



HAL
open science

Utilisation de l'estuaire de la Seine par l'économie régionale : Modélisation Entrées-Sorties étendue à l'environnement et perspectives pour 2050

Jérémy Pantet

► **To cite this version:**

Jérémy Pantet. Utilisation de l'estuaire de la Seine par l'économie régionale : Modélisation Entrées-Sorties étendue à l'environnement et perspectives pour 2050. Economies et finances. Normandie Université, 2020. Français. NNT : 2020NORMLH08 . tel-02975366

HAL Id: tel-02975366

<https://theses.hal.science/tel-02975366>

Submitted on 22 Oct 2020

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

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

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité Économie

Préparée au sein de Normandie Université Le Havre

Utilisation de l'estuaire de la Seine par l'économie régionale : Modélisation Entrées-Sorties étendue à l'environnement et perspectives pour 2050

Présentée et soutenue par
Jérémy PANTET

Thèse soutenue publiquement le 25 septembre 2020
devant le jury composé de

| | | |
|------------------------|---|----------------------|
| Mr Olivier BEAUMAIS | Professeur des universités, Normandie Université, site de Rouen | Président de Jury |
| Mme Morgane CHEVÉ | Professeur des Universités, Normandie Université, site du Havre | Directrice de thèse |
| Mr Ronan CONGAR | Maître de conférences, Normandie Université, site de Rouen | Codirecteur de thèse |
| Mr Mouez FODHA | Professeur des universités, École d'économie de la Sorbonne | Rapporteur |
| Mr Patrice GUILLOTREAU | Professeur des universités, Université de Nantes | Rapporteur |
| Mme Aude POMMERET | Professeur des universités, Université Savoie Mont Blanc | Examineur |

Thèse dirigée par Morgane CHEVÉ et Ronan CONGAR, laboratoire EDEHN (Équipe d'Économie le Havre Normandie)

Cette thèse est dédiée à Jacques Pantet et Joseph Matyba

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord Morgane Chevé et Ronan Congar d'avoir accepté d'encadrer cette thèse. Grâce à eux, j'ai pu mener à bien un projet personnel auquel j'avais commencé à réfléchir bien avant de commencer ce travail : l'économie de l'eau a été le fil conducteur de mes études depuis le master 1, et cette thèse est la concrétisation de cet intérêt.

Leur exigence m'a conduit à dépasser mes propres limites, à développer un esprit de rigueur ainsi que des compétences techniques, scientifiques et professionnelles que je ne m'imaginai pas capable d'atteindre lorsque j'ai commencé cette thèse.

Ils m'ont accordé une grande autonomie dans la conduite de ma recherche. J'ai pu également compter sur leur soutien concernant les aspects plus « administratifs » ou « logistique » de la thèse, m'offrant ainsi un cadre de travail favorable à la réalisation de cette thèse.

Je tiens à remercier chaleureusement Olivier Beaumais, Mouez Fodha et Patrice Guillotreau, d'avoir accepté d'être membres de mon jury et pour leurs précieux conseils ayant permis l'amélioration et l'aboutissement de ce travail.

Je remercie également l'équipe du laboratoire EDEHN pour leur accueil amical et leur soutien durant ces années au sein de l'Université du Havre.

Je souhaite également remercier l'Agence de l'Eau Seine Normandie, et particulièrement Nicolas Aubin, Delphine Jacono et Sylvain Ernou, pour leur coopération et leurs données, sans qui la réalisation de cette thèse n'aurait pas été possible. Je tiens également à remercier Gael Callonnec de l'ADEME, pour nous avoir fourni les données nécessaires à la création de la prospective.

Je voudrais également remercier mes parents, Anne et Bernard, pour avoir relu et corrigé mes nombreux écrits. Leur soutien m'a permis également d'aller jusqu'au bout de ce travail.

Une pensée émue à ma compagne Élisabeth, qui m'a supporté et soutenu durant ces quatre ans, surtout pendant les moments les plus difficiles : les baisses de moral, les coups de fatigue.

Je souhaite également remercier mon frère, Aymeric, qui au travers de sa propre thèse, a traversé des épreuves similaires. Le fait de faire notre thèse en même temps nous a permis de nous épauler, et au travers d'une petite rivalité bienveillante, de nous motiver.

Merci également à tous mes amis, et ma famille, dont j'ai dû mettre un peu nos relations entre parenthèses pour me consacrer pleinement à ce projet.

Table des matières

| | |
|--|----|
| Remerciements | 3 |
| Table des matières | 5 |
| Glossaire | 9 |
| Figures | 11 |
| Tableaux..... | 13 |
| Chapitre introductif | 15 |
| Chapitre 1 Délimitation du cas d'étude et enjeux..... | 27 |
| 1. Introduction..... | 27 |
| 2. Les activités humaines le long de l'estuaire | 30 |
| 2.1 Démographie et emploi | 30 |
| 2.1.1. Population..... | 30 |
| 2.1.2. Population active et emploi | 32 |
| 2.2 Grandeurs économiques | 36 |
| 2.2.1. PIB et valeur ajoutée..... | 36 |
| 2.2.2. Spécialisation | 39 |
| 2.2.3. Productivité apparente du travail..... | 41 |
| 3. Le bassin versant de l'estuaire de la Seine..... | 43 |
| 3.1 Description de l'estuaire..... | 43 |
| 3.2 État de l'estuaire..... | 45 |
| 3.3 Prélèvements et rejets..... | 49 |
| 3.4 Prélèvements d'eau sectoriels..... | 55 |
| 4. Enjeux futurs | 58 |
| 4.1 Augmentation des températures | 59 |
| 4.2 Changement dans le régime des précipitations | 61 |
| 4.3 Hausse du niveau de la mer | 63 |
| 5. Conclusion | 65 |
| Chapitre 2 Modélisation Entrées-Sorties régionalisée | 67 |
| 1. Introduction..... | 67 |
| 2. L'analyse Entrées-Sorties | 73 |
| 2.1 Le modèle Entrées-Sorties économique | 74 |
| 2.2 Le modèle ES environnemental..... | 77 |

| | | |
|---|--|-----|
| 3. | Le Tableau Entrées-Sorties | 83 |
| 3.1 | Les systèmes de comptes nationaux et la nomenclature | 83 |
| 3.2 | Le TES | 84 |
| 3.2.1. | Le Tableau des Ressources Emplois (TRE) | 84 |
| 3.2.2. | Le Tableau des emplois intermédiaires (TEI) | 85 |
| 3.2.3. | Le Tableau des emplois finaux (TEF) | 86 |
| 3.2.4. | Le Compte de production. | 86 |
| 3.3 | Le TES symétrique en prix de base | 87 |
| 3.3.1. | La matrice de production : | 87 |
| 3.3.2. | Le tableau des emplois finaux local en prix de base. | 88 |
| 3.3.3. | TES des importations. | 88 |
| 3.4 | Transformation d'un TES classique en TES symétrique en prix de base et d'un TES de contenu en importations | 89 |
| 4. | Régionalisation du TES..... | 92 |
| 5. | Application de l'extension du TES à l'environnement, | 103 |
| 5.1 | Sources de données..... | 104 |
| 5.1.1. | Eurostat | 104 |
| 5.1.2. | Les Agences de l'eau | 106 |
| 5.1.3. | La Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE) | 107 |
| 5.1.4. | Base de données EIDER (Ministère de la transition écologique et solidaire) | 108 |
| 5.2 | Méthodes usuelles de répartition des volumes d'eau..... | 109 |
| 5.2.1. | Méthode de la répartition au prorata | 109 |
| 5.2.2. | Méthode des coefficients sectoriels..... | 111 |
| 5.3 | Méthode proposée | 112 |
| 6. | Outils analytiques | 118 |
| 6.1 | Multiplicateurs | 118 |
| 6.2 | Analyse de liaison | 122 |
| 6.3 | Analyse structurelle | 124 |
| 7. | Conclusion | 126 |
| Chapitre 3 Exploitation du modèle ES étendu à l'environnement, multiplicateurs et liaisons et analyse structurelle..... | | 129 |
| 1. | Introduction | 129 |
| 2. | Portrait approfondi du BES | 130 |
| 2.1 | Portrait approfondi de l'économie du BES. | 132 |
| 2.1.1. | Production | 132 |
| 2.1.2. | Importations..... | 137 |
| 2.1.3. | Demande finale et exportations | 140 |

| | | |
|---|--|-----|
| 2.1.4. | Comparaison exportations/ demande finale..... | 147 |
| 2.1.5. | Discussion sur la dynamique de la matrice interbranche et évolution sur la période | 151 |
| 2.2 | Dimension environnementale | 157 |
| 2.2.1. | Contexte de la Haute-Normandie par rapport au niveau national et aux pays voisins européens | 157 |
| 2.2.2. | Consommations d'eau directes et impacts environnementaux..... | 158 |
| 2.2.3. | Destination des consommations d'eau | 160 |
| 2.2.4. | Importations d'eau..... | 163 |
| 2.2.5. | Impact total de la demande finale et des exportations | 166 |
| 3. | Multiplicateurs de consommation..... | 169 |
| 3.1 | Impacts directs..... | 169 |
| 3.2 | Impacts totaux..... | 172 |
| 4. | Analyse de liaison | 175 |
| 4.1 | Aspect économique..... | 175 |
| 4.1.1. | Indicateurs de liaison économiques brutes | 175 |
| 4.1.2. | Indicateurs de liaisons nets :..... | 178 |
| 4.2 | Dimension environnementale | 181 |
| 4.2.1. | Indicateurs de liaison environnementaux bruts :..... | 181 |
| 4.2.2. | Indicateurs de liaisons environnementaux nets..... | 183 |
| 5. | Analyse structurelle..... | 185 |
| 5.1 | Analyse structurelle économique..... | 185 |
| 5.2 | Analyse structurelle des échanges d'eau | 190 |
| 5.3 | Ego networks : détail des branches cokéfaction et raffinage et distribution d'eau et dépollution | 193 |
| 6. | Discussion et Conclusion | 197 |
| Chapitre 4 TES 2050 et perspectives | | 201 |
| 1. | Introduction..... | 201 |
| 2. | Construction du TES régional 2050..... | 203 |
| 2.1 | Prévisions institutionnelles économiques à l'horizon 2050 | 203 |
| 2.2 | Construction du TES 2050 de la Haute-Normandie | 207 |
| 2.2.1. | Valeur ajoutée et tableau des emplois intermédiaires..... | 208 |
| 2.2.2. | Tableau des emplois finaux..... | 215 |
| 2.3 | Projection de la consommation d'eau unitaire régionale et construction du TES environnemental 2050 | 218 |
| 2.3.1. | Cadre prévisionnel | 219 |
| 2.3.2. | Projection statistique | 221 |
| 3. | Exploitation du TES 2050..... | 231 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.1 | Consommation d'eau directes et totales | 231 |
| 3.1.1. | Multiplicateurs de consommation | 231 |
| 3.1.2. | Effets d'une augmentation de la consommation d'eau directe par branche sur la consommation d'eau totale de l'économie..... | 232 |
| 3.2 | Analyse de liaison | 236 |
| 3.2.1. | Indicateurs économiques | 236 |
| 3.2.2. | Liaisons environnementales..... | 239 |
| 3.3 | Analyse structurelle | 241 |
| 3.3.1. | Réseau économique | 241 |
| 3.3.2. | Réseau environnemental | 244 |
| 3.4 | Étude de sensibilité : effets d'une diminution des prélèvements sur la valeur ajoutée régionale..... | 248 |
| 3.5 | Préconisations | 253 |
| 4. | Conclusion | 259 |
| | Conclusion générale..... | 263 |
| | Annexes..... | 267 |
| | Annexe A : Spécialisation..... | 267 |
| | Annexe B : Nomenclature NAF 38..... | 268 |
| | Annexe C : Taux de valeur ajoutée..... | 269 |
| | Annexe D : Consommations d'eau..... | 270 |
| | Annexe E : Coefficients de consommation directs..... | 271 |
| | Annexe F : Création de valeur ajoutée par litre consommé | 272 |
| | Annexe G : Multiplicateurs totaux et complétés..... | 273 |
| | Annexe H : Mesures de centralité 2014..... | 275 |
| | Annexe I : Projection du TES national | 277 |
| | Annexe J : Grandeurs du TES 2050 en volume | 293 |
| | Annexe K : Résultats des régressions sur la consommation d'eau unitaire directe | 294 |
| | Annexe L : Multiplicateurs de consommation 2050 | 295 |
| | Annexe M : Sensibilité à la consommation d'eau directe des consommations totales | 296 |
| | Annexe N : Mesures de centralité et de degré 2050 | 297 |
| | Annexe O : Sensitivité économique à une baisse contrainte de prélèvements. | 299 |
| | Bibliographie | 303 |

Glossaire

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
AESN : Agence de l'Eau Seine Normandie
BNPE : Banque Nationale sur les Prélèvements en Eau
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ES : Entrées-Sorties
BES : Bassin versant de l'Estuaire de la Seine
GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GIP: Groupement d'Interet Public
HEM : Hypothetical Extraction Method
ICM : Intergrated Catchment Management
IFEN : Institut Français de l'Environnement
INSEE : Institut National Statistiques et Études Économiques
NAF : Nomenclature d'Activité Française
NAMEA: National Account Matrix including Environmental Accounts
PDM : Programme De Mesures
SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SNBC: Stratégie Nationale Bas Carbone
SOeS : Service de l'Observation et des Statistiques
TES : Tableau Entrées-Sorties
UH : Unité Hydrographique

Figures

| | |
|---|-----|
| Figure 1-1 : Évolution du taux de chômage | 34 |
| Figure 1-2 : Évolution du PIB en valeur (base 100) | 37 |
| Figure 1-3 : Productivité apparente du travail (Euro par emploi) | 41 |
| Figure 1-4 : Bassin versant de la Seine | 43 |
| Figure 1-5 : Réseau hydrographique de l'estuaire de la Seine | 44 |
| Figure 1-6 : Évolution en base 100 des rejets totaux | 53 |
| Figure 1-7 : Rejets par secteur en base 100 | 54 |
| Figure 1-8 : Prélèvements totaux | 55 |
| Figure 1-9 : Évolution de la pluviométrie en Haute-Normandie | 61 |
| Figure 1-10 : Prédiction de la hausse du niveau de la mer dans l'estuaire en 2100 | 63 |
| Figure 2-1 : Organisation du modèle ES | 82 |
| Figure 2-2 : structure de la matrice de production | 87 |
| Figure 3-1 : Structure du système étudié | 131 |
| Figure 3-2 : Production en base 100 | 133 |
| Figure 3-3 : Production par emploi (en euro de produit par emploi) | 133 |
| Figure 3-4 : Évolution en base 100 des importations | 138 |
| Figure 3-5 : Demande des ménages (euro par habitant) | 141 |
| Figure 3-6 : Exportations en base 100 | 143 |
| Figure 3-7 : Balance commerciale (en valeur, en million d'euros) | 144 |
| Figure 3-8 : Consommation d'eau par la demande finale (en millions de m ³) | 159 |
| Figure 3-9 : Balance environnementale | 165 |
| Figure 3-10 : liaisons économiques brutes | 176 |
| Figure 3-11 : Liaisons économiques nettes | 179 |
| Figure 3-12 : Liaisons environnementales brutes | 182 |
| Figure 3-13 : Liaisons environnementales nettes | 183 |
| Figure 3-14 : Représentation des relations économiques principales | 186 |
| Figure 3-15 : Représentation des relations environnementales majeures | 191 |
| Figure 3-16 : Ego network économique de la branche cokéfaction et raffinage (CD) | 195 |
| Figure 3-17 : Ego network de l'eau virtuelle de la branche Distribution d'eau et Dépollution (EZ) | 196 |
| Figure 4-1 : Liaisons économiques brutes | 237 |
| Figure 4-2 : Liaisons économiques nettes | 238 |
| Figure 4-3 : Liaisons environnementales brutes | 239 |
| Figure 4-4 : Liaisons environnementales nettes | 240 |
| Figure 4-5 : Réseau économique 2050 | 242 |
| Figure 4-6 : Réseau environnemental 2050 | 245 |

Tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1-1 : Population | 31 |
| Tableau 1-2 : Structure de la population | 32 |
| Tableau 1-3 : Taux d'activité par classe d'âge (2013) | 32 |
| Tableau 1-4 : Répartition de l'emploi | 35 |
| Tableau 1-5 : Répartition de la valeur ajoutée | 38 |
| Tableau 1-6 : Mesures de spécialisation | 40 |
| Tableau 1-7 : Pressions par UH | 50 |
| Tableau 1-8 : Prélèvements par secteur en Haute-Normandie (en %)..... | 56 |
| Tableau 1-9 : Prélèvements par secteurs, France (en %)..... | 56 |
| Tableau 1-10 : Volume des précipitations mensuelles : normales actuelles et prévisions 2050 | 62 |
| Tableau 2-1 : Proportions des volumes assimilés domestiques par région | 114 |
| Tableau 2-2 : Typologie de Rasmussen | 123 |
| Tableau 2-3 : Typologie de Chenery et Watanabe | 123 |
| Tableau 3-1 : Répartition de la production | 134 |
| Tableau 3-2 : Répartition de la production industrielle..... | 136 |
| Tableau 3-3 : Répartition de la production des services | 137 |
| Tableau 3-4 : Répartition des ressources régionales..... | 138 |
| Tableau 3-5 : Répartition des importations..... | 139 |
| Tableau 3-6 : Répartition de la demande finale | 140 |
| Tableau 3-7 : Demande finale des ménages par secteur..... | 142 |
| Tableau 3-8 : Répartition des exportations (en pourcentage)..... | 144 |
| Tableau 3-9 : Part des exportations dans les emplois finaux | 147 |
| Tableau 3-10 : Branches orientées vers l'exportation (moyenne sur la période 2004-2014) .. | 148 |
| Tableau 3-11 : Taux de valeurs ajoutées..... | 150 |
| Tableau 3-12 : Caractéristiques des moyennes des coefficients techniques | 153 |
| Tableau 3-13 : caractéristiques du coefficient technique maximum | 156 |
| Tableau 3-14 Consommation d'eau unitaire <i>eiD</i> pour différents pays d'Europe (2010) | 157 |
| Tableau 3-15 : Consommations d'eau directes..... | 158 |
| Tableau 3-16 : Répartition des consommations d'eau par emploi | 160 |
| Tableau 3-17 : Répartition des consommations d'eau par emploi et par secteur (en %) | 161 |
| Tableau 3-18 : Volumes d'eau utilisés pour les exportations | 162 |
| Tableau 3-19 : Principales branches exportatrices d'eau | 163 |
| Tableau 3-20 : Importations d'eau..... | 164 |
| Tableau 3-21 : HEM de la demande finale | 166 |
| Tableau 3-22 : HEM des exportations..... | 167 |
| Tableau 3-23 : Coefficients de consommation directs (moyenne de la période 2008-2014) ... | 170 |
| Tableau 3-24 : Multiplicateurs de consommation | 172 |
| Tableau 3-25 : Mesures de centralité et de degré | 189 |
| Tableau 3-26 : Mesures de centralité et de degré du réseau environnemental..... | 192 |
| Tableau 4-1 : Taux de croissance du PIB prévus par les Ageing Reports..... | 205 |
| Tableau 4-2 : Taux de croissance du PIB utilisé par l'ADEME | 206 |
| Tableau 4-3 : Projections des taux de croissance national et régional | 209 |
| Tableau 4-4 : Prévision de la productivité horaire du travail | 209 |

| | |
|--|-----|
| Tableau 4-5 : Valeur ajoutée régionale calculée à partir de l'emploi et de la productivité ... | 210 |
| Tableau 4-6 : Structure de la valeur ajoutée 2050 | 211 |
| Tableau 4-7 : Évolution de la productivité totale des facteurs | 212 |
| Tableau 4-8 : Productivité totale par emploi | 213 |
| Tableau 4-9 : Production régionale 2050 | 213 |
| Tableau 4-10 : structure de la production 2050 | 214 |
| Tableau 4-11 : Population 2050 | 216 |
| Tableau 4-12 : Détail de la demande finale 2050 | 217 |
| Tableau 4-13 : Prévisions du Rapport phase 1 de la BIPE | 220 |
| Tableau 4-14 : Extrapolations 2025-2050 | 220 |
| Tableau 4-15 : Résultats des régressions | 223 |
| Tableau 4-16 : Consommations directes en eau, première version | 224 |
| Tableau 4-17 : Consommation d'eau des ménages | 225 |
| Tableau 4-18 : Consommation industrielle de la branche EZ | 226 |
| Tableau 4-19 : Consommations industrielles problématiques | 227 |
| Tableau 4-20 : Corrections des consommations industrielles | 227 |
| Tableau 4-21 : Coefficients et consommations des services problématiques | 228 |
| Tableau 4-22 Coefficients et consommations d'eau directes retenus | 229 |
| Tableau 4-23 : Consommations directes ajustées pour 2050 | 230 |
| Tableau 4-24 : Multiplicateurs de consommation 2050 | 231 |
| Tableau 4-25 : indicateurs de variation des multiplicateurs | 234 |
| Tableau 4-26 : Centralités environnementales | 246 |
| Tableau 4-27 : Effets subits, Effets engendrés | 250 |
| Tableau 4-28 : Origines des effets sur la valeur ajoutée | 252 |

Chapitre introductif

Afin de s'adapter aux enjeux du changement climatique, la nécessité de modélisations pluridisciplinaires intégrant les aspects socio-économiques et environnementaux se fait de plus en plus pressante. L'intégration d'aspects environnementaux n'est pas récente et remonte aux années 70 avec l'émergence de la « prise de conscience écologique ». Les polluants atmosphériques sont alors au cœur des premières études et restent centraux dans les problématiques économiques couramment évoquées. Ainsi, le site du service statistique des ministères en charge du logement, des transports, de l'énergie, de l'environnement, du climat et du développement durable, suivant les travaux de l'IFEN (Institut Français de l'Environnement), publie les comptes environnementaux des émissions atmosphériques sous forme de NAMEA (National Account Matrix including Environmental Accounts, SOeS et al., 2017).

