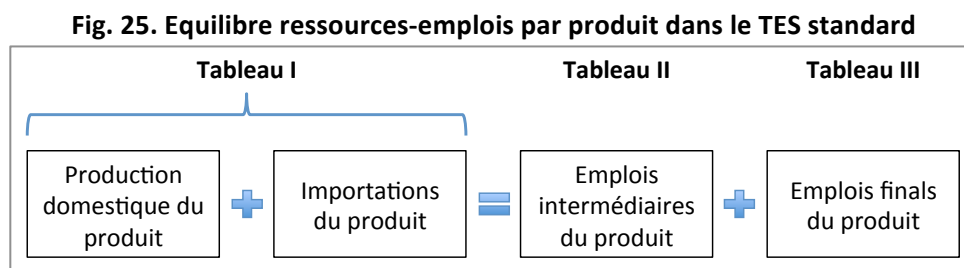
Dans le TES standard, les emplois des produits importés et ceux de leurs homologues d'origine locale sont confondus. Cette première version du TES se présente sous la forme de 4 tableaux interconnectés⁶ :



⁵ Les autres différences concernent les écarts éventuels entre les nomenclatures de branches et de produits (harmonisation sur une base « produit-produit » dans le TES symétrique), le traitement des produits fatals et des ventes résiduelles (constitution de « branches homogènes » dans le TES symétrique), et la valorisation des produits (intégralement au prix de base dans le TES symétrique).

⁶ Dans la présentation simplifiée que nous donnons ici, il n'est pas tenu compte de la différence de valorisation qui peut exister (dans le TES français par exemple) entre les ressources (aux prix de base) et les emplois des produits (aux prix d'acquisition). De même, il est fait abstraction des ventes résiduelles et des transferts de produits fatals, qui amènent à distinguer, en pratique, la production des branches de la production distribuée des produits (sur ces questions, cf. Braibant et Arthaut, 2011).

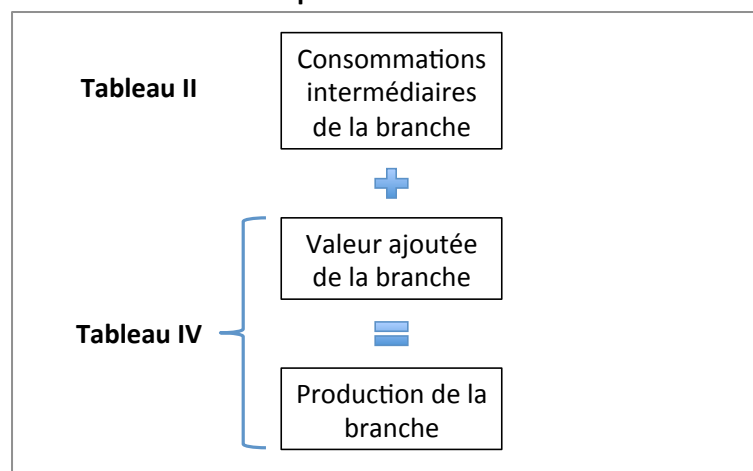
Les trois premiers tableaux comportent une ligne par produit. Le tableau I rassemble, pour chaque produit, la production domestique et les importations. Le tableau II regroupe les utilisations de chaque produit sous forme de consommation intermédiaire par les branches. Il se présente sous la forme d'une matrice carrée, comportant une colonne par branche utilisatrice. Le tableau III regroupe, pour chaque produit, la consommation finale, la FBCF, les variations de stock et les exportations. La lecture en ligne de ces trois tableaux fait apparaître l'équilibre ressources-emplois par produit :



Situé sous le tableau II et comportant comme celui-ci une colonne par branche, le tableau IV présente la valeur de la production de chaque branche (par définition égale à la production domestique du produit correspondant) ainsi que sa valeur ajoutée.

La lecture en colonne des tableaux II et IV fait apparaître la décomposition de la production de chaque branche en consommations intermédiaires et valeur ajoutée :

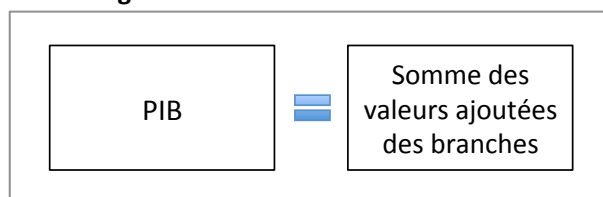
Fig. 26.
Composition de la valeur de la production des branches dans le TES standard



Les données du TES permettent de calculer de deux façons le PIB de la zone :

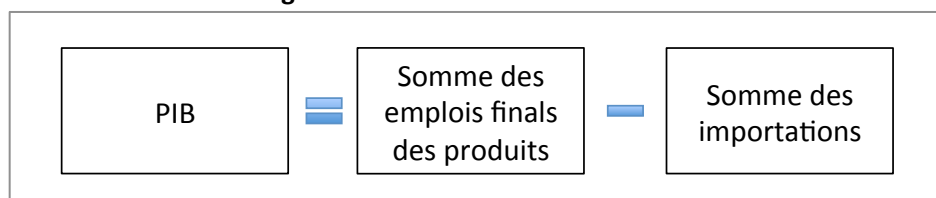
- par application de la définition du PIB :

Fig. 27. Calcul du PIB : 1^{ère} méthode



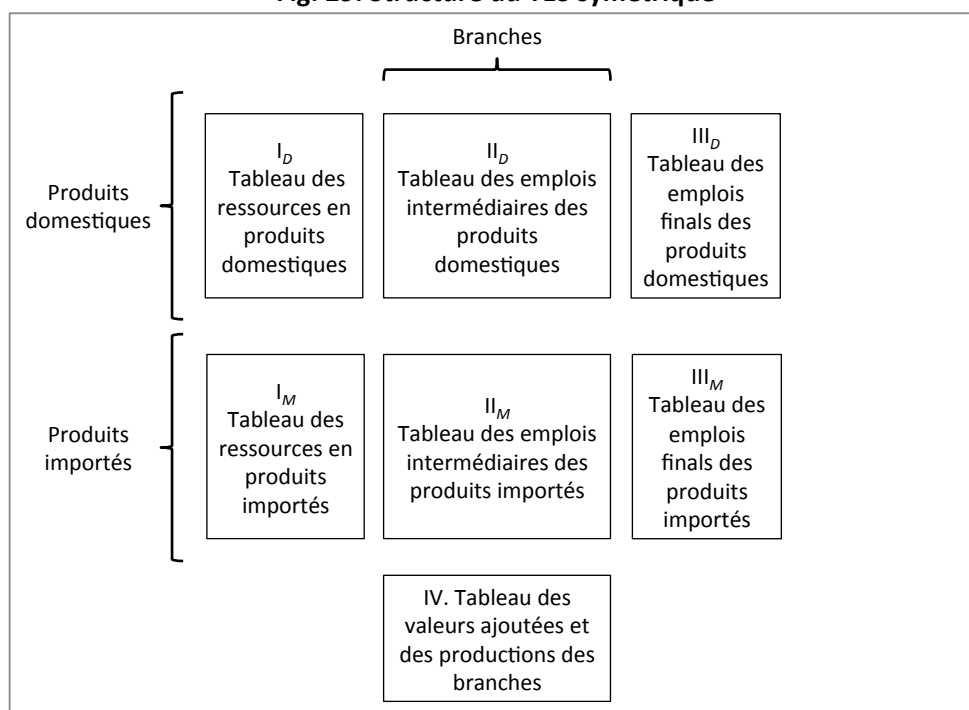
- ou par le biais de l'équilibre global ressources-emplois de l'ensemble des produits (après élimination des emplois intermédiaires) :

Fig. 28. Calcul du PIB : 2^{ème} méthode



Contrairement au TES standard, le TES symétrique décrit séparément les équilibres ressources-emplois des produits domestiques et des produits importés. À cet effet, les tableaux I, II et III sont dédoublés :

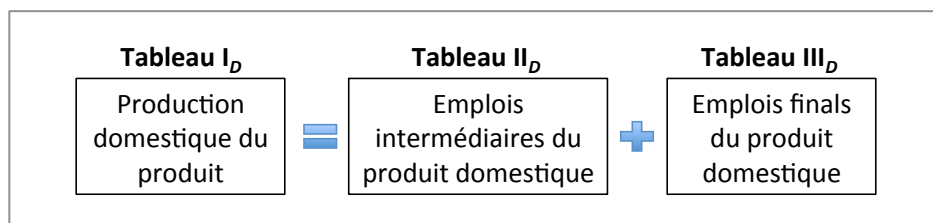
Fig. 29. Structure du TES symétrique



Le tableau I_D regroupe les productions domestiques et le tableau I_M les importations. Les tableaux II_D et II_M regroupent les consommations intermédiaires d'origine domestique et d'origine importée respectivement. De même, les tableaux III_D et III_M regroupent les emplois finals des produits d'origine domestique et d'origine importée respectivement. Le tableau IV est le même que dans le TES classique.

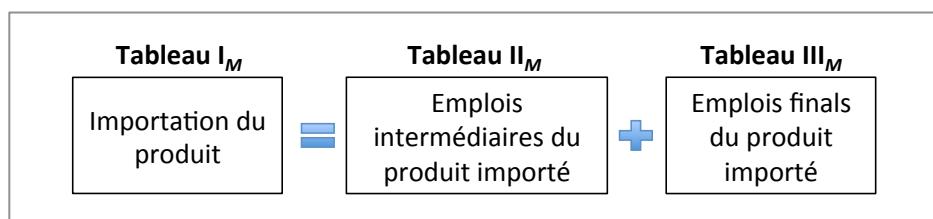
La lecture en ligne des tableaux I_D , II_D et III_D fait apparaître l'équilibre ressources-emplois pour chaque produit d'origine domestique :

Fig. 30.
Equilibre ressources-emplois des produits domestiques dans le TES symétrique



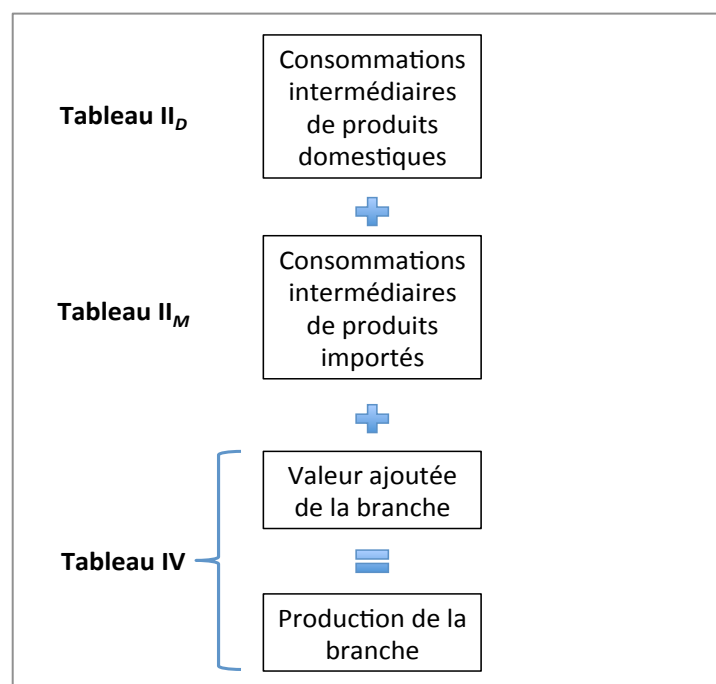
De même, la lecture en ligne des tableaux I_M , II_M et III_M permet de lire l'équilibre ressources-emplois pour chaque produit importé :

Fig. 31.
Equilibre ressources-emplois des produits importés dans le TES symétrique



La lecture en colonne des tableaux II_D , II_M et IV fait apparaître la décomposition de la production de chaque branche en valeur ajoutée et consommations intermédiaires, ces dernières étant distinguées selon leur origine (domestique ou importée) :

Fig. 32.
Composition de la valeur de la production des branches dans le TES symétrique



3) Représentation formalisée des relations au sein du TES symétrique

Par rapport à la version standard, la version symétrique du TES présente l'avantage, pour une analyse spatialisée, de faire apparaître la différence entre les produits provenant de la zone considérée et ceux qui proviennent de l'extérieur au sein des consommations intermédiaires de chaque branche. C'est pourquoi, dans la suite de ce chapitre, nous utiliserons cette version pour la modélisation de l'économie. Au préalable, nous représentons sous forme algébrique les relations de définition et de caractère comptable existant au sein d'un TES symétrique.

Le cadre présenté ici s'écarte sur deux points des TES symétriques généralement publiés dans les comptes nationaux :

1. Dans ces TES, la même nomenclature est utilisée pour les produits domestiques et pour les importations (les tableaux relatifs aux deux types de produits ont donc le même nombre de lignes). Or, si la nomenclature est détaillée et la zone d'étude restreinte, certains produits importés peuvent être sans équivalents domestiques. Dans ce cas, le TES symétrique comporte des lignes et colonnes vides. Nous

supposerons que ces lignes et colonnes ont été éliminées, de sorte que ne figurent plus, dans la partie « domestique » du TES, que des produits effectivement fournis par le système productif de la zone (et des branches fournissant effectivement ces produits). Par suite, le nombre de lignes des tableaux I_D , II_D et III_D n'est plus nécessairement égal à celui des tableaux I_M , II_M et III_M , et la matrice formant le tableau II_M n'est plus nécessairement carrée. Soit d le nombre de produits domestiques et de branches (numéros 1 à d), et m le nombre de produits importés (numéros $d+1$ à $d+m$).

2. Les emplois finals sont habituellement répartis en consommation finale, FBCF, variations de stocks et exportations. En liaison avec les hypothèses du modèle, nous adoptons une ventilation différente, distinguant deux catégories d'emplois finals : d'une part, la partie de la consommation finale dépendant des revenus générés par le PIB de la zone⁷, que nous appellerons « consommation finale endogène » ; d'autre part, les autres emplois finals, que nous appellerons « emplois finals exogènes ».

Appelons⁸ :

X_D et X_M les vecteurs des d productions domestiques ($x_1, \dots, x_d$) et des m importations ($x_{d+1}, \dots, x_{d+m}$) ;

CI_D et CI_M les matrices ($d \times d$) et ($m \times d$) des consommations intermédiaires de produits domestiques ($ci_{1j}, \dots, ci_{dj}$) et importés ($ci_{(d+1)j}, \dots, ci_{(d+m)j}$) par les branches de l'économie de la zone ($j = 1, \dots, d$) ;

C_D et C_M les vecteurs des consommations finales endogènes des produits domestiques ($c_1, \dots, c_d$) et importés ($c_{d+1}, \dots, c_{d+m}$) ;

⁷ Cette partie peut être estimée à partir de la part des revenus d'activité dans le revenu disponible des ménages de la zone d'étude.

⁸ De façon générale, les matrices et vecteurs sont notés avec des majuscules (X), les scalaires avec des minuscules (x). Le transposé de X est noté X' . Les vecteurs-colonnes sont écrits sans apostrophe, les vecteurs-lignes avec apostrophe (X = vecteur colonne, X' = vecteur-ligne). Les matrices diagonales sont notées avec un accent circonflexe ($\hat{X}$ est la matrice diagonale d'élément diagonal x_i).

Y_D et Y_M les vecteurs des emplois finals exogènes des produits domestiques ($y_1, \dots, y_d$) et importés ($y_{d+1}, \dots, y_{d+m}$) ;

EXP le vecteur des exportations ($exp_1, \dots, exp_d$)⁹ ;

VA' le vecteur des valeurs ajoutées des branches ($va_1, \dots, va_d$) ;

U_D et U_M les vecteurs-unités à d et m composantes ($u_i = 1$) respectivement.

Avec ces notations, on peut écrire :

- les équilibres ressources-emplois des produits domestiques :

$$x_i = \sum_{j=1}^d ci_{ij} + c_i + y_i \quad (i = 1, \dots, d)$$

$$\Leftrightarrow (1) \quad X_D = CI_D U_D + C_D + Y_D$$

- les équilibres ressources-emplois des produits importés :

$$x_i = \sum_{j=1}^d ci_{ij} + c_i + y_i \quad (i = d + 1, \dots, d + m)$$

$$\Leftrightarrow (2) \quad X_M = CI_M U_D + C_M + Y_M$$

- la définition de la valeur ajoutée des branches :

$$va_j = x_j - \sum_{i=1}^d ci_{ij} - \sum_{i=d+1}^{d+m} ci_{ij} \quad (j = 1, \dots, d)$$

$$\Leftrightarrow (3) \quad VA' = X_D' - U_D' CI_D - U_M' CI_M$$

⁹ Il n'est pas tenu compte des éventuelles réexportations, c'est-à-dire des exportations en l'état de produits importés ; les exportations formant une partie des emplois finals exogènes, on a, par définition, $exp_i \leq y_i$ pour tout produit ($i = 1, \dots, n$).

- la définition du PIB :

$$pib = \sum_{j=1}^d va_j$$

$$\Leftrightarrow (4) \quad pib = VA' U_D$$

- l'expression du PIB à partir de l'équilibre global ressources-emplois des produits :

$$pib = \sum_{i=1}^d (c_i + y_i) + \sum_{i=d+1}^{d+m} (c_i + y_i - x_i)$$

$$\Leftrightarrow (5) \quad pib = U_D' (C_D + Y_D) + U_M' (C_M + Y_M - X_M)$$

- le solde des échanges extérieurs de la zone :

$$se = \sum_{i=1}^d exp_i - \sum_{i=d+1}^{d+m} x_i$$

$$\Leftrightarrow (6) \quad se = U_D' EXP - U_M' X_M$$

3.1.2. Simulation des effets d'un choc de demande

Le modèle présenté dans cette sous-section est directement issu des travaux de Leontief (et, pour cette raison, souvent appelé « modèle de Leontief »). Sous certaines hypothèses, il permet de simuler les effets, sur l'économie de la zone d'étude, d'un choc exogène affectant la demande finale. Après avoir précisé l'objet et présenté les hypothèses du modèle, on distingue les effets directs, indirects et induits d'un choc de demande. Pour simuler ces effets, on construit un ensemble de coefficients structurels qui seront supposés invariants dans le cadre de la simulation, puis on introduit ces coefficients dans les relations définitionnelles et comptables caractérisant le TES symétrique. Cette opération permet d'écrire le modèle de simulation sous forme structurelle puis sous forme réduite. Enfin, on présente le calcul, à l'aide de ce modèle, des effets directs, indirects et induits d'un choc de demande.

1) Objet et hypothèses du modèle

Le modèle décrit ici permet de déterminer l'état de l'économie de la zone correspondant à un niveau donné de la demande finale exogène. Les indicateurs utilisés pour caractériser cet état sont :

- les productions domestiques (vecteur X_D) ;
- les importations (vecteur X_M) ;
- le PIB de la zone (scalaire pib) ;
- le solde des échanges extérieurs de la zone (scalaire se) ;
- l'emploi total dans la zone (scalaire $empl$, dont le calcul fait appel à des données extérieures au TES).

Le fonctionnement du modèle obéit aux hypothèses suivantes :

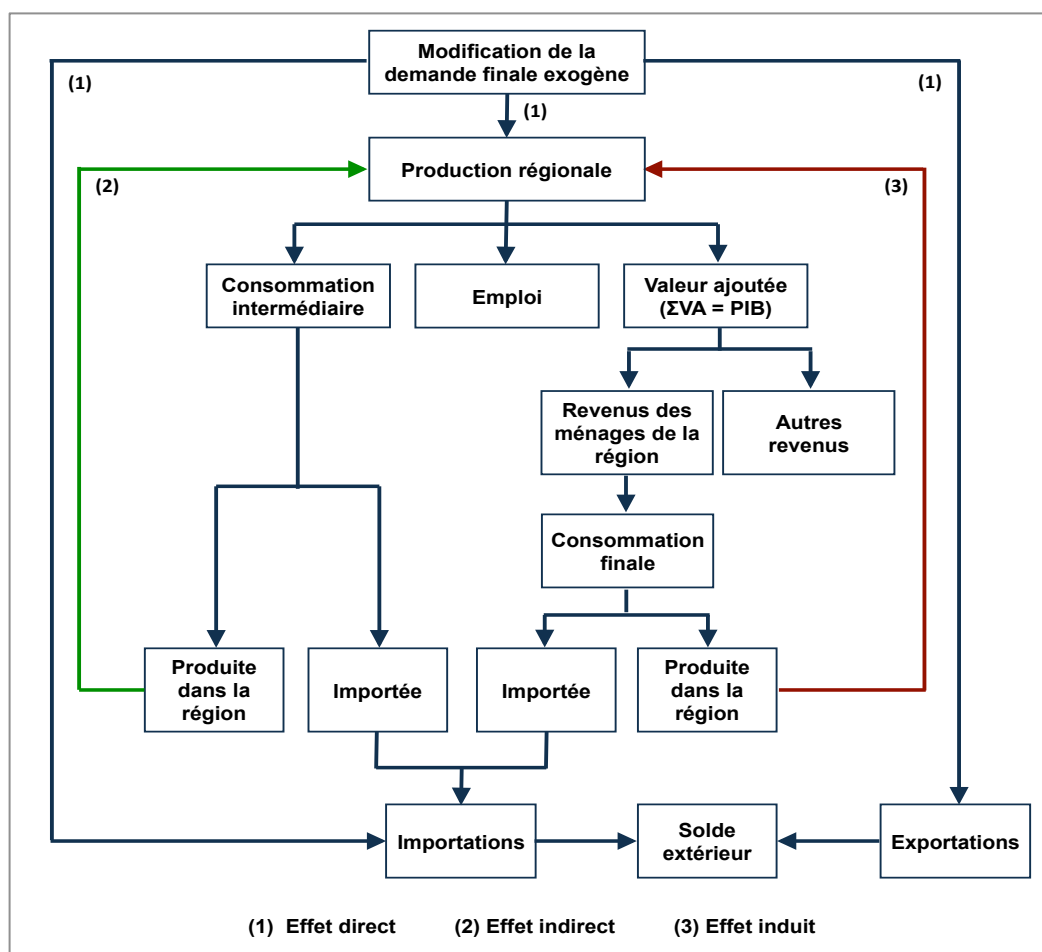
- les prix des produits et les techniques de production mises en œuvre dans chaque branche sont considérés comme exogènes, et les productions domestiques ne subissent pas de goulots d'étranglement ;
- les parts de marché des productions domestiques et des importations dans les consommations intermédiaires de chaque branche et dans la consommation finale endogène sont exogènes ;
- la consommation finale endogène est proportionnelle au PIB de la zone, et sa structure par produit est exogène.

2) Effets direct, indirect et induit

L'effet global d'une modification de la demande finale exogène sur l'économie de la zone peut être décomposé en trois éléments : l'effet direct, l'effet indirect et l'effet induit.

- L'effet *direct* décrit l'impact de la modification de la demande finale exogène sur les branches fournissant les produits directement concernés lorsqu'il s'agit de produits domestiques, et/ou sur les importations directement concernées lorsqu'il s'agit de produits importés, toutes choses égales par ailleurs.
- L'effet *indirect* décrit l'impact de la modification de la demande finale exogène sur l'activité des branches et sur les importations résultant du changement des besoins en consommations intermédiaires qu'elle suscite.
- L'effet *induit* décrit l'effet de la modification de la demande finale exogène sur l'activité des branches et les importations résultant de la modification de la consommation finale des ménages qu'elle suscite (part endogène de la consommation finale).

Fig. 33.
Enchaînement des effets d'une modification de la demande finale exogène



(Elaboration personnelle)

3) Coefficients structurels

La mise en œuvre des hypothèses du modèle passe par le calcul de coefficients structurels, pour la plupart issus du TES symétrique. Ces coefficients permettent de caractériser la structure du système productif de la zone (coefficients techniques) et celle de la consommation finale endogène des ménages de la zone (coefficients budgétaires). Ces deux types de coefficients sont ensuite combinés pour former des coefficients *socio-techniques*.

✓ Coefficients techniques

On calcule quatre types de coefficients techniques :

- les coefficients de consommation intermédiaire domestique ;
- les coefficients de consommation intermédiaire importée ;
- les coefficients de valeur ajoutée ;
- les coefficients de travail direct.

Sous l'hypothèse d'invariance des prix relatifs, l'ensemble formé par ces coefficients définit, pour chaque branche, la *technique* mise en œuvre par les unités de production qui la composent.

Les coefficients de consommation intermédiaire (ou « coefficients d'input ») sont obtenus en divisant les consommations intermédiaires des différents produits (domestiques ou importés) par les productions des branches utilisatrices :

$$a_{ij} = \frac{c_{ij}}{x_j} \quad \begin{cases} i = 1, \dots, d + m \\ j = 1, \dots, d \end{cases}$$

Appelons $\hat{X}_D$ la matrice diagonale ($d \times d$) dont les éléments diagonaux sont les productions domestiques x_j ($j = 1, \dots, d$), c'est-à-dire les composantes du vecteur $X_D = \hat{X}_D U_D$. L'ensemble des coefficients de consommation intermédiaire de produits domestiques forme une matrice ($d \times d$) :

$$(7) \quad A_D = C I_D (\hat{X}_D)^{-1}$$

et celui des coefficients de consommation intermédiaire de produits importés une matrice $(m \times d)$:

$$(8) \quad A_M = CI_M(\hat{X}_D)^{-1}$$

Les coefficients de valeur ajoutée sont obtenus en divisant les valeurs ajoutées des branches par les productions de ces mêmes branches :

$$z_j = \frac{va_j}{x_j} \quad (j = 1, \dots, d)$$

Leur ensemble forme un vecteur à n composantes :

$$(9) \quad Z' = VA'(\hat{X}_D)^{-1}$$

Les coefficients de valeur ajoutée ne sont pas indépendants des coefficients de consommation intermédiaire. En effet, en rapprochant les définitions de ces différents coefficients de celle des valeurs ajoutées (3), on obtient :

$$z_j = 1 - \sum_{i=1}^d a_{ij} - \sum_{i=d+1}^{d+m} a_{ij} \quad (j = 1, \dots, d)$$

$$\Leftrightarrow (10) \quad Z' = U_D'(I - A_D) - U_M' A_M$$

En combinant (9) et (4), on peut réécrire la définition du PIB sous la forme :

$$(11) \quad pib = Z' X_D$$

On obtient les coefficients de travail direct en divisant les effectifs employés dans les branches (données extérieures au TES) par les productions de ces mêmes branches. Soit, en appelant $empl_j$ l'effectif employé dans la branche j :

$$l_j = \frac{empl_j}{x_j} \quad (j = 1, \dots, d)$$

L'ensemble de ces coefficients forme un vecteur à d composantes :

$$(12) \quad L' = EMPL'(\hat{X}_D)^{-1}$$

où $EMPL'$ est le vecteur des effectifs $empl_j$ employés dans les branches ($j = 1, \dots, d$). À la différence des données du TES, les coordonnées de ce vecteur sont exprimées en termes physiques (nombre d'emplois dans chaque branche, en principe converti en équivalents temps plein à l'année). Par suite, contrairement aux autres coefficients techniques qui sont des nombres sans dimension (ratios monnaie / monnaie), les coefficients de travail direct l_j sont exprimés en termes d'unités de travail par unité monétaire.

En utilisant ces coefficients, on peut écrire l'emploi total en fonction des productions des branches :

$$(13) \quad empl = L' X_D$$

✓ Coefficients budgétaires

Les coefficients budgétaires caractérisent la structure de la consommation finale endogène. Ils sont obtenus en rapportant, pour chaque produit (domestique ou importé), ce type de consommation finale au PIB de la zone :

$$q_i = \frac{c_i}{pib} \quad (i = 1, \dots, d + m)$$

Les coefficients budgétaires de produits domestiques et importés forment des vecteurs à n et m composantes respectivement :

$$(14) \quad Q_D = C_D \times pib^{-1} \quad (\text{produits domestiques})$$

$$(15) \quad Q_M = C_M \times pib^{-1} \quad (\text{produits importés})$$

Comme les coefficients de consommation intermédiaire et de valeur ajoutée, les coefficients budgétaires sont des nombres sans dimension. Les prix relatifs étant

supposés constants et le revenu endogène des ménages proportionnel au PIB de la zone, leur invariance repose sur l'hypothèse simplificatrice d'une élasticité-revenu égale à 1 pour l'ensemble des produits entrant dans la consommation finale endogène.

✓ Coefficients socio-techniques

Les coefficients budgétaires (14) et (15) permettent de réécrire les consommations finales endogènes en fonction du PIB :

$$C_D = Q_D \times pib \quad \text{et} \quad C_M = Q_M \times pib$$

En combinant ces expressions avec l'équation (11) définissant le PIB, on obtient :

$$C_D = Q_D Z' X_D \quad \text{et} \quad C_M = Q_M Z' X_D$$

Les coefficients q_{iz_j} des matrices :

$$Q_D Z' = \begin{pmatrix} q_{1z_1} & \cdots & q_{1z_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{nz_1} & \cdots & q_{nz_n} \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad Q_M Z' = \begin{pmatrix} q_{n+1z_1} & \cdots & q_{n+1z_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n+mz_1} & \cdots & q_{n+mz_n} \end{pmatrix}$$

représentent les quantités de produit i (domestique ou importé) requises pour fournir une unité de produit domestique j , non au titre de consommations intermédiaires, mais en tant que produits consommés par les ménages tirant leurs revenus de l'activité productive de la branche j (consommation finale endogène). En additionnant ces matrices aux matrices A_D et A_M respectivement, on obtient :

$$(16) \quad A_D^* = A_D + Q_D Z'$$

$$(17) \quad A_M^* = A_M + Q_M Z'$$

Ces nouvelles matrices peuvent être appelées « socio-techniques ». En effet, leurs coefficients a_{ij}^* représentent les quantités de produit i (d'origine domestique dans le premier cas, importée dans le second cas) nécessaires pour fournir une unité de produit j en tenant compte, non seulement des quantités a_{ij} utilisées comme consommations intermédiaires par la branche j (aspect technique), mais aussi des quantités q_{iz_j} entrant

dans la consommation finale des ménages dont le revenu provient de l'activité de la branche j (aspect social) :

$$a_{ij}^* = a_{ij} + q_i z_j = \frac{c_{ij} + q_i v a_j}{x_j} \quad \begin{cases} i = 1, \dots, d + m \\ j = 1, \dots, d \end{cases}$$

4) Introduction des coefficients structurels dans les équilibres ressources-emplois

Les coefficients structurels permettent de réécrire les équilibres ressources-emplois (1)(2) figurant dans le TES symétrique. Cette opération peut être effectuée à l'aide des coefficients techniques (7)(8) ou des coefficients socio-techniques (16)(17).

✓ Introduction des coefficients techniques

En combinant les définitions des coefficients techniques (7) et (8) avec les équilibres ressources-emplois (1) et (2) respectivement, on obtient :

$$(18) \quad X_D = A_D X_D + C_D + Y_D$$

$$(19) \quad X_M = A_M X_D + C_M + Y_M$$

Ces équations permettent de calculer les productions X_D et les importations X_M correspondant à des niveaux donnés de la demande finale *totale* en produits domestiques ($C_D + Y_D$) et importés ($C_M + Y_M$).