Cependant, si les émissions atmosphériques sont une part importante des impacts anthropiques, il existe d'autres aspects environnementaux sur lesquels les activités humaines exercent des pressions. L'eau est de celle-ci : il s'agit d'une ressource vitale, non seulement pour l'homme et les activités économiques, mais aussi pour tous les processus biologiques en général. Cette ressource, apparemment commune est ainsi bien moins souvent évoquée. Ainsi sur le site du ministère français de l'Environnement, n'existe-t-il pas de rubrique dédiée à cette ressource, et le projet de NAMEA-eau française (initialement mené par l'IFEN) semble avoir été abandonné. Au niveau régional, les Agences de l'eau sont en charge de la gestion de l'eau et proposent ainsi des études environnementales au niveau des bassins fluviaux.

Si la modélisation à l'échelle d'un bassin fluvial est bien utilisée en hydrologie ou hydrogéologie, cette échelle géographique est relativement récente en sciences sociales et économiques. Cette échelle d'observation apparaît cependant pertinente dans le cadre d'études liant des aspects environnementaux à un système économique. Étant donné que les ressources en eau sont lourdes et encombrantes, elles sont extraites directement du bassin fluvial pour subvenir aux besoins des productions locales. Le bassin fluvial est, ainsi, une unité géographique appropriée, clairement délimitée par ses lignes de crêtes, pour mesurer les pressions environnementales exercées par les activités productives présentes sur son territoire. Quant aux activités économiques, elles sont comptabilisées suivant un découpage territorial administratif (national, régional...) qui ne correspond pas toujours au territoire d'un bassin fluvial. Pour pouvoir mesurer les impacts des activités économiques sur l'environnement, il faut donc placer l'étude économique à l'échelle d'un bassin.

Ainsi, une littérature récente sur la modélisation transdisciplinaire au niveau d'un bassin fluvial émerge. Des outils d'aide à la décision sur la gestion de l'eau au niveau d'un bassin ont déjà été

développés, tels que MULINO (Giupponi et al., 2004), qui tente de regrouper dans un même cadre les aspects environnementaux, économiques et législatifs de la gestion de l'eau. Les travaux de Macleod et al. (2007) ; Heinz et al. (2007) ou encore de Papacharalampou et al. (2017) mettent tous en avant l'intérêt d'une modélisation transdisciplinaire à l'échelle d'un bassin fluvial, afin de permettre d'en assurer une gestion intégrée. Par exemple, Macleod et al. (2007) prennent le cas de la réduction des nitrates dans les eaux de surface en Angleterre et au Pays de Galles. L'auteur démontre ainsi l'intérêt d'une coopération entre sciences naturelles et sciences sociales pour une modélisation intégrée à l'échelle d'un bassin versant. L'intérêt de cette coopération est de pouvoir mettre en place la gestion intégrée d'un bassin fluvial (ICM : Integrated Catchment Management). L'ICM permet dès lors de regrouper sous un même outil les interactions entre les différents aspects environnementaux (sols, ressources en eau...) et les forces économiques et environnementales qui les affectent. D'une manière similaire, Heinz et al. (2007) répertorient les différentes approches et techniques économiques pouvant être utilisées pour construire un modèle hydroéconomique (analyse coûts/bénéfices, recouvrement des coûts, optimisation ...). La combinaison de l'analyse économique avec l'analyse hydrologique, au niveau d'un bassin, offre une perspective et une appréciation approfondies des problèmes et des défis liés à la gestion de l'eau. Plus récemment, Papacharalampou et al. (2017) présentent une méthodologie de modélisation transdisciplinaire d'un bassin fluvial qui regroupe, dans un système hybride intégré, les éléments naturels (biosphère) et les infrastructures (technosphère), le tout formant une matrice IO élargie des composants naturels.

Si tous ces travaux s'accordent sur la nécessité d'une transdisciplinarité, peu d'applications existent à ce jour. En effet, ils sont surtout orientés sur la description des méthodologies permettant à des chercheurs issus de disciplines variées de se coordonner.

Les auteurs cités sont issus de champs d'expertise tels que la géographie physique, la biologie, l'hydrologie. Ainsi la prise en considération d'un domaine d'études commun à l'échelle d'un bassin fluvial (pouvant être constitué de sous bassins) est indispensable aux économistes pour associer leurs résultats avec ceux de chercheurs issus d'autres champs de connaissance. Les sciences sociales, et en particulier l'économie de l'environnement, peuvent de la sorte apporter d'importantes contributions à la modélisation transdisciplinaire d'un bassin.

Il s'agit donc de pouvoir faire le lien entre la dimension économique du territoire étudié et ses ressources en eau. Nous pouvons distinguer plusieurs approches pour étudier l'utilisation de l'eau par les activités économiques sur un plan quantitatif.

L'une des plus répandues repose sur l'utilisation de fonctions de bénéfice (pour la totalité de l'économie, ou sectorielle). Ces fonctions de bénéfices peuvent être alors intégrées dans des programmes d'optimisation permettant de calculer le partage optimal des ressources d'un fleuve sous contrainte de ressources. Ainsi, Rosegrant et al. (2000) et Ringler (2001) utilisent une telle méthode pour déterminer

les niveaux optimaux de consommation d'eau de la Maipo River au Chili et du Mékong. Les fonctions d'utilisations sont mobilisées sectoriellement (une fonction par secteur : agricole, énergétique, et municipal et industriel) et géographiquement (par rapport à la place du site dans le réseau hydrographique).

Plus récemment, Nigatu et Dinar (2011) utilisent cette méthode pour déterminer le partage optimal des ressources en eau du Nil. De manière plus théorique, Ambec et Ehlers (2008) proposent une formalisation de l'allocation des ressources en eau entre agents satiables dans un réseau hydrographique au moyen de fonctions d'utilités.

L'utilisation de telles fonctions est largement répandue dans la littérature sur le partage des ressources en eau à l'échelle de bassins fluviaux entiers, en particulier dans le cas de bassins internationaux, c'est-à-dire partagés entre plusieurs pays. À l'échelle de notre cas d'étude, il serait difficile d'obtenir des fonctions de production à une échelle infrarégionale (à échelle de l'unité hydrographique) sans recourir à des hypothèses excessivement fortes. Cette méthode serait plus adaptée à l'ensemble du bassin versant de la Seine, c'est-à-dire intégrant le bassin de la Seine parisienne, le bassin Seine Amont, l'Oise et la Marne.

L'objet de cette méthode est principalement de déterminer le niveau de prélèvement d'eau total optimal d'une économie (ou d'un secteur). Elle se concentre principalement sur l'utilisation directe de l'eau, sans détailler précisément les échanges, notamment d'eau « virtuelle » (Allan, 1998) existant entre les différentes branches de l'économie. Ainsi l'utilisation de cette méthode ne nous permettrait pas non plus d'évaluer les interactions économiques et environnementales entre les activités économiques régionales. Elle ne semble donc pas adaptée à l'intégration des ressources en eau à l'échelle du bassin versant de l'estuaire de la Seine.

Une autre approche est d'intégrer l'eau à un système de compte, pour pouvoir analyser cette ressource dans le cadre d'un modèle Entrées Sorties étendu aux ressources en eau.

Le modèle Entrées-Sorties de Leontief (1936) semble tout indiqué pour modéliser la relation entre l'estuaire et l'économie régionale. Cet outil fait l'objet d'une littérature riche, et il est, de plus, couramment utilisé. L'analyse ES et ses extensions sont présentées en détail par Miller et Blair (2009). Il a également l'avantage de pouvoir s'inscrire dans des outils de modélisation plus larges tels que les systèmes de gestion de l'eau intégrée évoqués dans l'introduction.

Cette méthode fait l'objet d'une littérature riche en applications, que nous avons mobilisée pour réaliser ce travail (Dietzenbacher et Velázquez, 2007; Lin, 2009; Velázquez, 2006; Wang et al., 2016, 2017; Zhao et al., 2010), et est applicable à des cas d'études uniques, mais également à des cas multiples : cas des modèles ES multirégionaux.

Cette méthode a également l'avantage d'être intégrée aux systèmes de comptes environnementaux développés par l'ONU (United Nations, 2012), ce qui en fait une méthode compatible avec les systèmes de comptes de nombreux pays, favorisant ainsi sa reproductibilité.

Ce type de modèle peut être utilisé, en intégrant les relations interbranches, pour calculer les utilisations d'eau indirectes (ou d'eau virtuelle, c'est-à-dire de l'eau incorporée dans les consommations intermédiaires).

Enfin, une approche connexe au modèle ES étendu aux ressources en eau, consisterait à développer un modèle d'équilibre général calculable (MEGC) étendu aux ressources en eau. Decaluwé et al. (1998) utilisent ainsi un MEGC pour étudier les ressources en eau au Maroc. En utilisant un MEGC étendu à l'eau, ils cherchent à calculer les répercussions directes et indirectes d'une nouvelle grille tarifaire sur la population et en particulier sur les agriculteurs. L'eau est alors traitée comme un bien tarifé. Ce modèle ne s'intéresse donc pas aux quantités d'eau consommées (water uses), mais aux effets du prix de l'eau sur l'économie.

Un MEGC régional serait donc envisageable, mais il repose sur la construction d'une matrice de comptabilité sociale, elle-même construite à partir des comptes nationaux ou régionaux dans notre cas. Ces comptes, et en particulier le tableau entrées-sorties, sont au cœur du modèle ES. La construction d'un MEGC pourrait en prenant appui sur un modèle ES étendu à l'eau, constituer un prolongement de cette thèse.

Nous proposons dans cette thèse d'étudier la relation entre l'estuaire et son économie au travers d'un modèle ES qui semble être l'outil le plus adapté en première approche au cas étudié, et sur lequel pourrait prendre appui un MEGC étendu aux ressources en eau ; le prolongement de l'analyse dans un cadre MEGC est laissé pour de futures recherches.

Une modélisation ES étendue à l'environnement est donc réalisé sur l'estuaire de la Seine. L'outil ainsi développé permettra d'intégrer les impacts des activités humaines sur l'environnement. Face à un changement climatique global, mais également en intégrant les évolutions sociétales, cet outil prévisionnel apparaît crucial pour décider des actions relatives à une transition écologique durable. La modélisation ES étendue à l'environnement semble donc pertinente pour étudier les relations entre le bassin fluvial de la Seine et les activités humaines, en fournissant de plus un outil qui peut être intégré dans des projets transdisciplinaires d'étude et de gestion d'estuaire.

Cette thèse s'intéresse ainsi aux outils d'intégration environnementale appliquées à l'échelle d'un bassin fluvial. Dans ce cadre, Leontief (1970) a proposé une première méthode d'intégration en étendant le modèle ES à des émissions par activités. Cette première version de l'analyse ES étendue à l'environnement ajoute ainsi une ligne et une colonne correspondant à un impact environnemental (polluant atmosphérique) qui est alors considéré comme un nouveau secteur économique. Suivant ces

travaux initiaux, les principales méthodes d'intégration de l'environnement au modèle ES sont présentées dans l'ouvrage de Miller and Blair (2009). Trois méthodes principales y sont répertoriées.

La première est le modèle ES généralisé (*generalized IO Analysis*). Il s'agit d'ajouter des lignes et des colonnes au TES correspondant à des impacts environnementaux. Ces lignes supplémentaires permettent de calculer les coefficients d'impacts environnementaux qui sont l'impact unitaire de chaque branche. L'application de ces coefficients à la structure du TES économique « convertit » donc celui-ci en un modèle ES environnemental. Les productions intermédiaires et finales sont alors remplacées par leurs impacts environnementaux correspondants. L'analyse ES s'applique ensuite de la même manière que dans le modèle ES classique. Cette méthode est une généralisation du modèle de Leontief (aussi appelée *Extended Leontief Model*).

La deuxième méthode est le modèle économique-écologique (*economic-ecologic model*). C'est une extension du modèle ES économique en ajoutant des secteurs écosystémiques supplémentaires. Il s'agit d'une grande matrice constituée de quatre sous-matrices : la matrice des flux interindustriels, composant connu du TES, celle des flux de l'industrie vers l'écosystème (pollutions et rejets), avec également, les traitements des pollutions, celle des flux de l'écosystème vers les industries (extractions, effets environnementaux) et enfin celle des flux inter écosystème. Le problème est alors de définir les trois autres matrices décrivant les interactions entre l'économie et l'écosystème.

Enfin la troisième méthode est le modèle commodités par industries enrichi (*commodity by industry*¹) qui traite les actifs environnementaux comme des « commodités ». Il est augmenté de lignes supplémentaires qui indiquent les inputs naturels (consommations de ressources naturelles par branches) et de colonnes qui indiquent les outputs environnementaux (émissions de pollutions par branches). Cette méthode conduit à la construction de la NAMEA.

L'objectif de cette thèse est donc de construire une méthodologie de modélisation Entrées-Sorties étendue à l'environnement à l'échelle d'un bassin fluvial pouvant être utilisé pour réaliser des prévisions économiques et environnementales. Cette méthodologie est appliquée au contexte particulier de l'estuaire de la Seine. Celui-ci est un cas d'étude intéressant, il est en effet fortement anthropisé, les enjeux économiques y sont donc forts comme l'illustre la présence des ports du Havre et de Rouen, des raffineries normandes, et des nombreuses industries lourdes implantées le long du fleuve. Cet estuaire présente également des enjeux environnementaux forts comme en témoigne l'existence de zones protégées telles

¹ Le modèle ES commodité par industrie est un TES particulier à deux matrices centrales (à la place d'une seule matrice des relations interbranches) : une matrice « use » qui décrit les consommations de commodités par les industries, et d'une matrice « make » qui décrit les productions de commodités par les industries. Dans ce modèle il y a donc un output total par commodité, et un output total par branche. Ce modèle est utile pour considérer précisément les productions secondaires, mais introduit de nouveaux risques tels que la possibilité de coefficients négatifs, ou des complications dans les cas où le nombre d'industries est différent du nombre de commodités (Miller and Blair, 2009)

que le marais Vernier et le parc naturel des boucles de la Seine, le littoral cauchois, associé à des objectifs de restauration ambitieux des cours d'eau (Agence de l'eau Seine Normandie, 2016). Un autre intérêt du cas de l'estuaire de la Seine est d'être bien documenté pour pouvoir comparer les résultats obtenus par l'application de la modélisation avec des données exogènes afin d'en confirmer son efficacité.

Ce cas d'étude est d'autant plus intéressant dans le contexte du changement climatique. En effet l'estuaire de la Seine est bien doté en eau. Le débit du cours principal est mesuré à 534 m³/s à Poses (16,87 km³/an). Les précipitations sont bien réparties sur l'année favorisant la recharge en eau des nappes souterraines. Ces dernières apportent jusqu'à 25 % des ressources en eau douce du flux annuel de la Seine. Au regard des prélèvements totaux (en moyenne 400 millions de m³), l'estuaire semble à première vue, à l'abri d'une pénurie d'eau.

En dépit des apparences, le « bon état » quantitatif de la ressource n'est pas homogène sur tout le territoire de l'estuaire. Deux masses d'eau souterraine ne sont pas quantitativement en « bon état » en 2013 (SDAGE 2016). Certaines eaux de surface sont également menacées (cours d'eau de l'Aubette, du Robec, de la Lézarde) par des prélèvements supérieurs à la recharge. De plus si, globalement l'état quantitatif est bon dans la plupart des masses d'eau de surface, ces états sont potentiellement menacés par une hausse des prélèvements, liés à l'agriculture et pour les plus à l'est de l'estuaire, par des demandes de la ville de Paris. Le bon état quantitatif de l'estuaire n'est donc pas acquis, et pourrait même être remis en cause dans un futur proche.

Le Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'ENVironnement de la Seine (PIREN Seine) prévoit un véritable risque de sécheresse pour le bassin versant de la Seine. Ces travaux s'appuyant sur les prévisions du GIEC (4^e exercice) de l'effet du changement climatique sur les précipitations prévoient pour 2050, une baisse des précipitations qui entraînerait une diminution des débits.

Ainsi, l'évolution des précipitations en 2050 serait comprise en +4 % et -14 % sur l'ensemble du bassin de la Seine (la hausse serait cependant distribuée de manière hétérogène, principalement sur les hauts reliefs situés en amont, l'estuaire de la Seine étant en aval du bassin, ne serait alors que peu affecté), et de +4 % à -24 % en 2100.

À cette baisse des précipitations, s'ajouterait une diminution du débit de la Seine, estimée de -23 % (+/-10 %) à Poses en 2050 et de -29 % (+/-14 %) à l'horizon 2100. Il y a cependant de fortes incertitudes sur ces prévisions : la Seine est à la frontière d'une zone de transition climatique entre le nord et le sud de l'Europe.

Le climat plus chaud et la baisse des précipitations potentielle entraîneraient de surcroît des besoins accrus en eau des régions de l'amont, notamment au travers de l'augmentation des besoins de l'agriculture pour l'irrigation ; ce qui augmenterait encore la baisse des débits de la Seine en aval.

Enfin, il se produirait une situation paradoxale : une diminution de la recharge sans diminution du risque d'inondations, à cause du changement de régime des précipitations, plus fortes en hiver et moins fortes en été, mais également de la montée du niveau de la mer qui favorise les submersions.

Il est donc crucial d'étudier les ressources en eau de l'estuaire de la Seine d'un point de vue quantitatif, car malgré le fait que l'estuaire soit bien doté en eau pour l'instant, il y a de véritables risques de tensions sur ses ressources en eau. C'est d'autant plus inquiétant que certaines unités hydrographiques sont déjà en situation de stress hydrique et de déficit de recharge.

La modélisation ES étendue aux ressources en eau permet ainsi un travail de recherche sur la gestion de l'eau et l'évaluation de la relation entre la dimension environnementale incarnée par l'estuaire, et celle économique des activités humaines profitant des ressources de ce territoire. Deux interrogations principales sont alors au cœur de ce travail de thèse.

La première est : quelles sont les relations existantes entre les ressources en eau de l'estuaire et l'économie régionale ? Peuvent-elles être qualifiées de bien adaptées, ou, en d'autres termes, l'estuaire de la Seine est-il bien utilisé par les activités économiques présentes ? En effet, la littérature, notamment celle sur les modèles Entrée-Sortie (ES) étendus à l'eau, montre que, dans certains cas, notamment en Chine et en Andalousie, les sécheresses et les situations de stress hydriques sont en partie causées par une utilisation inefficace de l'eau par les activités économiques : implantation d'industries dans des régions semi-désertiques (Chine), concurrence entre besoins en eau de l'industrie hôtelière et de l'agriculture locale (Andalousie). Qu'en est-il pour l'estuaire de la Seine ? Et, de manière plus large, comment analyser la structure des relations entre les activités économiques et les ressources en eau de l'estuaire pour déterminer leur adaptation et prévoir les évolutions futures ?

La seconde question à laquelle nous répondons est : si l'utilisation de la Seine est adaptée, le serait-elle encore à long terme ? En effet, comme le soulignent les études du GIEC et du PIREN sur la Seine présentée dans les enjeux, les effets du changement climatique pourraient conduire à une diminution de la quantité de ressource en eau. Ainsi, au regard des enjeux cités précédemment : est-ce que l'utilisation de la Seine, si elle est actuellement adaptée aux ressources en eau présentes, le sera-t-elle encore à l'horizon 2050, dans un contexte de changement climatique ? Comment évolueraient les pressions de l'économie régionale sur les ressources en eau ? L'activité économique future pourrait-elle entraîner des risques de sécheresse dans l'estuaire ? Et quelles adaptations seraient à prévoir ?

Pour répondre à ces questions, l'objectif de ce travail est d'analyser en la caractérisant finement la structure des relations qu'entretient l'économie régionale avec les ressources en eaux du bassin versant de l'estuaire de la Seine puis de projeter cette analyse dans le long terme à l'horizon 2050.

Cette caractérisation de la relation entre l'économie régionale et le bassin versant de l'estuaire de la Seine est faite en vue de s'intégrer comme outil d'aide à une gestion intégrée des ressources en eau durable, en fournissant un moyen d'identifier les différents effets d'entraînements que l'activité des différentes branches de l'économie a sur l'utilisation des ressources en eaux.

D'un point de vue méthodologique, ce travail de thèse apporte une technique de régionalisation sans enquête des comptes nationaux et généralisable. Souvent l'application des méthodes de régionalisation sans enquête nécessite d'être complétée par des ajustements complémentaires ou des calculs exogènes, en particulier pour régionaliser les échanges extérieurs à une région. La présence de ces ajustements spécifiques rend ainsi difficilement transposables les méthodes d'applications à d'autres cas d'études. La méthode proposée dans ce travail de thèse n'a pas recours à de tels calculs et ajustements additionnels au modèle, elle est donc transposable pour peu que l'on dispose au minimum des données régionales, à savoir : la valeur ajoutée et population régionale, le Tableau Entrées-Sorties national et de la population nationale. Le processus de régionalisation est ainsi relativement simple à mettre en place, et peut être enrichi par la suite si le chercheur dispose de données supplémentaires.

Concernant l'intégration environnementale, des précisions sont apportées sur la définition de l'activité régionale à considérer pour mener à bien le découplage entre l'aspect économique et environnemental. De plus, dans le cas de la ressource en eau, les données les plus courantes concernent les prélèvements d'eau dans le milieu, et non les consommations d'eau. Les prélèvements sont les volumes extraits des masses d'eau tandis que les consommations sont les volumes véritablement utilisés par les activités humaines. Ces dernières peuvent être prélevées ou fournies par un réseau de distribution. Une méthode originale de transformation des données de prélèvements en données de consommations est ainsi proposée dans ce travail. Elle repose sur l'utilisation des relations interbranches décrites dans le TES. Cette méthode permet ainsi de mettre en avant le rôle du réseau de distribution. Ce rôle de distributeur peut être ainsi extrapolé aux autres types d'impacts ou services environnementaux distribués par une activité spécifique : énergie, collecte de déchets, épuration des eaux. Le modèle ainsi présenté peut être étendu à d'autres impacts environnementaux que l'eau.

Le principal intérêt des modèles ES est de pouvoir évaluer l'impact total « *l'empreinte écologique* » des activités humaines, incluant l'impact direct observable et l'impact indirect, induit par les consommations intermédiaires. Dans ce travail de thèse, les multiplicateurs de consommation d'eau (Velázquez, 2006) sont utilisés. Une version modifiée de multiplicateurs est proposée, intégrant les spécificités des échanges d'eau entre les branches. De plus, l'application des méthodes de régionalisation et d'intégration de l'environnement crée une base de données conséquente qu'il est difficile d'étudier directement. L'utilisation combinée de plusieurs outils analytiques permet ainsi d'exploiter les TES en

détail. Cette utilisation conjointe permet de plus de dépasser les limites usuelles de chaque outil utilisé séparément.