✓ Introduction des coefficients socio-techniques

De même, en combinant les définitions des coefficients socio-techniques (16) et (17) avec (1) et (2) respectivement, on obtient :

$$(20) \quad X_D = A_D^* X_D + Y_D$$

$$(21) \quad X_M = A_M^* X_D + Y_M$$

Ces équations permettent de calculer les productions X_D et les importations X_M correspondant à des niveaux donnés de la demande finale *exogène* en produits domestiques (Y_D) et importés (Y_M).

5) Forme structurelle du modèle

Cette forme est celle sous laquelle les équations du modèle traduisent directement les relations qu'elles ont pour objet de formaliser. Ces relations mettent en jeu deux types de variables : les variables exogènes, dont les valeurs sont fixées à l'extérieur du modèle¹⁰, et les variables endogènes, dont les valeurs sont déterminées par le modèle.

✓ Variables exogènes

- Coefficients structurels : matrices socio-techniques A_D^* et A_M^* , vecteurs des coefficients de valeur ajoutée Z' et de travail direct L'
- Demande finale exogène : vecteurs Y_D (produits domestiques), Y_M (produits importés) et EXP (partie exportée de Y_D)

✓ Variables endogènes

- Production des branches : vecteur X_D (d variables)
- Importations : vecteur X_M (m variables)
- Indicateurs macroéconomiques : pib , $empl$, se (3 variables)

✓ Equations

Pour être déterminé, le modèle doit comporter autant d'équations linéairement indépendantes que de variables endogènes, soit ici $(d + m + 3)$. Ces équations sont :

(20) équilibre ressources-emplois des produits domestiques d équations

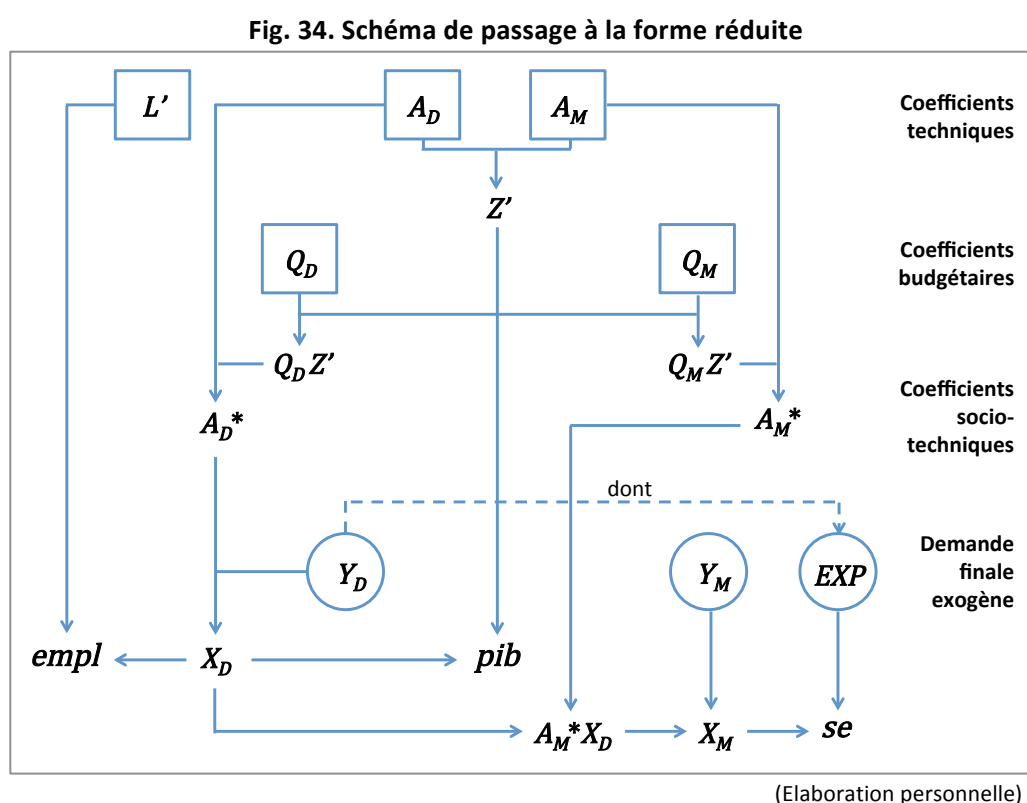
(21) équilibre ressources-emplois des produits importés m équations

¹⁰ On distingue parfois les variables exogènes au sens strict, qui sont fixées arbitrairement par l'utilisateur du modèle, et les paramètres, calculés ou estimés à partir de données extérieures au modèle (par exemple, coefficients techniques calculés à partir du TES d'une année choisie comme base).

- | | | |
|------|---------------------------|------------|
| (11) | calcul du PIB | 1 équation |
| (13) | calcul de l'emploi total | 1 équation |
| (6) | Calcul du solde extérieur | 1 équation |

6) Passage à la forme réduite

La forme réduite du modèle est celle qui exprime les variables endogènes en fonction des valeurs données aux variables exogènes. Passer de la forme structurale à la forme réduite revient donc à résoudre le système des équations constituant le modèle. Dans le cas présent, cette résolution est résumée par le schéma ci-dessous :



✓ Détermination des productions des branches

Ecrivons :

$$(22) \quad G^* = (I - A_D^*)^{-1}$$

Chaque coefficient g_{ij}^* de cette matrice ($n \times n$) représente la quantité totale (directe, indirecte et induite) de produit domestique i ($i = 1, \dots, d$) requise pour fournir aux

emplois finals exogènes une unité de produit domestique j ($j = 1, \dots, d$). En combinant (22) avec (20), on obtient :

$$(23) \quad X_D = G^* Y_D$$

✓ Détermination des importations, du PIB, de l'emploi et du solde extérieur

En reportant la valeur de X_D obtenue à l'étape précédente dans (21), (11) et (13) respectivement, on obtient le vecteur X_M et les scalaires pib et $empl$:

$$(24) \quad X_M = A_M^* G^* Y_D + Y_M$$

$$(25) \quad pib = Z' G^* Y_D$$

$$(26) \quad empl = L' G^* Y_D$$

En combinant ensuite (24) avec (6), on obtient le scalaire se :

$$(27) \quad se = U_D' EXP - U_M' (A_M^* G^* Y_D + Y_M)$$

7) Calcul des effets d'une modification de la demande finale exogène

Soit une modification ($\Delta Y_D, \Delta Y_M, \Delta EXP$) de la demande finale exogène¹¹. On calcule d'abord son effet global sur les productions domestiques, les importations, le PIB, l'emploi et le solde extérieur de la zone. On décompose ensuite cet effet global en effet direct, effet indirect et effet induit.

✓ Effet global

Le modèle étant linéaire, l'effet global de la variation de la demande finale exogène s'obtient directement à partir des équations (23)-(27) :

$$(28) \quad \Delta X_D = G^* \Delta Y_D$$

$$(29) \quad \Delta X_M = A_M^* G^* \Delta Y_D + \Delta Y_M$$

$$(30) \quad \Delta pib = Z' G^* \Delta Y_D$$

¹¹ Conformément aux notations précédemment adoptées, ΔEXP représente la partie de ΔY_M correspondant à la variation des exportations.

$$(31) \quad \Delta empl = L' G^* \Delta Y_D$$

$$(32) \quad \Delta se = U_D' \Delta EXP - U_M' (A_M^* G^* Y_D + Y_M)$$

✓ Effet direct

L'effet direct sur les productions domestiques et les importations est égal aux variations des demandes exogènes des produits correspondants. L'effet direct sur le PIB et l'emploi se calcule ensuite en combinant l'effet direct sur les productions domestiques avec les coefficients de valeur ajoutée et de travail direct. L'effet direct sur le solde extérieur est obtenu par différence entre la variation totale des exportations et la variation totale des demandes exogènes de produits importés :

$$(28.1) \quad \Delta_1 X_D = \Delta Y_D$$

$$(29.1) \quad \Delta_1 X_M = \Delta Y_M$$

$$(30.1) \quad \Delta_1 pib = Z' \Delta Y_D$$

$$(31.1) \quad \Delta_1 empl = L' \Delta Y_D$$

$$(32.1) \quad \Delta_1 se = U_D' \Delta EXP - U_M' \Delta Y_M$$

✓ Effet indirect

Pour calculer l'effet indirect, on traite les consommations finales endogènes (C_D et C_M) comme des constantes. Pour cela, on utilise le système (18)(19). Ecrivons :

$$(33) \quad G = (I - A_D)^{-1}$$

Chaque coefficient g_{ij} de cette matrice ($n \times n$) représente la quantité *directe* et *indirecte* de produit domestique i ($i = 1, \dots, d$) requise pour fournir aux emplois finals une unité de produit domestique j ($j = 1, \dots, d$). En combinant (33) avec (18) et (19), on obtient :

$$X_D = G (C_D + Y_D)$$

$$X_M = A_M G (C_D + Y_D) + C_M + Y_M$$

Puis, en reportant la valeur de X_D ci-dessus dans (11)(13) :

$$pib = Z' G (C_D + Y_D)$$

$$empl = L' G (C_D + Y_D)$$

Les variations cumulant l'effet direct et l'effet indirect de la modification de demande exogène s'écrivent alors :

$$\Delta_{1+2} X_D = G \Delta Y_D$$

$$\Delta_{1+2} X_M = A_M G \Delta Y_D + \Delta Y_M$$

$$\Delta_{1+2} pib = Z' G \Delta Y_D$$

$$\Delta_{1+2} empl = L' G \Delta Y_D$$

$$\Delta_{1+2} se = U_D' \Delta EXP - U_M' (A_M G \Delta Y_D + \Delta Y_M)$$

L'effet indirect s'obtient ensuite en retranchant l'effet direct de ces variations :

$$(28.2) \quad \Delta_2 X_D = \Delta_{1+2} X_D - \Delta_1 X_D = (G - I) \Delta Y_D$$

$$(29.2) \quad \Delta_2 X_M = \Delta_{1+2} X_M - \Delta_1 X_M = A_M G \Delta Y_D$$

$$(30.2) \quad \Delta_2 pib = \Delta_{1+2} pib - \Delta_1 pib = Z' (G - I) \Delta Y_D$$

$$(31.2) \quad \Delta_2 empl = \Delta_{1+2} empl - \Delta_1 empl = L' (G - I) \Delta Y_D$$

$$(32.2) \quad \Delta_2 se = \Delta_{1+2} se - \Delta_1 se = - U_M' A_M G \Delta Y_D$$

✓ Effet induit

L'effet induit s'obtient en retranchant l'effet direct et indirect de l'effet global :

$$(28.3) \quad \Delta_3 X_D = \Delta X_D - \Delta_{1+2} X_D = (G^* - G) \Delta Y_D$$

$$(29.3) \quad \Delta_3 X_M = \Delta X_M - \Delta_{1+2} X_M = (A_M^* G^* - A_M G) \Delta Y_D$$

$$(30.3) \quad \Delta_3 pib = \Delta pib - \Delta_{1+2} pib = Z' (G^* - G) \Delta Y_D$$

$$(31.3) \quad \Delta_3 empl = \Delta empl - \Delta_{1+2} empl = L' (G^* - G) \Delta Y_D$$

$$(32.3) \quad \Delta_3 se = \Delta se - \Delta_{1+2} se = - U_M' (A_M^* G^* - A_M G) \Delta Y_D$$

3.1.3. Simulation des effets d'un choc de coût

Construit comme le précédent à partir du tableau entrées-sorties, le modèle de simulation présenté dans cette section a été développé initialement par Ghosh (Ghosh, 1958). Réinterprété par Dietzenbacher, il permet de simuler les effets d'un choc exogène de coût sur l'économie de la zone d'étude (Dietzenbacher, 1997).

Nous présenterons en premier lieu le modèle dans sa version initiale, puis sa réinterprétation en vue de simuler l'effet d'un choc exogène de coût. Nous montrerons enfin l'équivalence existant entre cette simulation et une approche plus classique utilisant les coefficients d'input de Leontief.

1) Le modèle initial (Ghosh)

S'intéressant à la situation de l'Inde dans la période suivant la seconde guerre mondiale, Ghosh cherche à construire un outil permettant de simuler le fonctionnement d'une économie contrôlée par l'Etat et contrainte pas l'offre. À cet effet, il propose de substituer aux coefficients d'input de Leontief d'autres coefficients, également calculés à partir du TES et appelés coefficients d'output ou coefficients d'allocation. Les simulations proposées par Ghosh reposent sur l'hypothèse d'invariance de ces nouveaux coefficients.

Alors que les coefficients d'input de Leontief sont obtenus en rapportant la consommation intermédiaire de produit i par la branche j à la production de la branche utilisatrice (j), les coefficients d'output de Ghosh sont calculés en faisant le rapport de cette même consommation intermédiaire à la production totale de la branche fournisseuse (i) ou, dans le cas d'une consommation intermédiaire importée, au montant total des importations du produit i .

Exprimés dans les termes du TES symétrique présenté supra (3.1.1), les coefficients d'output de Ghosh s'écrivent :

$$(33) \quad b_{ij} = \frac{c_{ij}^i}{x_i} \quad \begin{cases} i = 1, \dots, d + m \\ j = 1, \dots, d \end{cases}$$

En utilisant ces coefficients, les équilibres ressources-emplois des produits domestiques et importés peuvent être réécrits :

$$c_i + y_i = \left(1 - \sum_{j=1}^d b_{ij} \right) x_i \quad (i = 1, \dots, d + m)$$

Si l'on considère les coefficients d'output comme exogènes, les équations ci-dessus permettent, pour chaque bien ou service, de calculer le volume disponible pour les utilisations finales une fois connu le volume produit localement ou importé.

Cette analyse est celle que développe Ghosh dans son article de 1958. Il suppose en effet une économie de pénurie régulée par un mécanisme étatique de rationnement de la demande. Selon le schéma de rationnement retenu par l'auteur, une variation de la production ou des importations d'un produit est répercutée sur les utilisateurs de ce produit au prorata de leurs utilisations antérieures.

2) L'interprétation de Dietzenbacher

Le modèle proposé par Ghosh n'est pas adapté à une économie concurrentielle, dans laquelle la demande influence l'orientation de l'activité productive. En outre, même dans le champ d'application auquel le destinait son auteur, il repose sur des hypothèses discutables. En effet, en cas de variation de l'offre de produits domestiques ou importés, l'invariance des coefficients d'allocation de Ghosh n'est généralement pas compatible avec celle des coefficients techniques de Leontief. Elle implique donc une modification des techniques de production, sur la faisabilité de laquelle le modèle ne dit rien.

Pour autant, les coefficients d'output peuvent se révéler utiles dans un contexte très différent de celui auquel leur auteur les avait destinés. Ils peuvent en effet être utilisés pour simuler les effets d'un choc de coût (dû par exemple à une variation du prix de certaines matières premières importées, ou encore de la rémunération de certains facteurs de production au sein de la zone d'étude) sur le système productif considéré. Cette utilisation est celle que propose Dietzenbacher (1997).

L'analyse de ce dernier repose sur le constat que les coefficients d'output de Ghosh, contrairement aux coefficients d'input de Leontief, sont invariants en cas de modification de prix relatifs des produits domestiques et/ou importés. En effet, chaque coefficient d'output b_{ij} est obtenu en divisant une consommation intermédiaire de produit i par la production totale ou l'importation totale de ce même produit (alors que dans le calcul des coefficients d'input de Leontief, ce sont des flux monétaires relatifs à des produits différents qui sont mis en rapport : les coefficients a_{ij} sont obtenus en rapportant des consommations intermédiaires de produit i à des productions de branches utilisatrices j). Par conséquent, ces coefficients, calculés comme les coefficients d'input de Leontief à partir des données d'une année de base, peuvent être utilisés dans des simulations où les prix relatifs changent par rapport à cette année.

Pour décrire plus précisément le modèle de Dietzenbacher, commençons par exprimer les coefficients d'output sous forme matricielle :

- l'ensemble des coefficients d'output de produits domestiques b_{ij} ($i = 1, \dots, d$; $j = 1, \dots, d$) forme une matrice ($d \times d$) :

$$(34) \quad B_D = (\hat{X}_D)^{-1} C I_D$$

- et celui des coefficients d'output de produits importés b_{ij} ($i = d+1, \dots, d+m$; $j = 1, \dots, d$) une matrice ($m \times d$) :

$$(35) \quad B_M = (\hat{X}_M)^{-1} C I_M$$

À l'aide de ces deux matrices, réécrivons l'équation (3) définissant les valeurs ajoutées des branches :

$$\begin{aligned} VA' &= X_D' - U_D' \hat{X}_D B_D - U_M' \hat{X}_M B_M \\ &= X_D' (I - B_D) - X_M' B_M \end{aligned}$$

D'où l'on tire :

$$(36) \quad X_D' = (VA' + X_M' B_M) (I - B_D)^{-1}$$

Cette équation permet de déterminer l'incidence d'une variation de la valeur ajoutée de certaines branches ($\Delta VA'$) ou de la valeur de certaines importations ($\Delta X_M'$), sur les valeurs des productions domestiques ($\Delta X_D'$) :

$$(37) \quad \Delta X_D' = (\Delta VA' + \Delta X_M' B_M)(I - B_D)^{-1}$$

Cet exercice repose sur les hypothèses suivantes :

- les quantités produites et utilisées restent inchangées ;
- les branches utilisatrices répercutent intégralement sur les prix de leurs produits les variations de coût qu'elles subissent, sans les amplifier ni les atténuer.

Parfois présenté comme décrivant « l'effet mécanique » d'un choc de coût, le scénario qui vient d'être décrit peut être critiqué pour son manque de réalisme. En effet, il néglige la possibilité que les branches répercutent plus ou moins les variations de coût qu'elles subissent et ignore l'impact de ces variations sur les quantités (adaptation des techniques de production)¹². Le scénario d'effet mécanique fournit une première approche de l'incidence directe et indirecte, via les consommations intermédiaires, d'un choc de coût sur l'économie de la zone. Sous réserve que l'on n'ignore pas ses limites, cette approche est intéressante lorsque l'on ne dispose pas, comme c'est souvent le cas, d'outils de simulation théoriquement plus puissants mais beaucoup plus exigeants en données, comme les modèles d'équilibre général calculable.

3) Relation avec l'approche Leontief

Afin de préciser la relation existant entre le modèle de Ghosh-Dietzenbacher et celui de Leontief, rapprochons les matrices de coefficients structurels utilisées par chacun d'eux. À partir des définitions (7)(8) des matrices de coefficients d'input et des définitions (34)(35) des matrices de coefficients d'output, on obtient :

$$(38) \quad B_D = (\hat{X}_D)^{-1} A_D \hat{X}_D \quad \Leftrightarrow \quad A_D = \hat{X}_D B_D (\hat{X}_D)^{-1}$$

¹² Les limites du modèle de Ghosh-Dietzenbacher sont symétriques de celles du modèle de Leontief : le modèle de Leontief permet de simuler l'effet d'un choc de demande sur le système productif, mais en supposant les prix inchangés ; le modèle de Ghosh-Dietzenbacher permet quant à lui de simuler l'effet d'un choc de coût sur ce même système productif, mais en supposant les quantités inchangées.

$$(39) \quad B_M = (\hat{X}_M)^{-1} A_M \hat{X}_D \Leftrightarrow A_M = \hat{X}_M B_M (\hat{X}_D)^{-1}$$

Considérons maintenant deux périodes, notées respectivement $(t=0)$ et $(t=1)$, entre lesquelles interviennent des changements de prix, sans changements de quantités. Les matrices de coefficients d'output de la période $(t=1)$, sont donc les mêmes que celles de la période $(t=0)$, de sorte que la décomposition des productions domestiques en consommations intermédiaires et valeur ajoutée peut s'écrire, à la période $(t=1)$:

$$X'_{D(t=1)} = VA'_{(t=1)} + X'_{D(t=1)} B_{D(t=0)} + X'_{M(t=1)} B_{M(t=0)}$$

Appelons P'_D et P'_M les vecteurs des indices de prix en $(t=1)$, base 1 en $(t=0)$. Les quantités étant par hypothèse inchangées, on peut écrire :

$$P'_D = X'_{D(t=1)} (\hat{X}_{D(t=0)})^{-1} \quad \text{et} \quad P'_M = X'_{M(t=1)} (\hat{X}_{M(t=0)})^{-1}$$

et par suite :

$$X'_{D(t=1)} = P'_D \hat{X}_{D(t=0)} \quad \text{et} \quad X'_{M(t=1)} = P'_M \hat{X}_{M(t=0)}$$

En reportant ces expressions dans la relation précédente, on obtient :

$$P'_D \hat{X}_{D(t=0)} = VA'_{(t=1)} + P'_D \hat{X}_{D(t=0)} B_{D(t=0)} + P'_M \hat{X}_{M(t=0)} B_{M(t=0)}$$

d'où l'on tire :

$$P'_D = VA'_{(t=1)} (\hat{X}_{D(t=0)})^{-1} + P'_D \hat{X}_{D(t=0)} B_{D(t=0)} (\hat{X}_{D(t=0)})^{-1} + P'_M \hat{X}_{M(t=0)} B_{M(t=0)} (\hat{X}_{D(t=0)})^{-1}$$

soit encore, compte tenu de (9), (38) et (39) :

$$\begin{aligned} P'_D &= P'_D \hat{Z}_{(t=1)} + P'_D A_{D(t=0)} + P'_M A_{M(t=0)} \\ \Leftrightarrow P'_D &= P'_M A_{M(t=0)} (I - \hat{Z}_{(t=1)} - A_{D(t=0)})^{-1} \end{aligned}$$

Utilisant les coefficients d'input de l'année de base ($A_{D(t=0)}$ et $A_{M(t=0)}$), la relation ci-dessus permet de calculer les indices de prix des produits domestiques (P'_D) à partir des indices de prix des produits importés (P'_M) et des coefficients de valeur ajoutée de

l'année courante ($\hat{Z}_{(t=1)}$). Les quantités étant supposées inchangées, cette relation est équivalente à la relation (37) qui, à l'aide des coefficients d'output invariants (B_D et B_M), permet de calculer les variations des valeurs des productions ($\Delta X_D'$) à partir des variations des valeurs des importations ($\Delta X_M'$) et des valeurs ajoutées ($\Delta VA'$).

3.1.4. Simulation des effets d'une innovation sur la zone d'étude

L'opération dont les effets sont étudiés dans cette sous-section est une innovation industrielle, reposant sur la fabrication d'un nouveau produit à partir d'une ressource primaire jusque là inexploitée. Ce produit est utilisé comme intrant par des entreprises situées hors de la zone d'étude (exportation) ou à l'intérieur de celle-ci (consommation intermédiaire). Le niveau de production de la nouvelle activité est contraint par la disponibilité de la ressource exploitée (contrainte d'offre).

L'innovation modifie les coefficients structurels caractérisant le système productif de la zone d'étude. La nature et les conséquences de cette modification seront étudiées en trois temps. En premier lieu, le nouveau produit correspond à l'apparition d'une nouvelle branche, ce qui a des conséquences immédiates sur l'économie de la zone d'étude. Ensuite, l'activité de cette nouvelle branche affecte celle des branches qui lui fournissent des inputs, d'où une deuxième série de conséquences sur l'économie de la zone, appelées effets amont. Enfin, si le nouveau produit est utilisé comme intrant par des entreprises localisées dans la zone d'étude, l'impact de cette utilisation produit une troisième série de conséquences sur l'économie de la zone, appelées effets aval.

1) Effets de l'apparition de la nouvelle branche

Notons ($i = 0$) le nouveau produit et ($j = 0$) la nouvelle branche fournissant ce produit. Le nombre de produits domestiques et de branches passe donc de d à $d+1$. Le nouveau produit n'ayant pas d'équivalent à l'importation, le nombre de produits importés reste égal à m . Appelons :

x_0 la production de la nouvelle branche ;

- α la partie exportée de cette production¹³ ($0 \leq \alpha \leq 1$) ;
- l_0 le coefficient de travail direct dans la nouvelle branche ;
- z_0 le coefficient de valeur ajoutée ($z_0 = 1 - U'_D A_{D0} - U'_M A_{M0}$) de la nouvelle branche ;
- A_{D0}^* le vecteur des coefficients socio-techniques ($a_{i0}^* = a_{i0} + q_i z_0$) de consommation de produits domestiques ($i = 1, \dots, d$) de la nouvelle branche ;
- A_{M0}^* le vecteur des coefficients socio-techniques ($a_{i0}^* = a_{i0} + q_i z_0$) de consommation de produits importés ($i = d+1, \dots, d+m$) de la nouvelle branche.

Du fait de la contrainte de ressource, x_0 est exogène. La partie exportée de cette production est également exogène. Avec les notations ci-dessus, nous pouvons écrire les contributions immédiates de la nouvelle branche :

- aux importations de la zone : $(40) \quad \Delta_0 X_M = A_{M0}^* x_0$
- au PIB de la zone : $(41) \quad \Delta_0 pib = z_0 x_0$
- à l'emploi de la zone : $(42) \quad \Delta_0 empl = l_0 x_0$
- au solde extérieur de la zone : $(43) \quad \Delta_0 se = (\alpha - U'_M A_{M0}^*) x_0$

2) Effets amont

Les effets amont de l'innovation résultent des besoins en inputs de produits domestiques de la nouvelle branche ($A_{D0}^* x_0$). La production x_0 étant déterminée par la ressource disponible (contrainte d'offre), ces besoins sont eux-mêmes exogènes, de sorte que leur apparition est assimilable à un choc de demande finale pour le reste du système productif de la zone. Les effets amont du projet peuvent donc être simulés à l'aide du modèle de Leontief présenté supra (3.1.2).

¹³ L'autre partie étant, par définition, utilisée dans la zone comme consommation intermédiaire.

✓ Effet amont global

Pour calculer l'effet amont global de l'innovation, il suffit de remplacer, dans les équations (28)-(32), la variation de la demande finale exogène de produits domestiques (ΔY_D) par les besoins en inputs de produits domestiques de la nouvelle branche ($A_{D0}x_0$) et d'annuler, dans ces équations, les variations de la demande finale exogène de produits importés (ΔY_M) et des exportations (ΔEXP). On obtient alors :

$$(44) \quad \Delta X_D = G^* A_{D0}^* x_0$$

$$(45) \quad \Delta X_M = A_M^* G^* A_{D0}^* x_0$$

$$(46) \quad \Delta pib = Z' G^* A_{D0}^* x_0$$

$$(47) \quad \Delta empl = L' G^* A_{D0}^* x_0$$

$$(48) \quad \Delta se = -U_M' A_M^* G^* A_{D0}^* x_0$$

L'effet amont global de l'innovation peut être décomposé en effet amont direct, effet amont indirect et effet amont induit, en procédant aux mêmes adaptations que ci-dessus dans les équations (28.1)-(32.3).

✓ Effet amont direct

$$(44.1) \quad \Delta_1 X_D = A_{D0}^* x_0$$

$$(45.1) \quad \Delta_1 X_M = 0$$

$$(46.1) \quad \Delta_1 pib = Z' A_{D0}^* x_0$$

$$(47.1) \quad \Delta_1 empl = L' A_{D0}^* x_0$$

$$(48.1) \quad \Delta_1 se = 0$$

✓ Effet amont indirect

$$(44.2) \quad \Delta_2 X_D = (G - I) A_{D0}^* x_0$$

$$(45.2) \quad \Delta_2 X_M = A_M G A_{D0}^* x_0$$

$$(46.2) \quad \Delta_2 pib = Z' (G - I) A_{D0}^* x_0$$

$$(47.2) \quad \Delta_2 empl = L' (G - I) A_{D0}^* x_0$$

$$(48.2) \quad \Delta_2 se = -U_M' A_M G A_{D0}^* x_0$$

✓ Effet amont induit

$$(44.3) \quad \Delta_3 X_D = (G^* - G)A_{D0}^*x_0$$

$$(45.3) \quad \Delta_3 X_M = (A_M^*G^* - A_MG)A_{D0}^*x_0$$

$$(46.3) \quad \Delta_3 pib = Z'(G^* - G)A_{D0}^*x_0$$

$$(47.3) \quad \Delta_3 empl = L'(G^* - G)A_{D0}^*x_0$$

$$(48.3) \quad \Delta_3 se = -U'_M(A_M^*G^* - A_MG)A_{D0}^*x_0$$

3) Effets aval

Nous considérons maintenant le cas où une partie de la production x_0 du nouveau produit est utilisée comme consommation intermédiaire par des entreprises situées à l'intérieur de la zone d'étude ($\alpha < 1$). Par hypothèse, ces entreprises appartiennent à une branche déterminée, que nous appelons la branche 1. Dans ce cas, le projet modifie la situation de cette branche. Cet effet aval direct suscite à son tour un effet indirect et un effet induit.

Les entreprises de la branche n'adoptent l'innovation que si elles y trouvent un intérêt économique. Cet intérêt peut avoir deux causes :

- une baisse de coût, l'utilisation de l'intrant 0 étant plus que compensée par des réductions d'autres intrants pour un même volume de production ;
- une amélioration des caractéristiques de leur produit, permettant aux entreprises de vendre ce produit à un prix plus rémunérateur (il faut dans ce cas que la hausse du prix de vente du produit 1 l'emporte sur le supplément de coût généré par l'utilisation de l'intrant 0).

Les développements qui suivent sont consacrés à la modélisation des effets aval de l'innovation, dans chacune des deux hypothèses ci-dessus. On considérera d'abord le cas où l'utilisation du produit 0 permet aux entreprises de la branche 1 de réduire leur coût de production, sans modifier les caractéristiques du produit qu'elles fournissent. Puis on abordera le cas où l'utilisation du produit 0 permet aux entreprises de la

branche 1 d'améliorer les caractéristiques de leur produit et, grâce à cette amélioration, de vendre ce produit à un prix plus rémunérateur. La simulation reposera sur le modèle de Leontief dans le premier cas, sur celui de Ghosh-Dietzenbacher dans le second cas.

✓ Scénario de baisse de coût

Dans ce scénario, l'utilisation du produit 0 permet de diminuer le coût de production du produit 1, les caractéristiques et le prix de ce produit ne variant pas. À côté de la technique traditionnelle (notée 1), apparaît donc au sein de la branche 1 une nouvelle technique (notée 1*b*), moins coûteuse grâce à l'utilisation du produit 0. L'avantage économique que procure ce produit aux entreprises qui l'utilisent est de nature à entraîner le remplacement de l'ancienne technique par la technique innovante (processus de destruction créatrice). Toutefois, ce remplacement est limité par la contrainte d'offre qui pèse sur le produit 0. Il en résulte, au sein de la branche 1, une cohabitation entre deux techniques de production : l'ancienne technique et la technique innovante, dont l'expansion est limitée par la contrainte d'offre sur le produit 0. Cette cohabitation se traduit par un dédoublement de la colonne 1 des matrices de coefficients d'input, le nombre de produits, et donc de lignes, restant quant à lui inchangé.

Les effets aval de l'innovation résultent de la substitution partielle de la technique innovante à la technique traditionnelle dans la production du bien 1 : les coefficients d'input des deux techniques étant différents, cette substitution affecte les niveaux d'activité des branches qui les approvisionnent, les importations, le PIB, l'emploi et le solde extérieur.