En termes de résultats, cette thèse vient enrichir des travaux précédents faits par Laroutis (2006) et Cordier (2011) sur l'estuaire de la Seine. Laroutis propose une analyse cout-bénéfice de l'industrialisation des zones humides de l'estuaire, et Cordier propose une intégration économique des écosystèmes estuariens grâce à une modélisation ES régionalisée et, en particulier, des habitats halieutiques.

La principale différence avec nos travaux, est que, ces deux thèses se concentrent sur des aspects très spécifiques de l'estuaire de la Seine. Nous apportons ainsi un regard plus large sur les interactions entre l'estuaire et les activités économiques qui en dépendent. De plus, il n'existe pas d'étude sur l'eau dans sa dimension quantitative, et encore moins de projections à long terme de l'état des ressources en eau de l'estuaire. C'est précisément ce que nous proposons dans ce travail, ce qui constitue un apport majeur dans la connaissance de l'utilisation des ressources en eau de l'estuaire. Nous apportons ainsi une base de données conséquente, représentant les relations entre l'estuaire et l'économie au travers de sept TES économiques régionaux et environnementaux couvrant la période 2008-2014.

Au travers de ces TES, nous montrons que, la spécialisation de l'économie régionale est bien adaptée aux ressources en eau disponibles de son territoire, en favorisant les activités ayant des consommations d'eau directes (des utilisations d'eau) élevées : les industries lourdes, dont la production est destinée à être exportée vers des régions moins bien dotées en eau. Les services qui eux sont d'importants consommateurs indirects d'eau sont sous-représentés dans l'activité économique régionale.

Cependant, ce constat est à nuancer par le fait que certaines parties de l'estuaire présentent des risques quantitatifs, notamment les unités hydrographiques (UH) approvisionnant les grands centres urbains. Un développement des services pourrait alors avoir des conséquences négatives notables sur les ressources en eau.

La prospective réalisée montre qu'en suivant le scénario de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), l'économie régionale devrait toutefois réduire sa consommation d'eau, et donc les pressions sur les ressources de l'estuaire de la Seine.

Nous montrons que ces réductions se produiraient majoritairement sur des UH très fortement dotées en eau, et donc peu affectées par les prélèvements humains, mais également que les services diminueraient leurs consommations d'eau, ce qui profiterait aux UH périphériques fortement affectées actuellement, et se traduirait ainsi par une amélioration quantitative des ressources en eau de ces UH. En suivant le scénario SNBC, l'adéquation entre les ressources en eau de l'estuaire et l'économie régionale se maintenir, et les pressions quantitatives diminuer.

La méthode développée ici a vocation à être répliquée à d'autres sous-bassins, permettant une connaissance approfondie de ceux-ci. Notre modélisation est à même d'évaluer les effets économiques de changements dans la disponibilité de l'eau, et donc d'anticiper les effets du changement climatique sur l'économie, ce qui est crucial pour mettre en place les politiques d'adaptation.

La projection proposée dans ce travail constitue également un apport très important. Si quelques études existent sur l'état de l'économie régionale (Rapport phase 1 fait par le Bureau d'Information et de Prévisions Économiques commandé par l'AESN (AESN and BIPE, 2005)), notre modèle offre une perspective plus approfondie, avec une projection détaillée sectoriellement de l'économie régionale et de ses utilisations de l'eau, compatible avec les projections du GIEC. Il s'agit d'un outil très important mis à disposition des décideurs pour mettre en place des politiques d'adaptation au changement climatique : effets économiques de la construction de digues, du développement des ENR dans la région, de l'abandon de la production des raffineries, effets économiques de restriction d'eau, stockage de l'eau. Les possibilités offertes par notre travail sont nombreuses, d'autant plus que celui-ci peut être, en prenant appui sur la méthodologie développée, enrichi d'autres aspects : émissions de gaz à effet de serre (GES), énergie, rejets polluants dans l'eau...

Les émissions de GES peuvent être intégrées par une extension du TES pour chaque type d'émission suivant la méthode classique présentée dans le chapitre méthodologique. Pour ces aspects environnementaux, il n'y a pas à prendre en compte une branche redistributrice comme avec l'eau. L'application serait donc facilitée, car directe, pour peu que nous puissions disposer des émissions de GES par branche.

Concernant les rejets polluants dans l'eau, des données supplémentaires sont à obtenir. En effet, il faut pouvoir différencier par branche les différents types de rejets, présents dans les eaux usées, traités par la branche EZ. Une enquête devrait être menée pour constituer ces données si de telles données n'existent pas.

Enfin, et c'est le résultat principal de notre travail, notre analyse structurelle montre que les échanges économiques et les échanges d'eau virtuelle, se structurent selon des relations similaires, mais non identiques. Des échanges d'eau virtuelle échapperaient à une simple analyse reposant uniquement sur la structure économique des relations entre branches ; ce qui pourrait conduire à sous-estimer les pressions indirectement exercées sur les ressources en eau. L'existence de telles relations a des répercussions sur les effets d'entraînement pris en compte dans une analyse ES étendue.

Il serait intéressant de savoir si un tel résultat se retrouve pour d'autres aspects environnementaux et sociaux : émissions de GES, rejets, emploi... ; ces études supplémentaires étant conditionnées par la disponibilité des données.

Cette thèse comporte quatre chapitres hors le présent chapitre introductif et la conclusion générale.

Le chapitre 1 délimite le cas d'étude : la région Haute Normandie et le bassin versant de l'estuaire de la Seine. Les principaux aspects socio-économiques et environnementaux accessibles sans modélisation y sont présentés, ainsi que les enjeux liés à ce cas d'étude.

Le chapitre 2 est purement méthodologique. Il détaille le processus de régionalisation et d'intégration environnementale. Il est lui-même divisé en quatre sections principales. Une section théorique détaillant le fonctionnement d'un modèle ES étendu à l'environnement, une section présentant le TES, suivie du processus de régionalisation. Les méthodes liées à l'application de l'extension de l'environnement. La transformation des prélèvements en consommations y est présentée. Enfin sont présentés les outils analytiques utilisés pour exploiter le TES.

Le chapitre 3 est l'application de la méthodologie développée dans le chapitre 2. Il explore ainsi les aspects économiques et environnementaux. L'objet de ce chapitre est également de confirmer la validité de la méthode développée.

Le chapitre 4 est consacré à la projection en 2050, fournissant ainsi un exemple d'expérimentation du modèle construit dans ce travail de thèse. La prospective quant à elle donne un aperçu de l'état de ce territoire à long terme en suivant la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Chapitre 1

Délimitation du cas d'étude et enjeux

1. Introduction

L'estuaire de la Seine est un territoire complexe, sujet à de nombreuses pressions anthropogéniques. Ce territoire abrite une forte concentration d'industries notamment autour des deux grands ports du Havre et de Rouen. Il présente par ailleurs des enjeux environnementaux forts liés en particulier à la préservation des ressources en eau ; celles-ci sont à l'heure actuelle quantitativement suffisantes, mais ce pourrait ne plus être le cas dans un avenir proche. Le Bassin versant de l'Estuaire de la Seine (BES) correspond à l'ancienne région Haute Normandie, c'est-à-dire aux deux départements de la Seine-Maritime et de l'Eure. Cette région couvre ainsi 68,2 % de la surface du bassin versant de l'estuaire de la Seine (Cordier, 2011). Toutefois, l'extrême amont de la rivière Eure n'est pas inclus dans la région Haute Normandie, car situé dans l'Orne et l'Eure et Loire. Une frange de la partie ouest du bassin versant est également exclue de la région Haute Normandie. Il y a néanmoins une correspondance forte entre le découpage administratif régional et le territoire physique occupé par l'estuaire, ce qui facilite l'analyse. Cette correspondance a été exploitée dans les travaux précédents de Beaumais and Laroutis (2007), Cordier (2011) et Laroutis (2006).

L'INSEE qualifie l'ancienne région Haute Normandie, territoire administratif correspondant au territoire du Bassin versant de l'Estuaire de la Seine (BES), de première région française pour la part de l'industrie dans le PIB (INSEE, 2016a). La Haute-Normandie n'est pas une grande région en termes de population et de marché intérieur, cependant sa géographie physique a favorisé l'implantation de grandes industries le long de l'estuaire depuis plus d'un siècle. Ces dernières, conformément aux théories de l'économie régionale (Fujita et al., 1999; Krugman, 1991), ont attiré à leur tour de nombreuses entreprises fournisseuses.

L'effet d'agglomération tel qu'évoqué dans la littérature de l'économie régionale y est donc bien présent, mais il est justifié par le rôle de fournisseur de biens intermédiaires de la région, donc destiné aux branches plutôt qu'à la demande finale interne. La région joue donc un rôle de maillon dans des chaînes de productions plus vastes.

Cet effet d'agglomération a ainsi entraîné des proximités organisationnelles et géographiques (telles que définies par Bouba-Olga et Grossetti (2008)) entre les différentes branches de l'industrie lourde, des activités de transport et de commerce implantées le long de l'estuaire de la Seine, et des activités situées à l'extérieur de l'estuaire. L'activité pétrolière constitue un bon exemple : le pétrole brut

arrive par le port du Havre dans les raffineries normandes, qui, elles, expédient le kérosène vers les aéroports de Paris.

Ces activités jouent ainsi un rôle central dans l'économie de la région en termes d'emplois et de production de richesse. Si le cours principal de la Seine et les industries régionales lourdes (notamment en Seine-Maritime) constituent un pan majeur de l'économie haute normande. Il existe également d'autres spécificités économiques régionales. Ainsi, dans le département de l'Eure, sont implantées des industries de hautes technologies : un pôle d'industries pharmaceutiques et cosmétiques, ainsi qu'une filière de production d'hydrogène vert. Le nord de la région abrite quant à lui la « *Glass Valley* », située dans le bassin de la Bresle (fleuve côtier appartenant au BES). L'industrie du verre y est implantée depuis le Moyen Âge.

Du reste, le Comité de bassin (AESN² and DIREN³ Normandie, 2004), instance de concertation sur la politique de la gestion de l'eau, a affirmé sa volonté de maintenir les activités industrielles le long de l'estuaire, tout en cherchant à remplir les objectifs de restauration de l'estuaire fixés par le Programme De Mesures 2016-2021 (PDM).

D'un point de vue environnemental, il existe le long de l'estuaire trente-trois zones naturelles préservées Natura 2000 (INPM, Inventaire National du Patrimoine Naturel). Ces zones sont les sites naturels marins et terrestres qui visent à assurer la survie à long terme d'espèces animales et végétales (Ministère de l'écologie-Réseau Européen des zones Natura 2000). Elles font donc l'objet de politiques de préservation. Elles constituent une partie du patrimoine naturel de la région Haute Normandie. On peut notamment citer le marais Vernier, le parc des boucles de la Seine ou le littoral cauchois. Leur présence illustre ainsi l'enjeu environnemental lié à l'estuaire de la Seine.

Dans le cadre de la Directive Cadre sur l'eau (DCE) et en application du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), le comité de bassin a mis en place son Programme De Mesure (PDM) 2016 – 2021, qui détaille l'ensemble des mesures de conservation, restauration et gestion de l'eau le long du bassin versant de la Seine et des cours d'eau normands. De manière générale, son objectif est d'obtenir le bon état des masses d'eau dans le bassin. Dans le cas de l'estuaire de la Seine, il y a aussi une volonté de restauration qualitative et une surveillance des ressources en eaux. Ces dernières ont en effet été fortement dégradées par l'artificialisation croissante du fleuve et les impacts de l'industrie notamment depuis le milieu du 20^e siècle.

Ce territoire est, de plus, particulièrement sensible au changement climatique, dont les effets (inondations et risques de submersion accrus) risquent de l'altérer. Il faut d'ailleurs remarquer que les zones de l'estuaire les plus sensibles aux effets du changement climatique abritent les activités

² Agence de l'Eau Seine Normandie

³ Direction Régionale de l'Environnement

économiques les plus importantes de la région (industries et ports). L'absence d'anticipation de ces effets pourrait potentiellement conduire à une catastrophe environnementale et économique.

Les enjeux, qui apparaissent conséquents et contradictoires, sont alors de conjuguer la restauration de l'estuaire, qui nécessite une limitation du développement d'activités industrielles lourdes, avec le maintien ou la croissance de l'activité économique génératrice, elle, de pressions environnementales. Ainsi, cette opposition fait du BES un cas d'étude complexe nécessitant une analyse approfondie pour pouvoir atteindre conjointement ces deux objectifs.

L'estuaire de la Seine a été étudié par Beaumais et Laroutis (2007) qui dressent un premier portrait de la relation entre l'économie normande et les ressources naturelles de l'estuaire. Ils caractérisent l'économie régionale comme dépendante de l'estuaire et des ressources en eau prélevées dans son bassin versant, notamment pour le fonctionnement de ses industries. Ces travaux sont effectués dans le cadre d'une thèse sur les impacts environnementaux industriels sur l'estuaire et étudiés grâce une analyse coûts-bénéfices pour une gestion prospective intégrée (Laroutis, 2006). Ces travaux proposent ainsi une valorisation des zones humides. Plus récemment, le BES a été pris en exemple par Cordier (2011) pour évaluer les coûts de restauration des nourriceries de poissons et les impacts économiques de ces mesures pour les industries régionales. Ce travail explore en détail le contexte estuarien et en particulier les enjeux environnementaux de l'embouchure.

De manière plus générale, le contexte environnemental et les pressions humaines sont bien documentés par le GIP (Groupement d'Intérêt Public) Seine Aval et l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN). Le contexte socio-économique régional est, lui, présenté en détail, notamment dans le portrait de l'INSEE (2017a). Les travaux de Ducharne et al. (2007) et du GIEC Normandie (Kazmierczak et al., 2019; Laignel and Nouaceur, 2018; Vallée, 2018) détaillent les effets à long terme qui risquent d'affecter l'estuaire.

Le BES est donc un cas d'étude bien documenté des deux points de vue, environnemental et économique. Dans ce travail, nous proposons de mettre en relation ces deux perspectives afin d'explorer en détail les interrelations entre l'estuaire et son économie, notamment au travers des ressources en eau. Les études précédentes (Cordier, 2011; Laroutis, 2006) qui sont une inspiration majeure dans ce travail, répondent à des aspects environnementaux précis : les zones humides et les nourriceries de l'embouchure. Le travail réalisé ici modélise la relation entre l'estuaire et l'économie régionale dans son entièreté, complétant ces travaux, en apportant un regard plus large sur le cas d'étude.

L'objectif de ce chapitre est de présenter en détail le contexte économique et environnemental du BES. Il délimite ainsi le contexte auquel sera appliqué le modèle économique-environnemental développé pour ce travail de thèse. Son second objectif est de mettre en évidence les vulnérabilités et les enjeux de l'estuaire et de l'économie haute normande face au changement climatique.

Le présent chapitre s'organise ainsi en trois sections :

La première (section 2) est consacrée à la présentation des caractéristiques de l'économie régionale en s'appuyant sur les données disponibles pour la Haute-Normandie.

La deuxième (section 3) expose le contexte environnemental de l'estuaire de la Seine ainsi que les pressions environnementales exercées par l'économie régionale.

La troisième (section 4) lie les deux aspects précédents en faisant ressortir les enjeux de ce cas d'étude et les vulnérabilités de l'estuaire et de l'économie régionale face au changement climatique.

2. Les activités humaines le long de l'estuaire

Les activités humaines sont fortement dépendantes de l'estuaire de la Seine. L'étude des pressions environnementales exercées par ces activités offre un premier aperçu de la relation entre l'économie régionale et le territoire. Cette section détaille l'économie régionale afin de mettre en avant les implications humaines et économiques sur l'estuaire de la Seine.

Une première étape présente la population qui est la principale utilisatrice de l'estuaire de la Seine. Une deuxième explique les aspects économiques, amenant à l'identification des caractéristiques des activités productives localisées sur le territoire du BES.

2.1 Démographie et emploi

2.1.1. Population

La Haute-Normandie est peuplée de 1,87 million d'habitants. Elle représente moins de 3 % de la population nationale, ce qui la place au 10^{ème} rang des régions françaises. Entre 2004 et 2017, la population régionale a augmenté de 3,6 %. Les données de l'INSEE sur l'évolution de la population entre 2004 et 2017 sont rassemblées dans le tableau 1-1.

La démographie régionale est peu active (INSEE, 2016b, 2017b, 2018a). Le solde naturel parvient juste à compenser la perte de population liée au solde des entrées et sorties. La croissance de la population régionale, qui est de 3,6 % entre 2004 et 2017, est trois fois moins élevée qu'au niveau national. En 2017, l'espérance de vie régionale (84,8 ans pour les femmes et 78,2 ans pour les hommes) est plus faible qu'au niveau national (respectivement 85,4 ans et 79,5 ans).

Les départs de la région concernent principalement une population jeune, pour des raisons d'étude ou de travail, ce qui entraîne, un déficit de personnes en âge de faire des enfants. Dès lors, la population régionale commence à être vieillissante, l'âge moyen y est de 41,6 ans, soit légèrement au-dessus de la moyenne nationale. De plus, l'âge moyen tend à croître plus rapidement que dans les autres régions. Cette tendance se prolonge depuis 2010 (INSEE, 2017a). Au niveau des départements de Haute-

Normandie, l'Eure contribue le plus à l'accroissement de la population (+0,5 % en 2016). La population de Seine maritime évolue peu (+0,1 % en 2016) notamment à cause du solde naturel contrebalancé par un solde migratoire négatif.

Tableau 1-1 : Population

| En milliers | | |
|-------------|----------------------|----------------------|
| Années | Population régionale | Population nationale |
| 2004 | 1801,8 | 60505,4 |
| 2005 | 1806,7 | 60963,3 |
| 2006 | 1811,1 | 61399,7 |
| 2007 | 1816,7 | 61795,2 |
| 2008 | 1825,7 | 62135,0 |
| 2009 | 1832,9 | 62465,7 |
| 2010 | 1836,9 | 62765,2 |
| 2011 | 1839,4 | 63070,3 |
| 2012 | 1845,5 | 63376,0 |
| 2013 | 1849,6 | 63697,9 |
| 2014 | 1852,5 | 63982,1 |
| 2015 | 1855,1 | 64277,2 |
| 2016 | 1864,1 | 64604,6 |
| 2017 | 1867,2 | 65018,1 |

Source : INSEE, Estimation de la population (2019)

Cette tendance au vieillissement est accentuée par l'afflux de personnes âgées, retraitées, notamment en provenance d'Ile de France. Il faut cependant noter que ce constat, effectué par l'INSEE (2018b), est fait pour la nouvelle région Normandie. Cette observation est particulièrement marquée dans les départements de l'ancienne Basse-Normandie, tandis qu'en Haute-Normandie (la Seine-Maritime et l'Eure), les populations âgées sont moins représentées. Ce constat est lié à la présence des deux centres urbains de Rouen et du Havre dont la population est plus jeune. La population des plus de 65 ans dans le bassin rouennais est de 17,2 % soit moins que la moyenne nationale (19 %).

Ainsi, même si une tendance au vieillissement est effectivement observée en Haute-Normandie, la population régionale est encore relativement jeune, comme le montre le tableau 1-2, sur la structure de la population issue des Recensements de Population (RP) 2013 et 2015.

La part des populations jeunes en Haute-Normandie est supérieure à celle du niveau national, et inversement, la part des classes d'âge les plus élevées est plus faible en Haute-Normandie qu'en France métropolitaine.

Tableau 1-2 : Structure de la population

| En pourcentages | 2013 | | 2015 | |
|-----------------|-------|--------|-------|--------|
| | HN | France | HN | France |
| Moins de 15 ans | 19,2 | 18,5 | 19,0 | 18,4 |
| 15 -64 ans | 63,8 | 63,8 | 63,0 | 63,1 |
| 65 ans et plus | 17,0 | 17,7 | 18,0 | 18,6 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Source : Insee, RP2015 exploitation principale, RP2013 exploitation principale.

Suite à ces constats sur la population, nous analysons la population active et de l'emploi. Ces deux grandeurs permettent de déterminer le taux d'activité régional, ainsi que la répartition sectorielle de l'emploi, offrant ainsi un premier aperçu des secteurs majeurs de l'économie régionale.

2.1.2. Population active et emploi

La population active (au sens du recensement) est estimée à 35 % de la population régionale avec une légère tendance à la baisse. Il s'agit de la population active occupée à laquelle s'ajoute les chômeurs en recherche d'emploi, les militaires et les militaires du contingent tant que cette situation existait. Cela correspond au constat sur la population vieillissante décrite par l'INSEE (2015) et évoqué dans la sous-section précédente.

Le taux régional d'activité (défini par l'INSEE comme le rapport entre la population active et la population totale) est de 73,25 %. Il est sensiblement le même que le taux national (73,30 %) (INSEE pour l'année 2013). Le nombre d'actifs en 2013 est de 1 520 000 personnes. Le tableau suivant détaille le taux d'activité par classe d'âge pour les différents départements, la région et la France métropolitaine.

Tableau 1-3 : Taux d'activité par classe d'âge (2013)

| En % | 15-24 ans | 25-54 ans | 55-64 ans | 15-64 ans | Femmes 15-64 ans |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| Seine maritime | 45,1 | 90,2 | 44,5 | 71,9 | 71,3 |
| Eure | 48,4 | 91,3 | 46,1 | 74,6 | 68,5 |
| Haute-Normandie | 46,7 | 90,7 | 45,3 | 73,2 | 69,9 |
| France métropolitaine | 43,0 | 90,6 | 48,5 | 73,3 | 70,0 |

Source : INSEE, Portrait de la Normandie (2018)

Au niveau départemental, les disparités sont plus marquées. Ainsi le taux d'activité en Seine-Maritime est plus faible pour toutes les classes d'âge. On remarque également que le taux d'activité des femmes est également plus élevé en Seine-Maritime que dans l'Eure. Deux points remarquables sont le taux d'activité des 15-24 ans qui est nettement supérieur au niveau national et celui des 25-54 ans dans l'Eure, également légèrement supérieur au niveau national. Ce constat indique que, malgré la population

vieillissante et le solde naturel stagnant, il existe encore en Haute-Normandie, un « vivier » de travailleurs jeunes, pouvant correspondre à une entrée plus précoce dans la vie active due à des études courtes grâce à un tissu industriel encore important.