La description de ces changements fait appel à de nouveaux symboles. En notant avec les indices 1 et 1*b* l'ancienne et la nouvelle technique de la branche 1, avec l'indice 2 les branches et produits domestiques (2,..., *d*) et, comme précédemment, avec l'indice *M* les produits importés (*d*+1,..., *d*+*m*), appelons :

x_1 x_{1b} les productions de la branche 1 (selon l'ancienne et la nouvelle techniques) ;

- a_{01b} le coefficient technique de consommation de produit 0 par la nouvelle technique de la branche 1 ;
- $a_{11} \ a_{11b}$ les coefficients techniques de consommation de produit 1 par la branche 1 ;
- $A_{21} \ A_{21b}$ les vecteurs-colonnes des coefficients techniques de consommation des produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) par la branche 1 ;
- $A_{M1} \ A_{M1b}$ les vecteurs-colonnes des coefficients techniques de consommation des m produits importés par la branche 1 ;
- $z_1 \ z_{1b}$ les coefficients de valeur ajoutée de la branche 1 ;
- $l_1 \ l_{1b}$ les coefficients de travail direct de la branche 1 ;
- $a_{11}^* \ a_{11b}^*$ les coefficients socio-techniques de consommation de produit 1 par la branche 1¹⁴ ;
- $A_{21}^* \ A_{21b}^*$ les vecteurs-colonnes des coefficients socio-techniques de consommation des produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) par la branche 1 ;
- $A_{M1}^* \ A_{M1b}^*$ les vecteurs-colonnes des coefficients socio-techniques de consommation des m produits importés par la branche 1 ;
- X_2 le vecteur-colonne des productions des branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- A'_{12} le vecteur-ligne des coefficients techniques de consommation de produit 1 par les branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- A_{22} la matrice carrée ($d-1 \times d-1$) des coefficients techniques de consommation des produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) par les branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- A_{M2} la matrice ($m \times d-1$) des coefficients techniques de consommation des m produits importés par les branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- Z'_2 le vecteur-ligne des coefficients de valeur ajoutée des branches ($j = 2, \dots, d$) ;

¹⁴ Les coefficients socio-techniques caractérisant la nouvelle technique se calculent de la même façon que ceux des techniques préexistantes (cf. supra (16)(17)) : $a_{i1b}^* = a_{i1b} + q_i z_{1b}$ ($i = 1, \dots, d + m$). Le produit 0 n'étant pas destiné à la consommation finale, on a $q_0 = 0$, et donc $a_{01b}^* = a_{01b}$.

- L'_2 le vecteur-ligne des coefficients de travail direct des branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- $A_{12}^{*'}$ le vecteur-ligne des coefficients socio-techniques de consommation de produit 1 par les branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- A_{22}^* la matrice $(d-1 \times d-1)$ des coefficients socio-techniques de consommation des produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) par les branches ($j = 2, \dots, d$) ;
- A_{M2}^* la matrice $(m \times d-1)$ des coefficients socio-techniques de consommation des m produits importés par les branches ($j = 2, \dots, d$).

Commençons par caractériser le niveau d'activité de la nouvelle technique, utilisatrice du produit 0. Pour cela, écrivons l'équilibre ressources-emplois du produit 0 :

$$(49) \quad x_0 = a_{01b}x_{1b} + \alpha x_0$$

Dans l'égalité ci-dessus, αx_0 représente l'exportation de produit 0, et $a_{01b}x_{1b}$ la consommation intermédiaire de ce produit par la technique 1b. Le coefficient technique a_{01b} , la production et l'exportation de produit 0 étant donnés, on en déduit la production de la branche 1 selon la nouvelle technique :

$$(50) \quad x_{1b} = \frac{(1 - \alpha)x_0}{a_{01b}}$$

L'effet de l'introduction de la technique 1b sur les productions domestiques 1 à d et sur les importations résulte des besoins de consommation intermédiaire de cette nouvelle technique, mais aussi des modifications de consommation intermédiaire entraînées par le recul de l'ancienne technique (aux changements de consommation intermédiaire s'ajoutent, dans les deux cas, les changements induits de consommation finale endogène). En utilisant les symboles ci-dessus, on peut décrire ce double effet à travers les changements qu'il suscite dans les équilibres ressources-emplois du produit 1, des autres produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) et des m produits importés ($i = d+1, \dots, d+m$) :

$$(51) \quad \Delta x_1 + x_{1b} = a_{11}^* \Delta x_1 + a_{11b}^* x_{1b} + A_{12}^{*'} \Delta X_2$$

$$(52) \quad \Delta X_2 = A_{21}^* \Delta x_1 + A_{21b}^* x_{1b} + A_{22}^* \Delta X_2$$

$$(53) \quad \Delta X_M = A_{M1}^* \Delta x_1 + A_{M1b}^* x_{1b} + A_{M2}^* \Delta X_2$$

Les effets sur le PIB, l'emploi et le solde extérieur s'écrivent quant à eux :

$$(54) \quad \Delta pib = z_1 \Delta x_1 + z_{1b} x_{1b} + Z_2' \Delta X_2$$

$$(55) \quad \Delta empl = l_1 \Delta x_1 + l_{1b} x_{1b} + L_2' \Delta X_2$$

$$(56) \quad \Delta se = -U_M' (A_{M1}^* \Delta x_1 + A_{M1b}^* x_{1b} + A_{M2}^* \Delta X_2)$$

Les équations (51) à (56) décrivent l'incidence de l'introduction de la nouvelle technique sur les productions domestiques, les importations, le PIB, l'emploi et le solde extérieur. Afin de les réécrire sous une forme plus synthétique, posons :

$$(57) \quad \tilde{A}_{D1b}^* = \begin{pmatrix} a_{11b}^* - 1 \\ A_{21b}^* \end{pmatrix}$$

Avec cette écriture, et en tenant compte du fait que :

$$\Delta X_D = \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta X_2 \end{pmatrix} \quad A_D^* = \begin{pmatrix} a_{11}^* & A_{12}' \\ A_{21}^* & A_{22}^* \end{pmatrix}$$

on peut synthétiser de la façon suivante les équations (51) et (52) :

$$\Delta X_D = A_D^* \Delta X_D + \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

Dans cette égalité, les coordonnées du vecteur ΔX_D représentent les changements des niveaux d'activité de la branche 1 selon l'ancienne technique (Δx_1) et des autres branches (ΔX_2). Les coordonnées du vecteur $A_D^* \Delta X_D$ représentent les modifications des besoins socio-techniques en produits domestiques suscitées par ces changements, et celles du vecteur $\tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$ les besoins socio-techniques *nets* en produits domestiques directement suscités par l'introduction de la nouvelle technique (compte tenu du fait que celle-ci fournit du produit 1). En réorganisant l'expression ci-dessus on obtient, compte tenu de (22) :

$$(58) \quad \Delta X_D = G^* \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

Cette équation résume les effets de l'introduction de la nouvelle technique sur le niveau d'activité de l'ancienne technique et sur ceux des autres branches de l'économie.

Ensuite, en tenant compte du fait que :

$$A_M^* = (A_{M1}^* \quad A_{M2}^*) \quad Z' = (z_1 \quad z_2') \quad L' = (l_1 \quad l_2')$$

on peut réécrire les égalités (53)-(56), respectivement :

$$\Delta X_M = A_M^* \Delta X_D + A_{M1b}^* x_{1b}$$

$$\Delta pib = Z' \Delta X_D + z_{1b} x_{1b}$$

$$\Delta empl = L' \Delta X_D + l_{1b} x_{1b}$$

$$\Delta se = -U'_M (A_M^* \Delta X_D + A_{M1b}^* x_{1b})$$

soit encore, en combinant ces expressions avec (58) :

$$(59) \quad \Delta X_M = (A_M^* G^* \tilde{A}_{D1b}^* + A_{M1b}^*) x_{1b}$$

$$(60) \quad \Delta pib = (Z' G^* \tilde{A}_{D1b}^* + z_{1b}) x_{1b}$$

$$(61) \quad \Delta empl = (L' G^* \tilde{A}_{D1b}^* + l_{1b}) x_{1b}$$

$$(62) \quad \Delta se = -U'_M (A_M^* G^* \tilde{A}_{D1b}^* + A_{M1b}^*) x_{1b}$$

Symbolisé par les équations (58)-(62), l'effet aval global résultant de l'utilisation du produit 0 comme consommation intermédiaire au sein de l'économie de la zone peut être décomposé en effet direct, effet indirect et effet induit. Pour cela, considérons-le comme la combinaison de deux modifications :

- l'apparition d'une nouvelle technique de production dans la branche 1, qui génère de façon directe de la valeur ajoutée ($z_{1b} x_{1b}$) et de l'emploi ($l_{1b} x_{1b}$) ;
- un choc de demande sur les produits domestiques et importés, dû au remplacement partiel de la technique 1 par la technique 1b (car ces deux techniques ont des besoins différents en matière de consommation

intermédiaire et induisent des effets différents en matière de consommation finale endogène) ; ce choc est égal à :

$$\Delta Y_D = \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b} \quad \text{pour les produits domestiques}$$

$$\Delta Y_M = A_{M1b}^* x_{1b} \quad \text{pour les produits importés}$$

L'effet aval direct s'écrit alors :

$$(58.1) \quad \Delta_1 X_D = \Delta Y_D = \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(59.1) \quad \Delta_1 X_M = \Delta Y_M = A_{M1b}^* x_{1b}$$

$$(60.1) \quad \Delta_1 \text{pib} = Z' \Delta Y_D + z_{1b} x_{1b} = (Z' \tilde{A}_{D1b}^* + z_{1b}) x_{1b}$$

$$(61.1) \quad \Delta_1 \text{empl} = L' \Delta Y_D + l_{1b} x_{1b} = (L' \tilde{A}_{D1b}^* + l_{1b}) x_{1b}$$

$$(62.1) \quad \Delta_1 \text{se} = -U'_M \Delta Y_M = -U'_M A_{M1b}^* x_{1b}$$

L'effet indirect résulte de l'impact de l'effet direct sur les consommations intermédiaires. Comme précédemment, pour l'obtenir on commence par calculer la combinaison des effets direct et indirect à l'aide des coefficients techniques :

$$\Delta_{1+2} X_D = G \Delta Y_D = G \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$\Delta_{1+2} X_M = A_M G \Delta Y_D + \Delta Y_M = (A_M G \tilde{A}_{D1b}^* + A_{M1b}^*) x_{1b}$$

$$\Delta_{1+2} \text{pib} = Z' G \Delta Y_D + z_{1b} x_{1b} = (Z' G \tilde{A}_{D1b}^* + z_{1b}) x_{1b}$$

$$\Delta_{1+2} \text{empl} = L' G \Delta Y_D + l_{1b} x_{1b} = (L' G \tilde{A}_{D1b}^* + l_{1b}) x_{1b}$$

$$\Delta_{1+2} \text{se} = -U'_M (A_M G \Delta Y_D + \Delta Y_M) = -U'_M (A_M G \tilde{A}_{D1b}^* + A_{M1b}^*) x_{1b}$$

Puis on retranche l'effet direct afin d'isoler l'effet indirect :

$$(58.2) \quad \Delta_2 X_D = \Delta_{1+2} X_D - \Delta_1 X_D = (G - I) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(59.2) \quad \Delta_2 X_M = \Delta_{1+2} X_M - \Delta_1 X_M = A_M G \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(60.2) \quad \Delta_2 \text{pib} = \Delta_{1+2} \text{pib} - \Delta_1 \text{pib} = Z' (G - I) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(61.2) \quad \Delta_2 \text{empl} = \Delta_{1+2} \text{empl} - \Delta_1 \text{empl} = L' (G - I) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(62.2) \quad \Delta_2 \text{se} = \Delta_{1+2} \text{se} - \Delta_1 \text{se} = -U'_M A_M G \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

Enfin, on obtient l'effet induit par différence entre l'effet total et la combinaison des effets direct et indirect :

$$(58.3) \quad \Delta_3 X_D = \Delta X_D - \Delta_{1+2} X_D = (G^* - G) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(59.3) \quad \Delta_3 X_M = \Delta X_M - \Delta_{1+2} X_M = (A_M^* G^* - A_M G) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(60.3) \quad \Delta_3 pib = \Delta pib - \Delta_{1+2} pib = Z'(G^* - G) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(61.3) \quad \Delta_3 empl = \Delta empl - \Delta_{1+2} empl = L'(G^* - G) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

$$(62.3) \quad \Delta_3 se = \Delta se - \Delta_{1+2} se = -U'_M(A_M^* G^* - A_M G) \tilde{A}_{D1b}^* x_{1b}$$

Les principales limites du scénario qui vient d'être présenté tiennent à l'hypothèse d'absence d'effet prix sur lequel il repose. On peut, en particulier, s'interroger sur le réalisme du comportement prêté aux entreprises innovantes de la branche 1. Dans le scénario, ces entreprises continuent à vendre leur production au même prix que précédemment, et se bornent à percevoir la quasi-rente que leur procure le différentiel de coût par rapport à leurs concurrentes restées fidèles à la technique traditionnelle. En réalité, on peut penser que certaines d'entre elles chercheront à exploiter leur avantage concurrentiel en diminuant leur prix de vente, en vue d'accroître leur part de marché.

✓ Scénario d'amélioration des caractéristiques du produit

Dans ce second scénario, l'utilisation du produit 0 permet aux entreprises de la branche 1 d'améliorer les caractéristiques de leur produit et, par ce biais, de vendre ce produit à un prix plus rémunérateur (la hausse du prix du produit 1 dépassant, par hypothèse, l'augmentation du coût de production unitaire due à l'utilisation du produit 0). Nous représentons l'effet mécanique de ce changement à l'aide du modèle de Ghosh-Dietzenbacher.

L'hypothèse d'effet mécanique implique que les quantités restent inchangées, et que seuls les prix varient : les entreprises utilisant le produit 1 comme intrant sont supposées répercuter, sans l'amplifier ni l'atténuer, la hausse de leur coût de production dans leur prix de vente, et toutes les entreprises situées en aval dans la chaîne de valeur sont supposées se comporter de la même façon.

Le modèle de Ghosh-Dietzenbacher est bien adapté à cet exercice. En effet, les coefficients d'allocation qu'il utilise (cf. supra, 3.1.3) ne dépendent pas des prix, et restent invariants si les quantités ne changent pas. Par suite, les coefficients d'allocation caractérisant l'économie de la zone avant l'innovation peuvent être utilisés pour décrire l'effet mécanique de cette dernière.

Considérons d'abord le système productif de la zone avant la mise en œuvre du projet (période $t = 0$). Représentées dans les termes du modèle de Ghosh-Dietzenbacher, les valeurs des productions des branches constituant ce système s'écrivent :

$$X'_{D(t=0)} = VA'_{(t=0)} + X'_{M(t=0)}B_M + X'_{D(t=0)}B_D$$

où les matrices B_D et B_M regroupent les coefficients d'allocation de produits domestiques et de produits importés respectivement (cf. supra, (34)(35)).

Décomposons le système productif en deux sous-ensembles : le premier se limite à la branche 1 ; le second, noté 2, regroupe les $(d-1)$ autres branches. Avec cette décomposition, on peut réécrire l'expression ci-dessus sous la forme :

$$(63) \quad x_{1(t=0)} = va_{1(t=0)} + X'_{M(t=0)}B_{M1} + x_{1(t=0)}b_{11} + X'_{2(t=0)}B_{21}$$

$$(64) \quad X'_{2(t=0)} = VA'_{2(t=0)} + X'_{M(t=0)}B_{M2} + x_{1(t=0)}B'_{12} + X'_{2(t=0)}B_{22}$$

où :

B_{21} est le vecteur-colonne des coefficients d'allocation de produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) dans la branche 1 ;

B_{M1} est le vecteur-colonne des coefficients d'allocation de produits importés ($i = d+1, \dots, d+m$) dans la branche 1 ;

B'_{12} est le vecteur-ligne des coefficients d'allocation de produit 1 dans les branches ($j = 2, \dots, d$) ;

B_{22} est la matrice $(d-1 \times d-1)$ des coefficients d'allocation de produits domestiques ($i = 2, \dots, d$) dans les branches ($j = 2, \dots, d$) ;

B_{M2} est la matrice $(m \times d-1)$ des coefficients d'allocation de produits importés ($i = d+1, \dots, d+m$) dans les branches ($j = 2, \dots, d$).

Considérons maintenant le système productif de la zone après introduction de l'innovation (période $t = 1$). Sous l'hypothèse d'effet mécanique, les coefficients

d'allocation b_{ij} ($i = 1, \dots, d+m$; $j = 1, \dots, d$) restent inchangés, de sorte que les valeurs des productions des branches 1 à d peuvent s'écrire :

$$(63) \quad x_{1(t=1)} = va_{1(t=1)} + X'_{M(t=1)}B_{M1} + x_{1(t=1)}b_{11} + X'_{2(t=1)}B_{21} + (1 - \alpha)x_0$$

$$(64) \quad X'_{2(t=1)} = VA'_{2(t=1)} + X'_{M(t=1)}B_{M2} + x_{1(t=1)}B'_{12} + X'_{2(t=1)}B_{22}$$

où $(1 - \alpha)x_0$ représente le coût de l'intrant 0 utilisé dans la branche 1. En rapprochant ces deux équations de (61)(62), on obtient :

$$\Delta x_1 = \Delta va_1 + \Delta X'_M B_{M1} + \Delta x_1 b_{11} + \Delta X'_2 B_{21} + (1 - \alpha)x_0$$

$$\Delta X'_2 = \Delta VA'_2 + \Delta X'_M B_{M2} + \Delta x_1 B'_{12} + \Delta X'_2 B_{22}$$

Les prix des produits importés ne sont pas affectés par l'innovation, donc $\Delta X'_M = 0$. Par ailleurs, dans le scénario d'effet mécanique, les entreprises en aval de la branche 1 se bornent à répercuter les variations du coût de leurs consommations intermédiaires dans leur prix de vente, de sorte que les valeurs ajoutées des branches 2 à d restent inchangées ($\Delta VA'_2 = 0$). Les deux équations ci-dessus se simplifient donc en :

$$\Delta x_1 = \Delta va_1 + \Delta x_1 b_{11} + \Delta X'_2 B_{21} + (1 - \alpha)x_0$$

$$\Delta X'_2 = \Delta x_1 B'_{12} + \Delta X'_2 B_{22}$$

En combinant ces deux équations, on obtient :

$$(65) \quad \Delta x_1 = \frac{\Delta va_1 + (1 - \alpha)x_0}{1 - b_{11}} [1 + B'_{12}[(1 - b_{11})(I - B_{22}) - B_{21}B'_{12}]^{-1}B_{21}]$$

$$(66) \quad \Delta X'_2 = [\Delta va_1 + (1 - \alpha)x_0] B'_{12}[(1 - b_{11})(I - B_{22}) - B_{21}B'_{12}]^{-1}$$

Les deux équations ci-dessus permettent de calculer l'effet mécanique de l'innovation sur les valeurs des productions des branches¹⁵. Cet effet a son origine dans la conjonction de deux facteurs, symbolisés respectivement par les expressions $(1 - \alpha)x_0$ et Δva_1 :

- la hausse du coût de production de la branche 1, due à l'utilisation d'un intrant supplémentaire par cette branche (facteur $(1 - \alpha)x_0$) ;

¹⁵ Les quantités restant par hypothèse inchangées, ces changements dans la valeur des productions des branches se ramènent à des effets prix.

- la meilleure valorisation du produit 1 que permet cette utilisation par l'amélioration de la qualité du produit qu'elle suscite (facteur Δva_1).

L'effet initial de ces deux facteurs sur la valeur du produit 1 se diffuse aux autres branches par l'intermédiaire de leurs consommations intermédiaires de ce produit (vecteur B'_{12})¹⁶. Cette diffusion est amplifiée par le jeu des échanges interbranches (matrice B_{22} , vecteur B_{12} , scalaire b_{11}). Du fait de ces échanges, la hausse globale du prix du produit 1 peut être, elle-même, supérieure à l'effet initial.

Visant à appréhender, à l'aide du modèle de Ghosh-Dietzenbacher, les conséquences de la meilleure valorisation du produit 1 rendue possible par l'innovation, le scénario décrit ci-dessus connaît des limites sans doute plus sérieuses que celles du scénario précédent, en dépit de l'apparente symétrie qui les caractérise (effet quantité à prix constants dans un cas, effet prix à quantités inchangées dans l'autre cas).

Le caractère fortement restrictif de l'hypothèse d'effet mécanique dans l'étude des répercussions d'un changement de prix a déjà été souligné (supra, 3.1.3). Par ailleurs, cette hypothèse peut être difficile à concilier avec celle qui fonde le présent cas d'étude. Selon cette dernière en effet, la meilleure valorisation du produit 1 repose sur une amélioration qualitative de ce produit résultant de l'utilisation du produit 0 comme intrant. Or il est peu réaliste de supposer que cette amélioration reste sans effet sur les quantités utilisées et produites par les entreprises réparties au long de la chaîne de valeur, comme le requiert l'hypothèse d'effet mécanique.

En outre, la façon dont le scénario prend en compte l'adoption de l'innovation est critiquable. En effet, si le produit 0 est soumis à une contrainte d'offre, cela limite probablement sa diffusion auprès des entreprises de la branche 1. La modification des caractéristiques et du prix du produit 1 à la période ($t=1$) que décrit le scénario est censée refléter cette diffusion partielle. Mais en réalité, en ($t=1$), ce sont deux produits distincts qui sont fournis par la branche 1, selon que les producteurs de cette branche

¹⁶ Cette diffusion nécessite que le produit 1 soit, au moins pour partie, utilisé comme consommation intermédiaire par d'autres branches du système productif de la zone (vecteur B'_{12} non nul). Si le produit 1 est destiné exclusivement aux utilisations finales (consommation des ménages par exemple), l'effet aval du projet se limite à son effet direct sur la branche 1.

utilisent le produit 0 ou non. Ces produits ont des coûts de production, des caractéristiques et des prix de ventes différents et ont, de ce fait, probablement des débouchés distincts. Ces phénomènes sont ignorés par le scénario, qui raisonne sur un produit unique constituant, une fois l'innovation introduite, une moyenne entre les caractéristiques de l'ancien et du nouveau produit. Dédoubler la branche 1 pour représenter la diffusion partielle de l'innovation (comme on l'a fait dans le scénario précédent) constituerait une option plus satisfaisante sur le plan méthodologique, mais sa mise en œuvre impliquerait de dépasser le modèle de Ghosh-Dietzenbacher, dont l'invariance des coefficients d'allocation implique l'absence d'effet quantité.

3.2. Application numérique

Dans cette section, le modèle théorique présenté à la section précédente est appliqué au cas du programme Ulvans de valorisation des vertes en Bretagne. L'objectif est d'estimer les effets directs, indirects et induits du programme sur l'économie nationale et sur l'économie régionale, en termes de contribution au PIB, à l'emploi et au solde du commerce extérieur (pour l'échelle nationale).

Dans un premier temps, on décrit l'outil statistique utilisé et l'adaptation qui a dû en être faite pour l'estimation des effets à l'échelle régionale (3.2.1). Puis on présente la méthodologie et les résultats des simulations réalisées à l'aide de cet outil (3.2.2).

3.2.1. Présentation de l'outil de simulation

1) Données de base

La base statistique de notre analyse est composée des éléments suivants :

- des données technico-économiques relatives au programme ULVANS (production, consommations intermédiaires, emploi direct) ;
- des données de comptabilité nationale rassemblées dans le tableau entrées-sorties de l'économie française, dans sa version symétrique ;

- des données nationales et régionales sur l'emploi par branche.

Les données microéconomiques sur Ulvans ont été fournies par l'entreprise Olmix. Pour les rendre compatibles avec le cadre macroéconomique du TES, il a fallu les ventiler selon la nomenclature des produits utilisée par ce dernier, ce qui a été rendu possible grâce à l'aimable collaboration du service comptable de l'entreprise.

Les données sur l'emploi par branche et les données de comptabilité nationale proviennent de l'INSEE. Alors qu'il existe une longue série historique de TES standard de l'économie française¹⁷, l'INSEE ne construit des TES symétriques que depuis une dizaine d'années, pour répondre à une demande de l'agence statistique européenne EUROSTAT (cf. Braibant et Arthaut, 2011). Ces tableaux sont publiés par l'INSEE dans une version en 38 produits. Cependant, EUROSTAT en publie une version plus désagrégée, en 64 produits. C'est cette version, concernant l'année 2010 (dernière année disponible au moment de la préparation de cette thèse), que nous utiliserons dans nos simulations. L'annexe 11 présente la nomenclature des activités utilisée dans ce TES. Les données sur l'emploi par branche sont celles du recensement de la population 2012, à l'échelle nationale et à l'échelle de la Bretagne (Annexe 12).

2) Détermination de la consommation endogène

Les coefficients techniques issus du TES symétrique permettent de calculer, à l'échelle nationale, les effets directs et indirects du programme. Pour estimer ses effets induits, il faut endogénéiser une partie de la consommation des ménages, afin d'obtenir le vecteur C_D des consommations finales endogènes de produits domestiques, qui, rapportées au PIB, permettent de calculer les coefficients budgétaires intervenant dans le calcul des coefficient socio-techniques (supra, 3.1.2). Nous supposons que la consommation finale endogène des ménages est proportionnelle au ratio de leur revenu d'activité à leur revenu disponible total, soit 82,31% à l'échelle nationale en 2010. Les consommations finales endogènes de produits domestiques sont ensuite obtenues en multipliant par ce ratio les consommations finales des ménages en produits domestiques.

¹⁷ Le plus ancien TES standard disponible en ligne sur le site de l'INSEE est celui de l'année 1949.

3) Régionalisation des coefficients techniques

S'il peut être utilisé pour évaluer les effets du programme ULVANS à l'échelle nationale, le TES symétrique publié par EUROSTAT ne permet pas d'en évaluer les effets à l'échelle de la Bretagne, car les coefficients techniques calculés à partir de ce TES ne reflètent pas les caractéristiques de l'économie régionale.

Contrairement à d'autres pays (Espagne ou Canada par exemple), la France ne publie que des TES à l'échelle nationale. De façon ponctuelle, des TES expérimentaux ont été construits pour certaines régions dans le cadre de projets de recherche (André-Fas, 2001 ; Davoust-Bossard, 2001 ; Martin, 2010). Ces constructions sont généralement le résultat d'une « régionalisation » du TES national, c'est-à-dire d'un traitement consistant à modifier les coefficients techniques issus du TES national en prenant appui sur des données propres à la zone étudiée. L'un de ces tableaux concerne la région Bretagne (Davoust-Bossard, 2001), mais il repose sur des données trop anciennes (1990) pour que nous puissions l'utiliser dans le cadre de notre étude. C'est pourquoi nous avons choisi de régionaliser le TES symétrique national de l'année 2010 publié par EUROSTAT, en vue d'obtenir des coefficients techniques permettant de simuler les effets de notre cas d'étude sur l'économie bretonne.

Il existe une variété de techniques de régionalisation des TES. Certaines ne sont pas utilisables pour notre cas d'étude, car nous ne disposons pas des données régionales nécessaires à leur mise en œuvre, par exemple concernant les productions des branches et la demande finale (Harrigan et al., 1981 ; Hewings, 1977 ; Lahr et de Mesnard, 2004). Pour des raisons pratiques, il n'était pas non plus possible de recourir à des méthodes faisant appel à des enquêtes, même de façon partielle (Richardson, 1985 ; Johns et Leat, 1987 ; Lahr, 1998).

La limitation des données disponibles à l'échelle régionale nous a conduit à utiliser une méthode à base de « coefficients de localisation » (Harrigan et al., 1980). En effet, ce type de méthode exige seulement des données sur l'emploi par branche, qui sont disponibles à l'échelle de la Bretagne. Cette solution avait déjà adoptée par Davoust-

Bossard en 2001 dans sa régionalisation du TES Breton. Cependant, nous utilisons une variante différente de celle qu'avait retenue cette auteure¹⁸.

De façon générale, les méthodes de régionalisation à base de coefficients de localisation consistent à modifier les coefficients techniques nationaux relatifs aux consommations intermédiaires domestiques en les multipliant par des ratios, dits « coefficients de localisation », qui traduisent l'importance relative des branches concernées à l'échelle régionale et à l'échelle nationale.

Une première version de cette approche est la méthode des coefficients de localisation simples (LQ)¹⁹. Selon cette méthode, chaque coefficient technique de consommation intermédiaire de produit domestique i par la branche j , à l'échelle régionale (a_{ij}^r) est obtenu à partir de son homologue national (a_{ij}^n), par la relation suivante :

$$(67) \quad a_{ij}^r = \min[a_{ij}^n \times q_i ; a_{ij}^n] \quad (i = 1, \dots, d ; j = 1, \dots, d)$$

où q_i est le coefficient de localisation simple pour la branche i , défini comme le rapport de la part de cette branche dans l'emploi régional à son homologue au plan national :

$$(68) \quad q_i = \frac{empl_i^r / empl^r}{empl_i^n / empl^n} \quad (i = 1, \dots, d)$$

L'égalité (67) signifie que, si la branche i n'est pas moins bien représentée dans l'emploi régional que dans l'emploi national ($q_i \geq 1$), les coefficients techniques régionaux de consommation intermédiaire de produits domestique i sont égaux à leurs homologues nationaux ($a_{ij}^r = a_{ij}^n$) ; si la branche i est moins bien représentée dans l'emploi régional que dans l'emploi national ($q_i < 1$), les coefficients techniques régionaux de consommation intermédiaire de produit domestique i sont inférieurs à leurs homologues nationaux ($a_{ij}^r < a_{ij}^n$), l'estimation des premiers étant obtenue par réduction des seconds, proportionnellement à cette sous-représentation ($a_{ij}^r = a_{ij}^n q_i$).

¹⁸ En outre, ne disposant pas d'un TES symétrique de l'économie française, elle avait dû estimer les coefficients techniques nationaux de produits domestiques.

¹⁹ Acronyme anglais pour *Location Quotient*.

Une première variante de la méthode LQ est la méthode des coefficients de localisation croisés (CLQ)²⁰. Celle-ci vise à prendre en compte, dans le calcul des coefficients techniques régionaux a_{ij}^r , non seulement les spécificités régionales en amont (branche fournisseuse i), mais aussi les spécificités aval (branche utilisatrice j). Dans cette variante, la relation entre coefficients domestiques régionaux et nationaux s'écrit :

$$(69) \quad a_{ij}^r = \min[a_{ij}^n q_{ij} ; a_{ij}^n] \quad (i = 1, \dots, d ; j = 1, \dots, d)$$

où q_{ij} est le coefficient de localisation croisé des branches i (amont) et j (aval), défini comme le rapport des coefficients de localisation simple des deux branches ou, de façon équivalente, comme le rapport entre l'importance relative des deux branches à l'échelle nationale et à l'échelle nationale :

$$(70) \quad q_{ij} = q_i/q_j = \frac{\text{empl}_i^r/\text{empl}_i^n}{\text{empl}_j^r/\text{empl}_j^n} \quad (i = 1, \dots, d ; j = 1, \dots, d)$$

La méthode CLQ a fait l'objet de critiques débouchant sur de nouvelles variantes de l'approche en termes de coefficients de localisation.