L'analyse du taux de chômage complète l'information. Le taux de chômage « localisé »⁴ (rapport entre le nombre de chômeurs et le nombre d'actifs, suivant la définition de l'INSEE) en Haute-Normandie est supérieur au taux de chômage national pour toute la période considérée. Le tableau suivant montre l'évolution du taux de chômage pour les deux départements de l'Eure et de la Seine-Maritime, la région Haute-Normandie et la France Métropolitaine. Ces données de l'emploi sont calculées à l'aide du nouveau dispositif ESTEL (ESTimations d'Emploi Localisées⁵). Ces données sont ainsi très proches de celle de l'emploi au sens du BIT.

⁴ Le taux de chômage localisé donné par l'INSEE est une synthèse faite à partir :

- Des données administratives sur l'emploi
- Des séries de demandeurs d'emploi inscrits en fin de mois à Pôle emploi
- De l'enquête Emploi, qui fournit des nombres nationaux de chômeurs et de personnes en emploi au sens du Bureau international du Travail.

⁵ L'INSEE donne la définition suivante de la méthode utilisée pour ces chiffres : « Le nouveau dispositif d'estimation de l'emploi s'appuie donc sur l'utilisation de sources administratives en niveau. Il s'agit essentiellement des déclarations annuelles de données sociales (DADS), auxquelles on ajoute les salariés des particuliers-employeurs et ceux de la fonction publique d'État, et des données sur les non-salariés. On ne compte donc plus les personnes qui se disent en emploi, mais celles qui ont effectué un travail déclaré au cours de la dernière semaine de l'année. Les individus qui occupent plusieurs emplois ne sont comptés qu'une fois, dans l'emploi qui leur procure la plus forte rémunération. Le concept d'emploi au cœur du dispositif ESTEL se rapproche du concept défini par le BIT. Cette différence conceptuelle conduit à compter davantage d'emplois, car même les courtes périodes de travail déclaré sont considérées. » (INSEE Résultats, 2016)

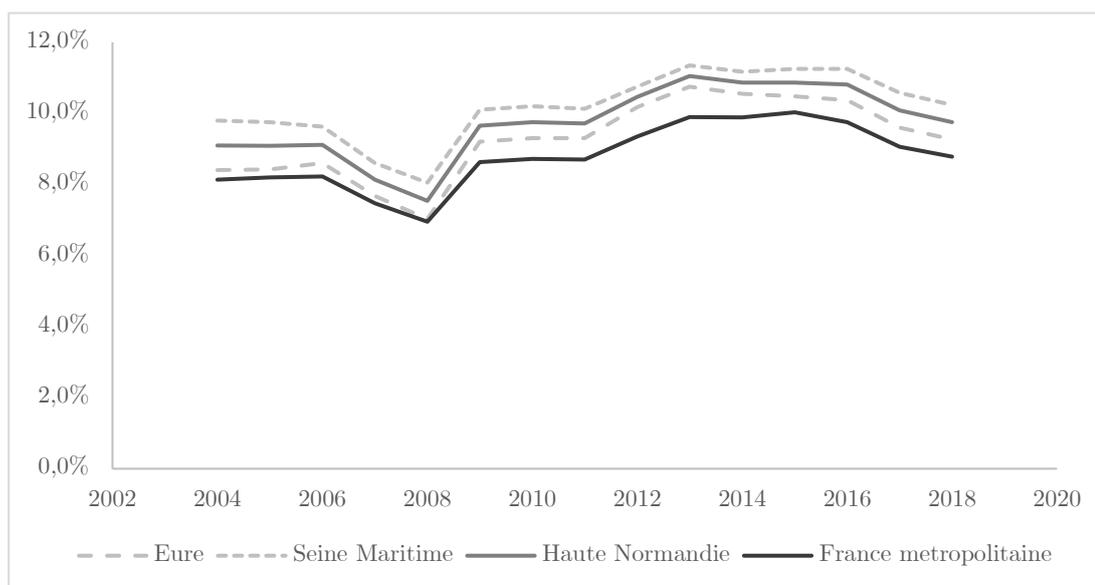


Figure 1-1 : Évolution du taux de chômage

Source : adapté des taux de chômage par département et par trimestre fournis par l'INSEE

Le taux de chômage se situe aux alentours de 10 %. Les effets de la crise économique de 2008 sont bien visibles, à tous les niveaux géographiques. Dès 2008, le chômage s'est mis à augmenter fortement pour dépasser les 11 % en 2011 pour la région, avant de commencer à décroître progressivement à partir de 2013, soit un peu plus tôt qu'au niveau national où la décroissance n'a commencé qu'en 2015.

Le département le plus touché par le chômage est la Seine-Maritime et de manière plus précise, le Havre et ses environs. C'est là, en effet, que sont implantées la majorité des grandes industries normandes. Ce département a été, par conséquent, le plus affecté par la désindustrialisation, puis par la crise économique de 2008. De plus, les grands centres urbains ont tendance à attirer les demandeurs d'emploi et à concentrer les populations en recherche d'emploi, ainsi que les moins qualifiées. Encore en 2018, le taux de chômage reste élevé en Seine-Maritime, à plus de 10 %. L'Eure, département plus orienté vers l'agriculture, a été un peu plus épargné, avec un taux de chômage légèrement plus faible.

L'analyse du taux d'activité et du taux de chômage ont alors permis de déterminer la place de la population active au niveau régional. Il en ressort que la région Haute-Normandie a une population active plutôt jeune, mais peu dynamique dans le sens où celle-ci augmente moins vite que la moyenne nationale. De plus, cette population active fait face un chômage élevé comparativement au niveau national.

Les caractéristiques générales de la population active maintenant définies, la répartition sectorielle de l'emploi régional est étudiée en détail. Le tableau 1-4 rassemble les répartitions de l'emploi au niveau régional et régional par secteur (entreprises regroupées par activité principale).

Tableau 1-4 : Répartition de l'emploi

| En Pourcentage | Agriculture | | Industrie | | Construction | | Services | |
|-------------------|-------------|--------|-----------|--------|--------------|--------|----------|--------|
| | Années | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | Région |
| 2004 | 0,8 | 1,1 | 22,1 | 16,3 | 6,3 | 5,7 | 70,9 | 77 |
| 2005 | 0,8 | 1,1 | 21,5 | 15,8 | 6,5 | 5,8 | 71,3 | 77,3 |
| 2006 | 0,8 | 1,1 | 20,7 | 15,3 | 6,7 | 6 | 71,9 | 77,6 |
| 2007 | 0,7 | 1 | 20,2 | 14,9 | 6,9 | 6,2 | 72,1 | 77,9 |
| 2008 | 0,7 | 1 | 19,7 | 14,7 | 7,1 | 6,3 | 72,5 | 78,1 |
| 2009 | 0,7 | 1 | 19,1 | 14,1 | 7,1 | 6,2 | 73,2 | 78,8 |
| 2010 | 0,6 | 0,9 | 18,5 | 13,8 | 7 | 6,1 | 73,8 | 79,3 |
| 2011 | 0,6 | 1 | 18,4 | 13,7 | 7 | 6 | 73,9 | 79,4 |
| 2012 | 0,7 | 1 | 18,4 | 13,6 | 6,9 | 6 | 74,1 | 79,5 |
| 2013 | 0,7 | 1 | 18,2 | 13,3 | 6,7 | 5,8 | 74,4 | 79,9 |
| 2014 | 0,7 | 1 | 17,8 | 13,2 | 6,4 | 5,6 | 75,1 | 80,1 |

Source : INSEE, Emploi salarié au 31 décembre, par sexe, activité (38 secteurs), département et région de France métropolitaine (2015).

En comparaison avec le niveau national, l'emploi régional apparaît plus orienté vers la production industrielle. La Haute-Normandie est effectivement, en proportion, la première région industrielle française (INSEE, 2016a). L'emploi dans la construction est également en proportion plus élevée au niveau régional que national.

Inversement, les services, même s'ils représentent la majorité des emplois régionaux, sont proportionnellement moins représentés au niveau régional. Il en est de même pour les emplois agricoles.

De manière plus détaillée, les branches⁶ industrielles où l'emploi régional est le plus élevé (en valeur) dans la région sont successivement les branches de l'agroalimentaire, la production de matériel de transport, la métallurgie, la production de matériaux non métalliques (verres, plastiques, bétons) et les industries chimiques.

Pour les services, l'emploi est concentré dans les administrations publiques, le commerce, les activités sociales et la santé humaine, le transport, les activités de soutien administratif et l'enseignement. Concernant les administrations publiques, l'emploi régional de cette branche est, en proportion, légèrement plus faible qu'au niveau national : les administrations publiques représentent 11,4 % de l'emploi régional et 11,9 % au niveau national. La Seine-Maritime concentre 73,0 % des emplois publics de la Haute-Normandie (INSEE, 2016c), en particulier dans la fonction publique territoriale et la fonction publique hospitalière. Concernant les activités de commerce, la proportion régionale est plus faible

⁶ Une branche regroupe des unités de production similaires, c'est-à-dire produisant des biens ou services similaires appartenant à la même nomenclature d'activité économique considérée (Définition INSEE).

(11,2 % de l'emploi, 2013) qu'au niveau national (12,7 % de l'emploi, 2013). Pour le transport, l'emploi régional (6,4 %) occupe une part plus importante de l'emploi qu'au niveau national (5,6 %) ce qui correspond à l'activité des deux ports de l'estuaire de la Seine.

L'analyse de l'emploi confirme que la région est orientée vers la production industrielle, ainsi que vers certaines branches de services : les transports et le commerce. Cette analyse permet d'obtenir un premier aperçu des productions principales régionales.

2.2 Grandeurs économiques

2.2.1. PIB et valeur ajoutée

La valeur ajoutée⁷ totale décrit la richesse créée par une économie. La somme des valeurs ajoutées et des droits de douane donne alors le PIB en volume, qui est corrigé de l'inflation pour donner le PIB en valeur. Le PIB régional en valeur était de 53,4 milliards d'euros en 2015.

Le PIB haut normand augmente moins vite que le PIB national (figure 1-2), du fait de son orientation industrielle, en particulier dans les industries lourdes (raffineries, chimie, métallurgie...) moins génératrice de valeur ajoutée. L'évolution du PIB régional en valeur reflète les mêmes chocs que les grandeurs analysées précédemment : le choc pétrolier de 2005⁸ suivi de la crise économique de 2009, comme le montre l'inflexion au niveau et régional dès 2007. Le graphique montre que l'économie régionale est moins dynamique que l'économie nationale, le PIB régional (en base 100) étant toujours inférieur au niveau national.

⁷ La valeur ajoutée est à prix courants

⁸ Le « troisième choc pétrolier » désigne la période de forte hausse des cours du pétrole (période 2003-2008) suivant l'invasion de l'Irak.

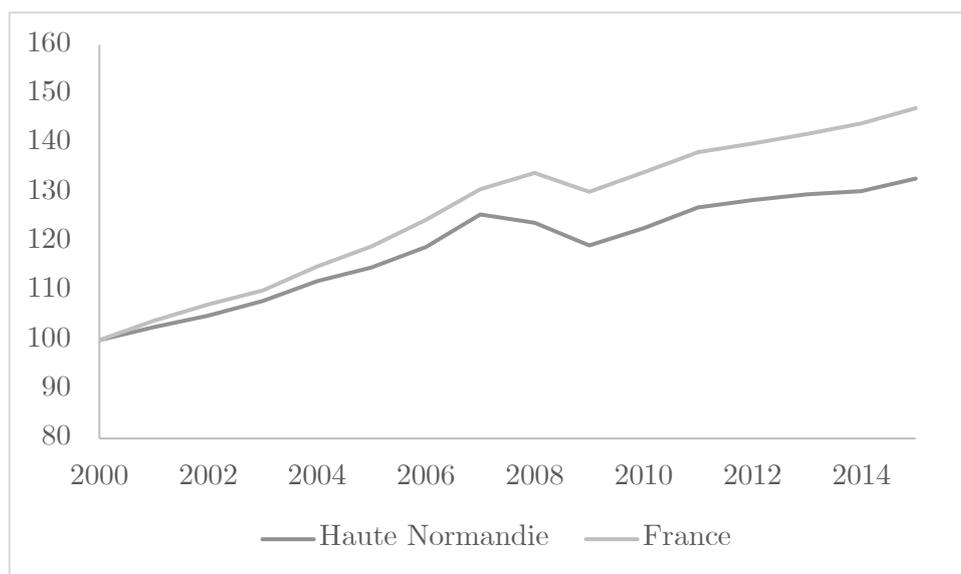


Figure 1-2 : Évolution du PIB en valeur (base 100)

Source : INSEE, PIB des anciennes régions.

La crise de 2008 semble également avoir affecté plus durement l'économie régionale que l'économie nationale, la chute du PIB régional étant bien plus prononcée que celle du PIB national. De plus, dans la période suivant la crise, le PIB régional n'a que très légèrement progressé, retrouvant son niveau d'avant crise en 2011, tandis que le PIB national reprenait sa croissance, plus franchement.

Le PIB est composé à 90 % de la valeur ajoutée et des droits de douane (10 %). Ces proportions restent constantes dans le temps (PIB et des valeurs ajoutées brutes des anciennes régions, INSEE).

L'analyse sectorielle des valeurs ajoutées permet ensuite de déterminer la répartition de la création de richesses. La suite de cette section est donc consacrée aux valeurs ajoutées régionales et nationales par branche.

La comparaison des valeurs ajoutées régionales et nationales (tableau 1-5) confirme le portrait d'une Haute-Normandie fortement industrielle. La valeur ajoutée de l'industrie représente autour de 22 % de la valeur ajoutée régionale totale contre 13 % au niveau national. Ce constat est confirmé par l'INSEE qui classe la Haute-Normandie comme première région industrielle (INSEE, 2016a, 2017c).

Tableau 1-5 : Répartition de la valeur ajoutée

| En pourcentage | | Agriculture | | Industrie | | Construction | | Services | |
|----------------|--------|-------------|--------|-----------|--------|--------------|--------|----------|--|
| Année | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | |
| 2004 | 2,1 | 2,0 | 24,0 | 16,5 | 5,7 | 5,3 | 68,3 | 76,1 | |
| 2005 | 2,1 | 1,9 | 22,5 | 16,0 | 5,9 | 5,5 | 69,5 | 76,6 | |
| 2006 | 1,6 | 1,7 | 21,7 | 15,5 | 6,2 | 5,8 | 70,6 | 77,1 | |
| 2007 | 1,7 | 1,8 | 21,8 | 15,0 | 7,0 | 6,1 | 69,6 | 77,1 | |
| 2008 | 1,7 | 1,7 | 21,8 | 14,3 | 7,0 | 6,4 | 69,6 | 77,6 | |
| 2009 | 1,2 | 1,5 | 21,4 | 13,8 | 7,2 | 6,3 | 70,2 | 78,5 | |
| 2010 | 2,0 | 1,8 | 21,9 | 13,5 | 6,6 | 6,1 | 69,6 | 78,6 | |
| 2011 | 1,9 | 1,8 | 22,2 | 13,7 | 6,9 | 6,1 | 69,0 | 78,3 | |
| 2012 | 2,2 | 1,8 | 22,6 | 13,5 | 6,7 | 6,1 | 68,6 | 78,6 | |
| 2013 | 1,8 | 1,6 | 22,5 | 13,9 | 6,7 | 5,9 | 69,1 | 78,5 | |
| 2014 | 1,8 | 1,7 | 22,8 | 13,9 | 6,4 | 5,8 | 69,1 | 78,6 | |
| 2015 | 1,9 | 1,8 | 23,4 | 14,3 | 6,0 | 5,5 | 68,7 | 78,5 | |

Sources : INSEE, TES nationaux et TES régionalisés

Au niveau national la part de la valeur ajoutée industrielle diminue au cours de la période considérée, quand la part des services augmente, celle de l'agriculture et la construction restant stables. Cependant, en Haute-Normandie, la part de la valeur ajoutée industrielle reste stable, rejoignant le constat de l'INSEE sur la résilience de l'industrie normande.

De manière plus détaillée, les branches créant le plus de valeur ajoutée dans la région, hors industrie, sont l'immobilier (11,6 % de la valeur ajoutée totale en 2014), le transport (6,3 %), le commerce (7,9 %), la construction (6,4 %), les activités de soutien aux entreprises (5,9 %), les administrations publiques (8,6 %), l'enseignement (5,0 %) et les activités médico-sociales (activités pour la santé humaine 4,7 % et hébergement médico-social et action sociale 6,6 %).

La valeur ajoutée élevée pour l'immobilier et la construction n'est pas une spécificité régionale. La valeur ajoutée brute de ces deux branches représente, en effet, une part d'environ 12 % pour l'immobilier et 6 %, pour la construction dans toutes les régions de France, y compris les DOM-TOM. La Haute-Normandie ne présente ainsi pas de caractéristiques particulières sur cet aspect. Il convient alors de s'intéresser aux autres branches contribuant à la valeur ajoutée dans la région Haute-Normandie.

Le fait que le transport et le commerce soient des branches contribuant fortement à la valeur ajoutée correspond au portrait régional où les activités portuaires jouent un grand rôle économique.

Les activités associées au service public, les administrations publiques, l'enseignement et les activités pour la santé humaine, sont également des branches fortement contributrices au PIB régional. L'INSEE souligne cependant que l'actuelle région Normandie est maintenant la 9^{ème} région sur 13 en

termes d'emploi public et que la majorité de ces emplois est située en Seine-Maritime, notamment pour les services de santé. Cette concentration d'activités publiques dans ce département expliquerait la part de la valeur ajoutée si élevée des services publics et médico-sociaux de l'ancienne région Haute-Normandie (Eure et Seine-Maritime).

Les industries hautes normandes contribuent assez peu à la valeur ajoutée. Il s'agit dans le cas de l'estuaire de la Seine, principalement d'industries lourdes dont le taux de marge est faible, ce qui expliquerait un PIB régional progressant moins que le PIB national. De plus, ces activités sont tournées vers la satisfaction de consommations intermédiaires plutôt que vers les emplois finaux. Ainsi, les branches industrielles contribuant le plus à la valeur ajoutée totale sont, en 2014, l'agroalimentaire (2,52 %), la production de matériaux non métalliques (2,79 %), la métallurgie (2,54 %) et les industries chimiques (1,94 %).

La branche cokéfaction et raffinage ne représente, en 2014, que 1,78 % de la valeur ajoutée régionale. Cela peut être mis en parallèle avec la faible part de l'emploi de cette branche (0,42 % de l'emploi régional, soit autour de 2 700 personnes) et par le fait que cette production requiert des consommations intermédiaires élevées et qu'elle a donc un taux de marge faible (Garnier, 2017). Cependant, cette forte présence d'industries lourdes sur ce territoire, faiblement créatrices de valeur ajoutée, peut être nuancé par l'implantation de branches industrielles plus avancées, telles que les industries pharmaceutiques et la production de matériels électriques (notamment par la création d'une filière de production d'hydrogène dans l'Eure). Le département de l'Eure se caractérise ainsi, en plus de son aspect largement agricole par l'implantation de petites unités industrielles de pointe. Cependant, ces dernières ne sont pas encore assez développées pour gommer la forte influence des industries lourdes sur l'économie de l'estuaire.

2.2.2. Spécialisation

La comparaison directe entre la structure sectorielle nationale et régionale offre un premier aperçu des spécificités de l'économie régionale. L'étude de la valeur ajoutée peut être approfondie en étudiant le rapport entre les proportions de la valeur ajoutée par branche à l'échelle régionale et nationale. Ce rapport, s'il est supérieur à 1, indique une spécialisation : une branche régionale crée proportionnellement plus de richesse qu'au niveau national.

Les branches économiques pour lesquelles la part de la valeur ajoutée régionale est supérieure à celle au niveau national sont regroupées dans le tableau 1-6.

Cette mesure de spécialisation met en évidence le caractère industriel de l'économie régionale, et notamment les industries lourdes et de manufacture de machines qui ressortent, mais également les activités pour la santé humaine et pharmaceutique. Ainsi la mesure de spécialisation permet de dégager

les principales activités régionales (l'annexe A regroupe toutes les données, les codes de la nomenclature sont contenus dans l'annexe B).

Tableau 1-6 : Mesures de spécialisation

| Branche | Rapport (moyenne sur la période) |
|---|----------------------------------|
| Cokéfaction et raffinage | 13,2 |
| Activité des ménages en tant qu'employeur | 4,3 |
| Manufacture de produits non métalliques | 2,5 |
| Industrie chimique | 2,3 |
| Manufacture de machines et d'équipements | 2,2 |
| Hébergement médico-social | 2,0 |
| Production et distribution d'eau, Dépollution | 1,9 |
| Industrie du bois et du papier | 1,8 |
| Industrie pharmaceutique | 1,7 |
| Métallurgie | 1,7 |
| Fabrication de matériel de transport | 1,5 |
| Transport et entreposage | 1,4 |
| Manufacture | 1,3 |
| Autres industries | 1,2 |
| Activités de soutien administratif | 1,2 |
| Construction | 1,1 |
| Agroalimentaire | 1,1 |

Source : Adapté des valeurs ajoutées brutes régionales et nationales de l'INSEE

Ce tableau fait surtout apparaître la très forte présence de la branche cokéfaction et raffinage dans l'économie régionale. Cette branche ne semble pas, à première vue, avoir un poids économique particulièrement élevé dans l'économie régionale, sur la base uniquement de la valeur ajoutée régionale (cette branche ne représente que 1,4 % de la valeur ajoutée en moyenne et 0,6 % de l'emploi). L'utilisation de ce rapport de spécialisation permet de mettre en avant cette branche qui joue pourtant un rôle central dans l'économie régionale et par extension dans l'économie nationale.

En effet, en Haute-Normandie sont implantées les deux plus importantes raffineries françaises (Total et Exxon), approvisionnées en pétrole par le port du Havre. La valeur ajoutée de la branche cokéfaction haute normande représente 33,0 % (moyenne sur la période) de la valeur ajoutée de cette branche au niveau national et cette part est croissante (43,9 % en 2014). Ces raffineries jouent donc un rôle crucial dans l'approvisionnement en carburant et en produits pétroliers du territoire national, notamment les aéroports de Paris auxquels elles sont reliées par pipeline. Au niveau régional, ces deux raffineries fournissent en produits dérivés du pétrole (huiles, solvants...) les industries chimiques, pharmaceutiques et de fabrication de plastique.