En premier lieu, la méthode CLQ pose un problème dans le cas des coefficients techniques intra-branche. En effet, par construction, les coefficients de localisation croisée intra-branche (q_{ii}) sont égaux à 1, de sorte que les coefficients techniques régionaux intra-branche obtenus en utilisant ces coefficients sont mécaniquement égaux à leurs homologues nationaux ($a_{ii}^r = a_{ii}^n$). Une troisième variante, la méthode des coefficients de localisation croisés ajustés (ACLQ), vise à traiter ce problème. Elle se différencie de la précédente uniquement pour les coefficients intra-branches, qu'elle détermine en appliquant aux coefficients techniques nationaux les coefficients de localisation simple :

$$(71) \quad \begin{cases} a_{ij}^r = \min[a_{ij}^n q_{ij} ; a_{ij}^n] \\ a_{ii}^r = a_{ii}^n q_i \end{cases} \quad (i \neq j)$$

²⁰ La méthode CLQ est celle qui a été appliquée par Davoust-Bossard au cas breton en 2001.

Selon l'analyse comparative menée par Harrigan et al., la méthode ACLQ améliore la méthode CLQ, elle-même préférable à la méthode LQ (Harrigan et al., 1980)²¹.

Ces différentes variantes ont ultérieurement été critiquées pour leur absence de prise en compte de l'effet lié à la taille de la région : plus celle-ci est petite, plus forte est la probabilité que les consommations intermédiaires des entreprises qui s'y trouvent proviennent de l'extérieur de la région, toutes choses égales par ailleurs. Cette critique a débouché sur une nouvelle variante des coefficients de localisation, dite FLQ, dans laquelle l'effet lié à la taille de la région est pris en compte par le biais du ratio de l'emploi régional total à l'emploi national total (Flegg et Weber, 1997 ; Tohmo, 2004 ; Flegg et Tohmo, 2013). Les coefficients de localisation croisés calculés selon cette méthode (q'_{ij}) s'obtiennent en multipliant les coefficients q_{ij} issus de la méthode CLQ par un coefficient dépendant ce ratio :

$$(72) \quad q'_{ij} = q_{ij} \times [\log_2(1 + empl_r/empl_n)]^\delta$$

où $empl_r$ et $empl_n$ représentent, respectivement, l'emploi total régional et l'emploi total national, et δ est un paramètre dont la valeur est estimée par Flegg à 0,3²². Mettant en œuvre la méthode FLQ dans le cas de la région Aquitaine, Martin obtient la même estimation pour ce paramètre (Martin, 2010).

Prenant comme base le TES symétrique en 64 branches de l'économie française en 2010 et les niveaux d'emplois correspondants à l'échelle nationale et à l'échelle bretonne (cf. Annexe 12), nous avons testé les trois méthodes suivantes pour la régionalisation des coefficients techniques domestiques : CLQ, ACLQ, FLQ (avec $\delta = 0,3$).

²¹ Ces auteurs ont testé une autre variante, LogCLQ, consistant à diviser le coefficient de localisation simple de la branche fournisseuse (q_i) par le logarithme base 2 du coefficient de localisation simple de la branche utilisatrice (q_j) augmenté d'une unité ($\log_2(1+q_j)$). Selon leur analyse, les performances de cette variante se situent entre celles des méthodes CLQ et LQ (Harrigan et al., 1980).

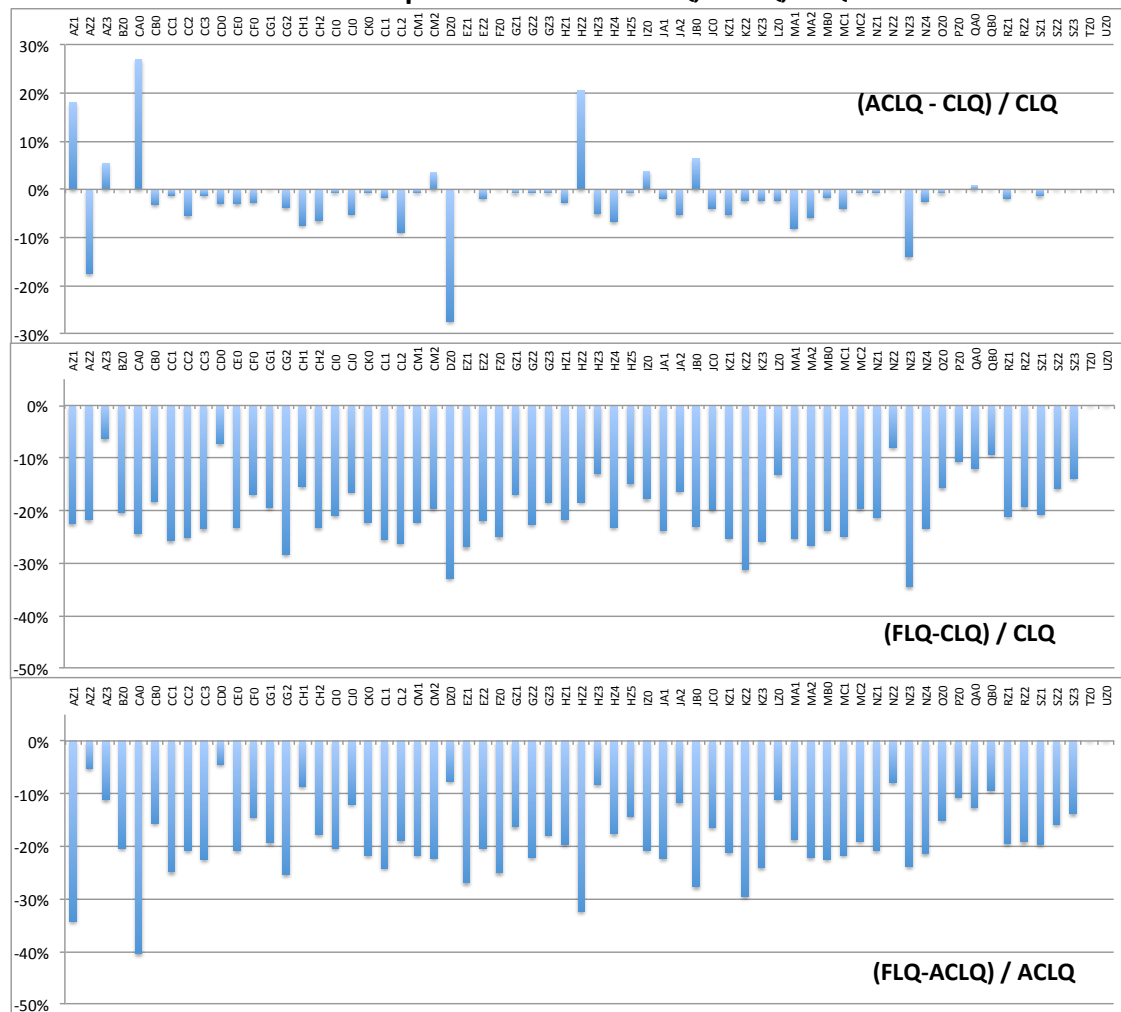
²² La méthode FLQ est ensuite identique à la méthode CLQ, les coefficients q'_{ij} se substituant aux coefficients q_{ij} .

L'annexe 13 présente les résultats obtenus par ces trois méthodes, concernant les multiplicateurs de Leontief :

$$(73) \quad \mu_i = \sum_{j=1}^{64} g_{ij} \quad (i = 1, \dots, 64)$$

où les termes g_{ij} sont les coefficients de la matrice $G = (I - A_D)^{-1}$ (cf. relation (33) supra). Chaque multiplicateur μ_i représente la valeur de la production domestique de produit i générée localement par un euro de demande finale de ce produit, compte tenu des effets directs et indirects de cette demande (voir supra, 3.1.2). Les écarts entre les résultats des trois méthodes sont illustrés par la figure ci-dessous :

Fig. 35. Ecart relatifs entre les multiplicateurs de Leontief régionalisés obtenus par les méthodes CLQ, ACLQ, FLQ



(Elaboration personnelle)

Comme l'illustre la figure ci-dessus, les multiplicateurs les plus faibles sont obtenus par la méthode FLQ. En termes relatifs, les multiplicateurs FLQ sont le plus souvent inférieurs de 10% à 20% aux multiplicateurs obtenus par la méthode CLQ ou la méthode ALQ. Dans l'optique d'une évaluation conservatrice, la méthode FLQ est celle que nous retenons pour notre estimation des effets régionaux du programme Ulvans.

4) Régionalisation des consommations finales endogènes

Ne disposant pas de données permettant de calculer, à l'échelle régionale, le ratio du revenu d'activité des ménages à leur revenu disponible, nous faisons l'hypothèse que le ratio national (82,31%) s'applique également à cette échelle. Nous régionalisons les coefficients budgétaires nationaux en leur appliquant la technique LQ des coefficients de localisation simple (supra, (67)(68)).

3.2.2. Simulation des effets nationaux et régionaux du programme

La nouvelle activité générée par le programme Ulvans correspond à la branche x_0 du modèle de simulation que nous avons présenté dans la première partie de ce chapitre (supra, 3.1.4). Les produits issus de ce programme étant, pour l'essentiel, vendus à l'exportation, nous supposons que la part exportée de la production de la branche x_0 est de 100% ($\alpha=1$)²³. En conséquence, outre les effets immédiats de l'apparition de la nouvelle activité (équations (40) à (43)), notre simulation se limite aux effets amont de cette apparition (équations (44) à (48))²⁴. Dans cette simulation, nous fixons conventionnellement la production annuelle de la branche x_0 à 10 millions d'euros.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats de la simulation, en distinguant les effets du programme selon les trois indicateurs macroéconomiques que nous avons retenus au début de ce chapitre : contributions au PIB, à l'emploi et au solde du commerce

²³ Dans le prolongement d'Uvans, un nouveau projet (Saga) vise à développer une filière agroalimentaire régionale utilisant les produits issus de la technologie développée dans le cadre d'Ulvans. Nous n'avons pas suffisamment d'éléments pour pouvoir l'intégrer dans notre simulation.

²⁴ Le détail des effets amont est présenté dans les annexes 14 et 15.

extérieur. En ce qui concerne les deux premiers indicateurs, les effets sont calculés à l'échelle nationale et à l'échelle régionale (Bretagne, autres régions françaises). Pour chaque indicateur et pour chaque échelle spatiale, sont distingués :

- les effets directs, qui regroupent les effets immédiats de l'apparition de la branche x_0 et les effets amont directs de cette apparition, c'est-à-dire les effets de premier rang sur les fournisseurs directs d'inputs (consommation intermédiaire et consommation finale endogène) de la branche x_0 ; les premiers sont notés [0] et calculés selon les relations (40)(43), les seconds sont notés [1] et calculés selon les relations (44.1)(48.1) ;
- les effets indirects, notés [2] et calculés selon les équations (44.2)(48.2) ;
- les effets induits, notés [3] et calculés selon les équations (44.3)(48.3).

Tab. 46. Evaluation des effets macroéconomiques du programme Ulvans : contributions au PIB, à l'emploi et au commerce extérieur

Impact pour 10 millions d'euros de produits exportés		Effet direct [0] + [1]	Effet indirect [2]	Effet induit [3]	Effet total [0] + [1] + [2] + [3]
PIB*	Bretagne	9,42	0,39	0,67	10,48
	Autres régions	0,56	1,27	1,42	3,25
	France	9,98	1,66	2,10	13,74
Emploi**	Bretagne	62,96	5,27	9,37	77,60
	Autres régions	5,93	16,05	16,84	38,82
	France	68,89	21,32	26,22	116,43
Solde du commerce extérieur*		9,84	-0,76	-0,70	8,38

* Millions d'euros., aux prix de base ** Nombre d'emplois. Elaboration personnelle.

Selon la simulation que nous avons réalisée, pour 10 millions de produits vendus sur les marchés extérieurs, la contribution globale du projet au PIB est de 13,74 millions d'euros à l'échelle nationale²⁵. Plus des trois quarts de cette contribution bénéficient à la région Bretagne (10,48 millions d'euros). Le projet génère 116 emplois à l'échelle

²⁵ Aux prix de base (c'est-à-dire notamment hors taxes), compte tenu du mode de valorisation du TES symétrique.

nationale, dont les deux tiers en Bretagne (78 emplois). Enfin, compte tenu des importations que suscite le projet, sa contribution au solde du commerce extérieur est estimée à 8,38 millions d'euros.

Ces effets globaux peuvent être décomposés en effet direct, effet indirect et effet induit.

À l'échelle nationale, l'effet direct représente 73% de l'effet global en ce qui concerne le PIB et 59% en ce qui concerne l'emploi (rappelons que, sous l'appellation « effet directs », nous regroupons l'effet immédiat de l'apparition de la nouvelle activité et les effets de première génération de ses besoins en inputs domestiques). Pour le solde du commerce extérieur, l'effet direct est plus favorable que l'effet global, car les effets indirects et induits sur cet indicateur sont négatifs, consistant exclusivement en importations.

À l'échelle régionale, la situation est différenciée selon la nature des effets. L'effet direct est concentré en Bretagne (plus de 90% de l'effet direct total), ce qui reflète l'implantation de la nouvelle activité dans cette région, mais aussi celle d'une majorité de ses fournisseurs directs. En revanche l'effet indirect et l'effet induit sont majoritairement localisés dans les autres régions françaises (environ les trois quarts pour l'effet indirect, et les deux tiers pour l'effet induit).

Rappelons que, parmi les techniques utilisables pour la régionalisation du TES symétrique nationale, nous avons retenu la plus conservatrice, c'est-à-dire celle qui débouche sur les multiplicateurs régionaux les plus faibles (supra, **Fig. 35**). Le choix d'une autre technique (ACLQ ou CLQ) aurait conduit à une estimation plus élevée de la part de la région Bretagne dans les effets nationaux du projet.

Conclusion

Les marées vertes qui affectent de façon récurrente les côtes du Shandong, de la Bretagne et d'autres régions du monde s'inscrivent dans un ensemble plus large, désigné par l'acronyme anglais HAB (Harmful Algal Bloom). En pleine expansion à l'échelle mondiale, les HAB font l'objet d'une littérature abondante, portant principalement sur leurs aspects bio-écologiques mais aussi, de plus en plus, sur leurs aspects socio-économiques. Plusieurs raisons expliquent cette évolution.

En premier lieu, les impacts des HAB sur la santé publique et sur diverses activités humaines sont souvent importants, et l'évaluation économique de ces impacts constitue, en principe, un élément d'information important pour la prise de décision dans le cadre des politiques publiques. En second lieu, les facteurs qui sont à l'origine des HAB sont, pour une large part, de nature anthropique, et souvent liés au développement de certaines activités dont le poids économique doit être pris en considération, notamment lors de l'élaboration de mesures de prévention. En troisième lieu, il est souvent efficace de chercher à obtenir les modifications de comportements susceptibles d'atténuer le phénomène des HAB par des mécanismes d'incitation économique. Enfin, les perceptions du public vis-à-vis des HAB jouent un rôle important, sur le plan de leur impact économique (consommation de certains produits, fréquentation de certaines zones) comme sur celui de la faisabilité des politiques publiques et, de ce fait, il importe d'en avoir une connaissance précise.

Dans le cas spécifique des marées vertes, une littérature importante a été publiée sur les mécanismes bio-écologiques à l'œuvre. Les causes des marées vertes en Bretagne, par exemple, sont maintenant bien établies et font l'objet d'un consensus au sein de la communauté scientifique. En revanche, l'évaluation économique des marées vertes reste un thème très peu exploré. Cette remarque s'applique tout particulièrement à la valorisation des algues récoltées lors des épisodes de marée verte, ce qui peut

s'expliquer par le caractère à ce jour peu développé et encore fortement expérimental de la filière de valorisation des algues vertes.

Cette thèse avait pour objectif d'apporter une contribution, à la fois méthodologique et empirique, à l'évaluation économique des marées vertes, en incluant dans cette évaluation la valorisation des algues collectées lors des épisodes de marées vertes.

Sur le plan méthodologique, les outils mis en œuvre ont été choisis parmi la panoplie de ceux qui sont habituellement utilisés pour l'évaluation des HAB, et que la revue de littérature que nous avons réalisée et présentée dans l'introduction de cette thèse a permis d'identifier. Notre choix a été guidé par un souci de faisabilité pratique, plutôt que de sophistication théorique. Ainsi par exemple, pour l'évaluation des effets régionaux de la valorisation industrielle des algues vertes, nous avons opté pour le recours à la méthode entrées-sorties en dépit de ses limitations bien connues, car cette méthode pouvait s'appuyer sur une base statistique solide.

En ce qui concerne les aspects factuels, nous avons dû nous résoudre à juxtaposer deux cas d'études distincts (l'un pour les mécanismes et le coût des marées vertes, l'autre pour les effets économique de la valorisation) sans pouvoir, dans le cadre de cette thèse, unifier l'analyse comme il aurait été souhaitable de le faire. Pour l'analyse des mécanismes et du coût des marées vertes, nous avons choisi de nous focaliser sur le cas de la Mer Jaune, dont l'étude pouvait s'appuyer sur une recherche bibliographique et un travail de terrain menés dans le cadre d'un accueil à l'Université Océanique de Chine. Par rapport à d'autres cas, mieux documentés dans la littérature, le cas des marées vertes de la Mer Jaune nous semblait présenter des particularités intéressantes à étudier, du fait de la relative complexité des mécanismes bio-économiques à l'œuvre, mais aussi de la dualité des régions impliquées. En ce qui concerne l'analyse de la valorisation des algues récoltées dans le cadre des marées vertes, les informations disponibles ne permettaient pas d'approfondir le cas de la Mer Jaune. C'est pourquoi nous avons choisi le cas de la Bretagne, pour lequel nous pouvions accéder à des données plus précises. Tout d'abord, sur le plan micro-économique, l'entreprise OLMIX, au sein de laquelle nous avons réalisé cette thèse dans le cadre d'une bourse CIFRE, nous a donné accès au programme ULVANS, qui nous a servi de cas d'étude pour la valorisation des algues vertes. Ensuite, sur le plan

macro-économique, nous avons pu mobiliser des données détaillées à différentes échelles spatiales, grâce à la régionalisation que nous avons effectuée du TES symétrique en 64 branches de l'économie française, accessible sur le site EUROSTAT.

Les résultats obtenus à l'issue de cette thèse sont très inégaux. En ce qui concerne les marées vertes de la Mer Jaune, nous avons tout d'abord construit une modélisation qualitative du phénomène, appuyée sur la bibliographie et sur les informations issues des contacts de terrain que nous avons noués sur place. En utilisant les méthodologies indiquées dans la littérature sur l'évaluation économique des HAB, nous avons ensuite cherché à quantifier les éléments du coût social des marées vertes que cette première phase nous avait permis d'identifier, et, sur cette base, nous avons comparé différents scénarios de gestion, dans l'optique de l'analyse coût-avantage. Cependant, nous n'avons pas pu couvrir l'intégralité des éléments formant le coût social des marées vertes. Par manque de données, nous avons laissé de côté le coût écologique, sur lequel pèsent de fortes incertitudes scientifiques. Nous avons également renoncé à évaluer le coût pour la pêche, qui a été évoqué lors des entretiens de terrain que nous avons menés, mais dont il y a lieu de penser qu'il est assez limité du fait du calendrier des marées vertes. L'impact possible des marées vertes sur les valeurs foncières n'a pas non plus été estimé, de même que leurs effets indirects et induits. Par ailleurs, les estimations concernant les éléments que nous avons couverts sont plus ou moins précises et fiables. Dans certains cas, nous avons dû nous contenter d'évaluations globales, que nous n'avons pas pu vérifier ou préciser par d'autres sources. Dans d'autres cas, nous avons pu disposer de données statistiques relativement détaillées (tourisme, aquaculture), mais leur résolution géographique n'était pas toujours suffisante pour cerner de façon précise l'impact des marées vertes, et la question des possibles transferts d'activité qui en résultent n'a pas pu être traitée à fond. Enfin, en ce qui concerne l'évaluation des pertes d'aménités subies par les usagers récréatifs, les enseignements que l'on peut tirer de notre enquête sont limités par le problème de la représentativité de notre échantillon, en dépit du redressement statistique que nous avons opéré sur le sous-échantillon des résidents. Ces lacunes et incertitudes restreignent la portée de la comparaison des scénarios de gestion que nous avons présentés à l'issue de notre évaluation du coût social des marées vertes. Au moins cette évaluation repose-t-elle sur une base méthodologique explicite et des données

dont la provenance et le traitement sont transparents, ce qui, dans le cas concerné, constitue à notre connaissance une innovation.

En ce qui concerne la valorisation des algues vertes, nos investigations ont consisté, en premier lieu, à questionner les acteurs et les spécialistes pour obtenir une compréhension qualitative du sujet et recueillir des données de caractère micro-économique. Ensuite, l'essentiel du travail a consisté à modéliser le cas d'étude, d'abord sur le plan théorique puis sur le plan empirique. La méthodologie input-output que nous avons utilisée pour cette modélisation est aujourd'hui bien rôdée. Sur le plan théorique, il s'agissait pour nous d'adapter cette méthodologie à la représentation des effets, en amont et en aval, d'une innovation industrielle que nous avons interprétée comme l'apparition d'une nouvelle branche au sein du tableau entrée-sorties. Les effets amont de l'apparition de cette nouvelle branche sont les plus classiques et peuvent être traités à l'aide de l'approche Leontief standard, que nous avons élargie afin de prendre en compte les effets induits (consommation finale endogène). Pour les effets aval, nous avons recouru à la modélisation Ghosh-Dietzenbacher, dans laquelle les coefficients techniques sont remplacés par des coefficients de distribution. Sur le plan empirique, les données disponibles permettaient seulement l'étude des effets amont, qui, au stade actuel, sont les seuls concernés par notre cas d'étude. La quantification de ces effets a nécessité la mise en conformité des données microéconomiques relatives au programme ULVANS avec la nomenclature du modèle macroéconomique utilisé, puis la régionalisation de celui-ci afin de pouvoir mesurer les effets de ce programme sur l'économie bretonne. Pour cela, nous avons testé différentes méthodes de régionalisation des coefficients techniques issus du TES symétrique national en 64 branches (le TES le plus détaillé disponible), et retenu la méthode donnant les résultats les plus conservateurs, qui est aussi la plus récente et la plus complète, dans la mesure où elle prend en compte explicitement l'effet de taille, à la différence des méthodes plus anciennes. Notre évaluation nous paraît donc pouvoir être considérée comme raisonnable et prudente, en l'état des informations actuellement disponibles.

Les perspectives de recherche ultérieure qu'ouvre cette thèse nous semblent se situer principalement sur deux plans.

D'une part, la construction de scénarios de gestion plus élaborés et plus solides que ceux que nous avons esquissés dans cette thèse implique d'améliorer sensiblement la mesure du coût social des marées vertes et des effets économiques de la valorisation des algues vertes. Cela suppose d'abord un approfondissement de la collecte des données ainsi que de leur traitement statistique, resté très basique dans notre travail. En outre, il pourrait être utile de recourir à de nouveaux outils méthodologiques, comme la méthode des prix hédoniques pour l'évaluation de l'incidence des marées vertes sur les valeurs foncières, ou la méthode des choix expérimentaux pour l'estimation des valeurs non marchandes. Enfin, l'intégration de l'évaluation des effets de la valorisation des algues vertes dans l'analyse coût-avantage des scénarios de gestion des marées vertes, que nous n'avons pu qu'esquisser dans cette thèse, constitue sans doute un enjeu important pour la définition et l'évaluation des politiques publiques.

D'autre part, l'enquête de terrain que nous avons menée dans le Shandong et dans le Jiangsu a fait ressortir l'importance de la prise en compte du jeu des acteurs dans l'analyse des politiques de gestion des marées vertes, qui ne peut se réduire à la comparaison quantitative de scénarios dans une optique d'analyse coût-avantage. Du fait de leur mode de diffusion spatiale, les marées vertes de la Mer Jaune mettent en jeu des acteurs appartenant à deux provinces différentes, dans lesquelles la perception des marées vertes n'est pas la même. L'absence de prise en compte de cette hétérogénéité et des comportements qui en découlent peut nuire à l'efficacité des politiques publiques, dans la mesure où un scénario apparaissant efficace si l'on se place à l'échelle intégrée des deux provinces peut ne pas l'être si l'on considère la situation dans une province particulière. Dans un jeu non-coopératif, on sait que ce genre de situation a une forte probabilité de conduire à un équilibre de Nash non optimal au sens de Pareto. Nous n'avons pu qu'esquisser ici l'étude de ce problème, dont une analyse approfondie présenterait un intérêt scientifique et pratique important.

Index des tableaux

	Page
Tab. 1 Densité de population et PIB par habitant (année 2013)	22
Tab. 2 Structure sectorielle du PIB (année 2010)	22
Tab. 3 Taux d'urbanisation dans les zones littorales concernées par les marées vertes	24
Tab. 4 Proportion des eaux classées au grade I ou II dans les mers côtières de la Chine	25
Tab. 5 Evolution de la proportion des eaux classées I ou II en Mer Jaune, 2003-2013	25
Tab. 6 Evolution de la production aquacole en eau douce de crabes <i>Eriocheir sinensis</i> et de crevettes <i>Panaeus vannamei</i> , 2000-2013	32
Tab. 7 Marées vertes en Mer Jaune : surfaces couvertes et surfaces de répartition maximales, 2008-2014	35
Tab. 8 Evolution de la production d'algues <i>Porphyra</i> , 2000-2013	36
Tab. 9 Données publiées sur les quantités d'algues ramassées dans le Shandong, 2007-2013	38
Tab. 10 Organisation de la lutte contre les marées vertes dans la municipalité de Qingdao	43
Tab. 11 Informations d'alerte prévues par le Plan d'action d'urgence de Qingdao contre les catastrophes dues aux macro-algues marines	45
Tab. 12 Evolution des implantations industrielles du Qingdao Seawin Biotech Group	51
Tab. 13 Enquête auprès des acteurs et des experts : nombre d'entretiens, par province et par catégorie de répondant	53
Tab. 14 Enquête auprès des acteurs et des experts : typologie des réponses	58
Tab. 15 Enquête auprès du public : structure du questionnaire	59
Tab. 16 Données statistiques sur la population résidant à Qingdao, année 2010	63
Tab. 17 Réponses à la question 1 : « Avez-vous connaissance du phénomène des marées vertes ? »	64
Tab. 18 Réponses à la question 2 : « Par quel moyen avez-vous pris connaissance du phénomène des marées vertes ? »	65
Tab. 19 Réponses à la question 3 : « Pensez-vous que les marées vertes créent des dommages ? »	65
Tab. 20 Réponses à la question 4 : « Selon vous, dans quel domaine les marées vertes ont-elles les effets les plus graves ? »	66
Tab. 21 Réponses à la question 5 : « Selon vous, quelle attitude faut-il adopter face aux marées vertes ? »	66
Tab. 22 Estimation du poids économique des principaux secteurs d'activité concernés par le phénomène des marées vertes dans la Mer Jaune (année 2012)	75

Tab. 23	Surfaces d'élevage d'holothuries, ormeaux et palourdes dans le Shandong en 2010	81
Tab. 24	Estimation du coût de la protection de l'aquaculture	82
Tab. 25	Estimation des coûts de collecte à Qingdao, 2012-2013	85
Tab. 26	Estimation des coûts de gestion des marées vertes : synthèse	88
Tab. 27	Part des municipalités du littoral sud du Shandong dans la production d'espèces sensibles aux marées vertes, année 2010	91
Tab. 28	Indicateurs de l'économie touristique dans le Shandong, année 2011	95
Tab. 29	Indicateurs du poids du tourisme dans l'économie locale, année 2013	95
Tab. 30	Enquête auprès du public : 2 ^{ème} partie du questionnaire	104
Tab. 31	Réponses à la question 6 : « Seriez-vous d'accord pour contribuer personnellement au financement de la lutte contre les marées vertes ? »	105
Tab. 32	Réponses à la question 7 : « Si vous ne souhaitez pas contribuer, pour quelle raison principale ? »	107
Tab. 33	Réponses à la question 8 : « Si vous acceptez de contribuer, sous quelle forme préféreriez-vous le faire ? »	108
Tab. 34	Réponses à la question 9 : « Combien seriez-vous prêt(e) à payer pour le financement d'une collecte des algues en mer ? »	110
Tab. 35	Réponses à la question 10 : « Combien seriez-vous prêt(e) à payer pour le financement d'un ramassage des algues sur les plages ? »	110
Tab. 36	Consentements à payer : valeurs centrales et dispersion	110
Tab. 37	Comparaison des CAP pour la collecte en mer et pour le ramassage sur la plage	112
Tab. 38	Réintégration des personnes ayant déclaré ne pas connaître les marées vertes dans l'évaluation des consentements à payer	113
Tab. 39	Redressement de l'échantillon pour le calcul des CAP moyens des résidents	115
Tab. 40	Estimation des coûts résiduels des marées vertes : synthèse	117
Tab. 41	Récapitulatif de l'évaluation du coût social des marées vertes	118
Tab. 42	Répartition par province des coûts de gestion estimés des marées vertes	125
Tab. 43	Scénario d'abattement : variations d'activité dans les secteurs à la source des marées vertes	128
Tab. 44	Scénario d'abattement : calcul du résultat net selon l'hypothèse d'abattement	128
Tab. 45	Répartition par province des coûts et bénéfices du scénario d'abattement	129
Tab. 46	Evaluation des effets macroéconomiques du programme Ulvans : contributions au PIB, à l'emploi et au commerce extérieur	185

Index des Figures

	Page
Fig. 1 Classification phycologique simplifiée des ulves	12
Fig. 2 La Mer Jaune	20
Fig. 3 Localisation des provinces du Jiangsu et du Shandong	21
Fig. 4 Localisation des zones directement concernées par les marées vertes	21
Fig. 5 Carte de la qualité des eaux côtières chinoises en 2013	25
Fig. 6 Trajectoire des eaux côtières en Mer Jaune en 2008	33
Fig. 7 Surface couverte et surface de répartition	34
Fig. 8 Formation, développement et récession des marées vertes en Mer Jaune	39
Fig. 9 Vue de la marée verte sur la plage de Qingdao en juillet 2013	41
Fig. 10 Distribution spatiale de la marée verte en Mer Jaune le 22 juin 2014	44
Fig. 11 Plateforme de traitement des algues vertes en mer Haizhuangyuan	47
Fig. 12 Spécialités alimentaires de la province du Zhejiang à base d' <i>Ulva prolifera</i>	49
Fig. 13 Schéma conceptuel pour l'évaluation économique des marées vertes en Mer Jaune	71
Fig. 14 Evolution du taux de croissance annuel de la production aquacole d'espèces sensibles aux marées vertes dans le Shandong, 2004-2015	92
Fig. 15 Taux de variation des surfaces d'élevage moyennes et de la production aquacole moyenne d'espèces sensibles aux marées vertes dans le Shandong, de 2003-2007 à 2008-2015	92
Fig. 16 Taux de croissance annuels moyens en volume de la dépense touristique à Qingdao et dans le reste du Shandong, 2001-2014	96
Fig. 17 Indices en volume de la dépense touristique à Qingdao et dans le Shandong, base 100 en 2000	97
Fig. 18 Relation entre PIB national et dépense touristique à Qingdao, années 2000-2014	99
Fig. 19 Relation entre PIB national et dépense touristique dans le Shandong hors Qingdao, années 2000-2014	101
Fig. 20 Croissance de la dépense touristique dans le Shandong et à l'échelle nationale	102
Fig. 21 Relation entre CAP moyen et classe de revenu	111
Fig. 22 CAP moyen selon le niveau d'éducation des répondants	115
Fig. 23 Filière de valorisation des algues vertes : schéma du programme Ulvans	135
Fig. 24 Structure du TES standard	138
Fig. 25 Equilibre ressources-emplois par produit dans le TES standard	139
Fig. 26 Composition de la valeur de la production des branches dans le TES standard	139

Fig. 27 Calcul du PIB : 1 ^{ère} méthode	140
Fig. 28 Calcul du PIB : 2 ^{ème} méthode	140
Fig. 29 Structure du TES symétrique	140
Fig. 30 Equilibre ressources-emplois des produits domestiques dans le TES symétrique	141
Fig. 31 Equilibre ressources-emplois des produits importés dans le TES symétrique	141
Fig. 32 Composition de la valeur de la production des branches dans le TES symétrique	142
Fig. 33 Enchaînement des effets d'une modification de la demande finale exogène	147
Fig. 34 Schéma de passage à la forme réduite	154
Fig. 35 Ecart relatifs entre les multiplicateurs de Leontief régionalisés obtenus par les méthodes CLQ, ACLQ, FLQ	183

Bibliographie

- Alcock F. (2007) *An assessment of Florida red tide: Causes, consequences and management strategies*. Marine Policy Institute at Mote Marine Laboratory, Technical report 1190, ajuist 2007. 46 p.
- Anderson D. (1989) *Toxic algal blooms and red tides: A global perspective*. In: Okaichi T., Anderson D., Nemoto T. (Eds.), *Red tides: Biology, Environmental Science and Technology*. Elsevier, p.11-16.
- Anderson D. (2009) "Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs)" *Ocean & Coastal Management*, 52(7), p.342-347.
- Anderson D., Burkholder J., Cochlan W., Glibert P., Gobler C., Heil C., Kudela R., Parsons M., Rensel J., Townsend D., Trainer V., Vargo G. (2008) "Harmful algal blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States" *Harmful Algae*, 8(1), p.39-53.
- Anderson D., Cembella A., Hallegraeff G. (2012) "Progress in understanding harmful algal blooms: Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management" *Annual Review of Marine Science*, 4, 143-176.
- Anderson D., Glibert P., Burkholder J. (2002) "Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences" *Estuaries*, 25(4), p.704-726.
- Anderson D., Kaoru Y., White A. (2000) *Estimated annual economic impacts from harmful algal blooms (HABs) in the United States*. WHOI-2000-11, Technical report, september 2000. 96 p.
- André-Fas C. (2001) « Modèle I-O régional : Méthode de génération aléatoire des coefficients soumise à contrainte d'exactitude semi-partitive » *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, avril(2), p.197-227.
- Bergha J., Nunesa P., Dotingab H., Kooistrac W., Vrielingc E., Peperzak L. (2002) "Exotic harmful algae in marine ecosystems: An integrated biological-economic-legal analysis of impacts and policies" *Marine Policy*, 26(1), p.59-74.