Les autres branches présentent dans le tableau 1-6 font également ressortir l'aspect industriel de l'économie régionale, notamment les aspects industriels qui ne sont pas implantés le long du cours

principal du fleuve : les industries de pointe et pharmaceutiques de l'Eure et une partie de l'industrie verrière de la vallée de la Bresle. Les mesures de spécialisation permettent de retrouver les constats dressés en analysant la valeur ajoutée.

L'activité des ménages en tant qu'employeur est difficile à expliquer. Il s'agit des activités créées par les ménages employant du personnel domestique. Ce résultat indiquerait qu'en Haute-Normandie ce type d'emploi serait bien plus présent que dans le reste de la France. Un point pourrait expliquer en partie cette spécificité : cette branche particulière contient les activités de palefreniers, et la filière du cheval (élevage, équitation) est particulièrement développée en Normandie, ce qui pourrait correspondre à cette spécialisation.

2.2.3. Productivité apparente du travail

La productivité apparente du travail décrit la richesse produite par emploi. Le PIB par emploi montre que l'emploi régional est, en fait, légèrement moins producteur de richesses que la moyenne nationale (figure 1-3). Plusieurs explications peuvent être avancées : la spécialisation industrielle qui est elle-même peu productrice de valeur ajoutée, et le niveau de qualification général de l'emploi inférieur en Haute Normandie qu'au niveau national.

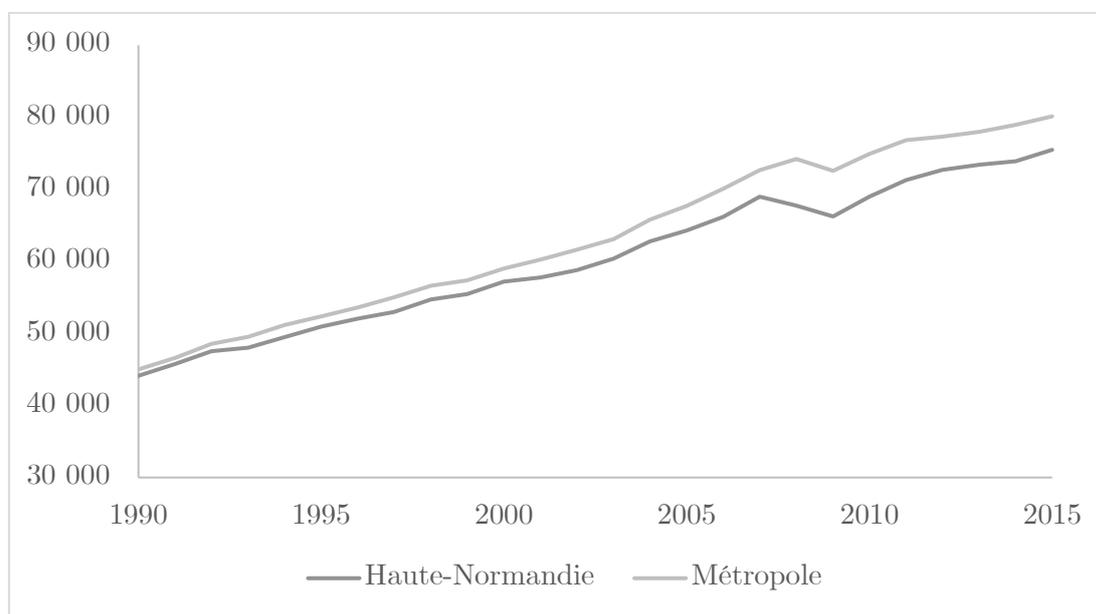


Figure 1-3 : Productivité apparente du travail (Euro par emploi)

Source : Insee-Comptes régionaux base 2010, Estimations d'emploi.

Tout d'abord, l'activité productive régionale est orientée vers des productions industrielles lourdes : cokéfaction et raffinage, métallurgie, production de matériaux non métalliques... Ces branches transforment les matières premières en produits utilisables par les industries de manufacture pour créer des produits finis. Ces industries lourdes sont, contrairement aux services, d'importantes consommatrices

intermédiaires, en matières premières, en énergie et en ressources naturelles, mais aussi en emplois « peu qualifiés » ; elles sont donc peu créatrices de valeur ajoutée, c'est-à-dire que, pour ces branches, le rapport entre la valeur ajoutée et la production est faible. L'importance de ces industries dans l'économie régionale expliquerait une productivité par emploi plus faible au niveau régional qu'au niveau national.

Cette explication peut être complétée par les données sur l'emploi de l'INSEE. En effet, entre 2006 et 2011, les ouvriers représentaient entre 30,5 % et 28,6 % des actifs (INSEE, 2014), principalement employés par l'industrie (INSEE, 2017c). Il faut cependant noter que la tendance actuelle est à une diminution de ces emplois peu qualifiés au profit d'emplois qualifiés et de cadres (INSEE, 2016d). Ce constat, sur la nouvelle région Normandie, s'applique surtout aux grandes métropoles normandes Rouen, Le Havre et Caen ; il pourrait donc être extrapolé à l'ancienne région Haute-Normandie, étant donné que les deux métropoles hautes normandes regroupent une large portion de la population régionale. Cette tendance s'inscrit dans un processus de transition industrielle de la région ; schématiquement les unités de production sont de plus en plus automatisées, requérant des opérateurs qualifiés et des cadres superviseurs, mais moins d'ouvriers non qualifiés.

En complément, les branches de services qui, elles, sont productrices de valeur ajoutée sont sous-représentées dans l'économie régionale, expliquant ainsi pourquoi le PIB par emploi est plus faible en Haute-Normandie qu'au niveau national. Et cela, d'autant plus que les deux activités de services principales de la région, le commerce et le transport, sont des activités relativement peu créatrices de valeur ajoutée par rapport à d'autres branches de services.

3. Le bassin versant de l'estuaire de la Seine

Cette partie est consacrée à la description du contexte environnemental de l'estuaire. Tout d'abord nous présentons la structure du réseau hydrographique entre les composants de l'estuaire, puis l'état de l'estuaire d'un point de vue quantitatif et qualitatif, enfin les pressions exercées sur les ressources en eau par les activités humaines le long du fleuve.

3.1 Description de l'estuaire

L'estuaire de la Seine correspond au sous-bassin Seine Aval (figure 1-4). La limite amont reconnue de ce territoire est le barrage de Poses, sur le cours principal de la Seine, qui marque le début de l'estuaire. Le sous-bassin Seine Aval appartient au bassin versant de la Seine qui couvre, lui, 75 000 km² au nord de la France. La Seine parcourt 773 km depuis sa source sur le plateau de Langres jusqu'à son embouchure, au Havre. L'estuaire de la Seine est utilisé depuis l'antiquité par les activités humaines. Le fleuve était un axe de transport dès l'époque gallo-romaine. La création du port du Havre en 1517 a été la première étape de l'artificialisation de l'estuaire.

La navigabilité du fleuve et de son estuaire a conduit à des modifications importantes, au cours du temps, du cours principal et de certains affluents. La Seine a ainsi été fortement transformée depuis le 18^e siècle pour la navigation maritime et fluviale ; elle a subi des pressions croissantes de la part des industries (Barles, 2007) qui ont atteint un pic en 1970 pour ensuite décroître sensiblement jusqu'à aujourd'hui (Fisson et al., 2014).



Figure 1-4 : Bassin versant de la Seine

Source : AESN

Le BES est lui-même constitué de 27 unités hydrographiques (UH) définies par le comité de bassin. Une UH est, suivant la définition du SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau), une zone territoriale délimitée suivant des critères faunistiques, utilisés notamment comme indices qualitatifs. Ainsi, une UH est une sous partie du bassin versant ayant des caractéristiques homogènes.

Les données SANDRE et celles du comité de bassin permettent de tracer le réseau hydrographique de l'estuaire de la Seine (Fig. 1-5)

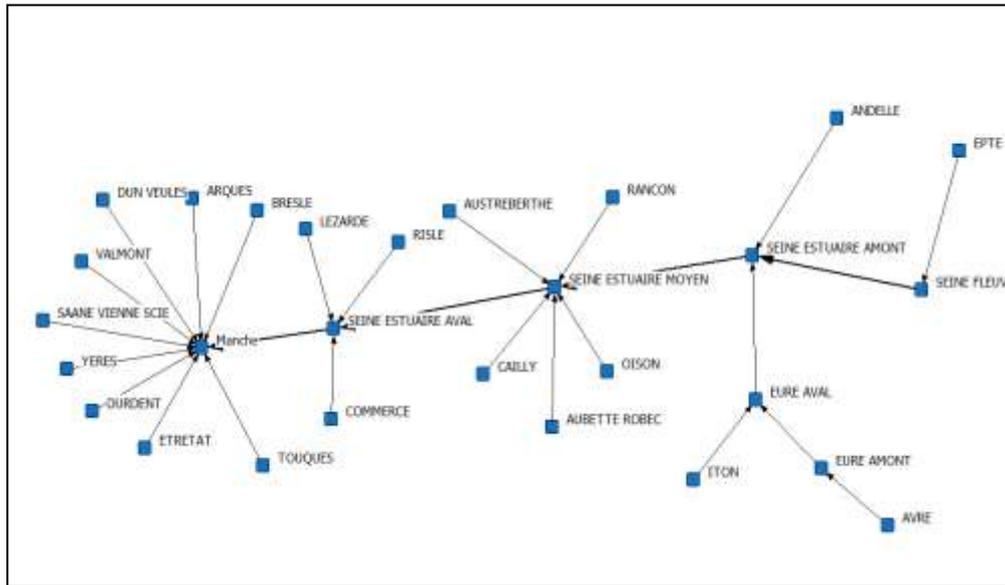


Figure 1-5 : Réseau hydrographique de l'estuaire de la Seine

Source : adapté par l'auteur à partir des données SANDRE.

Cette représentation permet de répartir les UH en cinq catégories suivant leurs positions dans ce réseau.

Le cours principal est constitué des UH Seine estuaire amont, Seine estuaire moyen et Seine estuaire aval. Il s'agit du cours du fleuve Seine dans sa partie estuarienne, celle qui est donc soumise aux marées. Ces UH sont les plus touchées par la pollution issue des centres urbains et des industries. Les UH Seine estuaire amont et Seine estuaire moyen subissent la pression de l'aire urbaine de Rouen, et l'UH Seine Aval subit l'influence des industries du Havre.

Les *UH périphériques* correspondant aux affluents au cours principal sont, elles aussi, soumises à de fortes pressions environnementales. Celles-ci sont utilisées pour approvisionner en eau potable les aires urbaines de Rouen et du Havre.

Le bassin de l'Eure (Eure amont, Eure Aval, Avre, Iton) approvisionne les aires urbaines secondaires telles qu'Évreux, les industries de pointe implantées dans l'Eure, et le territoire agricole du sud du département de ce département.

Les fleuves côtiers sont les UH rattachées au BES, mais n'étant pas des affluents de la Seine. Ces fleuves dépendants du système hydrique du BES se jettent directement dans la Manche. Comme les affluents de la Seine, ils sont alimentés en eau par des ressources souterraines communes, comme la Nappe de la Craie. Ces UH approvisionnent des centres urbains secondaires de Haute-Normandie, Dieppe, Fécamp et Honfleur, et les territoires agricoles du nord de la région. S'y trouve également la vallée de la Bresle ou « Glass Valley ».

Les UH amont, Seine-fleuve et l'Epte, sont les UH les plus en amont du BES. Elles sont sous l'influence de la région parisienne. Elles sont exploitées majoritairement par des activités agricoles et quelques activités industrielles.

3.2 État de l'estuaire

Le Programme de Mesures du Bassin de la Seine et des Cours d'eau Côtiers Normands (PDM 2016-2021) détaille les caractéristiques environnementales, qualitatives et quantitatives, de chaque UH de l'ensemble de l'estuaire de la Seine. L'objectif du PDM est de présenter les mesures prises ou à prendre pour atteindre le bon état des UH d'ici 2021, toutefois sous les contraintes techniques et budgétaires. Ainsi, le Comité de Bassin admet que certains objectifs ne pourront pas être atteints, car étant trop coûteux ou techniquement infaisables.

Le PDM et l'AESN (source, document sur la qualité des eaux entre 2009 et 2015) expliquent que la qualité des eaux de l'estuaire s'améliore de manière générale. Cette évaluation de l'état qualitatif se repose sur l'évaluation des critères suivant :

L'état écologique, qui est défini ainsi par l'AESN : « Combinaison de la qualité biologique d'un milieu caractérisée par l'abondance et la diversité des espèces, et de qualité physico-chimique de l'eau ». Une masse d'eau en bon état écologique se définit comme une masse d'eau en qualité et quantité suffisante pour assurer l'équilibre écologique, satisfaire les demandes d'utilisations de l'eau et assurer la santé humaine.

État chimique : « Niveau de contamination d'un milieu aquatique (eau, sédiments et organismes vivants) par certaines substances toxiques ou écotoxiques à faible dose (micropolluants) ». L'état chimique était jusqu'à présent déterminé à partir des concentrations d'une dizaine de substance toxiques présentent dans l'eau. Elle intègre désormais des données de contamination qui ne se limitent pas aux substances présentent dans le milieu, mais inclus désormais des données de contamination décelable dans les êtres vivants. L'état chimique intègre donc maintenant la contamination des organismes aquatiques par des substances bioaccumulables.

Une masse d'eau de surface est évaluée en « bon état » lorsque ses états écologiques et chimiques sont au moins qualifiés de bon. Pour les eaux souterraines, le « bon état » est obtenu lorsque les états

chimique et qualitatif sont « bon ». Le bon état est déterminé en fonction des normes fixées par les directives européennes et notamment la Directive Cadre Eau (DCE).

Cette amélioration est notable sur les rivières, 92 % des rivières (cours eau de surface) sont en bon état chimique (excluant les Hydrocarbure Aromatiques Polycycliques), contre 14% en 2009 (sachant que 81% des masses d'eau n'avaient pas pu être évaluées). L'état écologique des rivières de l'estuaire est, s'améliore également, mais reste moins bon, passant de 23% de rivières en bon état écologique en 2009 à 39% en 2015.

Le bon état des eaux souterraines progresse faiblement également passant de 23% en 2009 à 28% en 2015. Cette faible progression s'explique par l'inertie de ces milieux : plusieurs années sont nécessaires à la migration des polluants dans les sols ainsi qu'au renouvellement des eaux souterraines.

De manière plus détaillée, et sur la base des conclusions du Programme De Mesure, l'état actuel des cinq catégories d'UH du BES (cours principal, périphériques, amont, côtières et Eure) est le suivant.

UH du cours principal

La qualité des eaux souterraines est dégradée, voire mauvaise. Les ressources souterraines sont contaminées par les pesticides et les nitrates. Ces UH sont également celles pour lesquelles la pression industrielle est la plus forte.

Les eaux de surface sont dans un état écologique mauvais. Le cours de la Seine est fortement impacté par la navigation. Ces UH sont, de plus, soumises à l'influence des marées, avec la présence d'eau saumâtre, en particulier dans l'UH Seine Aval. Il en résulte qu'un contrôle particulier des prélèvements doit alors être effectué afin d'éviter les infiltrations de ces eaux saumâtres dans les réserves souterraines.

Les UH Seine moyen et Seine estuaire amont sont soumises à l'influence de l'agglomération de Rouen, tant en termes de rejets que de prélèvements. L'UH Seine estuaire aval est, elle, impactée par le Havre, son port et ses industries.

D'un point de vue quantitatif, les UH du cours principal sont bien dotées en ressources et ne présentent pas de risque de stress hydrique. L'UH Seine estuaire amont fait partie des zones de sauvegarde pour l'alimentation en eau potable future (ZSF⁹).

⁹ *Zone de Sauvegarde pour l'alimentation en eau potable Future* : il s'agit de ressources stratégiques pour la gestion de l'eau. La liste de ces zones est déterminée par le SDAGE ; ces ressources sont (suivant la définition de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée, sur les zones stratégiques) :

- Soit fortement sollicitées et dont l'altération poserait des problèmes pour les populations qui en dépendent
- Soit faiblement sollicitées actuellement, mais en forte potentialité et préservées du fait de leur faible vulnérabilité naturelle ou de l'absence de pression humaine et à conserver en l'état pour la satisfaction des besoins futurs à moyen et long terme.

L'UH Seine estuaire aval abrite cinq zones Natura 2000 dont le marais Vernier et le parc naturel des Boucles de la Seine citées précédemment, qui viennent renforcer l'enjeu de préservation de ces UH.

D'un autre côté, le port du Havre, situé dans l'UH Seine estuaire aval, est soumis à un double enjeu à la fois économique et environnemental. Du premier point de vue, le port du Havre est une zone économique majeure aussi bien pour l'économie régionale que la nationale. Du second point de vue, l'embouchure de l'estuaire est un espace naturel précieux, notamment en tant que zone de nourriceries pour les poissons et site important pour la pêche régionale. Cordier (2011) et Cordier et al. (2011) étudient en détail ce point spécifique de l'estuaire, en particulier l'impact sur l'économie régionale de la restauration de ces nourriceries.

Les UH périphériques

Les eaux souterraines de ces UH sont globalement, de mauvaise qualité, étant contaminées par les rejets de l'agriculture (pesticides, nitrates). Les pollutions d'origine agricole sont générées en amont des UH. Les parties aval de ces dernières sont consacrées à l'approvisionnement en eau des centres urbains du Havre et de Rouen et des industries de la vallée de Seine.

L'état des eaux de surface varie entre bon et mauvais. Toutes ces UH sont fortement modifiées, la plupart de manière irréversible. Elles sont en partie canalisées en raison de leur intégration aux aires urbaines.

Cette forte artificialisation accroît les risques liés à l'érosion et au ruissellement et rend la gestion des eaux de pluie plus délicate. Ainsi, ces UH sont sujettes à des inondations récurrentes, induites par cette modification des cours d'eau.

D'un point de vue quantitatif, ces UH sont celles qui sont les plus soumises à un risque de stress hydrique. L'UH Commerce présente un risque avéré de sécheresse l'UH Aubette-Robec est en déficit, les prélèvements y étant supérieurs à la recharge ; l'UH Andelle fait face à un potentiel conflit d'usage entre l'agriculture et l'approvisionnement en eau et l'UH Austreberthe subit des pressions de prélèvement élevées.

Ainsi, les UH périphériques au cours principal sont celles sur lesquelles l'incidence des activités humaines est la plus forte. L'enjeu est d'améliorer la gestion de l'eau pour limiter les conflits d'usages entre l'agriculture, l'industrie et l'approvisionnement humain pour des UH où la pression des différentes utilisations est déjà élevée. À cela, s'ajoute la présence d'une zone Natura 2000, ajoutant un enjeu de préservation supplémentaire et source de différends avec les autres usages.

Les UH étant classées ZSF sont donc cruciales dans la gestion de l'eau futures car, elles constituent les ressources en eau potables à venir.

Les UH amont

Les ressources en eau souterraine de ces UH sont en mauvais état chimique, entre autres par la contamination par les pesticides et les nitrates. Les eaux de surface sont bon état pour l'UH Epte, et dans un état satisfaisant pour la Seine. Le fleuve est en effet soumis à l'influence de la région parisienne et il est fortement modifié pour en permettre sa navigation ; ceci empêche d'atteindre le bon état qualitatif de ses ressources en eau (suivant les critères du PDM 2016-2020).

D'un point de vue quantitatif, les UH amont sont en bon état. En outre, l'UH Epte abrite trois zones Natura 2000, celle de la vallée de l'Epte aval, celle de la vallée de l'Epte francilienne et celle du pays de Bray Humide sur l'Epte Amont.

UH côtières

Le portrait des UH côtières est contrasté. L'état des eaux souterraines est « mauvais » pour toutes ces UH, principalement à cause des pesticides et des nitrates relâchés par l'agriculture. Certaines UH sont également soumises à l'influence de sites industriels, qui aggrave l'état des ressources.

Les eaux de surface apparaissent mieux préservées ; elles sont dans leur majorité en bon état malgré des modifications de morphologie importantes pour certaines UH (embouchures busées, etc.). En revanche, l'état de celle de l'UH Dun Veule n'est que médiocre.

Ces UH font face à des risques, considérés comme forts, liés au ruissellement et à l'érosion. Les inondations sont également récurrentes. Certaines UH sont, de plus, soumises à un risque d'eutrophisation induit par la présence de nitrates.

D'un point de vue quantitatif, la majorité des UH est en bon état ou à l'équilibre. Pour celles à l'équilibre, il existe un risque de tensions futures lié à l'alimentation en eau potable. Si l'alimentation en eau potable n'est pas encore un enjeu pour ces UH, cela pourrait en devenir un à l'avenir en particulier pour les UH en équilibre quantitatif.

La majorité de ces UH appartient à la zone Natura 2000 du littoral cauchois ; elles sont donc étroitement liées à l'enjeu de préservation environnemental.

Le bassin de l'Eure

Les ressources souterraines en eau de l'Eure sont toutes contaminées par des pesticides, des nitrates. Les eaux de surface sont globalement en bon état. Cependant, l'artificialisation des cours des masses d'eau de surface porte atteinte à ce bon état.

Toutes les UH du bassin de l'Eure sont classées ZSF, ce qui souligne leur importance en tant que source d'approvisionnement en eau. Les UH sont globalement en bon état quantitatif, bien que ceci soit à nuancer, car les UH Avre, Eure aval et Iton présentent un risque de déficit potentiel.

La section suivante analyse plus en détail, les pressions exercées par les activités économiques sur les UH de l'estuaire de la Seine. Pour cela, un indicateur simple est mobilisé: les prélèvements en eau par secteur économique ; il a été utilisé précédemment par Beaumais and Laroutis (2007) pour illustrer cet aspect de pression anthropique.

3.3 Prélèvements et rejets

Les prélèvements d'eau correspondent aux volumes prélevés directement dans le milieu naturel par une industrie ou un réseau de distribution d'eau potable. Il s'agit d'un indicateur simple de l'impact d'une activité sur les ressources en eau de l'estuaire (Beaumais and Laroutis, 2007). Il a décrit d'abord l'impact quantitatif d'une activité sur le milieu.