- Boncoeur J., Fifas S., Le Gallic B. (2000) « Un modèle bioéconomique d'évaluation du coût social des rejets au sein d'une pêcherie complexe » *Economie et prévision*, 143-144(2-3), p. 185-199.
- Boudet C., Durif M., Godefroy F., Bailleul S., Fuvel F., Granier D., Papin A. (2011) *Caractérisation des concentrations en hydrogène sulfuré et autres composés soufrés sur la plage de la baie de Morieux (22) et à l'embouchure du Gouessant*. INERIS, Rapport d'étude No DRC-11-123950-09063A, 53 p.
- Braibant M., Arthaut R. (2011) *La confection d'un TES symétrique pour EUROSTAT et d'un tableau de contenu en importation*. Base 2000 des comptes nationaux, Note méthodologique n°20, juin 2011. INSEE, 55 p.
- Brazos River Authority, Tarleton State University, Texas A&M University, Texas Agriculture Experiment Station, Texas Department of Health, Texas Parks and Wildlife Department, University of Texas, U.S. Geological Survey. (2002) *Toxic golden algal in Texas*. 19 p.
- Bricelj V., Kuenstner S. (1989) *Effects of the "brown tide" on the feeding physiology and growth of bay scallops and mussels*. In: Cosper E., Bricelj V. et Carpenter E. (Eds.), *Novel phytoplankton blooms: Causes and impacts of recurrent brown tides and other unusual blooms*. Springer Berlin Heidelberg, p. 491-509.
- Bricelj V., Scott P., Roxanna S. (2004) "Concentration-dependent effects of toxic and non-toxic isolates of the brown tide alga *Aureococcus anophagefferens* on growth of juvenile bivalves" *Marine ecology progress series*, 282, p.101-114.
- Buskey E., Liu H., Collumb C., Bersano J. (2001) "The decline and recovery of a persistent texas brown tide algal bloom in the laguna Madre (Texas, USA)" *Estuaries*, 24(3), p.337-346.
- Buskey E., Montagna P., Amos A., Whitledge T. (1997) "Disruption of grazer populations as a contributing factor to the initiation of the Texas brown tide algal bloom" *Limnology and Oceanography*, 42(5part2), p.1215-1222.
- Carmichael W. (2001) "Health effects of toxin-producing cyanobacteria: "The cyanohabs" " *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 7(5), p.1393-1407.
- Castro N., Domingos P., Moser G. (2016) "National and international public policies for the management of harmful algal bloom events. A case study on the brazilian coastal zone" *Ocean & coastal management*, 128, p.40-51.

- Charlier R., Morand P., Finkl C., Thys A. (2007) "Green tides on the Brittany coasts" *Environmental Research Engineering and Management*, No.3(41), p.52-59.
- Chen Y., Liang J., Chen C., Liu G., Gao Y. (2015) "Brown tide: A new ecosystem disruptive algal bloom" *Chinese Journal of Ecology*, 34(1), p.274-281
- Chen Z., Wang S., Han S., Chen H. (2014) "Climatic characteristic of precipitation from 1960 to 2012 in Jiangsu province" *Journal of Irrigation and Drainage*, 33(Z1), p.306-310.
- Chevassus-Au-Louis B., Andral B., Femenias A., Boumer M. (2012) *Bilan des connaissances scientifiques sur les causes de prolifération de macroalgues vertes. Application à la situation de la Bretagne et propositions*. Paris, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire. 147 p.
- China Biotechnology Information Website.
(<http://www.biotech.org.cn/news/news/show.php?id=62228>)
- Coase R. (1960) "The problem of social cost" *Journal of Law and Economics*, vol. 3 n°1, p. 1-44.
- Conley D., Paerl H., Howarth R., Boesch D., Seitzinger S., Havens K., Lancelot C., Likens G. (2009) "Ecology controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus" *Science*, 323(5917), p.1014-1015.
- Costello C., Gaynes S., Lynham J. (2008) "Fish resources conservation and access regulation: a meta-analysis" *Science* n°321, p. 1678-1681.
- Daranas A., Norte M., Fernandez J. (2001) "Toxic marine microalgae" *Toxicon*, 39(8), p.1101-1132.
- Davoust-Bossard P. (2001) *Evaluation des effets économiques des politiques structurelles européennes. Application de la méthodologie tes au programme objectif 5b en Bretagne*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, France. 362 p.
- Dietzenbacher E. (1997) "In vindication of the Ghosh model: a reinterpretation as a price model" *Journal of Regional Science* 37(4) p. 629-651.
- Ding L., Fei X., Lu Q., Deng Y., Lian S. (2009) "The possibility analysis of habitats, origin and reappearance of bloom green alga (*Enteromorpha prolifera*) on

- inshore of western Yellow Sea” *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27(3), p.421-424.
- Dodds W., Smith V. (2016) “Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams” *Inland Waters*, 6(2), p.155-164.
- Dodds W., Bouska W., Eitzmann J., Pilger T., Pitts K., Riley A., Schloesser J., Thornbrugh D. (2009) “Eutrophication of U.S. Freshwaters: Analysis of potential economic damages” *Environmental Science & Technology*, 43(1), p.12-19.
- Duan W., Guo L., Sun D., Zhu S., Chen X., Zhu W., Xu T., Chen C. (2012) “Morphological and molecular characterization of free-floating and attached green macroalgae *Ulva* spp. In the Yellow Sea of China” *Journal of Applied Phycology*, 24(1), p.97-108.
- Dyson K., Huppert D. (2010) “Regional economic impacts of razor clam beach closures due to harmful algal blooms (HABs) on the pacific coast of Washington” *Harmful Algae*, 9(3), p.264-271.
- Evans G., Jones L. (2001) *Economic impact of the 2000 red tide on Galveston county, Texas. A case study*. Texas A&M University, Report, TPWD No 666226, FAMIS 403206, june 2001. 53 p.
- Fei X. (2004) “Solving the coastal eutrophication problem by large scale seaweed cultivation” *Hydrobiologia*, 512(1), p.145-151.
- Fleming L., Kirkpatrick B., Backer L., Walsh C., Nierenberg K., Clark J., Reich A., Hollenbeck J., Benson J., Cheng Y., Naar J., Pierce R., Bourdelais A., Abraham W., Kirkpatrick G., Zaias J., Wanner A., Mendes E., Shalat S., Hoagland P., Stephan W., Bean J., Watkins S., Clarke T., Byrne M., Baden D. (2011) “Review of Florida red tide and human health effects” *Harmful Algae*, 10(2), p.224-233.
- Flegg A., Tohmo T. (2013) “Regional input–output tables and the FLQ formula: A case study of Finland” *Regional Studies*, 47(5), p.703-721.
- Flegg A., Webber C. (1997) “On the appropriate use of location quotients in generating regional input-output tables: Reply” *Regional Studies*, 31(8), p.795-805.
- Frésard M. (2008) *Analyse économique du contrôle d'une invasion biologique. Modélisation théorique et application à la pêche de coquille saint-jacques*

de la baie de saint-brieuc envahie par la crépidule. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 150 p.

- Gao S., Chen X., Yi Q., Wang G., Pan G., Lin A., Peng G. (2010) "A strategy for the proliferation of *Ulva prolifera*, main causative species of green tides, with formation of sporangia by fragmentation" *PLoS One*, 5(1), p.1-7.
- Gayral M. (2014) « Morphologie et morphogénèse des ulvales » *Bulletin de la Société Botanique de France*, 115(sup1), p.130-141.
- Gheilani H., Matsuoka K., Alkindi A., Amer S., Waring C. (2011) "Fish kill incidents and harmful algal blooms in Omani waters" *Agricultural and Marine Sciences*, 16, p.23-33.
- Ghosh A. (1958) "Input-output approach in an allocation system" *Economica* 25(97) p. 28-64.
- Glibert P., Pitcher G. (2001) *GEOHAB. Global ecology and oceanography of harmful algal blooms, science plan*. Baltimore and Paris, SCOR and IOC. 87 p.
- Gower J., Hu C., Borstad G., King S. (2006) "Ocean color satellites show extensive lines of floating Sargassum in the gulf of Mexico" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(12), p.3619-3625.
- Gower J., King S. (2011) "Distribution of floating sargassum in the gulf of Mexico and the Atlantic ocean mapped using meris" *International Journal of Remote Sensing*, 32(7), p.1917-1929.
- Gower J., Young E., King S. (2013) "Satellite images suggest a new sargassum source region in 2011" *Remote Sensing Letters*, 4(8), p.764-773.
- Guillas N. (2013) « La raffinerie qui craque les algues vertes » *Science-Ouest*, n°313, p. 8-9.
- Hall E., Nierenberg K., Boyes A., Heil C., Flewelling L., Kirkpatrick B. (2012) "The art of red tide science" *Harmful Algae*, 17, p.1-5.
- Hallegraeff G. (1993) "A review of harmful algal blooms and their apparent global increase" *Phycologia*, 32(2), p.79-99.
- Hardouin K., Bedoux G., Burlot A., Donnay-Moreno C., Bergé J., Nyvall-Collén P., Bourgougnon N. (2016) "Enzyme-assisted extraction (EAE) for the production of antiviral and antioxidant extracts from the green seaweed *Ulva armoricana* (ulvales, ulvophyceae)" *Algal Research*, 16, p.233-239.

- Harrigan F., Mcgilvray J., Mcnicoll I. (1980) "Simulating the structure of a regional economy" *Environment and Planning A*, 12(8), p.927-936.
- Harrigan F., Mcgilvray J., Mcnicoll I. (1981) "The estimation of interregional trade flows" *Journal of Regional Science*, 21(1), p.65-77.
- Hayden H., Waaland J. (2004) "A molecular systematic study of *Ulva* (ulvaceae, ulvales) from the northeast Pacific" *Phycologia*, 43(4), p.364-382.
- He P., Zhang J., Chen L., Huo Y., Xu W., Han H., Yu K., Ding D. (2015) *Species population succession trend for green tide blooming in the Yellow Sea*. Paper presented at the 2nd international symposium of advanced research on green tides, Shanghai Ocean University.
- Heisler J., Glibert P., Burkholder J., Anderson D., Cochlan W., Dennison W., Dortch Q., Gobler C., Heil C., Humphries E., Lewitus A., Magnien R., Marshall H., Sellner K., Stockwell D., Stoecker D., Suddleson M. (2008) "Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus" *Harmful Algae*, 8(1), p.3-13.
- Hewings G. (1977) "Evaluating the possibilities for exchanging regional input - output coefficients" *Environment and Planning A*, 9, p.927-944.
- Hiraoka M., Ohno M., Kawaguchi S., Yoshida G. (2004) "Crossing test among floating *Ulva* thalli forming "green tide" in Japan" *Hydrobiologia*, 512(1-3), p.239-245.
- Hoagland P., Anderson D., Kaoru Y., White A. (2002) "The economic effects of harmful algal blooms in the United States: Estimates, assessment issues, and information needs" *Estuaries*, 25(4), p.819-837.
- Hoagland P., Jin D., Beet A., Kirkpatrick B., Reich A., Ullmann S., Fleming L., Kirkpatrick G. (2014) "The human health effects of Florida red tide (FRT) blooms: An expanded analysis" *Environmental International*, 68, p.144-153.
- Hoffmann A., Santelice B. (1991) "Bank of algae microscopic forms hypothesis on their functioning and comparison with seed banks" *Marine ecology progress series*, 79, p.185-194.
- Holdt S., Kraan S. (2011) "Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation" *Journal of Applied Phycology*, 23(3), p.543-597.
- Howard A. (1994) "Problem cyanobacterial blooms: Explanation and simulation

- modelling” *Transactions of the Institute of British Geographers*, 19(2), p.213-224.
- Hu C., He M. (2008) “Origin and offshore extent of floating algae in Olympic sailing area” *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(33), p.302-303.
- Hu C., Li D., Chen C., Ge J., Muller-Karger F., Liu J., Yu F., He M. (2010) “On the recurrent *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea and east China sea” *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115, 105017.
- Hudnell H. (2010) “The state of U.S. Freshwater harmful algal blooms assessments, policy and legislation” *Toxicon*, 55(5), p.1024-1034.
- Inamori Y., Sugiura N., Iwami N., Matsumura M., Hiroki M., Watanabe M. (1998) “Degradation of the toxic cyanobacterium *microcystis viridis* using predaceous micro-animals combined with bacteria” *Phycological Research*, 46, p.37-44.
- Jewett E., Lopez C., Dortch Q., Etheridge S., Backer L. (2008) *Harmful algal bloom management and response: assessment and plan*. Interagency working group on harmful algal blooms, hypoxia, and human health of the joint subcommittee on ocean science and technology. Washington, DC. 76 p.
- Johns P., Leat P. (1987) “The application of modified grit input-output procedures to rural development analysis in Grampian region” *Journal of Agricultural Economics*, 38(2), p.242-256.
- Keesing J., Liu D., Fearn P., Garcia R. (2011) “Inter- and intra-annual patterns of *Ulva prolifera* green tides in the Yellow Sea during 2007-2009, their origin and relationship to the expansion of coastal seaweed aquaculture in China” *Marine Pollution Bulletin*, 62(6), p.1169-1182.
- Kirkpatrick B., Kohler K., Byrne M., Fleming L., Scheller K., Reich A., Hitchcock G., Kirkpatrick G., Ullmann S., Hoagland P. (2014) “Human responses to Florida red tides: Policy awareness and adherence to local fertilizer ordinances” *Science of the Total Environment*, 493, p.898-909.
- Kong F., Yu R., Zhang Q., Yan T., Zhou M. (2012) “Pigment characterization for the 2011 bloom in Qinhuangdao implicated “brown tide” events in China” *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 30(3), p.361-370.
- Kraeuter J., Klinck J., Powell E., Hofmann E. (2008) *Effects of the fishery on the northern Quahog (=Hard Clam, Mercenaria Mercenaria L.) population in*

great south bay, New York: A modeling study. CCPO Publications, 42 p.

- Kudela R., Berdalet E., Bernard S., Burford M., Fernand L., Lu S., Roy S., Tester P., Usup G., Magnien R., Anderson D., Cembella A., Chinain M., Hallegraeff G., Reguera B., Zingone A., Enevoldsen H., Urban E. (2015) *Harmful algal blooms. A scientific summary for policy makers*. IOC/UNESCO, Paris (IOC/INF-1320), 19 p.
- Laffoley D., Roe H., Angel M., Ardron J., Bates N., Boyd I., Brooke S., Buck K., Carlson C., Causey B., Conte M., Christiansen S., Cleary J., Donnelly J., Earle S., Edwards R., Gjerde K., Giovannoni S., Gulick S., Gollock M., Hallett J., Halpin P., Hanel R., Hemphill A., Johnson R., Knap A., Lomas M., Mckenna S., Miller M., Miller P., Ming F., Moffitt R., Nelson N., Parson L., Peters A., Pitt J., Rouja P., Roberts J., Roberts J., Seigel D., Siuda A., Steinberg D., Stevenson A., Sumaila V., Swartz W., Thorrold S., Trott T., Vats V. (2011) *The protection and management of the sargasso sea: The golden floating rainforest of the atlantic ocean. Summary science and supporting evidence case*. Sargasso Sea Alliance, 44 p.
- Lahaye M., Robic A. (2007) "Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds" *Biomacromolecules*, 8(6), p.1765-1774.
- Lahr M. (1998) *A strategy for producing hybrid regional input-output tables*. Paper presented at the 12th International Conference on Input-Output Techniques, New York City.
- Lahr M., De Mesnard L. (2004) "Biproportional techniques in input-output analysis: Table updating and structural analysis" *Economic Systems Research*, 16(2), p.115-134.
- Lapointe B. (1995) "A comparison of nutrient-limited productivity in sargassum natans from neritic vs. oceanic waters of the western north Atlantic ocean" *Limnology and Oceanography*, 40(3), p.625-633.
- Largo D., Sembrano J., Hiraoka M., Ohno M. (2004) "Taxonomic and ecological profile of "green tide" species of Ulva (ulvales, chlorophyta) in central Philippines" *Hydrobiologia*, 512(1-3), p.247-253.
- Larkin S., Adams C. (2007) "Harmful algal blooms and coastal business: Economic consequences in Florida" *Society & Natural Resources*, 20(9), p.849-859.
- Larkin S., Adams C. (2013) *Economic consequences of harmful algal blooms: Literature summary*. University of Florida, EDIS FE936, 10 p.

- Leliaert F., Zhang X., Ye N., Malta E., Engelen A., Mineur F., Verbruggen H., De Clerck O. (2009) "Research note: Identity of the Qingdao algal bloom" *Phycological Research*, 57(2), p.147-151.
- Leontief W. (1941) *The Structure of the American Economy, 1919-1939*. Harvard University Press.
- Leskinen E., Alstrom-Rapaport C., Pamilo P. (2004) "Phylogeographical structure, distribution and genetic variation of the green algae *Ulva intestinalis* and *U. Compressa* (chlorophyta) in the Baltic sea area" *Molecular Ecology*, 13(8), p.2257-2265.
- Lewitus A., Horner R., Caron D., Garcia-Mendoza E., Hickey B., Hunter M., Huppert D., Kudela R., Langlois G., Largier J., Lessard E., Ralonde R., Jack Rensel J., Strutton P., Trainer V., Tweddle J. (2012) "Harmful algal blooms along the north american west coast region: History, trends, causes, and impacts" *Harmful Algae*, 19, p.133-159.
- Li D., He S., Yang Q., Liu J., Yu F., He M., Hu C. (2008) "Origin and distribution characteristics of *Enteromorpha prolifera* in sea waters off Qingdao, China" (in chinese) *Environmental protection*, 402(8B), p.45-46.
- Li D., Yang Y., Dong H., Guo L., Liu X., Ma Y. (2009) "Cause analysis and synoptic characteristics for outbreaks of *Enteromorpha* around Qingdao in 2008" *Journal of Ocean University of China*, (06), p.1165-1170.
- Li M. (2011) "Advances in the research and development of the radial sand banks" (in chinese) *Journal of Waterway and Harbor*, (04), p.229-243.
- Lianyungang City Oceanic and Fishery Administration. *Sortie en mer pour chercher la trace des enteromorpha prolifera: Personnels du centre municipal de prévision et de surveillance de l'environnement marin et volontaires pour la propreté de la zone cotière*. (<http://www.lygofa.gov.cn/ziyuanbaohu/604.html>)
- Lin A., Shen S. (2007) *Observation of the reproductive pattern of Enteromorpha prolifera*. (in chinese) Paper presented at the Chinese society for oceanology and limnology, Phycology branch, 14st conference, Hohhot, Mongolie-Intérieure, China.
- Liu D., Bai J., Song S., Zhang J., Sun P., Li Y., Han G. (2007) "The impact of sewage discharge on the macroalgae community in the Yellow Sea coastal area around Qingdao, China" *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 7(6), p.683-692.

- Liu D., Keesing J., Dong Z., Zhen Y., Di B., Shi Y., Fearn P., Shi P. (2010) "Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, china: *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms" *Marine Pollution Bulletin*, 60(9), p.1423-1432.
- Liu D., Keesing J., Xing Q., Shi P. (2009) "World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China" *Marine Pollution Bulletin*, 58(6), p.888-895.
- Liu F. (2010) *The causes of green tides in the Yellow Sea and phylogenetic analysis of the bloom forming alga, Ulva prolifera (in chinese)*. Thèse de Doctorat, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, China. 116 p.
- Liu F., Pang S., Chopin T., Gao S., Shan T., Zhao X., Li J. (2013) "Understanding the recurrent large-scale green tide in the Yellow Sea: Temporal and spatial correlations between multiple geographical, aquacultural and biological factors" *Marine Environmental Research*, 83, p.38-47.
- Liu F., Pang S., Chopin T., Xu N., Shan T., Gao S., Sun S. (2009) "The dominant *Ulva* strain of the 2008 green algal bloom in the Yellow Sea was not detected in the coastal waters of Qingdao in the following winter" *Journal of Applied Phycology*, 22(5), p.531-540.
- Liu F., Pang S., Xu N., Shan T., Sun S., Hu X., Yang J. (2010) "Ulva diversity in the Yellow Sea during the large-scale green algal blooms in 2008-2009" *Phycological Research*, 58(4), p.270-279.
- Liu F., Pang S., Zhao X., Hu C. (2012) "Quantitative, molecular and growth analyses of *Ulva* microscopic propagules in the coastal sediment of Jiangsu province where green tides initially occurred" *Marine Environmental Research*, 74, p.56-63.
- Liu H., Buskey E. (2000) "The exopolymer secretions (eps) layer surrounding *aureoumbra lagunensis* cells affects growth, grazing, and behavior of protozoa" *Limnology and Oceanography*, 45(5), p.1187-1191.
- Lopez C., Jewett E., Dortch Q., Walton B., Hudnell H. (2008) *Scientific assessment of freshwater harmful algal blooms*. Interagency working group on harmful algal blooms, hypoxia, and human health of the joint subcommittee on ocean science and technology. Washington, DC. 65 p.
- Luo M., Liu F., Xu Z. (2012) "Growth and nutrient uptake capacity of two co-occurring species, *Ulva prolifera* and *Ulva linza*" *Aquatic Botany*, 100, 205

p.18-24.

- Ma H., Chen J., Cui Y., Zhao J., Ma S., Yang F. (2010) "Analysis of water quality and assesment of major pollutants inputs to the sea from the Guan river and Sheyang river" (in chinese) *Progress in Fishery Sciences*, (03), p.92-99.
- Maier H., Dandy G. (1997) "Modelling cyanobacteria (blue-green algae) in the river murray using artificial neural networks" *Mathematics and Computers in Simulation*, 43(3-6), p.377-386.
- Malta E., Draisma S., Kamermans P. (1999) "Free-floating *Ulva* in the southwest Netherlands: Species or morphotypes? A morphological, molecular and ecological comparison" *European Journal of Phycology*, 34(05), p.443-454.
- Mao Y., Ye N., Wang W., Zou J., Fang J., Zhuang Z., Wang Q., Tang Q. (2009) *The impcts on marine aquaculture in nearshore due to the Ulva prolifera disaster (in chinese)* Paper presented at the 39th Shuangqing symposium: Marine ecological disasters and ecological system security, Qingdao.
- Marre J-B., Thébaud O., Pascoe S., Jennings S., Boncoeur J., Coglán L. (2015) "The use of ecosystem services valuation in Australian coastal zone management" *Marine Policy* 56, p. 117-124.
- Martin J. (2010) *Impacts économiques d'une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre de la région Aquitaine*. Thèse de Doctorat, Université Montesquieu Bordeaux IV, France. 440 p.
- Mchugh D. (2003) *A guide to the seaweed industry*. FAO, Fisheries technical paper 441. Rome, 105 p.
- Menéndez M., Comin F. (2000) "Spring and summer proliferation of floating macroalgae in a mediterranean coastal lagoon (Tancada lagoon, Ebro delta, NE spain)" *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51(2), p.215-226.
- Ménesguen A., Piriou J. (1995) "Nitrogen loadings and macroalgal (*Ulva* sp.) mass accumulation in Brittany (France)" *Ophelia*, 42(1), p.227-237.
- Mesnil B. (2008) "Public-aided crises in the French fishing sector" *Ocean and coastal management*, vol. 51 n°10, p. 689-700.
- Mesnildrey L., Jacob C., Frangoudes K., Reunavot M., Lesueur M. (2012) *Seaweed industry in France*. Report, Interreg program Netalgae. Les publications du pôle halieutique Agrocampus-ouest No9, 34 p.

- Ministère de protection de l'environnement de Chine (2012) *12ème plan quinquennale de la planification de traitement de la pollution des zones littorales de la Mer Jaune*. 147 p.
- Morgan K., Larkin S., Adams C. (2009) "Firm-level economic effects of HABs: A tool for business loss assessment" *Harmful Algae*, 8(2), p.212-218.
- Nierenberg K., Byrne M., Fleming L., Stephan W., Reich A., Backer L., Tanga E., Dalpra D., et Kirkpatrick B. (2010) "Florida red tide perception: Residents versus tourists" *Harmful Algae*, 9(6), p.600-606.
- Nierenberg K., Hollenbeck J., Fleming L., Stephan W., Reich A., Backer L., Currier R., Kirkpatrick B. (2011) "Frontiers in outreach and education: The Florida red tide experience" *Harmful Algae*, 10(4), p.374-380.
- North China Sea Branch of SOA. *Les activités de la journée de prévention et de réduction des sinistres organisées par le centre de prévision de la Mer Jaune septentrionale*. (<http://www.ncsb.gov.cn/n1/n70003/n70707/n70710/c118590/content.html>)
- Nuzzi R., Waters R. (2004) "Long-term perspective on the dynamics of brown tide blooms in Long island coastal bays" *Harmful Algae*, 3(4), p.279-293.
- Onuf C. (1996) "Seagrass responses to long-term light reduction by brown tide in upper laguna Madre, Texas: Distribution and biomass patterns" *Marine ecology progress series*, 138, p.219-231.
- Padmakumar K., Menon N., Sanjeevan V. (2012) "Is occurrence of harmful algal blooms in the exclusive economic zone of India on the rise?" *International Journal of Oceanography*, 2012, p.1-7.
- Paerl H., Fulton R., Moisander P., Dyble J. (2001) "Harmful freshwater algal blooms, with an emphasis on cyanobacteria" *The Scientific World JOURNAL*, 1, p.76-113.
- Paerl H., Huisman J. (2008) "Climate. Blooms like it hot" *Science*, 320(5872), p.57-58.
- Pang S., Liu F., Shan T., Xu N., Zhang Z., Gao S., Chopin T., Sun S. (2010) "Tracking the algal origin of the *Ulva* bloom in the Yellow Sea by a combination of molecular, morphological and physiological analyses" *Marine Environmental Research*, 69(4), p.207-215.

- Park T., Lim W., Park Y., Lee C., Jeong H. (2013) "Economic impact, management and mitigation of red tides in Korea" *Harmful Algae*, 30, p.131-143.
- Pearce D., Atkinson G., Mourato S. (2006) *Analyse coûts-bénéfices et environnement. Développements récents*. OCDE, Paris.
- Probyn T., Bernard S., Pitcher G., Pienaar R. (2010) "Ecophysiological studies on aureococcus anophagefferens blooms in Saldanha bay, south Africa" *Harmful Algae*, 9(2), p.123-133.
- Probyn T., Pitcher G., Pienaar R., Nuzzi R. (2001) "Brown tides and mariculture in Saldanha bay, south Africa" *Mar Pollut Bull*, 42(5), p.405-408.
- Pucheux N., Troise A., Andres S., Thybaud E. (2011) *Contribution à l'interprétation des causes de mortalité d'animaux observée en juillet-août 2011 dans l'estuaire du gouessant, dans la baie de Morieux*. INERIS, Rapport d'étude No DRC-11-109441-09134B, 18 p.
- Ocean University of China. (2014) *Qingdao seawin biotech group: Lutte contre les Enteromorpha prolifera*. (<http://www2.ouc.edu.cn/xuan/displayc.asp?id=157>)
- Oceanic and Fishery Department of Qingdao City. (2008) *Green tide 2008*. Rapport non publié, 7 p.
- Qingdao Proprety Exchange. (2014) (<http://www.qdcq.net/article/xmpd/cqzrxggpt/qbcqts/201406/20140600006480.shtml>)
- Qingdao Seawin Biotech Group. (2014) *New: Double bonnes nouvelles, seawin biotech group inaugure la nouvelle époque de valorisation des Enteromorpha prolifera*. (http://www.coub.cn/news_detail/newsId=105.html)
- Qiu X., Zhang X., Zeng Y., Wu J. (2008) "Precipitation variation trend in Jiangsu province from 1961 to 2005" *Meteorological Monthly* (05), p.82-88.
- Ramsdell J., Anderson D., Glibert P. (2005). *Harmful algal research and response: A national environmental science strategy 2005–2015*. Ecological Society of America, Washington DC. 96 p.
- Ray B., Lahaye M. (1995) "Cell-wall polysaccharides from the marine green alga Ulva "rigida" (ulvales, chlorophyta). Chemical structure of ulvan" *Carbohydrate Research*, 274, p.313-318.
- Richardson H. (1985) "Input-output and economic base multipliers: Looking

- backward and forward” *Journal of Regional Science*, 25(4), p.607-661.
- Roy E., Smith E., Bargu S., White J. (2016) “Will Mississippi river diversions designed for coastal restoration cause harmful algal blooms?” *Ecological Engineering*, 91, p.350-364.
- Sanseverino I., Conduto D., Pozzoli L., Dobricic S., Lettieri T. (2016) *Algal bloom and its economic impact*. JRC Technical reports, EUR 27905 EN, 48 p.
- Sellner K., Doucette G., Kirkpatrick G. (2003) “Harmful algal blooms: Causes, impacts and detection” *Journal of Industrial Microbiol&Biotechnology*, 30(7), p.383-406.
- Sfriso A., Marcomini A. (1996) “Decline of *Ulva* growth in the lagoon of Venice” *Bioresource Technology*, 58(3), p.299-307.
- Shimada S., Yokoyama N., Arai S., Hiraoka M. (2009) “Phylogeography of the genus *Ulva* (ulvophyceae, chlorophyta), with special reference to the japanese freshwater and brackish taxa” *Journal of Applied Phycology*, 20, p.979-989.
- Sieburth J., Johnson P., Hargraves P. (1988) “Ultrastructure and ecology of *aureococcus anophageferens* gen. Et sp. Nov. (chrysophyceae): The dominant picoplankter during a bloom in Narragansett bay, Rhode island, summer 1985” *Journal of Phycology*, 24(3), p.416-425.
- Smetacek V., Zingone A. (2013) “Green and golden seaweed tides on the rise” *Nature*, 504(7478), p.84-88.
- Smith E., Blanchard P., Bargu S. (2014) “Education and public outreach concerning freshwater harmful algal blooms in southern Louisiana” *Harmful Algae*, 35, p.38-45.
- Smith V. (2016) “Effects of eutrophication on maximum algal biomass in lake and river ecosystems” *Inland Waters*, 6(2), p.147-154.
- State Oceanic Administration (2010) *Bulletin of marine environmental status of China for the year of 2008*. Beijing, 2010.
- Sun S., Wang F., Li C., Qin S., Zhou M., Ding L., Pang S., Duan D., Wang G. (2008) “Emerging challenges: Massive green algae blooms in the Yellow Sea” *Nature proceedings*, hdl: 10101/npre.2008.2266.1.
- Sunda W., Graneli E., Gobler C. (2006) “Positive feedback and the development and persistence of ecosystem disruptive algal blooms” *Journal of Phycology*, 42(5),

p.963-974.

- Tan I., Blomster J., Hansen G., Leskinen E., Maggs C., Mann D., Sluiman H., Stanhope M. (1999) "Molecular phylogenetic evidence for a reversible morphogenetic switch controlling the gross morphology of two common genera of green seaweeds, *Ulva* and *Enteromorpha*" *Molecular Biology and Evolution*, 16(8), p.1011-1018.
- Tauziède C., Morin A., Biaudet H., Adrien H., Chatellier N., Villey C., Dupuis Y., Adam K. (2009) *Résultats de mesures ponctuelles des émissions d'hydrogène sulfure et autres composés gazeux potentiellement toxiques issues de la fermentation d'algues vertes (ulves): Mesures réalisées le 13 août 2009 à Saint-Michel en Grève* (22). INERIS, Rapport d'étude No DRC-09-108407-10226A, 15 p.
- Tian X., Huo Y., Chen L., He J., Zhang J., Jia R., Liu R., Wang J., Xu R., Yang J., Hu X., Fang J., Ma J., He P. (2011) "Molecular detection and analysis of green seaweeds from Rudong coasts in Jiangsu province" (in chinese) *Chinese Science Bulletin*(4-5), p.309-317.
- Tohmo T. (2004) "New developments in the use of location quotients to estimate regional input-output coefficients and multipliers" *Regional Studies*, 38(1), p.43-54.
- Tseng C. (1962) *Economic seaweeds of China*. Beijing: Science Press. 219 p.
- Turgeon D., Sellner K., Scavia D., Anderson D. (1998) *Status of us harmful algal blooms: Progress towards a national program*. National Oceanic and Atmospheric Administration. 22 p.
- Voltaire L., Nassiri A., Bailly D., Boncoeur J. (2011) « Effet d'une taxe et d'un droit d'entrée sur les consentements à payer des touristes pour de nouvelles réserves naturelles dans le golfe du Morbihan » *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement* 92(2) p. 183-209.
- Wang C., Kong H., Wang X., He S., Zheng X., Wu D. (2009) "Early-warning and prediction technology of harmful algal bloom: A review" *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(11), p.2813-2819.
- Wang C., Yu R., Zhou M. (2012) "Effects of the decomposing green macroalga *Ulva* (*Enteromorpha*) prolifera on the growth of four red-tide species" *Harmful Algae*, 16, p.12-19.

- Wang J., Wu J. (2009) "Occurrence and potential risks of harmful algal blooms in the east China sea" *Science of the Total Environment*, 407(13), p.4012-4021.
- Wang J., Jiang P., Cui Y., Li N., Wang M., Lin H., He P., Qin S. (2010) "Molecular analysis of green-tide-forming macroalgae in the Yellow Sea" *Aquatic Botany*, 93(1), p.25-31.
- Wang Z., Li J. (2012) *Rendez-vous dimanche pour lutte contre les Enteromorpha: Un gateau géant fait par les Enteromorpha à gagner! (in chinese)* City newspaper. (http://csxb.bandao.cn/data/20120705/html/14/content_5.html)
- Wei B., Sugiura N., Maekawa T. (2001) "Use of artificial neural network in the prediction of algal blooms" *Water Research*, 35(8), p.2022-2028.
- Whitehead J., Haab T., Parsons G. (2003) "Economic effects of *Pfiesteria*" *Ocean and Coastal Management*, 46(9-10), p.845-858.
- Williams A., Feagin R. (2010) "Sargassum as a natural solution to enhance dune plant growth" *Environmental Management*, 46(5), p.738-747.
- Woolcott G., King R. (1999) "Ulva and Enteromorpha (ulvales, ulvophyceae, chlorophyta) in eastern australia: Comparison of morphological features and analyses of nuclear rdna sequence data" *Australian Systematic Botany*, 12(5), p.709-725.
- Wu H., Xu A., Wu M. (2000) "Preliminary study on experimental ecology of *Enteromorpha prolifera*" *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*(03), p.230-234.
- Xu Z., Ye S., Xu R. (2009) "Possible conditions and process of the massive blooms of *Enteromorpha prolifera* in China during 2008" *Journal of Fisheries of China*(03), p.430-437.
- Yan T., Zhou M., Zou J. (année non précisée) *A national report on harmful algal blooms in china*. IOCAS. 18 p.
- Yang D., Gao Z., Yang C., Zhou Y. (2009) *The characteristics of Enteromorpha prolifera growth*. In: The broke out condition and prevent technology of the green tide disaster. Beijing: Ocean Press. p.19-24.
- Ye N., Zhuang Z., Jin X., Wang Q., Zhang X., Li D., Wang H., Mao Y., Jiang Z., Li B., Xue Z. (2008) "China is on the track tackling *Enteromorpha* spp forming green tide" *Nature Precedings*, hdl: 10101/npre.2008.2352.1

- Yi J., Huang J., Song J. (2009) “Initial understand of *Enteromorpha prolifera* occurred in Yancheng coastal waters in 2008” *Marine Environmental Science*(S1), p.57-58.
- Yi L., Zhang S., Yin Y. (2010) “Influence of environmental hydro-meteorological conditions to *Enteromorpha prolifera* blooms in Yellow Sea” (in chinese) *Journal of Ocean University of China*(10), p.15-23.
- Zhang Q., Qiu L., Yu R., Kong F., Wang Y., Yan T., Gobler C., Zhou M. (2012) “Emergence of brown tides caused by *Aureococcus anophagefferens* hargraves et sieburth in China” *Harmful Algae*, 19, p.117-124.
- Zhang S., Liu Y., Zhang G., Guan L. (2009) “Analysis on the hydro-meteorological conditions from remote sensing data for the 2008 algal blooming in the Yellow Sea” *Journal of Ocean University of China*(05), p.870-876.
- Zhang X., Wang H., Mao Y., Liang C., Zhuang Z., Wang Q., Ye N. (2009) “Somatic cells serve as a potential propagule bank of *Enteromorpha prolifera* forming a green tide in the Yellow Sea, China” *Journal of Applied Phycology*, 22(2), p.173-180.
- Zhang X., Xu D., Mao Y., Li Y., Xue S., Zou J., Lian W., Liang C., Zhuang Z., Wang Q., et Ye N. (2011) “Settlement of vegetative fragments of *Ulva prolifera* confirmed as an important seed source for succession of a large-scale green tide bloom” *Limnology and Oceanography*, 56, p.233-242.
- Zhao P., Huang J., Wang R., Zhao L. (2015) *The green tide monitoring and forecasting in the Yellow Sea*. Paper presented at the 2nd international symposium of advanced research on green tides, Shanghai Ocean University.
- Zhou M., Liu D., Anderson D., Valiela I. (2015) “Introduction to the special issue on green tides in the Yellow Sea” *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 163(Part A), p.3-8.
- Zhou M., Yu R. (2007) “Mechanisms and impacts of harmful algal blooms and the countermeasures” *Chinese Journal of Nature*, 29(2), p.72-76.
- Zingone A., Oksfeldt Enevoldsen H. (2000) “The diversity of harmful algal blooms: A challenge for science and management” *Ocean & coastal management*, 43(8–9), p.725-748.

ANNEXES

Liste des annexes

Annexe 1	Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès des acteurs et des experts : liste des entretiens
Annexe 2	Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès des acteurs et des experts : résumé des entretiens
Annexe 3	Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès du public : documents photographiques présentés aux répondants
Annexe 4	Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès du public : caractéristiques de l'échantillon
Annexe 5	Espèces sensibles aux marées vertes : surfaces d'élevage et productions en 2010 dans la province du Shandong, par zone
Annexe 6	Aquaculture marine : évolution des surfaces d'élevage et des productions dans la province du Shandong, période 2003-2015
Annexe 7	Indicateurs d'activité de l'industrie du tourisme dans le Shandong
Annexe 8	Indicateurs d'activité de l'industrie du tourisme (Chine entière)
Annexe 9	Produit intérieur brut de la République Populaire de Chine, 2000-2014
Annexe 10	Calcul de la perte de chiffre d'affaires subie par l'industrie touristique de la ville de Qingdao du fait des marées vertes
Annexe 11	Nomenclature du TES symétrique français en 64 produits
Annexe 12	Emploi par branche, France métropolitaine et Bretagne, année 2012.
Annexe 13	Régionalisation des multiplicateurs de Leontief : résultats obtenus par les méthodes CLQ, ACLQ et FLQ (TES symétrique 2010)
Annexe 14	Estimation des effets amont du projet : France entière
Annexe 15	Estimation des effets amont du projet : région Bretagne

Annexe 1 Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès des acteurs et des experts : liste des entretiens

Province	Catégorie	Répondant (institution ou fonction)
Shandong	Expertise scientifique	1. Institut d'océanographie de l'Académie des sciences de Chine (IOCAS) 2. Institut de recherche sur les pêches de la Mer Jaune 3. Université Océanique de Chine (OUC)
	Collectivités territoriales	4. Municipalité de Qingdao, département de la science et de la technologie (DOST)
	Traitement des marées vertes	5. Bureau océanique de la pêche de la municipalité de Qingdao 6. Bureau de protection de l'environnement de la zone de Huangdao 7. Agent de nettoyage de plage 8. Bureau de protection de l'environnement du district de Shinan
	Transformation des algues	9. Bright Moon Seaweed Group 10. Qingdao Seawin Biotech Group
Jiangsu	Aquaculture / pêche	11. Dongsha Co Ltd 12. Association des pêcheurs de Huangshagang 13. Habitant d'un village traditionnel de pêcheurs
	Collectivités territoriales	14. Gouvernement de la municipalité de Yancheng 15. Bureau océanique de la pêche de Yancheng
	Traitement des marées vertes	16. Bureau de la pêche de la municipalité de Lianyungang
	Transformation des algues	17. Yancheng Hairui Food Co Ltd

(élaboration personnelle)

Annexe 2
**Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès des acteurs et des experts :
résumé des entretiens**

**Entretien n°1 : Institut d'océanographie de l'Académie des sciences de Chine
(IOCAS, Qingdao)**

Dans notre laboratoire, nous menons des recherches biologiques sur les macro-algues. Nous nous intéressons à l'algoculture (laminaires, etc.), mais aussi aux mécanismes de formation des marées vertes qui atteignent Qingdao.

Il existe deux raisons principales expliquant la formation de ces marées vertes. La première tient aux conditions géographiques particulières qui prévalent dans la zone de vasière intertidale du Subei, dans le Jiangsu (200 km de long, 80 km de large), et qui offrent un milieu naturel propice à la reproduction des ulves. La seconde est la qualité très dégradée de l'eau de mer dans cette zone. Selon nos observations de terrain, les rivières du Jiangsu sont très polluées, elles présentent des colorations noires / vertes et ont une odeur nauséabonde. La pollution de ces rivières se déverse dans la mer côtière. Du fait des fortes concentrations en nitrate et phosphore, la mer est très eutrophisée, ce qui constitue une condition nécessaire à la croissance des algues vertes.

La vasière intertidale est le plus grand site d'élevage de juvéniles de crabes en Chine, ainsi qu'un site important pour la culture d'algues rouges *Porphyra*. Les marées vertes éclatent lorsque le niveau d'eutrophisation des eaux côtières dépasse un certain seuil. Dans la zone considérée, ce niveau a beaucoup augmenté ces dernières années. Une des causes est l'adoption, par les éleveurs de crabes du Jiangsu, d'une méthode développée dans le Liaoning¹ pour produire des rotifères utilisés comme nourriture

¹ Province du nord de la Chine.

pour les juvéniles de crabes. La méthode consiste à laisser fermenter du fumier de poulet dans des bassins de la zone de vasière, les eaux ainsi eutrophisées permettant la production d'algues unicellulaires servant à nourrir les rotifères. Selon nos estimations, de 50 000 à 100 000 tonnes de fumier de poulet sont ainsi utilisées chaque années dans le Jiangsu. Cette méthode coûte beaucoup moins cher que l'utilisation d'engrais chimiques, et donc son adoption constitue pour les éleveurs un choix rationnel. Mais, au bout d'un certain nombre d'années, cela a pour conséquence le développement des algues vertes. Ayant un comportement opportuniste, celles-ci trouvent ensuite un endroit pour s'accrocher sur les radeaux d'élevage de nori (*Porphyra yezoensis*).

L'élevage de crabes et la culture de nori constituent des piliers de l'économie locale, c'est pourquoi il n'est pas réaliste d'envisager de lutter contre les marées vertes en mettant fin à ces activités. Il serait plus réaliste de contrôler l'utilisation de fumier de poulet de façon à réduire les apports d'éléments nutritifs dans la mer, et de réduire la pollution des rivières. À défaut, la situation environnementale continuera à se dégrader.

La présence d'algues vertes, si elle ne dépasse pas un certain seuil, doit être regardée un phénomène naturel. Elle représente un mécanisme d'auto-correction permettant de capter les éléments nutritifs en excédent. Mais, lorsque la pollution devient trop forte, la capacité d'auto-régulation du milieu est dépassée, et les algues vertes se transforment en désastre écologique sous la forme des marées vertes.

L'algue verte *Enteromorpha prolifera*, en elle-même, n'est pas toxique. C'est sa prolifération qui génère des risques environnementaux et économiques. L'échouage massif d'algues vertes donne notamment lieu à de fortes mortalités dans les bassins d'élevage de concombres de mer et d'ormeaux, provoquant des pertes économiques importantes. En effet, dans les espaces fermés ou semi-fermés que constituent les

bassins d'élevage, la dégradation des ulves émet des matières hautement toxiques et rend le milieu anoxique¹.

Entretien n°2 : Institut de recherche sur les pêches de la Mer Jaune (Qingdao)

Le problème des marées vertes nous perturbe depuis plusieurs années. Le même type de phénomène est apparu en France dès les années 70, puis aux Etats-Unis dans les années 90, puis au Japon et en Corée du Sud, et maintenant il se manifeste chez nous. Tout cela illustre la forte capacité du développement économique à modifier / dégrader l'environnement côtier.

Sur nos côtes du Shandong, nous n'avons pas d'espèce dominante à l'origine des marées vertes, celles-ci sont provoquées par des ulves provenant principalement du sud de la Mer Jaune, qui arrivent chez nous sous l'effet des vents et des courants. Ces ulves croissent pendant qu'elles dérivent à la surface de la mer, et finalement s'échouent en masse sur nos côtes. Selon les recherches que j'ai effectuées, les ulves ont une forte capacité de croissance et de reproduction. Sous des conditions favorables, leur croissance peut atteindre 15-20% par jour, ce qui les rend très compétitives, en termes de croissance, par rapport aux autres macro-algues.

Etant donné son ampleur gigantesque, je pense que la marée verte constitue un désastre maritime. Cela étant, si nous parvenions à valoriser cette marée verte, ce serait une bonne chose. Cette valorisation pose toutefois des problèmes techniques et économiques.

Un premier problème concerne la saisonnalité. Si l'on veut aller chercher les ulves avant qu'elles ne flottent à la surface de la mer, il faut détecter les spores sous l'eau et parvenir à les pomper, ce qui n'est pas simple et, par ailleurs, risque de ne pas donner des produits intéressants pour la valorisation.

¹ Diminution de l'oxygène dissous dans l'eau.

Par ailleurs, la teneur en protéines des ulves est de l'ordre de 8-10%. C'est faible par rapport aux protéines extraites du soja ou du maïs, et donc les coûts de traitement risquent d'être élevés.

Entretien n°3 : Université Océanique de Chine (OUC, Qingdao)

En tant qu'économiste de l'environnement, je considère que les marées vertes qui touchent nos côtes constituent vraiment un désastre maritime, même si nous parvenons à valoriser les algues vertes. La valorisation n'implique pas que l'on doive renoncer à prendre des contre-mesures, en amont et en aval. En effet, si, dans le cadre d'une analyse coût-bénéfice de la marée verte à Qingdao, on prend en compte tous les coûts induits par le traitement des marées vertes (et pas seulement ceux du ramassage des algues), je crois très probable que la somme de ces coûts dépassera largement les gains industriels issus de la valorisation. Même dans le cas peu probable où les bénéfices industriels l'emporteraient, il ne faudrait pas en conclure que la marée verte est une bonne chose, étant donné son caractère de désastre écologique.

Entretien n°4 : Municipalité de Qingdao, département de la science et de la technologie (DOST)¹

Qingdao connaît le phénomène des marées vertes depuis plusieurs années. Les ulves provenant du Jiangsu s'échouent sur nos côtes en été, ce qui crée un problème important. Nous sommes en effet une ville très touristique pendant la période estivale, avec notamment des activités nautiques (baignade, planche à voile...) et une forte fréquentation du bord de mer par les promeneurs. Or nous souhaitons maintenir notre image de ville moderne et développée, réputée pour sa propreté et son environnement naturel.

¹ Service jouant un rôle important dans l'attribution de subventions pour la valorisation des ulves.

Nous avons une entreprise locale spécialisée dans le domaine de la valorisation des algues collectées lors des marées vertes, et travaillant en partenariat avec la recherche académique (OUC). Le gouvernement soutient et subventionne cette activité, parce qu'elle est innovante et apporte une solution à un problème environnemental. Je pense que c'est une très bonne idée de transformer les ulves en produits industriels, notamment alimentaires. L'entreprise de l'OUC a rendu un grand service à la ville de Qingdao, sur le plan écologique et encore davantage sur le plan politique, juste avant les Jeux Olympiques en 2008. C'est la première et, actuellement, la seule entreprise à travailler les algues vertes à Qingdao. Si une autre entreprise possède des techniques sophistiquées lui permettant de fabriquer des produits à haute valeur ajoutée, elle est également la bienvenue. Mais il faut régler la question de la sécurisation de l'approvisionnement en matière première, étant donné la forte saisonnalité des algues vertes.

Entretien n° 5 : Bureau océanique de la pêche de la municipalité de Qingdao

Le Bureau océanique de la pêche a la charge d'organiser la collecte des ulves en mer. La collecte des ulves est divisée en deux parties : en mer et à terre. Le ramassage à terre se compose lui-même de trois éléments : le nettoyage, le transport et les équipements d'essorage et d'emballage. Notre service s'occupe seulement de la collecte en mer, qui s'effectue de trois façons : à grande échelle par chalutage « en bœuf » (un chalut tracté par deux bateaux) ; à moyenne échelle, à l'aide du filet « gongdou » (deux chaluts situés de part et d'autre d'un même bateau) ; à petite échelle, à l'aide du filet « shouchao » (petit filet de pêche opéré manuellement). Plus les bateaux de pêche participent à la collecte, plus ils ont d'expérience et plus ils sont efficaces. Alors qu'un bateau « débutant » ne collecte pas plus de 20 tonnes d'algues par jour, six jours plus tard il parvient à collecter 30 tonnes par jour. En moyenne, un bateau de pêche collectait 19,5 tonnes par jour en 2013, et 22,75 tonnes en 2014. En 2012/2013, le coefficient technique d'essorage était de 3,5 tonnes d'algues fraîches

pour 1 tonne d'algues séchées. En 2013, la teneur de sable, pour les algues ramassées à terre, était de 50-70%.

Le phénomène de la marée verte existe depuis sept ans pendant la période estivale. Pendant cette période, le Centre de prévision de la Mer Jaune septentrionale (*North China Seamarine Forecasting Ceoter of State Oceanic Administration*) diffuse chaque jour les résultats des prévisions. Cela coûte au total entre 1,6 et 2 millions de CNY par an. Compte tenu de la météo locale (nombreuses journées de brouillard), il faut utiliser des moyens efficaces permettant de percer le brouillard pour détecter les algues flottantes. La méthode traditionnelle MODIS est financée par le gouvernement central (SOA, Pékin). C'est considéré localement comme « gratuit », mais en réalité cela a un coût. Cependant, cette méthode ne permet pas de percer le brouillard. Par ailleurs, les statistiques sur les quantités collectées manquent de précision. Elles fournissent juste des ordres de grandeur.

La marée verte constitue un désastre, notamment du fait de ses conséquences sur les paysages côtiers. Toutefois, si l'on parvient à bien ramasser les ulves, il ne devrait pas y avoir d'impact significatif sur l'environnement. Depuis 2009, notre service diffuse chaque année aux aquaculteurs des notices (appelées par eux « feuilles de compréhension ») pour les inciter à prendre des contre-mesures face à l'arrivée massive des algues vertes dans les bassins d'élevage. Les aquaculteurs ont été fortement impactés en 2008 car, cette année là, tout le monde a été surpris par l'arrivée des ulves. Mais les années suivantes, les aquaculteurs ont pris des contre-mesures avant la marée verte, et il n'y a pas eu de pertes économiques importantes.

Je pense que la marée verte est fortement liée aux activités de culture de nori (*Porphyra*) dans le Jiangsu, les ulves dérivant jusqu'à chez nous par les courants marins. Ainsi, l'an passé (en 2013), la récolte de nori a eu environ 15 jours de retard, et nous avons eu également 15 jours de retard dans la marée verte.

Entretien n°6 : Bureau de protection de l'environnement de la zone de Huangdao (Qingdao)

Il faut distinguer notre travail de celui du Bureau de la pêche. Celui-ci s'occupe de la surveillance et de la collecte en mer, à l'aide de bateaux de pêche. Nous travaillons sur la partie terrestre, c'est-à-dire principalement le ramassage sur les plages, en coordination avec d'autres services en charge du transport des algues que nous ramassons. Nous avons trois sites de ramassage en été dans notre zone : la plage d'or, la plage d'argent et le site touristique de la baie de Tangdaowan. Il existe également une structure intitulée « Bureau d'urgence du ramassage des algues vertes », avec laquelle nous travaillons.

Je trouve que la marée verte est vraiment un problème majeur, c'est désespérant de la revoir tous les ans. Les algues vertes ramassées sur les plages contiennent beaucoup de sable, ce qui rend leur traitement difficile et nous sommes obligés de les jeter à la déchetterie. De plus, le ramassage sur les plages dessable celles-ci, c'est pourquoi nous sommes en train de tester des solutions alternatives. Enfin, les ulves se dégradent rapidement au soleil et, lors de leur transport par route, les fuites d'eau sont une source de pollution secondaire.

Je pense qu'une valorisation des ulves à haute valeur ajoutée (par extraction des molécules d'intérêt économique) est une bonne idée, mais cela pose des problèmes environnementaux et je crains que cela ne puisse être rentable sur le plan industriel. Un tel projet nécessite en effet une forte consommation d'eau et d'énergie, et peut entraîner une forte salinité des eaux usées. Les ulves étant chez nous des *Enteromorpha prolifera* à structure tubulaire, leur taux de salinité et d'impureté est très élevé. Par conséquent, dans leur valorisation, il faut mettre en place un procédé complexe nécessitant beaucoup d'eau pour le nettoyage et la désalinisation des algues. En outre, le séchage demanderait beaucoup d'énergie. Ce serait sans doute intéressant

d'avoir des industries « vertes » installées dans notre zone de développement, mais comment assurer, simultanément, la protection de l'environnement de cette zone ?

Entretien n°7 : Agent de nettoyage de plage (Qingdao)

Je ramasse les algues et nettoie les déchets sur la plage. Les algues vertes, il y en a toujours en été. Elles arrivent par le vent : j'observe que dès qu'il y a du vent du sud, la quantité d'algues sur la plage augmente. Il est impossible de tout ramasser.

En été, le comité de gestion de la plage recrute des personnes supplémentaires pour le nettoyage de la plage. Actuellement, nous sommes une trentaine de nettoyeurs sur cette plage. Les permanents sont payés environ 1500 CNY par mois, et les personnels temporaires environ 900 CNY par mois.

Entretien n°8 : Bureau de protection de l'environnement du district de Shinan (Qingdao)

Le nettoyage des plages est assuré par le Bureau de protection de l'environnement, et le transport des ulves vers l'usine ou la déchetterie est assuré par le Comité des transports. Les deux services se coordonnent et travaillent ensemble.

Le site de transit est habituellement le parking de la ligne 11 (transports en commun). Pendant la période de la marée verte, le site est loué par l'entreprise de traitement des algues vertes (Qingdao Seawin Biotech Group, filiale de l'OUC). L'entreprise bénéficie d'un tarif réduit, qu'on peut estimer à 500 000-600 000 CNY pour la saison. Les algues ramassées sont déposées sur le site, où elles sont essorées et emballées en blocs d'un m³ appelés « carrés ». L'usine de transformation se trouve à Jiaonan, les carrés sont transportés par camion entre les deux sites. Le volume transporté est au maximum de 100 carrés par jour, et le volume moyen est estimé à 50 carrés par jour.

Les algues contenant trop de déchets (sable, cailloux, plastiques, etc.) sont transportées directement à la déchetterie, puis enterrées ou brûlées.

Entretien n°9 : Bright Moon Seaweed Group (Qingdao)

Notre société travaille les algues brunes et rouges. Nous avons tenté de traiter les algues vertes mais, après les résultats de nos tests, les coûts sont apparus trop importants par rapport aux bénéfices attendus.

Le recours à une barge pour capter les ulves en mer représente un gros investissement. Compte tenu de la saisonnalité des algues vertes, le bateau ne serait utilisé que deux mois par an environ, ce qui ne facilite pas sa rentabilisation. Cela d'autant plus que, le reste de l'année, il faut compter en plus les coûts de maintenance.

Par ailleurs, la teneur en protéines des ulves est faible. S'il s'agit de produire des aliments pour animaux, la valeur ajoutée ne sera pas grande. S'il s'agit de produire d'autres molécules présentant un intérêt économique, cela nécessite des investissements énormes, de sorte que la rentabilité économique de l'opération me paraît peu probable. Mais il faudrait sans doute poursuivre les investigations pour y voir plus clair sur un tel projet : quelles seraient les molécules d'intérêt économique susceptibles d'être extraites ? Avec quels coefficients de transformation ?

De mon point de vue, un projet de valorisation et de traitement des algues vertes ne peut être viable sans bénéficier de subventions publiques.

Entretien n°10 : Qingdao Seawin Biotech Group

Nous traitons les algues issues des marées vertes dans notre usine de Jiaonan. Lors de la marée verte de 2008, l'Université Océanique de Chine (OUC), qui fait partie des leaders dans le domaine de la recherche scientifique marine, avait su répondre à l'appel du gouvernement, en vue de remédier à la situation d'urgence (aide à la

collecte des algues et traitement par séchage puis réduction en poudre, pour faire de l'engrais). Cela nous a donné l'opportunité de développer notre groupe industriel. Depuis lors, nous avons développé nos recherches et nos innovations dans le domaine des algues, avec l'appui du gouvernement et de l'université. Nos produits diversifiés servent non seulement à satisfaire le marché intérieur, mais sont également exportés.

Depuis cette année, nous utilisons une plateforme de traitement des algues en mer, permettant d'accroître l'efficacité de la collecte. Par ailleurs, nous venons d'achever la construction de notre nouvelle usine (36 000 m², près de cent millions de CNY d'investissement). Comportant des unités de production différenciées, cette usine pourrait fournir plus de 1500 emplois.

Pour développer nos activités de traitement des algues, nous continuons à travailler avec les scientifiques. Nous avons créé un centre de recherche avec des académiciens du Shandong, en coopération directe avec le « laboratoire-clé » de glycosciences du Shandong. L'objectif est d'améliorer les transferts de technologie et de pénétrer le marché des produits biopharmaceutiques, en offrant des produits à haute valeur ajoutée dans le domaine de la santé humaine et animale.

Entretien n°11 : Dongsha Co Ltd (Dafeng, province du Jiangsu)

Notre entreprise regroupe les éleveurs de *Porphyra yeoensis* (nori), et s'occupe de la commercialisation des produits. En 2013, elle a réalisé un chiffre d'affaires de 200 millions de CNY, avec un volume de 160 000 caisses¹ de *Porphyra*. La culture de cette algue rouge est une activité traditionnelle importante dans notre région. Les algoculteurs appellent les algues vertes « herbes de fantôme » car leur présence dans les récoltes entraîne une baisse de la qualité du nori. Ils doivent trier les algues pour retirer les ulves, ce qui entraîne une augmentation du temps de travail et donc du coût de production. Cependant, il reste toujours des ulves dans le nori, d'où une baisse de

¹ Une caisse représente un volume d'environ 0,04 m³.

son prix de vente, de 0,54 à 0,70 CNY par kg. Finalement, la hausse du coût de production et la baisse du prix de vente se conjuguent pour faire baisser le revenu des algoculteurs.

Depuis l'apparition du phénomène des marées vertes sur les côtes du Shandong, nous recevons chaque année des papiers du gouvernement provincial du Jiangsu. Celui-ci organise tous les ans des réunions de mobilisation et demande aux algoculteurs de participer activement aux mesures de prévention en vue de lutter contre la formation de la marée verte.