L'AESN nous a fourni les données de prélèvement par site d'extraction des deux départements de l'Eure et de la Seine-Maritime, qui correspondent au territoire du BES. Ces données couvrent les années 2008-2014.

Le tableau 1-7 donne ainsi la répartition des prélèvements par UH et pour les trois principales activités les effectuant ; il permet donc d'identifier les activités impactant le plus le BES en termes de prélèvements d'eau.

Tableau 1-7 : Pressions par UH

| En pourcentage | Principales activités préleveuses d'eau (2014) | | |
|----------------------|--|--|---|
| Andelle | Distribution d'eau : 86,5 | Fabrication de verres, plastiques et bétons : 8,6 | Agroalimentaire : 4,2 |
| Arques | Distribution d'eau : 74,6 | Agroalimentaire : 24,4 | Industrie du bois et du papier : 0,7 |
| Aubette Robec | Distribution d'eau : 99,3 | Autres indus : 0,7 | Agriculture : 0,0 |
| Austreberthe | Distribution d'eau : 97,0 | Agroalimentaire : 1,6 | Fabrication de verres, plastiques et bétons : 1,4 |
| Avre | Distribution d'eau : 73,0 | Autres activités de services : 19,1 | Agriculture : 7,8 |
| Bresle | Distribution d'eau : 75,2 | Fabrication de verres, plastiques et bétons : 24,3 | Fabrication de machines et d'équipement : 0,4 |
| Cailly | Distribution d'eau : 84,4 | Métallurgie : 6,5 | Agroalimentaire : 3,4 |
| Commerce | Distribution d'eau : 64,1 | Cokéfaction et raffinage : 30,4 | Industrie chimique : 3,8 |
| Dun Veules | Distribution d'eau : 89,2 | Agroalimentaire : 6,9 | Agriculture : 3,9 |
| Durdent | Distribution d'eau : 77,5 | Production et distribution d'énergie : 21,5 | Agriculture : 1,1 |
| Epte | Distribution d'eau : 95,6 | Agriculture : 2,8 | Industrie du bois et du papier : 1 |
| Étretat | Distribution d'eau : 100,0 | Agriculture : 0,0 | Industries extractives : 0,0 |
| Eure Amont | Distribution d'eau : 92,5 | Agriculture : 7,5 | Industries extractives : 0,0 |
| Eure Aval | Distribution d'eau : 70,0 | Industries extractives : 19,1 | Industrie pharmaceutique : 7,9 |
| Iton | Distribution d'eau : 79,6 | Industrie du bois et du papier : 18,3 | Agriculture : 1,6 |
| Lézarde | Distribution d'eau : 57,5 | Cokéfaction et raffinage : 40,9 | Industrie chimique : 1,5 |
| Oison | Distribution d'eau : 89,5 | Industrie chimique : 7,0 | Industrie pharmaceutique : 2,6 |
| Rancon | Distribution d'eau : 94,1 | Industrie chimique : 5,9 | Agriculture : 0,0 |
| Risle | Distribution d'eau : 82,4 | Industrie du bois et du papier : 5,5 | Industrie chimique : 4,3 |
| Saane Vienne Scie | Distribution d'eau : 98,1 | Agriculture : 0,9 | Fabrication de verres, plastiques et bétons : 0,5 |
| Seine Estuaire Amont | Distribution d'eau : 67,7 | Industrie du bois et du papier : 14,8 | Industrie pharmaceutique : 10,6 |
| Seine Estuaire Aval | Cokéfaction et raffinage : 53,1 | Industrie chimique : 41,5 | Distribution d'eau : 5,4 |
| Seine Estuaire Moyen | Distribution d'eau : 95,5 | Industries extractives : 4,1 | Métallurgie : 0,2 |
| Seine Fleuve | Distribution d'eau : 58,4 | Industries extractives : 22,9 | Industrie chimique : 8,9 |
| Touques | Distribution d'eau : 99,9 | Agriculture : 0,1 | Industries extractives : 0,0 |
| Valmont | Distribution d'eau : 99,1 | Agriculture : 0,4 | Fabrication de verres, plastiques et bétons : 0,3 |
| Yères | Distribution d'eau : 79,8 | Production et distribution d'énergie : 19,4 | Agriculture : 0,8 |

Source : adapté par l'auteur à partir des données fournies par l'AESN

L'activité de production et distribution d'eau est le premier préleveur, à un cas près, dans la totalité des UH. Ce constat est attendu, car il s'agit là de l'approvisionnement du territoire en eau potable, mais il n'est cependant pas généralisable à toutes les UH. En effet, pour l'UH Seine estuaire Aval, la distribution d'eau est un préleveur très minoritaire par rapport aux activités industrielles. Ceci s'explique aisément, car cette UH correspond à l'embouchure du fleuve, où sont implantés le port du Havre, la raffinerie Total de Gonfreville ainsi que de nombreuses industries chimiques, et ses ressources en eau sont exploitées par ces diverses industries. De plus, cette UH se caractérise par la mauvaise qualité de son eau (Agence de l'eau Seine Normandie, 2016) et la salinité du fleuve, ce qui n'est pas propice à une utilisation pour un réseau de distribution d'eau potable.

L'approvisionnement en eau potable ayant été identifié comme le principal préleveur pour la quasi-totalité des UH, la suite du commentaire se concentre sur les autres activités préleveuses.

Ainsi, à part pour l'approvisionnement en eau potable, les prélèvements faits le long cours principal de la Seine, les UH Seine Aval, Seine estuaire moyen et Seine estuaire amont sont principalement effectués par activités industrielles. Les principaux préleveurs industriels sont les industries de cokéfaction et raffinage, les industries chimiques, les industries extractives (gravières et carrières) et le travail du bois et du papier (dans ce cas précis, ce sont des papeteries). Les industries de production de matériaux non métalliques (verres, plastiques et béton), la métallurgie sont également des préleveurs importants dans cette partie de l'estuaire.

Les affluents de Seine estuaire Aval (Commerce, Lézarde et Risle) contribuent à l'approvisionnement en eau des industries de cokéfaction et raffinage : le Commerce pour la raffinerie Total et la Lézarde pour la raffinerie ExxonMobil ainsi que pour les industries chimiques.

Les affluents de Seine estuaire moyen (Aubette Robec, Austreberthe, Cailly, Oison et Rancon) sont utilisés pour approvisionner des industries chimiques, de la métallurgie et de l'agroalimentaire. L'Aubette-Robec, est presque exclusivement dédiée à l'approvisionnement en eau potable. Toutes ces UH approvisionnent également la métropole de Rouen en eau potable.

L'Andelle (affluent de Seine estuaire amont) alimente des activités industrielles de fabrication de verres, plastiques et béton et de l'agroalimentaire.

Les ressources en eau de l'Eure et ses affluents sont utilisés par l'agriculture, l'industrie du travail du bois et du papier, des industries extractives et l'industrie pharmaceutique ainsi que par des services à la personne (qui peut aussi comprendre une activité de laverie).

Les UH les plus en amont (Seine Fleuve et Epte) sont exploitées par les industries extractives, chimiques et l'agriculture.

Les fleuves côtiers sont utilisés également par des industries de production de matériaux non métalliques. Certaines sont des industries régionales historiques comme les verreries de la Bresle dont

l'implantation remonte au moyen-âge. Ces UH sont également utilisées pour approvisionner des activités agroalimentaires et l'agriculture. Parmi ces UH, deux sont dignes d'attention, car la production d'énergie y apparait comme une branche préleveuse importante pour l'UH Duredent et l'UH Yeres. Ces deux fleuves côtiers servent en effet à approvisionner les centrales nucléaires de Penly et Palluel en eau douce.

État général des eaux et rejets dans le BES

Nous présentons maintenant les différents rejets dans l'estuaire de la Seine pour apporter des précisions sur l'état qualitatif des ressources en eau. L'AESN nous a dans ce but, transmis les données sur les rejets industriels pour la période 2008-2016.

Les données montrent que pour la totalité des types de rejets considérés¹⁰ : la DBO5 (Demande Biologique en Oxygène à 5 Jours), la DCO (Demande Chimique en Oxygène), les MES (matières en suspensions), les NR (azote réduit) et les P (phosphore total) sont pris en compte diminuent dans le temps le long de l'estuaire.

¹⁰ Dans cette analyse, seuls le DBO5, le DCO, les MES et les NR et les P sont considérés. Les données complètes sur les rejets industriels fournies par l'AESN intègrent également l'AOX (Composés Organohalogénés), le METOX (métaux), la chaleur, les MI (matières inhibitrices), les SDE (substances dangereuses) et les sels solubles. Cependant, pour rendre l'analyse lisible, nous nous sommes limités à ces cinq polluants qui correspondent aux principaux polluants considérés dans la base de données des rejets de macro polluants par les stations d'épuration (STEP) de l'AESN (qui n'est pas disponible pour cette période). De manière synthétique, la quasi-totalité des rejets est décroissante le long du bassin à l'exception des sels solubles, et pour les SDE, les données ne sont disponibles que pour l'année 2016.

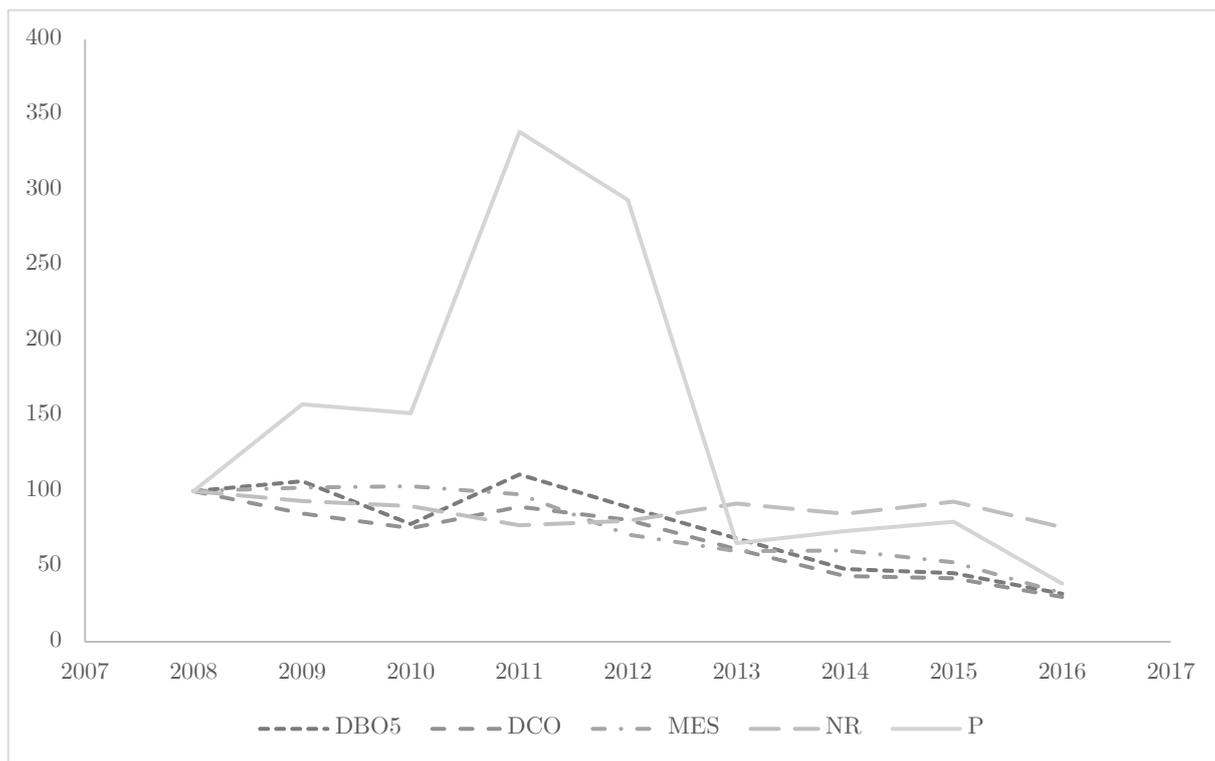


Figure 1-6 : Évolution en base 100 des rejets totaux

Sources : Données AESN

La décroissance observée pour les émissions totales n'est pas généralisée à tous les secteurs. Cette baisse s'explique principalement par les performances de l'industrie qui diminue effectivement ses rejets ; étant le principal émetteur de rejets (tous types confondus), l'industrie influence donc principalement la tendance à la baisse des rejets.

La branche de distribution d'eau et de dépollution, et les services contribuent également à cette tendance générale à la baisse, leurs émissions diminuant également sensiblement au cours de la période.

Les services ont également des émissions décroissantes, à l'exception du phosphore, dont les rejets augmentent fortement à partir de 2013, puis retrouvent leur niveau initial en 2013.

L'agriculture est le seul secteur pour lequel les émissions sont croissantes. Ces augmentations sont particulièrement marquées pour les nitrates et les MES. Cependant, en volume l'agriculture émet, relativement aux autres secteurs, peu de rejets, ce qui conduit à nuancer ces hausses. La construction n'est pas analysée, les données sont trop limitées, seules les années 2012 à 2016 sont disponibles ce qui limite la comparaison avec les autres secteurs.

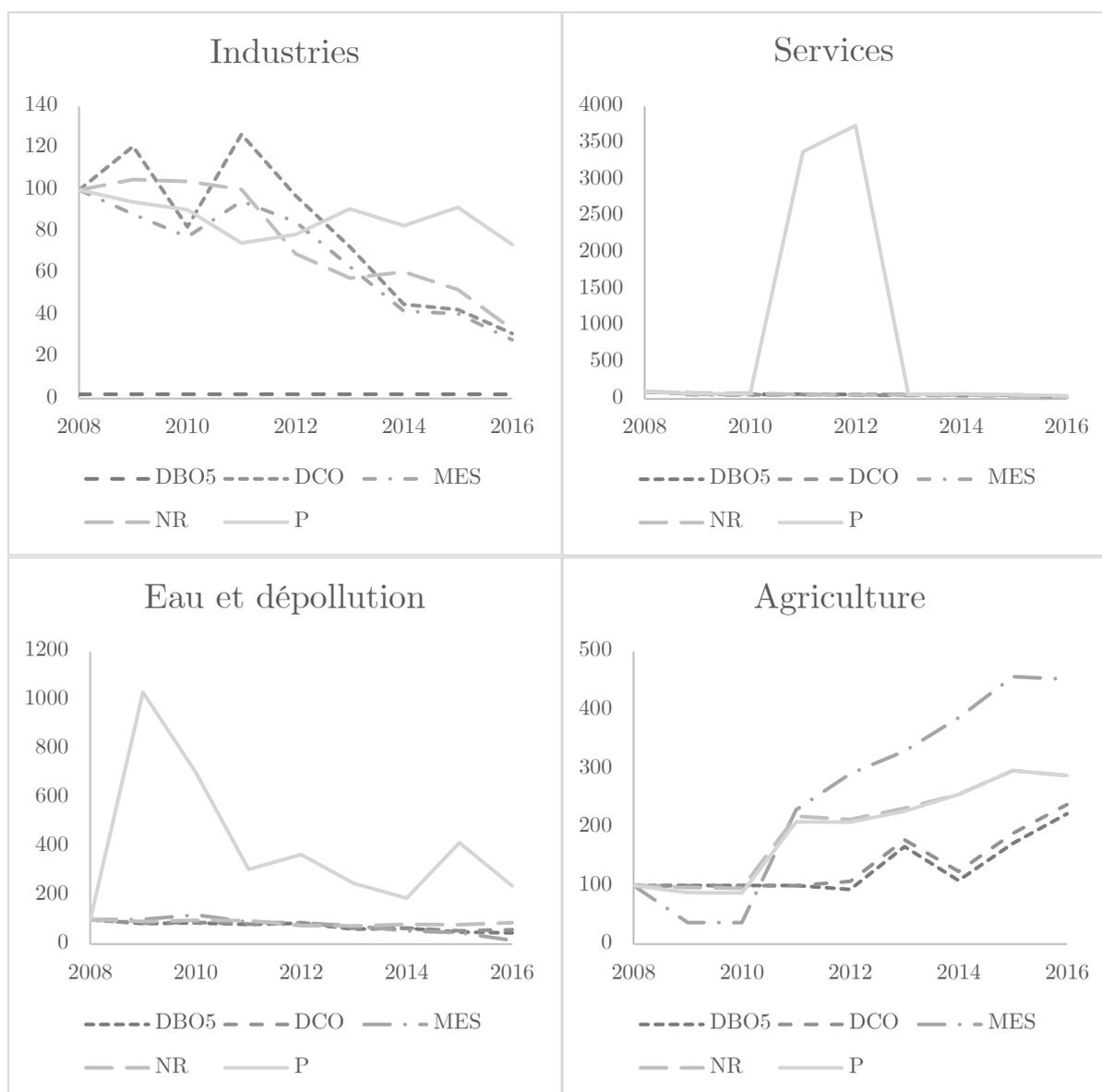


Figure 1-7 : Rejets par secteur en base 100

Sources : Données AESN

De manière plus détaillée, l'industrie l'agroalimentaire (AZ), l'industrie du papier (CC), l'industrie chimique (CE), la cokéfaction et le raffinage (CD) et l'énergie (DZ) sont les principaux émetteurs de rejets dans l'eau. Pour les services ce sont principalement les branches de transport (HZ) et des activités pour la santé humaine (QA) qui génèrent des rejets, et concernant l'eau et la dépollution (EZ), ce sont les activités de dépollution.

Les services sont peu émetteurs d'émissions dans l'eau. Les données montrent cependant un très important pic de phosphore pour les années 2011 et 2012. Ce pic correspond à une émission ponctuelle liée à un seul site dont le code NAF correspond à des activités de fonds de placement et d'activités

financières. Il pourrait cependant s'agir d'un artefact. Les phosphates mis à part, les émissions de rejets dans l'eau des services sont également toutes décroissantes sur la période.

3.4 Prélèvements d'eau sectoriels

Les données régionales sur les prélèvements d'eau utilisées dans cette sous-section sont fournies par l'Agence de l'Eau Seine Normandie et celles nationales par Eurostat et le ministère de la transition écologique. Elles correspondent à la période 2008-2014.

De manière générale, les prélèvements totaux de l'économie régionale diminuent au cours de cette période (figure 1-8).

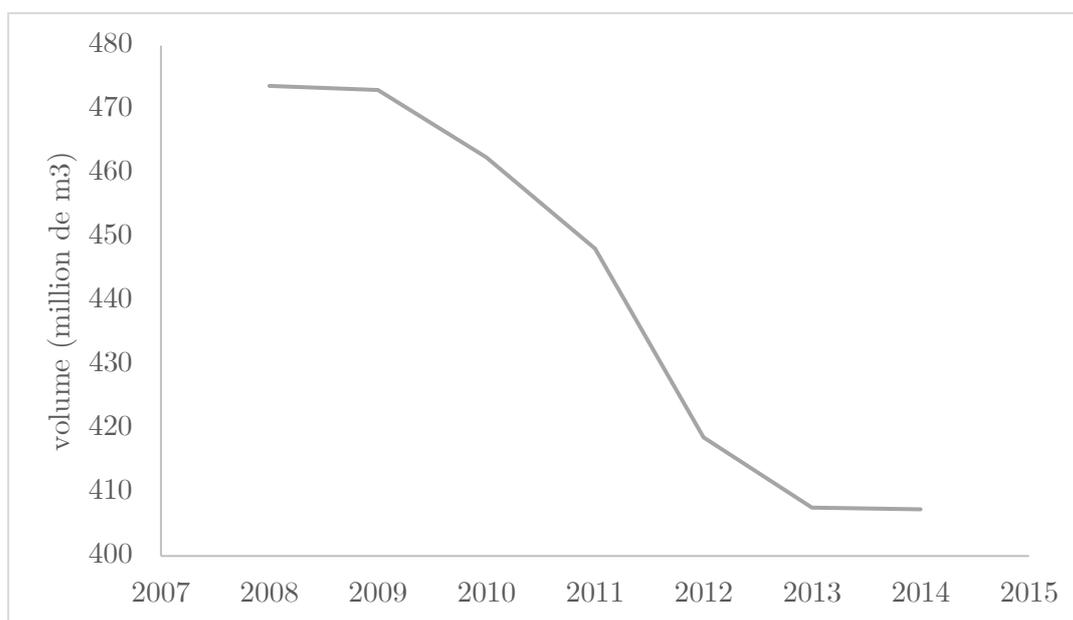


Figure 1-8 : Prélèvements totaux

Source : Données AESN

Ce graphique montre qu'ils ont ainsi diminué de 60 millions de m³ entre 2008 et 2014, soit de l'ordre de 12,8 %. En 2008 et 2009, les prélèvements étaient quasiment stables, puis ils ont fortement baissé entre 2009 et 2013, pour se stabiliser en 2013 et 2014. Il semblerait donc qu'un effet de palier caractérise la consommation d'eau de l'économie régionale.

La diminution du volume prélevé coïncide, avec un certain décalage, à la crise économique débutant en 2008. Deux explications peuvent être faites quant à cette réduction des prélèvements. L'une est que la baisse d'activité économique liée à la crise ait entraîné cette baisse de consommation d'eau. L'autre explication à cette baisse des prélèvements serait, suivant le SDAGE 2016, une réduction des fuites du réseau de distribution et une amélioration globale des performances des technologies utilisées, ainsi que par une sensibilisation accrue des acteurs prélevant.

Les prélèvements sectoriels sont, ensuite, détaillés dans les tableaux 1-8 et 1-9, le premier pour la Haute-Normandie, le second pour la France.