Je pense qu'il n'y a pas de lien entre les marées vertes et la culture du nori. Je suis en désaccord sur ce point avec les arguments développés par certains chercheurs. Depuis toujours, nos éleveurs de nori respectent les normes de production lors de la culture et de la récolte des algues. Ils se mettent maintenant en conformité avec l'exigence du gouvernement provincial concernant la récupération des matériaux de culture en mer (radeaux et filets), en vue de faire disparaître, ou au moins de diminuer les ulves subsistant après la récolte. Les radeaux et filets récupérés sont enroulés dans des films opaques qui sont déposés sur le sol, au soleil, pendant un à deux mois en été, de façon à laisser pourrir les ulves qui s'y trouvent. Ensuite les radeaux et filets sont nettoyés, et les ulves qui y étaient attachées sont enterrées.

J'ai le sentiment très fort que les ulves ne sont pas une bonne chose, mais surtout que leur efflorescence n'a rien à voir avec nos activités de culture d'algues rouges. Il faut que les scientifiques trouvent le vrai coupable des marées vertes, de façon à résoudre le problème en amont. Je pense également que le gouvernement devrait aider le secteur de la culture de *Porphyra yezoensis*, et je viens de déposer un rapport pour lui demander des financements. Nos algoculteurs, qui sont victimes de la prolifération des ulves, subissent la double contrainte de la hausse du coût de production et de la baisse du prix de vente de leur produit. Leurs revenus sont modestes, ils ont besoin d'une aide.

Par ailleurs, en attendant que les recherches scientifiques permettent de trouver le vrai coupable des marées vertes, et en dépit du caractère nuisible des ulves, je pense qu'il faut également étudier les possibilités de les valoriser. Il est possible qu'elles n'aient pas de valeur économique. Pour le savoir, il nous faut améliorer nos connaissances sur les ulves. Parallèlement, il faut veiller au respect strict des normes de production du nori.

Toutes ces démarches requièrent des moyens de financement. D'après mes informations et mes estimations personnelles concernant les échouages d'algues sur les côtes du Jiangsu, les coûts de transport s'élèvent à environ 24 millions de CNY et les coûts de ramassage à 15 millions de CNY, auxquels il faut ajouter les coûts de la télédétection, etc.

Entretien n°12 : Association des pêcheurs de Huangshagang (province du Jiangsu)¹

Les activités de pêche côtière et d'aquaculture occupent une part très importante de l'économie locale. Mais ce secteur-clé de notre économie rencontre des problèmes. Premièrement, la détérioration de l'environnement marin due à la pollution fait baisser la qualité de nos produits. En second lieu, en dépit des sanctions, la pêche illégale devient de plus en plus importante, notamment celle qui est exercée par des bateaux provenant d'autres provinces (notamment le Shandong et le Liaoning). Troisièmement, pour lutter contre la raréfaction de la ressource, les autorités restreignent de plus en plus strictement les activités de pêche (limitation du nombre d'engins par bateau), ce qui décourage les pêcheurs. Pour lutter contre la surpêche, nous avons tenté de reconvertir des pêcheurs vers d'autres métiers, mais ils ont du mal à s'intégrer dans d'autres secteurs d'activité.

¹ Subdivision de la ville de Sheyang, Huangshagang est un port de pêche typique du Subei (nord du Jiangsu).

En ce qui concerne la prolifération des algues vertes, nous pensons que ce phénomène est étroitement lié à la pollution des rivières, canaux et ruisseaux. Les agriculteurs, notamment, rejettent directement dans les cours d'eau les effluents de leurs activités, qui se déversent ensuite dans la mer. Il faudrait régler ce problème, car il crée des nuisances importantes chez les pêcheurs et aquaculteurs. Ainsi, tous les ans, en mai-juin, les algues vertes impactent négativement la pêche, rendant le chalutage très difficilement praticable. La présence des ulves abîme les engins de pêche, et peut aller jusqu'à mettre en danger la vie des pêcheurs. Ce sont les pêcheurs qui se passent les informations de bouche à oreille, pour prévenir de ne pas pêcher dans une zone où les ulves ont été repérées. Ils se plaignent auprès du gouvernement local et, pour exprimer leur mécontentement, le qualifient de « haine qui pénètre jusqu'à la moelle des os ».

La lutte contre les ulves nécessite des moyens importants. La capacité de charge de leurs bateaux étant limitée, les pêcheurs ne prennent pas d'eux-mêmes l'initiative de ramasser les algues vertes qui flottent en mer. De toutes façon, le simple ramassage des ulves ne permettrait pas de résoudre ce problème répétitif, ce qu'il faut c'est purifier les eaux terrestres. Mais ce travail nécessiterait la collaboration de plusieurs circonscriptions territoriales et provinces, ce qui augmente la difficulté.

Entretien n°13 : Habitant d'un village traditionnel de pêcheurs (île Liaodao, province du Jiangsu)

Notre village se trouve sur le territoire de la municipalité de Lianyungang, au nord de la province du Jiangsu. Auparavant nous élevions des huîtres, mais la pollution industrielle a eu pour effet de multiplier la présence de vers dans les coquilles des huîtres, les mortalités sont devenues importantes et, finalement, nous avons dû abandonner cette activité. Actuellement, nos activités économiques principales sont la pêche et la culture de nori. Nous n'avons pas d'élevages de poissons, ni de coquillages. Suivant la stratégie de la municipalité de Lianyungang, notre village

traditionnel a été modernisé : nous cherchons à nous développer davantage vers les activités tertiaires, par exemple l'hôtellerie et la restauration pour les touristes.

J'ai entendu parler des marées vertes à la télévision et par les journaux. Il me semble qu'elles ont trois causes principales : la pollution industrielle d'origine terrestre, la saison des pluies qui augmente les apports d'éléments nutritifs par les eaux douces, et la dérive depuis le Shandong par les vents et les courants marins. Je ne crois pas qu'il y ait un lien avec la culture du nori, puisque les filets d'élevage sont mis en mer en octobre, alors que les ulves ont disparu dès le mois d'août.

Les algues vertes ont pour nous des conséquences négatives. En premier lieu, elles gênent le chalutage en bouchant les mailles des filets et en s'emmêlant dans les hélices des bateaux. Cela met en cause la sécurité : l'an dernier, un bateau a chaviré à cause des ulves, heureusement nous avons pu sauver le pêcheur. D'autre part, nous sommes ici une zone touristique, et les algues vertes sont là aussi une gêne : leur échouage sur une plage nous oblige à interdire temporairement l'accès à celle-ci et à la nettoyer.

Nous avons mis en place des filets pour tenter d'intercepter les algues avant qu'elles ne viennent s'échouer sur la plage. En dehors de cela, nous n'avons pas de mesures préventives. Les pêcheurs organisent de façon informelle le ramassage en mer pour tenter de sécuriser leur activité, mais nous souhaitons vivement obtenir un soutien du gouvernement. Celui-ci organise le ramassage pendant la période d'interdiction de pêche (mi-juin à mi-août) mais, en l'absence d'indemnisation, les pêcheurs ne sont pas incités à y participer car pendant cette période la présence des ulves en mer ne les gêne pas. En outre, lorsqu'ils voient que les bateaux du service public ne participent pas au ramassage, cela crée chez eux un sentiment d'antipathie et diminue encore leur incitation à participer au ramassage.

En ce qui concerne les algues qui sont collectées, j'ai vu qu'elles sont évacuées par camion. Il s'en dégage une odeur forte.

Entretien n°14 : Gouvernement de la municipalité de Yancheng (province du Jiangsu)

À Yancheng, l'économie maritime est basée principalement sur les activités traditionnelles, en particulier la pêche, l'aquaculture et la transformation des produits de ces activités. Pour Yancheng, la valeur totale du chiffre d'affaires de l'économie maritime était de 88,8 milliards de CNY en 2012, et sa valeur ajoutée de 40,16 milliards de CNY, avec un effectif de 320 000 personnes employées. Le développement des industries high-tech reste très limité, et il existe un fort potentiel de développement en matière de transport maritime, de stockage d'énergie et de production de produits bio-pharmaceutiques marins. Avec l'élargissement des missions de service public depuis 2013 à Yancheng, on observe une pénurie importante de compétences scientifiques dans les domaines de la surveillance et de la prévision environnementales, de la gestion des désastres, etc. C'est pourquoi nous recourons aux prestations de la SOA (Pékin).

L'exploitation de la zone côtière de Yancheng est très limitée. Yancheng possède 582 km de côtes, dont 87 km pourraient accueillir des constructions portuaires, mais seulement 23 km sont effectivement utilisés à cette fin. Par ailleurs, nous n'avons pas encore mis en place de mécanismes de compensation écologique, et la pollution des eaux est particulièrement grave chez nous. Les embouchures des rivières sont nombreuses, ce qui crée de multiples points de pollution, donc très difficiles à gérer. C'est pourquoi nous avons la plus mauvaise qualité des eaux de toute la province.

Entretien n°15 : Bureau océanique de la pêche de Yancheng (province du Jiangsu)

C'est en 2008, peu avant les Jeux olympiques à Qingdao, que nous avons pris connaissance de la marée verte. Dans le cadre d'une « mission politique répercutée depuis les échelons supérieurs », la ville de Yancheng a dû participer au travail de lutte contre la marée verte, et développer des investigations scientifiques sur le phénomène. Avant 2008, il n'y avait que très peu d'algues vertes dans la mer au large des côtes du Jiangsu.

Il existe une forte suspicion que l'origine de la marée verte se trouve dans la province du Zhejiang (juste au sud de la province du Jiangsu). Un indice de cela est le fait que, dans les algues flottantes qui dérivent près des côtes du Jiangsu, on trouve des algues *Sargassum horneri* qui sont largement cultivées dans le Zhejiang. De notre point de vue, les algues *Enteromorpha prolifera* que l'on trouve dans les marées vertes ne sont pas le résultat de nos activités locales d'aquaculture. En effet : i) ces activités trouvent dans les eaux marines les éléments nutritifs dont elles ont besoin, sans avoir besoin d'additifs qui viendraient créer des pollutions supplémentaires ; ii) la superficie de nos bassins aquacoles est très limitée, inférieure à 200 000 mu (environ 13 300 ha) ; iii) en mai-juin, période où les *Enteromorpha prolifera* apparaissent dans la mer côtière du Jiangsu, on fait entrer l'eau de mer dans les bassins aquacoles, de sorte que les algues vertes qui s'y trouveraient ne pourraient être évacuées vers la mer ouverte (en outre, les algues vertes apparaissent dans les bassins d'élevage plus tard que dans la mer ouverte, et non plus tôt).

Les algues vertes produisent chez nous des nuisances multiples : i) elles sont considérées comme des « mauvaises herbes » par les cultivateurs de nori, car leur présence fait baisser la qualité de leur produit, et donc son prix de vente ; ii) leur présence gêne les activités de chalutage ; iii) elles impactent la conchyliculture, causant des mortalités par anoxie dans les parcs.

Cependant, on accorde aujourd'hui une faible importance à ce phénomène dans notre région, pour plusieurs raisons. En premier lieu, il y a un manque de prise de conscience des autorités comme du public, du fait que Yancheng n'est pas très impactée, du fait de sa position géographique (présence de la zone de vasière, courants marins). La deuxième raison est la contrainte budgétaire. Les coûts de traitement au sens large (y compris la détection, la prévision, etc.) sont jugés trop importants par la municipalité de Yancheng, qui ne peut ni ne veut supporter les dépenses que cela entraîne. Le budget dédié à la lutte contre les algues vertes est de 50 000 CNY par an alors que, par exemple, les frais de surveillance que cause la sortie d'un bateau en mer sont estimés à 10 000-12 000 CNY par jour environ (de plus, cette méthode n'a pas d'effets remarquables, car elle est peu efficace pour la prévision des zones couvertes d'algues vertes). En troisième lieu, nous manquons de personnes qualifiées, ce qui, par exemple, ne nous permet pas de développer la détection par drones, pourtant plus efficace que la détection par bateau pour un coût moindre (de l'ordre de 2000-3000 CNY par heure de vol). Enfin, la motivation est insuffisante chez les autorités publiques, ainsi que chez les pêcheurs en l'absence d'incitations au ramassage. Alors que les algues vertes apparaissent chez nous à la surface des eaux de la mi-mai à la mi-juin, à partir de juin on entre dans la période d'interdiction de la pêche, ce qui limite le conflit entre algues vertes et activité de pêche. En ce qui concerne l'aquaculture, l'impact est également limité car les algues vertes flottent en général assez loin de nos bassins aquacoles (une cinquantaine de km).

Compte tenu de la forte capacité de reproduction des ulves, je pense qu'il s'agit d'une ressource potentielle importante, qui devrait être exploitée. Avec le gouvernement provincial, et en nous appuyant sur les traditions alimentaires du Fujian et du Zhejiang, nous avons tenté de valoriser les algues vertes dans le domaine de l'alimentation humaine. Mais la population locale n'a pas les mêmes habitudes que celle du Fujian et du Zhejiang, et ne semble pas convaincue de l'intérêt alimentaire de ces algues (en revanche, les algues *Sargassum horneri*, qui flottent en même temps que les ulves,

possèdent un bon goût et ont de ce fait une valeur alimentaire très intéressante). Sur un autre plan, la présence des algues vertes, si nous parvenons à la contrôler, pourrait être mise à profit pour purifier l'eau de mer, qui est chez nous très dégradée (grade III, voire IV). Les ulves pourraient en effet absorber l'excédent d'éléments nutritifs (nitrates, phosphates), et ainsi réduire le problème d'eutrophisation.

Le ramassage des ulves est chez nous (à Yancheng) plutôt symbolique, car la turbidité des eaux ne favorise pas la croissance des ulves dans nos eaux côtières. Cette situation se retrouve à Nantong et à Dafeng, où la turbidité des eaux est encore plus forte. Seule la municipalité de Lianyungang ramasse sérieusement les algues vertes, car les eaux de mer y sont plus claires (d'où forte photosynthèse et forte croissance des ulves) et les échouages d'ulves y sont importants. De plus, il s'agit d'une ville touristique.

Personnellement, je ne crois pas que la valorisation industrielle des ulves soit une piste intéressante pour notre ville ou, en tout cas, il ne peut s'agir que d'une opportunité très marginale. D'une part, elle se heurterait à la forte saisonnalité et à la faible quantité des ulves que nous collecterions. D'autre part, ces ulves seraient peu valorisables à cause de la turbidité de l'eau qui entraîne une forte teneur en sable, contrairement à Qingdao où l'eau de mer est plus claire. À l'échelle du Jiangsu, le gouvernement provincial affirme que les ulves sont valorisables dans le domaine pharmaceutique et dans celui des biocarburants, mais pour le moment il ne s'agit que de paroles, il n'y a aucune concrétisation. À l'échelon inférieur, les villes et leurs subdivisions ne prennent pas d'initiatives et ne font pas remonter les informations sur les marées vertes, ce qui peut s'expliquer par le fait que celles-ci ne gênent qu'assez peu les activités locales, du fait de la faible présence des ulves. Je pense qu'elles cherchent surtout à éviter les « missions politiques répercutées des échelons supérieurs » en matière de ramassage.

À côté des contraintes techniques et administratives, je pense personnellement que, pour lutter efficacement contre les marées vertes, il faudrait recourir à des

mécanismes de marché. Si, par exemple, on rémunérerait les algues collectées au prix de 4 CNY par kg, cela permettrait non seulement de motiver les pêcheurs pour collecter les algues, mais en outre cela les inciterait à prendre des initiatives pour améliorer l'efficacité de cette collecte, et cela inciterait aussi les cultivateurs de nori à ne pas rejeter en mer les ulves dans le cadre de leur activité d'élevage.

Entretien n°16 : Bureau de la pêche de la municipalité de Lianyungang (province du Jiangsu)

Les marées vertes dérivent depuis la province du Zhejiang qui se trouve au sud du Jiangsu, et leur origine est pour le moment inconnue. L'Association des algues de Chine¹ a fait des études de terrain, mais elles n'ont pas permis de déterminer cette origine. Nous avons quelques centaines de milliers de mu² de surface d'élevage de *Porphyra*, ce qui pourrait être une des causes de la marée verte. D'autres causes potentielles sont le recours aux aliments d'origine animale dans l'aquaculture et l'eutrophisation des eaux provenant du delta du Yangzi, les pollutions urbaines et industrielles, avec notamment le non-respect des normes légales d'émissions. Enfin, le phénomène pourrait aussi être lié à la turbidité des eaux de la baie de Dashawan. Il s'agit d'une baie semi-ouverte à haute teneur en sable et en vase et à faible débit. Je pense que ces conditions facilitent la suspension des éléments nutritifs dans l'eau.

Je trouve que la prolifération des algues vertes est une mauvaise chose. La période d'efflorescence se produit chez nous principalement en mai et juin. En tant que ville littorale touristique, nous sommes négativement impactés par les échouages d'algues vertes. Les conchyliculteurs connaissent des surmortalités dans leurs parcs, et les éleveurs de *Porphyra* sont touchés eux aussi, car les ulves accrochées aux radeaux d'élevage empêchent la pénétration de la lumière.

¹ Association créée en 1989, dépendant du ministère de l'agriculture, et regroupant notamment les entreprises et structures de recherche du secteur.

² Unité de surface valant 1/15 hectare.

Notre gestion des marées vertes repose principalement sur la surveillance et la diffusion d'informations et sur des mesures préventives. Mais nous rencontrons des difficultés et nous manquons de moyens.

En ce qui concerne la surveillance, nous bénéficions des images satellite (télédétection) fournies par la SOA de Pékin, des observations que les pêcheurs transmettent aux autorités locales, des résultats des analyses menées sur des prélèvements d'échantillons d'eau de mer et d'algues vertes, ainsi que des résultats des observations menées en mer par des bateaux.

La prévention repose tout d'abord sur la normalisation des activités d'élevage de *Porphyra* : les matériaux d'élevage sont récupérés après la récolte, le rejet des algues vertes en mer est interdit, le gouvernement organise leur collecte et les enterre. Elle repose aussi sur le contrôle de l'apport de polluants terrestres, d'origine urbaine et industrielle. Certaines émissions sont autorisées mais les seuils autorisés sont parfois dépassés, et il y a aussi des émissions illégales. En amont, c'est le Service de protection de l'environnement qui prend en charge le contrôle des émissions industrielles et urbaines, et c'est également ce service qui a le pouvoir de sanctionner les irrégularités. En aval, c'est notre service (Service océanique de la pêche) qui a la charge du contrôle en mer. Si les émissions de polluants terrestres dépassent un seuil critique et dépassent la capacité de charge des bassins de lagunage, les polluants se retrouvent en mer. C'est pourquoi nous souhaitons une meilleure intégration entre les services en charge de la terre et de la mer.

En ce qui concerne les mesures curatives, en 2008 nous avons envoyé des bateaux à Qingdao pour participer à la collecte des algues vertes, mais cette opération n'a pas été renouvelée les années suivantes. En revanche, chaque année, nous organisons une opération de ramassage près de l'île de Qiansandao, qui se trouve à proximité de la ville de Rizhao (Shandong). Les ulves collectées sont brûlées ou transportées à la déchetterie et enterrées.

Entretien n°17 : Yancheng Hairui Food Co Ltd (Yancheng, province du Jiangsu)

Notre société a été créée en 2004, et possède maintenant une expérience de huit ans dans le domaine de la culture et de la transformation des macro-algues.

L'activité de pêche est une activité traditionnelle dans notre région. Le gouvernement local porte de l'intérêt à ce secteur, et notamment aux pertes d'emplois qu'il subit. Nous aidons les pêcheurs à substituer l'aquaculture à leurs activités traditionnelles de pêche.

Nous travaillons traditionnellement, et principalement, sur les algues rouges *Porphyra* (nursérie, production et transformation). Notre production annuelle de nori est actuellement de 900 000 caisses¹, dont 400 000 caisses destinées à l'exportation (principalement vers le Japon).

Nous commençons à travailler également sur les algues vertes (*Enteromorpha prolifera*), en partenariat avec un institut de recherche (IOCAS) et une université (Université océanique de Shanghai). Outre ces partenariats académiques, nous bénéficions de transferts de technologie dans le cadre d'une association « recherche – éducation – industrie ». Nous avons actuellement plusieurs projets concernant la production et la valorisation de ces algues. Nous avons adapté nos équipements de transformation des algues rouges à la transformation des algues vertes. Les ulves sont un matériau riche qui pourrait servir à la production d'additifs alimentaires pour les humains (condiments) et pour les animaux. Le prix des algues vertes exportées s'élève à 60 000 CNY par tonne de poids sec. L'accroissement de nos exportations se heurte à l'insuffisance de la ressource dans la province du Jiangsu. Pour avoir une quantité suffisante de matière première tout en assurant la qualité, nous sommes en train de réaliser des essais d'élevage d'*Enteromorpha prolifera* en mer, sous des conditions de contrôle strict afin d'éviter le risque de prolifération.

¹ Une caisse = 0,04 m³ environ.

Pour résoudre le problème du développement des ulves dans l'élevage de *Porphyra*, nous mettons en oeuvre les solutions suivantes : i) de mi-septembre à mi-octobre, c'est la période de nurserie de *Porphyra*, une algue à forte capacité de résistance au froid ; si des ulves apparaissent à ce moment, nous mettons les filets d'élevage en chambre de congélation, ce qui détruit les ulves qui ne supportent pas le froid ; de mi-octobre à mi-novembre, période où l'on met les filets d'élevage de nori en mer, la température moyenne de l'eau est inférieure à 15°C, de sorte que l'on peut avoir un peu d'ulves mais leur croissance est beaucoup moins rapide que celle du nori, car la température n'est pas favorable aux ulves ; d'avril à mai, c'est la fin de la saison de la récolte du nori ; nous récupérons tous les matériaux utilisés (radeaux, filets) et les rapportons à terre, afin de ne pas laisser en mer de substrats propices au développement des ulves ; de juin à septembre, période où il n'y a pas de culture, nous traitons ces matériaux de façon à les débarrasser des ulves qui y sont accrochées.

Annexe 3
Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès du public :
documents photographiques présentés aux répondants

Sources : China Daily, Chinanews, Xinhuanet, CRI ONLINE

Marée verte



Collecte en mer



Ramassage à terre



Annexe 4
Enquête sur les marées vertes de la Mer Jaune auprès du public :
caractéristiques de l'échantillon

Résidence	Effectif	Fréquence
Qingdao, Rizhao, Yantai, Weihai	233	55%
Autres	192	45%
Total	425	100%

(élaboration personnelle)

Sexe	Effectif	Fréquence
Hommes	189	44%
Femmes	236	56%
Total	425	100%

(élaboration personnelle)

Âge	Effectif	Fréquence
16-18 ans	23	5%
19-30 ans	206	48%
31-40 ans	120	28%
41-50 ans	42	10%
51-60 ans	28	7%
Plus de 60 ans	6	1%
Total	425	100%

(élaboration personnelle)

Niveau d'éducation	Effectif	Fréquence
Primaire	7	2%
Collège	35	8%
Lycée	73	17%
Licence	246	58%
Master et plus	64	15%
Total	425	100%

(élaboration personnelle)

Occupation	Effectif	Fréquence
Agriculteurs	14	3%
Ouvriers	36	8%
Employés	89	21%
Administration, armée	28	7%
Enseignants	38	9%
Managers	43	10%
Ingénieurs, techniciens, santé	45	11%
Etudiants	72	17%
Retraités	14	3%
Autres	46	11%
Total	425	100%

(élaboration personnelle)

Revenu mensuel moyen	Effectif	Fréquence
moins de 1000 CNY	70	16%
1000 - 2000 CNY	39	9%
2000 - 3000 CNY	95	22%
3000 - 4000 CNY	79	19%
4000 - 5000 CNY	48	11%
5000 - 6000 CNY	35	8%
6000 - 8000 CNY	28	7%
8000 - 10 000 CNY	15	4%
plus de 10 000 CNY	16	4%
Total	425	100%

(élaboration personnelle)

Annexe 5
Espèces sensibles aux marées vertes : surfaces d'élevage et productions en 2010
dans la province du Shandong, par zone

	Holothuries	Ormeaux	Pétoncles	Palourdes	Méduses	Total
Surfaces (ha)						
Rizhao	593	0	150	1 042	0	1 785
Qingdao	3 178	1 045	1 919	14 326	0	20 468
Yantai	34 297	3 350	73 028	11 999	33	122 707
Weihai	14 841	538	4 265	4 084	1 209	24 937
Total ci-dessus	52 909	4 933	79 362	31 451	1 242	169 897
Autres zones	6 554	0	20 000	65 986	110	92 650
Total Shandong	59 463	4 933	99 362	97 437	1 352	262 547
Production (tonnes)						
Rizhao	906	0	1 230	11 967	0	14 103
Qingdao	6 294	1 549	63 288	416 085	0	487 216
Yantai	24 308	1 456	420 133	66 218	235	512 350
Weihai	32 389	4 856	169 382	158 341	6 750	371 718
Total ci-dessus	63 897	7 861	654 033	652 611	6 985	1 385 387
Autres zones	2 403	0	60 330	536 404	2 666	601 803
Total Shandong	66 300	7 861	714 363	1 189 015	9 651	1 987 190

Source : Shandong Fisheries Statistical Report 2010.

Annexe 6 Aquaculture marine : évolution des surfaces d'élevage et des productions dans la province du Shandong, période 2003-2015
--

Année	Espèces sensibles aux marées vertes					Autres espèces	Total
	Holothuries	Ormeaux	Pétoncles	Palourdes	Méduses		
Surfaces (hectares)							
2003	16 751	1 855	51 995	89 732	2 010	196 006	358 349
2004	20 426	2 050	52 807	71 129	3 078	240 078	389 568
2005	22 126	1 858	61 480	119 082	2 917	199 927	407 390
2006	24 858	1 996	69 822	108 950	1 024	213 608	420 258
2007	28 848	1 922	63 588	95 220	1 900	214 692	406 170
2008	41 077	1 651	62 050	121 917	2 458	197 064	426 217
2009	43 011	1 849	70 379	117 791	1 750	206 623	441 403
2010	59 463	4 933	99 362	97 437	1 352	238 399	500 946
2011	51 353	6 176	99 743	134 847	883	219 124	512 126
2012	62 673	6 312	00 111	121 656	1 570	231 383	523 705
2013	88 770	5 446	03 923	126 526	612	221 537	546 814
2014	86 235	5 782	02 842	129 976	945	222 707	548 487
2015	86 022	5 754	14 593	134 041	945	221 843	563 198
Production (tonnes)							
2003	29 961	4 321	99 611	966 776	7 662	1 752 381	3 360 712
2004	40 370	4 785	48 295	012 871	13 899	1 798 620	3 418 840
2005	46 017	4 552	67 362	009 988	10 437	1 941 938	3 580 294
2006	53 080	4 811	15 217	063 677	7 466	1 990 757	3 735 008
2007	53 572	4 769	87 053	161 715	10 561	1 506 059	3 423 729
2008	60 689	5 001	47 161	176 170	9 419	1 715 070	3 613 510
2009	62 792	6 548	02 345	165 240	8 290	1 869 089	3 814 304
2010	66 300	7 861	14 363	189 015	9 651	1 975 453	3 962 643
2011	71 011	8 364	55 775	340 051	8 887	2 050 687	4 134 775
2012	82 905	11 470	74 034	320 698	11 852	2 261 484	4 362 443
2013	96 523	11 957	61 035	345 021	2 765	2 349 049	4 566 350
2014	99 560	14 716	56 815	340 431	4 309	2 583 276	4 799 107
2015	100 643	15 165	56 400	372 907	5 602	2 644 937	4 995 654

Source : China Fisheries statistical Yearbook

Annexe 7 - Indicateurs d'activité de l'industrie du tourisme dans le Shandong

(Sources : communiqués statistiques du développement économique et social de la province du Shandong et des villes-préfectures de Rizhao, Qingdao, Yantai et Weihai)

Nombre de touristes (millions)

Année	Rizhao	Qingdao	Yantai	Weihai	Autres	Total
2000		13,1		5,7		70,8
2001	3,9	15,5	9,3	6,4	45,8	80,9
2002	4,5	18,4	10,8	7,3	55,7	96,7
2003	4,0	16,9	9,3	6,8	53,0	90
2004	5,9	22,1	11,9	8,7	70,1	118,7
2005	7,8	25,2	14,5	10,0	84,5	142
2006	10,1	28,9	17,2	11,5	104,3	172
2007	12,4	33,7	20,3	13,8	122,3	202,5
2008	14,7	34,7	23,8	16,1	153,2	242,5
2009	17,4	40,0	28,0	18,7		
2010	20,5	45,0	33,2	21,5	233,5	353,7
2011	24,5	50,7	39,2	24,1	285,7	424,2
2012	28,2	57,2	45,0	27,1		
2013	31,5	62,9	50,0	30,0		
2014	34,5	68,4	54,8	32,9		

Dépense touristique (milliards de CNY courants)

Année	Rizhao	Qingdao	Yantai	Weihai	Autres	Total
2000		10,0		3,8		41,3
2001	1,7	11,8	6,8	4,7	24,4	49,4
2002	1,9	15,1	7,9	5,6	30,6	61,1
2003	1,7	13,7	7,2	5,3	29,4	57,3
2004	2,7	20,8	9,3	7,1	41,6	81,5
2005	3,8	25,7	11,8	8,6	54,0	103,9
2006	5,1	32,5	14,8	10,2	67,0	129,6
2007	6,6	40,0	18,6	13,1	87,1	165,4
2008	8,2	42,0	22,8	15,9	111,6	200,5
2009	10,2	48,9	27,4	18,9	139,8	245,2
2010	12,3	58,0	33,1	22	180,5	305,9
2011	15,1	68,1	40,3	25,3	224,9	373,7
2012	18,3	80,8	47,6	29,7	275,6	452,0
2013	21,0	93,7	54,3	33,9	315,5	518,4
2014	23,8	106,1	61,4	38,4	389,6	619,3

Annexe 8
Indicateurs d'activité de l'industrie du tourisme (Chine entière)

Année	Nombre de touristes (millions)				Dépense touristique (milliards de CNY courants)			
	Touristes domestiques	Touristes étrangers	Total	% tourisme domestique	Touristes domestiques	Touristes étrangers ¹	Total	% tourisme domestique
2001	784	89	873	90%	352,2	147,3	499,5	71%
2002	878	98	976	90%	387,8	168,8	556,6	70%
2003	870	92	962	90%	344,2	144,0	488,2	71%
2004	1100	109	1209	91%	471,1	212,7	683,8	69%
2005	1200	120	1320	91%	528,6	240,1	768,7	69%
2006	1390	125	1515	92%	623,0	270,7	893,7	70%
2007	1610	132	1742	92%	777,1	318,8	1095,9	71%
2008	1710	130	1840	93%	874,9	283,5	1158,4	76%
2009	1900	126	2026	94%	1018,4	271,2	1289,6	79%
2010	2100	134	2234	94%	1258,0	310,1	1568,1	80%
2011	2640	135	2775	95%	1930,6	313,4	2244,0	86%
2012	2960	132	3092	96%	2270,6	315,6	2586,2	88%
2013	3260	129	3389	96%	2627,6	320,3	2947,9	89%
2014	3610	128	3738	97%	3031,2	349,6	3380,8	90%

¹ Données en USD converties au taux de change annuel moyen CNY-USD. Sources : communiqués statistiques du développement économique et social de Chine / Banque mondiale pour le taux de change.