Tableau 1-8 : Prélèvements par secteur en Haute-Normandie (en %)

| En pourcentage | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Agriculture | 0,5 | 0,6 | 0,9 | 1,1 | 0,5 | 0,6 | 0,4 |
| Industrie | 98,9 | 98,8 | 98,2 | 98,4 | 99,0 | 98,9 | 99,1 |
| • Dont Réseau de distribution | 58,0 | 57,9 | 59,9 | 60,7 | 63,9 | 66,1 | 64,8 |
| Construction | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Services | 0,6 | 0,5 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

Sources données AESN

Tableau 1-9 : Prélèvements par secteurs, France (en %)

| En pourcentage | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Agriculture | 8,9 | 10,6 | 10,7 | 10,7 | 9,7 | 10,0 |
| Industrie | 91,1 | 89,4 | 89,3 | 89,3 | 90,3 | 90,0 |
| • Dont Réseau de distribution | 18,9 | 19,1 | 19,4 | 19,0 | 18,3 | 19,0 |
| Construction | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Services | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Base de données Eider, Ministère de la Transition Écologique et Solidaire

Les prélèvements agricoles sont, en proportion, beaucoup plus faibles en Haute-Normandie qu'en France. Ce constat s'explique principalement par le fait que l'agriculture haute normande n'a pas besoin de recourir de manière importante à l'irrigation, le climat régional étant favorable en la matière ; d'une part, il n'existe que peu de productions agricoles régionales exigeant une irrigation intensive, les principales cultures sont en effet le blé et le lin (Agreste, 2015). Inversement, la part relativement plus importante au niveau national s'explique par le recours à l'irrigation intensive, notamment dans les grandes régions agricoles du centre et du sud du pays.

Les prélèvements d'eau industriels sont relativement plus importants en Haute-Normandie qu'au niveau national. Au niveau régional, ils constituent presque la totalité des prélèvements observés. Concernant le réseau de distribution, les prélèvements en Haute-Normandie représentent une part plus importante (en moyenne, 61,6 % des prélèvements) qu'au niveau national (18,9 % en moyenne). Cette différence conséquente s'explique par le fait que, au niveau national, les eaux de refroidissement des centrales électriques comptabilisées dans les prélèvements industriels. En Haute-Normandie, les prélèvements de refroidissement par la production d'électricité sont quasiment nuls. En effet, les deux centrales nucléaires, présentes sur le territoire régional, prélèvent leurs eaux de refroidissement en mer et ne sont donc pas comptabilisées dans les prélèvements d'eau douce. Dans le cas des prélèvements

nationaux, certaines régions françaises où sont implantées des centrales n'ont pas accès à la mer, et doivent donc prélever effectivement leur eau de refroidissement dans les cours d'eau. Ces prélèvements sont conséquents dans les prélèvements, représentant en moyenne 61,0 % des prélèvements en eau douce, augmentant ainsi le volume des prélèvements industriels, et mécaniquement diminuant la proportion des prélèvements pour le réseau de distribution. Sans prendre en compte les besoins pour refroidissement, les prélèvements pour le réseau de distribution au niveau national représentent en moyenne 48,6 % des prélèvements d'eau.

Les prélèvements des services et de la construction ne sont pas comptabilisés dans les bases de données au niveau national. Ces deux secteurs sont considérés comme approvisionnés totalement par le réseau de distribution ; ils n'ont donc pas de prélèvements propres. Au niveau régional, les données, plus précises, permettent toutefois d'identifier des prélèvements marginaux liés à certaines activités de services et de la construction. Il s'agit dans la plupart des cas d'unités de production possédant une source d'eau privée ; ces prélèvements restent cependant anecdotiques. En conséquence, l'analyse des évolutions des prélèvements suivants n'inclut pas ces deux secteurs.

Les prélèvements de l'agriculture sont plus volatils. Au niveau régional, les prélèvements agricoles montrent un pic en 2011, étant multipliés par deux par rapport à 2008. Après ce pic, les prélèvements agricoles tendent globalement à décroître sous des niveaux inférieurs à celui de 2008. Au niveau national, les prélèvements augmentent jusqu'en 2009 puis diminuent lentement jusqu'à la fin de la période. Ces variations s'expliqueraient par des aspects météorologiques, augmentant ou diminuant le recours à l'irrigation.

Les prélèvements de l'industrie, y compris ceux du réseau de distribution sont très stables aux cours de la période que ce soit au niveau national ou régional. Cependant en Haute-Normandie, une légère baisse des prélèvements industriels est observée à partir de 2009. Ce constat d'une pression décroissante sur les ressources en eau pourrait être expliqué par une amélioration des performances environnementales des industries régionales, ou par une baisse d'activité du secteur qui aurait entraîné cette diminution, comme cela a déjà été souligné.

Les activités économiques stratégiques : ports et raffineries sont localisés le long du cours principal, et en particulier à l'embouchure du fleuve, pour profiter des ressources en eau importantes et du service de transport fluvial offert par la Seine. Cette zone, en plus de l'enjeu de restauration environnemental, est sensible aux effets du changement climatique. En effet la plaine estuarienne, où sont implantées ces activités, a une altitude faible, la rendant vulnérable à la montée des eaux et aux inondations.

De manière plus générale, le BES entier sera affecté par les effets du changement climatique. La section suivante présente ainsi les effets majeurs qui affecteront probablement l'estuaire, et donc les activités économiques implantées sur ce dernier.

4. Enjeux futurs

Il apparait que si l'estuaire est globalement bien doté en ressources en eau, il est quand même le siège d'enjeux environnementaux et économiques majeurs liés aux interactions entre ce milieu naturel et les activités humaines.

Tout d'abord, le contexte démographique ne devrait pas représenter de défi majeur. La population régionale devrait augmenter, augmentant la pression sur les ressources en eau exercée par les humains sur l'estuaire. L'INSEE propose des prévisions démographiques pour la Normandie en 2050 (INSEE, 2017d). Celles-ci sont, elles-mêmes, créées à partir des projections démographiques nationales (modèle Omphale, INSEE, 2016d).

En Haute-Normandie, le faible solde naturel auquel s'ajouterait un léger excédent migratoire engendrerait donc d'ici 2050 une population régionale faiblement croissante et vieillissante (INSEE, 2017d). La croissance démographique peu élevée de la Haute-Normandie, et le départ des populations les plus jeunes font que la population active en 2050 reste stable. La croissance démographique est estimée à moins de 0,1 %. L'excédent migratoire serait le principal facteur de cette augmentation. La pression exercée par la demande finale sur l'estuaire devrait donc augmenter faiblement au cours des années à venir.

Les activités humaines exercent des pressions élevées sur la ressource en eau de certaines UH, en particulier, celles périphériques au cours principal. Ces UH sont utilisées en amont par l'agriculture puis en aval pour l'approvisionnement en eau potable des grands centres urbains et de certaines industries. Ces UH connaissent déjà des périodes de stress hydrique, en particulier celles en périphérie.

Les grands centres urbains localisés sur les rives du cours principal bénéficient d'un apport en eau douce conséquent. Cependant les UH où ils sont situés sont soumises à des pressions liées aux rejets dans l'estuaire, comme en témoigne la mauvaise qualité de l'eau sur cette partie du fleuve, même si l'on constate une nette amélioration depuis le pic de pollution des années 1970.

Les UH des fleuves côtiers et de l'Eure sont aussi soumises à des périodes de stress hydriques, source de risque à cause des activités agricoles, ces dernières risquant effectivement d'avoir recours de manière croissante à l'irrigation suite au réchauffement global.

La demande accrue en eau de l'amont du bassin de la Seine pourra entraîner une baisse du débit du cours principal, ce qui impactera les activités implantées le long du cours principal, mais également le service de transport offert par le fleuve.

Enfin, l'enjeu le plus important est peut-être celui lié à la zone industrielle du port du Havre. Cette zone, abritant des industries stratégiques comme les raffineries, le port lui-même et diverses grandes industries, est une zone économique majeure, non seulement pour la région, mais également pour l'ensemble du pays.

L'estuaire est également sensible à la montée d'eau causée par le changement climatique. Cette montée des eaux affectera l'embouchure (UH Seine estuaire aval, moyen et amont) entraînant un risque de submersion de la plaine alluviale, où sont implantées les industries majeures régionales.

À ce risque venant de l'aval, s'ajoute le risque d'inondations plus fréquentes et plus fortes venant de l'amont causées par le changement des précipitations. Ces inondations menacent les UH du cours principal, mais également les UH périphériques qui, fortement anthropisées, ont tendance à déborder plus facilement.

Ces risques environnementaux s'appliquent aux zones économiquement les plus actives. Si aucun scénario d'adaptation n'est envisagé et mis en œuvre, il pourrait en résulter des pertes économiques conséquentes, ainsi que des pollutions environnementales potentiellement catastrophiques, mais aussi des dommages aux populations.

Dans cette section, les impacts potentiels de ces effets sur l'estuaire et sur l'économie régionale sont présentés.

4.1 Augmentation des températures

Impact sur la flore et l'agriculture

La hausse de la température est causée par l'accroissement de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Elle aura un impact sur la faune et la flore et donc surtout les activités agricoles.

Cette augmentation va entraîner des périodes de récolte plus longue et une croissance des végétaux plus importante. À l'horizon 2050, l'agriculture devrait de la sorte connaître un gain de productivité.

De plus, la hausse de la concentration de CO₂ devrait également favoriser le développement de certains végétaux, ce que pourrait conduire à un changement dans les types de cultures pratiqués dans le BES.

Les recherches sur le sujet (Ducharne et al., 2007) montrent que le gain de productivité devrait être compensé à long terme par les coûts d'adaptation au changement climatique. Cependant, ceci ne devrait se produire qu'aux alentours de 2100, ce qui laisse penser qu'en 2050, l'augmentation de la productivité agricole serait encore effective.

La hausse de la température pourrait également avoir un effet sur la chimie des sols, en accélérant la minéralisation du nitrate. Celui-ci passerait alors plus rapidement du sol vers le sous-sol, pour atteindre les nappes phréatiques entraînant alors une contamination des ressources en eau potable. En accélérant la migration du nitrate, fertilisant naturel, cette hausse pourra causer une perte de fertilité des sols ; cette dernière devra donc être compensée par un recours plus important aux engrais chimiques,

ce qui aggravera alors la contamination des sols. La mise en œuvre de « bonnes pratiques de l'agriculture » (Baghasa, 2008) pourrait limiter le recours à ces engrais. Ducharne et al. (2007) évalue ainsi que de telles pratiques permettraient de réduire de 20 % leur utilisation.

La température moyenne plus élevée couplée avec le changement du régime de précipitations entraînerait également une augmentation de l'irrigation.

Cette dernière diminue de manière générale en France sur la période 2000-2010 (Loubier et al., 2013) grâce à une irrigation raisonnée, voire de précision, qui tout en diminuant les volumes d'eau utilisés assure des résultats similaires. Cette tendance s'observe également sur les données fournies par l'AESN et relatives à l'utilisation de l'eau par l'agriculture en Haute-Normandie.

Cependant, même si une tendance à la baisse de l'utilisation de l'eau par l'agriculture sur la période de référence 2008-2014 est bien observée, le double phénomène de diminution des précipitations en été et d'augmentation de la température entraînera un accroissement généralisé de la demande en eau, inévitable en particulier pour l'agriculture.

Schaldach et al. (2012) estiment au moyen de plusieurs modèles l'augmentation de la demande en irrigation. Ainsi l'impact du changement climatique sur l'irrigation conduirait à une augmentation de la demande en irrigation de l'ordre de 157 % (modèle MIMR, modèle climatique « humide ») à 253 % (modèle IPCM4, modèle climatique « sec ») envisageable pour l'Europe de l'ouest dans le cas d'un scénario « durable ». Cependant, suivant une autre modélisation « *economy first* », la demande en irrigation pourrait bondir de 311 % (Modèle IPCM4). L'impact conjoint de la hausse de la température et du changement de régime des précipitations serait alors conséquent sur la demande en eau de l'agriculture le long du BES.

Impact sur le tourisme :

Un impact à première vue positif de la hausse des températures et de la diminution des pluies en période estivale (ce point est détaillé dans la sous-section suivante) serait de rendre le climat régional plus attractif pour les activités touristiques.

La littérature (Atzori et al., 2018; Lise and Tol, 2002) sur le tourisme indique clairement que l'aspect climatique joue un rôle important pour cette activité. Mais elles montrent aussi que la relation entre température et tourisme est concave, c'est-à-dire qu'à partir d'un certain seuil, la température étant ressentie comme trop élevée, l'activité touristique tend alors à diminuer.

La température estivale moyenne de la Haute-Normandie est mesurée à 15,7°C en 2018 (données NOAA national Oceanographic and Atmospheric Administration). Suivant le scénario d'augmentation des températures de +3,3°C, en 2050 la température estivale moyenne serait alors de 19°C, ce qui est proche de la température estivale moyenne en Aquitaine (19,2°C ; (Climate-Data.org), calculé à partir des relevés faits à Bordeaux).

Par ailleurs, le potentiel touristique d'une région c'est-à-dire la présence de sites attractifs pour l'activité touristique doit également être pris en compte.

Le territoire de l'estuaire dispose de sites touristiques existants naturels, historiques et culturels qui contribuent déjà à l'attractivité du territoire. La modification du climat présenté précédemment entraînera probablement une hausse de la fréquentation touristique le long du BES, et donc des activités économiques associées (hébergement et restauration, activités récréatives...).

L'augmentation de ces activités induira également une hausse des pressions anthropiques sur les sites naturels sur les unités hydrographiques côtières, fragiles du point de vue écologique et sur l'estuaire de la Seine de manière plus générale, avec de potentiels conflits d'usage de la ressource en eau.

L'augmentation de l'activité touristique est déjà observée le long de l'estuaire. L'INSEE observe pour 2016/2017 une augmentation de fréquentation de 4,9 % en Seine-Maritime et 7 % dans l'Eure. La Normandie a été visitée par 10,5 millions de touristes durant cette période (Hélary et al., 2017).

4.2 Changement dans le régime des précipitations

Dans les effets évoqués précédemment, le changement de régime des précipitations et ses effets sur l'agriculture ont été brièvement évoqués. Cette sous-section développe cet effet majeur du CC.

En appliquant les variations de pluviométrie estimées par Ducharne et al. (2007) pour l'année 2050, la courbe de pluviométrie mensuelle a été ainsi calculée (figure 1-9).

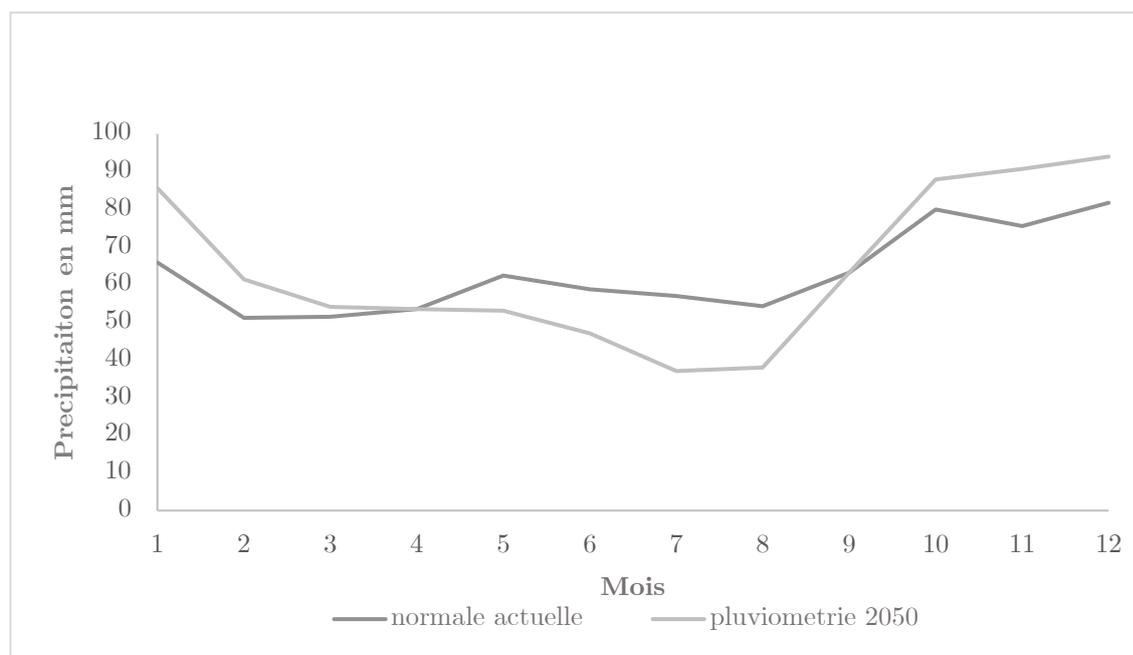


Figure 1-9 : Évolution de la pluviométrie en Haute-Normandie

Source : adapté par l'auteur à partir de Ducharne et al. (2007) et des Bulletins de Situation Hydrologique réalisés par la DREAL

Ce graphique montre ainsi qu'en 2050, les précipitations se concentreraient sur les mois d'automne et d'hiver, avec une diminution importante par rapport à maintenant pendant les périodes printanière et estivale. Le tableau 1-10 détaille l'évolution du volume des précipitations entre aujourd'hui et 2050.

Tableau 1-10 : Volume des précipitations mensuelles : normales actuelles et prévisions 2050

| Million de m ³ | Janv. | Févr. | Mars | Avr. | Mai | Juin | Juill. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|---------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Volume mensuel actuel | 8106,7 | 6300,6 | 6339,5 | 6591,6 | 7685,7 | 7236,2 | 7018,5 | 6676,2 | 7779,9 | 9839,9 | 9305,0 | 10062,2 |
| Volume mensuel 2050 | 10538,7 | 7560,7 | 6656,5 | 6591,7 | 6532,9 | 5788,9 | 4562,0 | 4673,4 | 7779,9 | 10823,9 | 11166,0 | 11571,6 |
| Écart | 2432,0 | 1260,1 | 317,0 | 0,00 | -1152,9 | -1447,2 | -2456,5 | -2002,9 | 0,00 | 984,0 | 1861,0 | 1509,3 |
| Variation hivernale | 8363,4 | | | | | | | | | | | |
| Variation estivale | -7059,4 | | | | | | | | | | | |

Source : adapté par l'auteur à partir de Ducharme et al. (2007) et des Bulletins de Situation Hydrologique réalisés par la DREAL

En période estivale, l'estuaire recevrait 7 059,4 millions de m³ d'eau de précipitation en moins et un surplus d'eau de 8 363,4 millions de m³ d'eau en période hivernale par rapport à la normale actuelle. Remarquons que la différence entre le total annuel actuel et le total annuel en 2050 est de l'ordre de 1 %, ce qui est conforme aux prévisions du GIEC annonçant que le volume annuel des précipitations serait quasiment stable, avec cette légère augmentation de l'ordre de 1 %.

Ce changement dans les précipitations réduirait la recharge des nappes phréatiques, les participations soudaines et très importantes ont tendance à ruisseler et à rejoindre rapidement les cours d'eau et la mer. Les eaux n'ont alors pas le temps de s'infiltrer pour rejoindre les aquifères souterrains. Ce phénomène est de plus accentué par l'artificialisation des sols et la disparition des obstacles au ruissellement (haies) et des surfaces naturelles (prairies bois...). Cela engendra un risque de déséquilibre quantitatif pour la plupart des UH affluents du cours principal et donc des tensions sur l'approvisionnement en eau. Cet effet pourrait être aggravé par une demande estivale croissante, causée par la hausse des températures, l'augmentation du tourisme et surtout l'accroissement de l'irrigation.

Des précipitations estivales plus faibles rendraient, certes, le climat normand plus agréable, mais conjuguées à une baisse de la recharge des ressources souterraines, elles accentueraient les risques de stress hydrique sur tout le bassin et en particulier pour les UH déjà en tension ou à l'équilibre quantitatif.

L'autre effet, lié cette fois aux précipitations hivernales plus fortes, cause de ruissellement plus important, serait une augmentation du risque d'inondation et d'érosion des sols, notamment pour les

UH amont, et les UH fortement modifiées qui subissent déjà des inondations récurrentes. Le risque d'inondations venant de l'amont du BES serait donc amplifié par cet effet du changement climatique.

Cela se traduirait alors, non seulement par la perte de ressources en eau évoquée plus haut, mais également par des dégâts humains et matériels pour toutes les activités localisées dans une zone inondée d'une part, et par la diffusion accrue de pollutions résultant de l'érosion et du lessivage des sols d'autre part. Cette propagation de polluants conduirait alors à une dégradation qualitative des ressources en eau, celles-ci se retrouvant alors chargées en composants chimiques divers.

4.3 Hausse du niveau de la mer

Le troisième effet du changement climatique, causé par la hausse globale des températures, est une hausse du niveau de la mer, qui serait de 60 cm, en 2100. Le GIP seine aval publie la carte suivante de la zone directement impactée par la montée des eaux (figure 1-10).

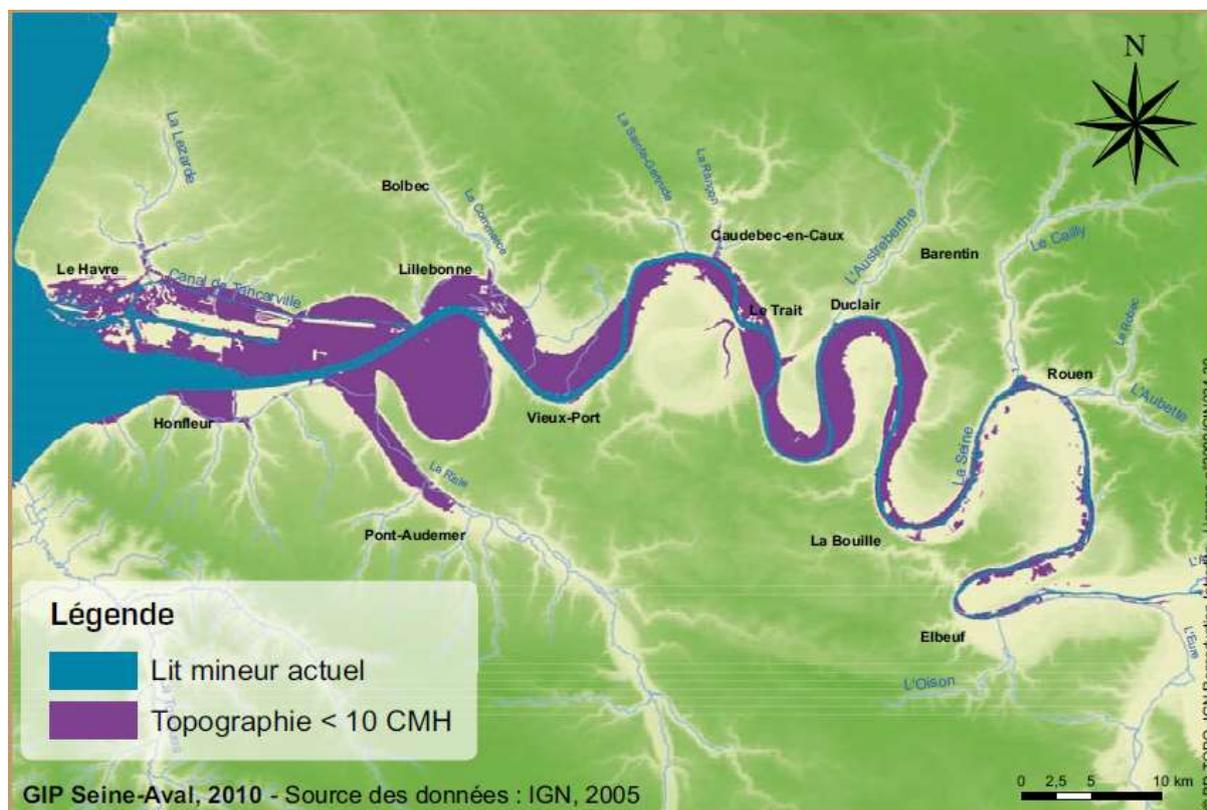


Figure 1 : Secteurs de l'estuaire de la Seine sensibles à une élévation du niveau marin (topographie inférieure à la cote 10m CMH).