Annexe 9 Produit intérieur brut de la République Populaire de Chine, 2000-2014
--

Année	PIB en milliards de CNY courants (1)	Déflateur du PIB (base 1 en 2014) (2)	PIB en milliards de CNY constants 2014 (3) = (1) / (2)
2000	9 977,6	0,58	17 181,6
2001	11 027,0	0,59	18 607,4
2002	12 100,2	0,60	20 299,0
2003	13 656,5	0,61	22 333,0
2004	16 071,4	0,65	24 583,2
2005	18 589,6	0,68	27 374,0
2006	21 765,7	0,71	30 847,2
2007	26 801,9	0,76	35 226,0
2008	31 675,2	0,82	38 615,9
2009	34 562,9	0,82	42 181,5
2010	40 890,3	0,88	46 666,2
2011	48 412,4	0,95	51 092,2
2012	53 412,3	0,97	55 052,0
2013	58 801,9	0,99	59 282,1
2014	63 591,0	1,00	63 591,0

Source : Banque mondiale, World development Indicators, 2016

Annexe 10 - Calcul de la perte de chiffre d'affaires subie par l'industrie touristique de la ville de Qingdao du fait des marées vertes

1^{ère} méthode

- 1) Calcul de l'indice de dépense touristique (CNY constants) dans la province du Shandong, base 100 en 2007.
- 2) Calcul de la dépense touristique théorique (CNY constants) à Qingdao à partir de 2008 par application de cet indice à la dépense de l'année 2007.
- 3) Calcul de l'écart entre dépense observée et dépense théorique.

Année	Dépense touristique dans la province du Shandong		Dépense touristique dans la ville de Qingdao		
	Milliards de CNY 2014	Indice base 100 en 2007	Théorique* (1)	Observé* (2)	Ecart* (1) - (2)
2007	217,4	100,0	52,6	52,6	0,0
2008	244,4	112,4	59,1	51,2	-7,9
2009	299,2	137,7	72,4	59,7	-12,7
2010	349,1	160,6	84,4	66,2	-18,2
2011	394,4	181,4	95,4	71,9	-23,5
2012	465,9	214,3	112,7	83,3	-29,4
2013	522,6	240,4	126,4	94,5	-31,9
2014	619,3	284,9	149,8	106,1	-43,7
Moyenne 2008 2014			100,0	76,1	-23,9

* Unité : milliards de CNY constants 2014. Sources : cf. annexes 5 et 7.

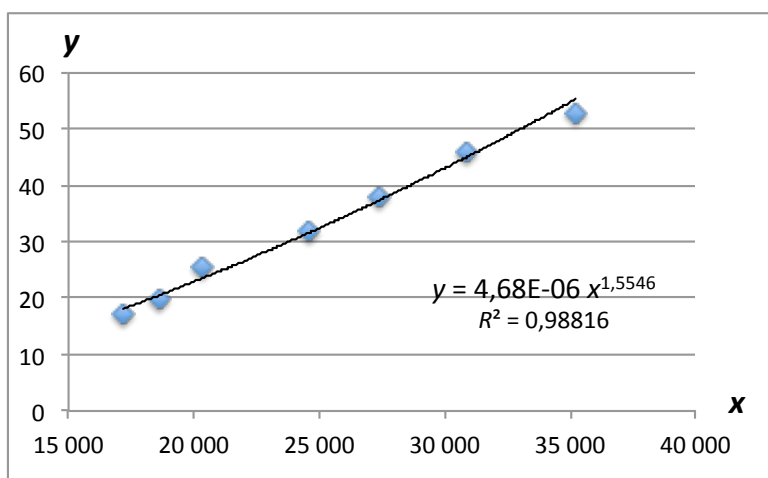
2^{ème} méthode

- 1) Principe : lorsque l'élasticité $el_{y/x}$ d'une variable y par rapport à une variable x est constante, la relation entre ces deux variables est du type :

$$y = ax^n \Leftrightarrow \ln y = n \ln x + \ln a$$

où n est égal à $el_{y/x}$. Pour estimer l'élasticité de la dépense touristique à Qingdao (y) par rapport au PIB chinois (x) sur la période 2000-2007, on opère donc une

régression de $\ln y$ en $\ln x$ (données exprimées en millions de CNY 2014, année 2003 exclue)¹ :



- 2) Calcul sur la période 2008-2014 de la dépense touristique théorique à partir du PIB, par utilisation de l'équation de la courbe de régression ci-dessus.
- 3) Calcul de l'écart (dépense observée – dép. théorique) sur la période 2008-2014.

Année	PIB* (x)	Dépense touristique théorique à Qingdao* ($y = 4,68.10^{-6} x^{1,5546}$)	Dépense touristique observée à QD*	Ecart Dépense observée – dépense théorique*
2008	38 615,9	63,2	51,2	-12,0
2009	42 181,5	72,5	59,7	-12,8
2010	46 666,2	84,9	66,2	-18,7
2011	51 092,2	97,7	71,9	-25,8
2012	55 052,0	109,7	83,3	-26,4
2013	59 282,1	123,1	94,5	-28,6
2014	63 591,0	137,3	106,1	-31,2
Moyenne 2008-2014		98,3	76,1	-22,2

* Unité : milliards de CNY constants 2014. Sources : cf. annexes 5 et 7.

¹ Selon la régression obtenue, l'élasticité $el_{y/x}$ sur la période 2000-2007 est estimée à 1,5546 : en moyenne, sur cette période, 1% de PIB supplémentaire génère un peu plus de 1,55% de dépense touristique supplémentaire.

Annexe 11 – Nomenclature du TES symétrique français en 64 produits

Activité (NAF 64)	
Code	Intitulé
AZ1	Culture et production animale, chasse et services annexes
AZ2	Sylviculture et exploitation forestière
AZ3	Pêche et aquaculture
BZ0	Industries extractives
CA0	Fabrication de denrées alimentaires, boissons et produits à base de tabac
CB0	Fabrication de textiles, industrie de l'habillement, industrie du cuir et de la chaussure
CC1	Travail du bois et fabrication d'articles en bois et en liège, à l'exception des meubles ; fabrication d'articles en vannerie et sparterie
CC2	Industrie du papier et du carton
CC3	Imprimerie et reproduction d'enregistrements
CD0	Cokéfaction et raffinage
CE0	Industrie chimique
CF0	Industrie pharmaceutique
CG1	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique
CG2	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques
CH1	Métallurgie
CH2	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements
CI0	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques
CJ0	Fabrication d'équipements électriques
CK0	Fabrication de machines et équipements n.c.a.
CL1	Industrie automobile
CL2	Fabrication d'autres matériels de transport
CM1	Autres industries manufacturières n.c.a.
CM2	Réparation et installation de machines et d'équipements
DZ0	Production et distribution d'électricité, gaz, vapeur et air conditionné
EZ1	Captage, traitement et distribution d'eau
EZ2	Collecte et traitement des eaux usées, traitement des déchets et dépollution
FZ0	Construction
GZ1	Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles
GZ2	Commerce de gros, à l'exception des automobiles et des motocycles
GZ3	Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles
HZ1	Transports terrestres et transport par conduites
HZ2	Transports par eau
HZ3	Transports aériens

.../...

(Suite du tableau)

HZ4	Entreposage et services auxiliaires des transports
HZ5	Activités de poste et de courrier
IZ0	Hébergement et restauration
JA1	Edition
JA2	Production de films cinématographiques, vidéo et programmes de télévision ; enregistrement sonore et édition musicale ; programmation et diffusion
JB0	Télécommunications
JC0	Programmation, conseil et autres activités informatiques ; services d'information
KZ1	Activités des services financiers, hors assurance et caisses de retraite
KZ2	Assurance
KZ3	Activités auxiliaires de services financiers et d'assurance
LZ0	Activités immobilières
MA1	Activités juridiques et comptables ; conseil de gestion ; activités des sièges sociaux
MA2	Activités d'architecture et d'ingénierie ; activités de contrôle et analyses techniques
MB0	Recherche-développement scientifique
MC1	Publicité et études de marché
MC2	Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques et activités vétérinaires
NZ1	Activités de location et location-bail
NZ2	Activités liées à l'emploi
NZ3	Activités des agences de voyage, voyagistes, services de réservation et activités connexes
NZ4	Enquêtes et sécurité ; services relatifs aux bâtiments et aménagement paysager ; autres activités de soutien
OZ0	Administration publique et défense ; sécurité sociale obligatoire
PZ0	Enseignement
QA0	Activités pour la santé humaine
QB0	Hébergement médico-social et social et action sociale sans hébergement
RZ1	Arts, divertissement et musées
RZ2	Activités sportives, récréatives et de loisirs
SZ1	Activités des organisations associatives
SZ2	Réparation d'ordinateurs et de biens personnels et domestiques
SZ3	Autres services personnels
TZ0	Activités des ménages en tant qu'employeurs ; activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de biens et services pour usage propre
UZ0	Activités des organisations et organismes extraterritoriaux

Source : INSEE.

Annexe 12 – Emploi par branche, France métropolitaine et Bretagne, année 2012

NAF 64	France Métropolitaine	Région Bretagne
AZ1	671 844	57 322
AZ2	31 053	561
AZ3	20 668	6 109
BZ0	24 499	1 510
CA0	587 865	72 014
CB0	124 616	3 649
CC1	71 576	3 710
CC2	64 105	1 974
CC3	89 392	4 207
CD0	10 290	101
CE0	140 307	5 220
CF0	86 631	1 744
CG1	171 642	9 859
CG2	114 933	4 821
CH1	93 563	1 493
CH2	308 281	10 184
CI0	126 881	7 996
CJ0	112 890	2 298
CK0	182 325	8 586
CL1	214 349	8 481
CL2	137 589	4 350
CM1	145 743	7 253
CM2	163 895	11 499
DZ0	179 599	4 266
EZ1	48 533	2 664
EZ2	136 202	6 010
FZ0	1 768 999	94 835
GZ1	426 319	22 037
GZ2	986 730	49 078
GZ3	1 905 340	98 779
HZ1	747 414	33 898
HZ2	16 214	2 228
HZ3	72 018	622
HZ4	263 927	8 868
HZ5	228 793	11 015
IZ0	1 023 514	51 069
JA1	133 481	5 316
JA2	98 993	1 783
JB0	136 108	9 093
JC0	375 723	13 302
KZ1	551 129	20 603
KZ2	175 564	6 050
KZ3	161 040	6 717

.../...

(Suite du tableau)

NAF 64	France Métropolitaine	Région Bretagne
LZ0	360 797	11 565
LI0	663 969	22 180
MA1	392 126	15 655
MA2	163 383	5 379
MB0	133 972	4 780
MC1	107 776	4 738
MC2	85 127	4 400
NZ1	495 671	28 712
NZ2	56 555	1 847
NZ3	743 896	29 754
NZ4	2 487 084	125 618
OZ0	1 905 285	97 532
PZ0	1 732 492	93 321
QA0	1 914 275	106 527
QB0	227 061	8 743
RZ1	171 438	10 279
RZ2	454 087	20 030
SZ1	54 069	3 029
SZ2	331 123	16 148
SZ3	132 364	6 408
TZ0	18 420	92
Total	25 761 549	1 299 915

Source : INSEE, recensement de la population 2012.

**Annexe 13 – Régionalisation des multiplicateurs de Leontief : résultats obtenus
par les méthodes CLQ, ACLQ et FLQ (TES symétrique 2010)**

Code activité	Coefficients régionalisés pour la Bretagne, selon la méthode utilisée		
	CLQ	ACLQ	FLQ
AZ1	1,56	1,84	1,21
AZ2	1,84	1,52	1,44
AZ3	1,11	1,17	1,04
BZ0	1,47	1,47	1,17
CA0	1,60	2,03	1,21
CB0	1,59	1,54	1,30
CC1	1,67	1,65	1,24
CC2	1,83	1,73	1,37
CC3	1,58	1,56	1,21
CD0	1,38	1,34	1,28
CE0	1,68	1,63	1,29
CF0	1,84	1,79	1,53
CG1	1,45	1,45	1,17
CG2	1,84	1,77	1,32
CH1	1,89	1,75	1,60
CH2	1,68	1,57	1,29
CI0	1,48	1,47	1,17
CJ0	1,76	1,67	1,47
CK0	1,57	1,56	1,22
CL1	1,77	1,74	1,32
CL2	1,91	1,74	1,41
CM1	1,53	1,52	1,19
CM2	1,43	1,48	1,15
DZ0	2,16	1,57	1,45
EZ1	1,71	1,71	1,25
EZ2	1,55	1,52	1,21
FZ0	1,64	1,64	1,23
GZ1	1,36	1,35	1,13
GZ2	1,55	1,54	1,20
GZ3	1,41	1,40	1,15
HZ1	1,52	1,48	1,19
HZ2	1,41	1,70	1,15
HZ3	1,77	1,68	1,54

.../...

(Suite du tableau)

Code activité	Coefficients régionalisés pour la Bretagne, selon la méthode utilisée		
	CLQ	ACLQ	FLQ
HZ4	1,64	1,53	1,26
HZ5	1,34	1,33	1,14
IZ0	1,58	1,64	1,30
JA1	1,64	1,61	1,25
JA2	1,89	1,79	1,58
JB0	1,56	1,66	1,20
JC0	1,52	1,46	1,22
KZ1	1,70	1,61	1,27
KZ2	2,12	2,07	1,46
KZ3	1,70	1,66	1,26
LZ0	1,29	1,26	1,12
MA1	1,74	1,60	1,30
MA2	1,73	1,63	1,27
MB0	1,77	1,74	1,35
MC1	1,73	1,66	1,30
MC2	1,48	1,47	1,19
NZ1	1,50	1,49	1,18
NZ2	1,14	1,14	1,05
NZ3	2,15	1,85	1,41
NZ4	1,63	1,59	1,25
OZ0	1,34	1,33	1,13
PZ0	1,22	1,22	1,09
QA0	1,25	1,26	1,10
QB0	1,18	1,18	1,07
RZ1	1,57	1,54	1,24
RZ2	1,46	1,46	1,18
SZ1	1,50	1,48	1,19
SZ2	1,33	1,33	1,12
SZ3	1,30	1,30	1,12
TZ0	1,00	1,00	1,00
UZ0	1,00	1,00	1,00

Sources : EUROSTAT / INSEE. Elaboration personnelle

Annexe 14 – Estimation des effets amont du projet : France entière

NAF 64	Production				Valeur ajoutée				Emploi				Solde extérieur			
	ΔX	Dir	Indir	Induit	ΔVA	Dir	Indir	Induit	ΔL	Dir	Indir	Induit	ΔSE	Dir	Indir	Induit
AZ1	0,23	0,02	0,10	0,10	0,09	0,01	0,04	0,04	2,06	0,21	0,91	0,94	-0,03	0	-0,01	-0,02
AZ2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02	0,03	0,04	0,00	0	0,00	0,00
AZ3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,02	0,02	0,04	-0,01	0	0,00	0,00
BZ0	0,07	0,04	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,31	0,19	0,07	0,05	-0,13	0	-0,08	-0,06
CA0	0,67	0,22	0,14	0,31	0,15	0,05	0,03	0,07	2,78	0,92	0,59	1,27	-0,12	0	-0,04	-0,08
CB0	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,18	0,06	0,04	0,08	-0,07	0	-0,01	-0,05
CC1	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15	0,01	0,07	0,06	-0,01	0	0,00	0,00
CC2	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,19	0,02	0,10	0,07	-0,04	0	-0,02	-0,01
CC3	0,05	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,40	0,00	0,30	0,10	0,00	0	0,00	0,00
CD0	0,14	0,04	0,04	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	-0,07	0	-0,03	-0,04
CE0	0,08	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,18	0,04	0,06	0,08	-0,09	0	-0,05	-0,04
CF0	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,02	-0,03	0	-0,01	-0,02
CG1	0,05	0,00	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,31	0,02	0,17	0,12	-0,03	0	-0,02	-0,02
CG2	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,20	0,02	0,11	0,07	-0,01	0	-0,01	-0,01
CH1	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,05	0,02	-0,03	0	-0,02	-0,01
CH2	0,08	0,00	0,05	0,03	0,03	0,00	0,02	0,01	0,42	0,02	0,25	0,15	-0,03	0	-0,02	-0,01
CI0	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,05	0,03	-0,10	0	-0,05	-0,05
CJ0	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,15	0,02	0,08	0,06	-0,05	0	-0,02	-0,02
CK0	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,06	0,03	-0,07	0	-0,05	-0,02
CL1	0,10	0,04	0,01	0,05	0,02	0,01	0,00	0,01	0,36	0,16	0,03	0,17	-0,09	0	-0,01	-0,07
CL2	0,09	0,00	0,08	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,20	0,00	0,18	0,01	-0,06	0	-0,05	-0,01
CM1	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,28	0,11	0,05	0,13	-0,04	0	-0,01	-0,03
CM2	0,10	0,05	0,04	0,01	0,04	0,02	0,02	0,00	0,41	0,21	0,16	0,05	0,00	0	0,00	0,00
DZ0	0,47	0,08	0,19	0,20	0,12	0,02	0,05	0,05	0,08	0,14	0,32	0,34	0,00	0	0,00	0,00
EZ1	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,22	0,06	0,07	0,09	0,00	0	0,00	0,00
EZ2	0,12	0,02	0,06	0,04	0,06	0,01	0,03	0,02	0,67	0,12	0,33	0,22	-0,01	0	-0,01	0,00
FZ0	0,23	0,03	0,12	0,08	0,09	0,01	0,05	0,03	1,57	0,23	0,80	0,54	0,00	0	0,00	0,00
GZ1	0,16	0,07	0,02	0,08	0,10	0,04	0,01	0,05	1,90	0,78	0,23	0,89	0,00	0	0,00	0,00
GZ2	0,67	0,23	0,14	0,31	0,33	0,11	0,07	0,15	3,47	1,17	0,72	1,58	-0,01	0	-0,01	0,00
GZ3	0,47	0,17	0,08	0,22	0,28	0,10	0,05	0,13	7,12	2,65	1,19	3,28	0,00	0	0,00	0,00
HZ1	0,28	0,06	0,10	0,11	0,14	0,03	0,05	0,06	2,69	0,59	0,99	1,10	-0,01	0	-0,01	0,00
HZ2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00
HZ3	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,20	0,07	0,04	0,09	-0,02	0	-0,01	-0,01
HZ4	0,19	0,03	0,09	0,07	0,10	0,02	0,05	0,04	0,97	0,18	0,44	0,35	-0,03	0	-0,02	-0,01
HZ5	0,06	0,00	0,04	0,02	0,04	0,00	0,03	0,01	1,07	0,08	0,69	0,29	0,00	0	0,00	0,00
IZ0	0,73	0,47	0,04	0,23	0,38	0,24	0,02	0,12	8,74	5,61	0,43	2,69	0,00	0	0,00	0,00

.../...

(Suite du tableau)

NAF 64	Production				Valeur ajoutée				Emploi				Solde extérieur			
	ΔX	Dir	Indir	Induit	ΔVA	Dir	Indir	Induit	ΔL	Dir	Indir	Induit	ΔSE	Dir	Indir	Induit
JA1	0,11	0,05	0,02	0,03	0,05	0,02	0,01	0,01	0,57	0,28	0,13	0,15	-0,03	0	-0,02	-0,01
JA2	0,11	0,03	0,05	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,43	0,10	0,19	0,14	-0,01	0	-0,01	0,00
JB0	0,30	0,07	0,11	0,12	0,13	0,03	0,05	0,05	0,64	0,15	0,24	0,26	-0,01	0	-0,01	0,00
JC0	0,14	0,00	0,10	0,04	0,09	0,00	0,06	0,03	0,84	0,00	0,59	0,25	0,00	0	0,00	0,00
KZ1	0,48	0,04	0,26	0,18	0,25	0,02	0,13	0,09	2,40	0,20	1,30	0,90	-0,01	0	-0,01	-0,01
KZ2	0,23	0,09	0,03	0,11	0,06	0,02	0,01	0,03	0,90	0,35	0,13	0,42	-0,01	0	-0,01	0,00
KZ3	0,15	0,00	0,09	0,06	0,07	0,00	0,04	0,03	0,74	0,00	0,44	0,31	0,00	0	0,00	0,00
LZ0	1,47	0,61	0,19	0,67	1,19	0,49	0,15	0,54	1,88	0,77	0,24	0,86	0,00	0	0,00	0,00
MA1	0,98	0,50	0,35	0,13	0,48	0,25	0,17	0,07	5,60	2,87	1,98	0,76	-0,02	0	-0,01	-0,01
MA2	0,35	0,21	0,12	0,03	0,16	0,10	0,06	0,01	2,56	1,50	0,88	0,18	-0,03	0	-0,02	-0,01
MB0	0,38	0,31	0,06	0,01	0,15	0,13	0,02	0,01	1,59	1,30	0,24	0,06	-0,02	0	-0,01	0,00
MC1	0,06	0,00	0,04	0,02	0,03	0,00	0,02	0,01	0,43	0,00	0,27	0,16	-0,01	0	0,00	0,00
MC2	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01	0,01	0,59	0,10	0,28	0,20	0,00	0	0,00	0,00
NZ1	0,23	0,01	0,15	0,07	0,12	0,01	0,08	0,04	0,31	0,02	0,20	0,09	-0,05	0	-0,03	-0,01
NZ2	0,09	0,00	0,06	0,03	0,08	0,00	0,05	0,03	1,55	0,01	1,04	0,50	0,00	0	0,00	0,00
NZ3	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,24	0,03	0,11	0,10	0,00	0	0,00	0,00
NZ4	0,32	0,01	0,22	0,09	0,16	0,00	0,11	0,05	3,16	0,08	2,15	0,93	-0,04	0	-0,03	-0,01
OZ0	1,53	1,52	0,00	0,00	1,05	1,05	0,00	0,00	19,21	19,19	0,00	0,02	0,00	0	0,00	0,00
PZ0	0,10	0,03	0,03	0,04	0,09	0,03	0,02	0,04	1,64	0,49	0,46	0,69	0,00	0	0,00	0,00
QA0	0,15	0,07	0,01	0,07	0,11	0,05	0,01	0,05	1,82	0,84	0,10	0,88	0,00	0	0,00	0,00
QB0	0,11	0,06	0,00	0,06	0,09	0,05	0,00	0,05	3,15	1,58	0,00	1,57	0,00	0	0,00	0,00
RZ1	0,05	0,02	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,01	0,48	0,22	0,03	0,23	0,00	0	0,00	0,00
RZ2	0,05	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,41	0,13	0,10	0,18	0,00	0	0,00	0,00
SZ1	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,20	0,10	0,00	0	0,00	0,00
SZ2	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,18	0,07	0,04	0,08	0,00	0	0,00	0,00
SZ3	0,12	0,07	0,01	0,04	0,09	0,05	0,01	0,03	2,57	1,51	0,29	0,77	-0,01	0	0,00	0,00
TZ0	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,71	0,31	0,05	0,35	0,00	0	0,00	0,00
UZ0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00
Total	13,10	5,46	3,55	4,09	6,85	3,10	1,66	2,10	93,43	45,89	21,32	26,22	-1,45	0	-0,76	-0,70

Elaboration personnelle

Annexe 15 – Estimation des effets amont du projet : région Bretagne

NAF 64	Production				Valeur ajoutée				Emploi			
	ΔX	Dir	Indir	Induit	ΔVA	Dir	Indir	Induit	ΔL	Dir	Indir	Induit
AZ1	0,07	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,67	0,21	0,24	0,22
AZ2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
AZ3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02
BZ0	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,12	0,10	0,02	0,01
CA0	0,44	0,22	0,08	0,14	0,10	0,05	0,02	0,03	1,84	0,92	0,33	0,59
CB0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,01	0,02
CC1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02	0,01
CC2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02	0,01
CC3	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,08	0,01
CD0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CE0	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,01	0,02
CF0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
CG1	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,02	0,04	0,03
CG2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,02	0,01
CH1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CH2	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,04	0,02
CI0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01
CJ0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
CK0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
CL1	0,05	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,20	0,12	0,01	0,07
CL2	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00
CM1	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,18	0,11	0,02	0,06
CM2	0,05	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,20	0,14	0,06	0,01
DZ0	0,09	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,15	0,07	0,04	0,05
EZ1	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,11	0,06	0,02	0,03
EZ2	0,05	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,26	0,10	0,09	0,07
FZ0	0,09	0,03	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,65	0,23	0,25	0,17
GZ1	0,11	0,07	0,01	0,04	0,07	0,04	0,00	0,02	1,27	0,78	0,06	0,43
GZ2	0,39	0,22	0,04	0,13	0,19	0,11	0,02	0,06	2,01	1,16	0,18	0,67
GZ3	0,29	0,17	0,02	0,10	0,18	0,10	0,01	0,06	4,44	2,65	0,31	1,48
HZ1	0,12	0,06	0,03	0,04	0,06	0,03	0,01	0,02	1,16	0,53	0,27	0,35
HZ2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HZ3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
HZ4	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,23	0,10	0,07	0,06
HZ5	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,36	0,08	0,21	0,07
IZ0	0,47	0,35	0,01	0,11	0,24	0,18	0,01	0,06	5,60	4,14	0,13	1,33
JA1	0,05	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,27	0,19	0,03	0,05

.../...

(Suite du tableau)

NAF 64	Production				Valeur ajoutée				Emploi			
	ΔX	Dir	Indir	Induit	ΔVA	Dir	Indir	Induit	ΔL	Dir	Indir	Induit
JA2	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,05	0,02	0,02
JB0	0,15	0,07	0,04	0,05	0,07	0,03	0,02	0,02	0,32	0,15	0,08	0,10
JC0	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,13	0,00	0,11	0,02
KZ1	0,12	0,03	0,06	0,03	0,06	0,01	0,03	0,02	0,59	0,15	0,28	0,16
KZ2	0,10	0,06	0,01	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	0,39	0,24	0,02	0,13
KZ3	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,15	0,00	0,10	0,04
LZ0	0,61	0,37	0,03	0,20	0,49	0,30	0,03	0,16	0,78	0,47	0,04	0,26
MA1	0,48	0,39	0,07	0,02	0,23	0,19	0,03	0,01	2,72	2,22	0,40	0,09
MA2	0,11	0,08	0,02	0,00	0,05	0,04	0,01	0,00	0,79	0,60	0,16	0,02
MB0	0,14	0,12	0,01	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,57	0,52	0,05	0,01
MC1	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,05	0,02
MC2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,22	0,09	0,08	0,06
NZ1	0,07	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,09	0,02	0,06	0,02
NZ2	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,41	0,01	0,31	0,08
NZ3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,02	0,02
NZ4	0,07	0,01	0,05	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,68	0,06	0,49	0,13
OZ0	1,52	1,52	0,00	0,00	1,05	1,05	0,00	0,00	19,20	19,19	0,00	0,01
PZ0	0,06	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	0,01	0,01	0,91	0,49	0,13	0,29
QA0	0,11	0,07	0,00	0,04	0,08	0,05	0,00	0,03	1,33	0,84	0,04	0,45
QB0	0,09	0,06	0,00	0,03	0,07	0,05	0,00	0,02	2,41	1,58	0,00	0,83
RZ1	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,27	0,17	0,01	0,09
RZ2	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,25	0,13	0,04	0,08
SZ1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,01
SZ2	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,11	0,07	0,01	0,04
SZ3	0,05	0,03	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,01	1,08	0,68	0,06	0,34
TZ0	0,03	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,48	0,30	0,02	0,17
UZ0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	6,49	4,38	0,84	1,28	3,60	2,54	0,39	0,67	54,60	39,96	5,27	9,37

Elaboration personnelle

Contribution à l'évaluation économique des marées vertes

Résumé

Provoquées par des efflorescences saisonnières de macro-algues vertes de la famille des ulvacées, les marées vertes appartiennent à la classe plus large des blooms algaux nuisibles (HAB), en rapide développement dans le monde depuis trois décennies, sous l'effet notamment de l'eutrophisation des eaux côtières due aux activités humaines. L'accumulation massive des algues vertes sur les côtes produit une série de nuisances pour diverses activités marchandes et non marchandes, et peut être une source de danger pour la santé humaine. Dans le même temps, les algues vertes sont une ressource aux potentialités encore peu exploitées, et des programmes visant à valoriser industriellement les algues collectées lors des marées vertes ont vu le jour dans des pays impactés par ce phénomène, tels que la Chine et la France. Cette thèse traite de l'évaluation économique des marées vertes. Pour cela elle prend en compte, dans une optique coût-avantage, les coûts subis par les agents privés et les collectivités publiques, ainsi que les bénéfices issus de la valorisation des algues collectées lors de ces épisodes. La thèse repose sur deux cas d'étude, l'un en Chine (Mer Jaune) et l'autre en France (Bretagne). Les deux premiers chapitres sont consacrés aux marées vertes qui, depuis une dizaine d'années, se développent au printemps en Mer Jaune et viennent s'échouer sur les côtes du Shandong. Le premier chapitre étudie les mécanismes bioéconomiques à l'origine de ce phénomène, ses conséquences économiques, les politiques mises en œuvre pour y faire face, et les perceptions des acteurs et du public. Le deuxième chapitre cherche à évaluer le coût social des marées vertes, en le décomposant en coût de gestion d'une part (déduction faite de la valorisation d'une partie des algues récoltées) et en coût résiduel pour les activités marchandes et non marchandes d'autre part. Prenant la Bretagne comme cas d'étude, le troisième chapitre se focalise sur le thème de la valorisation des algues vertes. À l'aide d'un tableau-entrées-sorties régionalisé, il évalue à différentes échelles spatiales les effets directs, indirects et induits d'un programme de valorisation industrielle des algues récoltées lors des marées vertes bretonnes.

Mots clefs : marées vertes, analyse coût-avantage, innovation, économie régionale, modèle input-output.

--O--

A contribution to the economic assessment of green tides

Abstract

Due to seasonal blooms of green macro-algae belonging to the ulvaceae family, green tides are part of the larger class of harmful algal blooms (HAB), which has developed worldwide at a high rate during the last three decades, favoured by the eutrophication of coastal waters due to human activities. The massive accumulation of seaweeds on the shore resulting from green tides generates a variety of damages to market and non-market activities, and is a potential threat to human health. In the same time, green algae are a natural resource that may be turned into a variety of valuable products through industrial processing. R&D programs devoted to this subject have been launched in countries subject to green tides, such as China and France.

The subject of this dissertation is the economic assessment of green tides, in a cost-benefit perspective. To this end, it studies the costs of green tides for private agents and public bodies, as well as the benefits due to the processing of algae. The dissertation relies on two case studies, one in China (Yellow Sea), and the other in France (Brittany). Chapter 1 and chapter 2 are dedicated to the case of the green tides that have developed each spring in the Yellow Sea and reached the southern shore of the Shandong province during the last decade. Chapter 1 investigates the bio-economic mechanisms of these episodes, their economic consequences, public management policies, and stakeholders' perceptions. Chapter 2 tries to quantify the social cost of green tides, including management costs (minus benefits generated by green algae processing) and residual costs to market and non-market activities. Chapter 3 relies on the Brittany case, and focuses on the economic consequences of green algae industrial processing. Making use of a regionalized input-output table, it estimates, at various geographical scales, the economic impact of a program concerning the industrial processing of algae that are collected during the green tides on the Brittany shoreline.

Keywords : green tides, HAB, cost-benefit analysis, innovation, regional economic analysis, input-output