Figure 1-10 : Prévion de la hausse du niveau de la mer dans l'estuaire en 2100

Source GIP Seine aval 2010

La zone de la plaine estuarienne soumise à un risque de submersion (GIP Seine-Aval, 2010) en raison de la montée du niveau de la mer atteint l'amont de la ville de Rouen.

Les zones concernées par cette montée des eaux sont les UH Seine estuaire aval et Seine estuaire moyen. Il est important de rappeler que ces deux UH abritent la majorité des activités économiques régionales : le port du Havre, les raffineries Total et Exxon Mobil, les zones industrielles du port et de Notre-Dame-de-Gravenchon, ainsi que la partie basse de la ville du Havre. De plus, cette aire de submersion potentielle contient des zones naturelles préservées telles que le marais Vernier et le parc naturel des boucles de la Seine.

La hausse du niveau de la mer ne conduira pas forcément à une submersion permanente des zones citées, mais elle les rendra plus fragiles aux phénomènes de tempêtes pouvant être amplifiées par les marées.

De la même façon qu'avec les inondations venant de l'aval, la submersion de sites industriels pourra entraîner, en plus des dégâts humains et matériels, des risques de diffusion de matières dangereuses dans l'estuaire et la baie de Seine, affectant alors des territoires situés bien au-delà des frontières de l'estuaire.

D'un point de vue économique, cette zone regroupe les activités majeures de l'économie régionale. La destruction, même partielle, des infrastructures par submersion pourrait entraîner des dégâts économiques, sociaux et environnementaux irréversibles.

5. Conclusion

L'estuaire de la Seine et son économie sont, de fait, un réseau complexe d'interactions entre l'environnement et les activités économiques qu'une simple analyse des grandeurs correspondantes ne saurait décrire en profondeur.

L'estuaire est déjà, en lui-même, un territoire très diversifié constitué d'UH interdépendante. Elles sont soumises à des pressions anthropiques variées, suivant leur localisation le long du fleuve. Ainsi, le cours principal est utilisé par les industries majeures et pour le transport maritime et fluvial. Les UH périphériques approvisionnent en eau les aires urbaines et les industries. Les UH les plus éloignées du cours principal (UH côtière, UH Eure et amont) alimentent, elles, l'agriculture régionale.

L'économie régionale est, de manière synthétique, centrée autour de l'industrie et en particulier les activités portuaires, de raffinage du pétrole, des industries chimiques. La présence du fleuve, vecteur essentiel de l'approvisionnement tant fluvial que maritime, explique l'implantation de ces industries d'une part et l'importance du commerce extérieur dans la région, d'autre part.

Le territoire de l'estuaire doit aussi faire face aux enjeux de préservation des zones protégées, vis-à-vis d'un impact humain toujours croissant. Le BES est, pour l'instant un territoire bien doté en ressources en eau, bien que certaines UH soient déjà en tension ou en déficit quantitatif, les prélèvements y étant sont supérieurs à la recharge. D'autres sont, elles, justes à l'équilibre et donc potentiellement vulnérables à une augmentation de la pression humaine.

En s'appuyant sur les rapports du GIEC produits par Kazmierczak et al. (2019), Laignel et Nouaceur (2018) et Vallée (2018) et les travaux sur les effets du changement climatique sur l'estuaire, les trois principaux effets majeurs sur le BES à l'horizon 2050 ont été présentés. Leurs impacts, multiples, devraient affecter tous les composants de l'économie régionale.

L'analyse directe de ce contexte fournit ainsi un bon aperçu de l'état de l'estuaire, de l'économie régionale et des enjeux à venir. Cependant, cette première approche ne permet pas d'étudier en détail les interrelations entre le milieu naturel et les activités humaines, composants de l'économie régionale.

L'analyse des prélèvements d'eau est limitée par le fait que seules les activités préleveuses semblent avoir un impact sur l'estuaire. L'utilisation uniquement de cet indicateur conduirait à négliger la consommation d'eau directe, qui est le volume d'eau effectivement utilisé par toutes les branches économiques, volume pouvant être fourni par le réseau de distribution ou directement prélevé. Les consommations d'eau permettent en effet de déterminer l'impact direct des services et de la demande des ménages et elles n'apparaissent pas dans les prélèvements. La consommation directe peut, de plus, être complétée par les consommations indirectes, qui correspondent, elles, aux volumes d'eau qu'une activité économique donnée consomme pour satisfaire la demande d'une autre activité économique. Ces

consommations indirectes permettent alors d'identifier les « empreintes écologiques » des composantes de l'économie régionale et ainsi affiner la connaissance de l'utilisation de l'estuaire par les humains.

De la même façon, l'analyse du PIB et de la valeur ajoutée régionale offre un aperçu de l'activité économique de l'estuaire, mais ne permet pas d'appréhender en détail les relations entre les composantes de l'économie et d'expliquer cette création de richesse. De plus, la valeur ajoutée représente le surplus de valeur créée par l'activité économique, mais sans prendre en compte une partie de l'activité totale économique, celle-ci englobant également la production totale, la demande finale des ménages et le commerce extérieur.

En effet, pour étudier en détail les relations entre le BES et les activités humaines, il faut dépasser le cadre de l'analyse des données directement disponibles (prélèvements, valeur ajoutée, emploi...) et mobiliser des outils économiques permettant d'approfondir l'analyse. C'est l'objet du chapitre suivant qui présente la modélisation Entrées Sorties étendue à l'environnement. Elle sera utilisée pour modéliser ces relations entre le BES et l'économie, mais également les relations entre les composants de l'économie régionale.

Chapitre 2

Modélisation Entrées-Sorties régionalisée

1. Introduction

L'étude des données directement accessibles permet de dresser un portrait fidèle de notre cas d'étude. Cependant, l'analyse descriptive de ces grandeurs ne permet pas d'identifier les interdépendances entre les différents composants de l'économie. Il s'agit donc pour pouvoir étudier les relations entre l'estuaire et les activités humaines implantées sur ce territoire afin de dépasser l'analyse descriptive qui ne permet pas de faire de prévisions ou de simulations. L'étude de cette relation passe ainsi par la construction d'un modèle économique-environnemental. Celui-ci permettra d'évaluer les effets sur les ressources en eau de variations économiques et inversement, de mesurer les effets économiques que pourrait avoir une diminution de la disponibilité des ressources en eau sur l'économie.

Le modèle Entrées-Sorties de Leontief (1936) semble tout indiqué pour modéliser la relation entre l'estuaire et l'économie régionale. Cet outil fait l'objet d'une littérature riche, et il est, de plus, couramment utilisé. Il a également l'avantage de pouvoir s'inscrire dans des outils de modélisation plus larges tels que les modèles d'équilibre général calculable. L'analyse ES et ses extensions sont présentées en détail par Miller and Blair (2009).

Le cas de l'estuaire nous confronte à deux principales modifications à apporter au modèle ES. Tout d'abord, une dimension environnementale doit être apportée au modèle ES pour intégrer la consommation de l'eau. Pour cela, la méthode du modèle de Leontief généralisé sera utilisée dans ce travail. Il s'agit de convertir les productions économiques en leurs équivalents en volumes d'eau consommés. Le modèle ES économique doit être ainsi converti en modèle ES environnemental au moyen des consommations d'eau unitaires. Cette méthode est répandue dans la littérature, ainsi parmi les influences majeures dont découle ce travail, les travaux de Velázquez (2006), Guan et Hubacek (2007), Zhang et Anadon (2014) sont à citer.

L'ONU propose un système de comptes environnementaux (United Nations, 2012). Celui-ci inclut une méthode de comptabilité et les définitions des concepts nécessaires à la construction du TES environnemental régional. Ce système est exhaustif et intègre l'intégration des prélèvements¹¹, des consommations brutes, nettes et des rejets. Ce système fournit ainsi un cadre

¹¹ Suivant le Système de compte de l'ONU :

- Les prélèvements sont les volumes d'eau physiquement extraits du milieu.

de réflexion pour produire et organiser le TES régional étendu à l'environnement. Ainsi, la *consommation d'eau brute* (correspondant à l'*utilisation de l'eau* suivant la terminologie de l'ONU) est considérée dans ce modèle étendu à l'environnement. Il s'agit du volume d'eau dont la présence est nécessaire aux différentes activités qu'il soit rejeté après ou non. Il est donc représentatif de l'impact sur les ressources en eau des activités humaines.

L'autre modification à apporter concerne le Tableau Entrées-Sorties, qui est l'outil au cœur de la modélisation ES. Celui-ci est construit usuellement par l'organisme statistique national (ici l'INSEE). Ce tableau, qui représente le fonctionnement de l'économie, est réalisé au niveau national. Il n'existe normalement pas au niveau régional, tel que celui choisi pour notre cas d'étude. Un processus de régionalisation est donc nécessaire pour transformer le TES national en TES régional de la Haute-Normandie. La littérature ne permet pas de dégager une méthode de régionalisation particulière supérieure aux autres, mais préconise plutôt d'en combiner plusieurs. : les Advanced Flegg Location Quotient pour le Tableau des Emplois intermédiaires (Flegg and Tohmo, 2013a; Flegg and Webber, 1997, 2000; Flegg et al., 1995), la méthode des commodity balance (Isard, 1953) pour le commerce extérieur et la méthode RAS (Stone, 1961) utilisée pour obtenir les matrices de production.

De plus, pour mener une opération de régionalisation, une bonne connaissance du tissu économique est indispensable afin de contrôler et vérifier les ajustements et d'éviter les incohérences. Le modèle ES de la Haute-Normandie est construit en utilisant ces différentes méthodes de régionalisation évoquée dans cette introduction. Il pourra être ensuite étendu aux consommations d'eau brutes pour étudier la relation entre l'économie et l'estuaire de la Seine.

Dans cette thèse nous nous concentrons exclusivement sur les volumes d'eau bruts et ne pourrions pas traiter des rejets et des consommations nettes.

En effet, les volumes bruts permettent de représenter le volume d'eau mobilisés dans le milieu pour pouvoir faire fonctionner les unités de production. La consommation nette tendrait alors à sous-estimer les besoins en eau de nombreuses industries qui rejettent dans le milieu 99 % de leurs prélèvements.

La consommation nette et les rejets pourraient soit faire l'objet d'une étude spécifique sur la ressource en eau dans sa dimension quantitative, soit être intégrés à une étude sur la ressource

-
- L'utilisation de l'eau correspond aux volumes d'eau entrant dans les unités de productions, ce qui correspond à une consommation directe brute.
 - La consommation d'eau est la part de l'utilisation de l'eau qui n'est pas rejetée, et est considérée comme détruite par la production, ce qui correspond à une consommation nette des rejets.

en eau dans sa dimension qualité de l'eau. En effet, même en rejetant l'eau directement après usage (par exemple comme c'est le cas pour l'utilisation d'eau pour le refroidissement) la ressource est altérée qualitativement, même en l'absence de rejets de polluants. L'usage pour refroidissement modifie la température, ce qui peut avoir des conséquences sur la qualité du milieu aquatique.

Le rejet d'eau à des débits élevés (buse d'évacuation) peut localement créer des phénomènes de turbidité de l'eau, d'érosion des rives et des fonds de rivières, modifiant le débit localement et les matières en suspension, ce que peut également affecter dans sa dimension qualitative le milieu aquatique.

Ces aspects sont intéressants, mais ne peuvent pas être traités dans le cadre de ce travail ils nécessitent des données supplémentaires et des clefs de répartition dont nous ne disposons pas. Concernant les rejets, nous ne disposons que des rejets industriels (pour la période de 2008 à 2016) et des STEP (Stations d'épurations) pour une seule année.

L'autre problème provient du fait que les rejets des STEP, regroupent l'ensemble des flux traités par ces dernières, c'est-à-dire que sont confondus tous les rejets issus des unités de production reliées au réseau de traitement des eaux. Il n'est donc pas possible de distinguer les rejets des ménages, des rejets des différentes branches industrielles et de services, reliées au réseau. Le même problème se pose concernant la consommation nette ; une proportion non négligeable des rejets étant aussi captés par le réseau.

Ainsi, la disponibilité des données nous limiterait aux seuls rejets industriels tout en ignorant la partie traitée par le réseau d'assainissement. Une répartition *au prorata* du volume rejeté capté par le réseau serait éventuellement possible, mais peu précise, le problème de distinction persistant. Ainsi, des branches de services ayant des utilisations de l'eau plus proches de celle des industries (services de blanchisserie, activités récréatives, golfs) seraient regroupées avec des branches ayant des utilisations d'eau « domestique » (hygiène, besoins biologiques).

La construction des TES régionaux étendus aux consommations d'eau conduit à la production d'un important volume de données. Pour d'exploiter cette masse de données, plusieurs outils analytiques complémentaires sont utilisés dans ce chapitre. Tout d'abord, une adaptation de l'*hypothetical extraction method* (HEM), introduite par Schultz (1977), est utilisée pour déterminer les impacts totaux réels des deux catégories d'emplois finaux différenciées dans le présent modèle ES : la demande finale locale et les exportations. L'HEM est utilisée par Duarte et al. (2002) et Sánchez-Chóliz and Duarte (2003) pour identifier le rôle des branches en tant que consommatrices directes ou indirectes d'eau en Espagne où la question de l'eau est cruciale. Le principe initial est de supprimer hypothétiquement l'activité d'une seule branche pour en déterminer l'impact sur le reste de l'économie. En reprenant ce principe, la suppression de chacune

des deux catégories d'emplois finaux (demande finale locale et exportations) a été effectuée afin de mesurer leurs impacts économiques et environnementaux totaux.

Ensuite, afin d'étudier en détail l'empreinte environnementale de chaque branche, des coefficients d'impact totaux, puis les multiplicateurs environnementaux correspondants ont été calculés s'appuyant sur les travaux de Allan (1997); Proops (1984); Velázquez (2006, 2007) et Velázquez et al. (2011). Ces multiplicateurs permettent de calculer les impacts environnementaux totaux liés à l'activité des branches, en incluant les impacts indirects liés à l'eau « incorporée » dans les consommations intermédiaires.

Pour compléter ces multiplicateurs, une analyse de liaison (*linkage*) est réalisée en reprenant les travaux de Chenery and Watanabe (1958); Cella (1984); et plus récemment de Freytag and Fricke (2017). S'appuyant sur les indicateurs de liaison développés initialement par Rasmussen (1956), ce type d'analyse permet de déterminer le rôle que joue chaque branche dans l'économie et dans la production d'impact environnemental, soit en tant que productrice soit en tant que consommatrice.

Enfin, pour étudier en détail les impacts économiques et environnementaux entre les branches, l'analyse structurelle est mobilisée. Initialement utilisée par Campbell (1972, 1974, 1975) pour examiner la structure de l'économie de l'état de Washington, puis reprise par Holub and Schnabl, (1985) et plus récemment par Titze et al. (2011) pour identifier les « clusters¹² industriels » régionaux en Allemagne, cette méthode d'analyse permet d'étudier en profondeur les coefficients des matrices de Leontief du modèle et d'en faire ressortir la structure des échanges.

L'objectif de ce chapitre, exclusivement méthodologique, est de présenter les méthodes utilisées pour construire et exploiter le modèle ES étendu à l'environnement. Il présente d'abord la méthode de construction du TES régional et d'intégration de l'environnement. Cette construction repose sur l'application des différentes méthodologies de régionalisation ainsi que sur une méthode originale d'intégration d'impacts environnementaux prenant en compte les spécificités de la ressource en eau. Celle-ci a été bâtie pour être généralisée à d'autres cas d'études. Ensuite sont présentés les différents outils analytiques utilisés pour exploiter ces TES. Usuellement ces outils sont mobilisés séparément, cependant, dans le cadre de ce travail, ils seront utilisés de manière complémentaire fournissant ainsi, une analyse à même d'appréhender la complexité des

¹² Les clusters industriels sont des groupes d'entreprises et d'institutions géographiquement proches, organisés autour d'une activité commune et liées par des complémentarités (Titze et al., 2011).

relations interbranches au sein d'une économie, et ceci à travers deux dimensions : économique et environnementale.

Ce chapitre apporte plusieurs contributions méthodologiques sur la régionalisation, l'extension à l'environnement et l'analyse ES.

Ainsi, la question de la régionalisation est cruciale dans ce travail, car le modèle ES utilisé est entièrement dépendant de la qualité de la construction du TES régional. Le processus de régionalisation présenté ici est construit dans le prolongement des travaux de Cordier (2011) et des méthodes de l'INSEE. Il permet de construire un TES régional non seulement pour la Haute Normandie, mais aussi reproductible pour d'autres régions. En effet, l'un des principaux avantages de la méthode proposée ici est de ne demander que relativement peu de données exogènes, ce qui la rend transposable rapidement à d'autres cas d'études. Un autre intérêt de ce processus est d'être basé sur des données et méthodes de l'INSEE et d'utiliser une nomenclature internationale, donc compatible avec les systèmes de comptes européens et internationaux. Ceci permet une extension aisée du champ d'application de la méthode de régionalisation développée dans ce chapitre.

Une autre contribution notable de ce travail est la méthode d'intégration environnementale. Le point crucial de l'intégration d'un aspect environnemental est le calcul de coefficients d'impact qui permettent de construire le modèle environnemental. Ainsi que cela a déjà été souligné, les applications pratiques ont rarement fait l'objet de développements détaillés, au contraire des approches théoriques. En effet, si la littérature est riche d'un point de vue théorique, la technique de la « boîte noire » est souvent utilisée concernant le détail des applications. Cependant, la qualité de l'analyse ES étendue à l'environnement dépend en grande partie des données environnementales mobilisées. Le principal apport du présent travail concerne donc le calcul du coefficient d'impact environnemental qui permet la construction du modèle ES environnemental. Ce dernier correspond au rapport entre l'utilisation de l'eau directe par branche et la production associée à celle-ci. Deux contributions importantes sont apportées concernant les deux termes du calcul de ce coefficient.

La première concerne la construction des données d'utilisation de l'eau. La plupart des sources de données environnementales fournissent les prélèvements d'eau, mais ils ne correspondent pas aux utilisations d'eau par les branches. En effet, le principal problème posé par les données de prélèvement est que le volume prélevé par le réseau de distribution est important, tandis que les utilisations de l'eau des structures alimentées par ce réseau n'apparaissent pas. La répartition de ce volume est la principale difficulté rencontrée par les analystes. La méthode la plus répandue est de répartir ce volume au prorata d'une grandeur économique connue. Le principal défaut de cette méthode est que les coefficients d'impact environnementaux de chacune

des branches dont l'utilisation est ainsi estimée seront identiques, limitant nettement la portée de l'analyse. Aussi, a-t-il été préféré, dans le présent travail, une variation de la méthode présentée ci-dessus qui consiste à utiliser les relations économiques entre la branche distributrice d'eau (*les coefficients d'allocation*) et les autres branches. En répartissant ce volume en proportion de ces relations, les utilisations de l'eau des branches concernées deviennent proportionnelles à leurs achats auprès dudit réseau et non plus proportionnelles à leur production, ce qui permet alors d'obtenir des coefficients d'impacts environnementaux uniques pour chaque branche.

La seconde contribution est relative à la production associée à l'impact environnemental. La littérature conseille de prendre la production locale obtenue dans le TES local, c'est-à-dire sans les importations. Cette méthode vise à ne considérer que la production effectivement liée à l'impact environnemental considéré. Cependant elle est critiquable, car elle ne tient pas compte des productions locales pour lesquelles les importations, entrant dans le processus de production, sont essentielles. Ne pas les intégrer supposerait que les productions auxquelles elles sont indispensables continueraient à exister, même en proportions réduites, ce qui ne semble pas réaliste. Nous précisons ainsi le concept de production « domestique », soit la production effectivement réalisée sur le territoire considéré à partir des inputs intermédiaires locaux ou importés. Cette définition permet de mieux délimiter l'ensemble de l'activité réalisée sur le territoire à relier à l'utilisation des ressources en eau.

D'un point de vue de l'exploitation du modèle ES, le principal apport de ce chapitre concerne les multiplicateurs de consommation d'eau. Dans ce travail, une version modifiée de ces derniers est présentée. Dans leur version initiale issue des travaux (Velázquez, 2006), les multiplicateurs sont calculés à partir de la matrice inverse de Leontief économique $(I - A)^{-1}$ ce qui pourrait conduire à négliger les spécificités liées à la distribution d'eau. De plus la consommation d'eau des ménages n'est pas prise en compte. Il s'agit donc uniquement d'étudier les pressions exercées par les branches. Le multiplicateur que nous proposons exploite la matrice inverse environnementale $(I - Q)^{-1}$, qui, elle, intègre la structure des échanges d'eau entre les branches, grâce notamment au paramétrage présenté dans ce chapitre. Ce paramétrage permet, en plus de mieux représenter les échanges d'eau incorporée entre les branches, mais également de prendre en compte les impacts liés à la consommation d'eau des ménages. Le multiplicateur ainsi présenté est donc plus complet, dans le sens où il intègre la structure de la matrice environnementale et tous les composants de l'économie dans son calcul.

De plus, l'utilisation conjointe d'outils analytiques sur le modèle ES est une approche qui, à la connaissance de l'auteur, est originale. En effet chacun de cet outil est complémentaire des autres, reposant tous les trois sur l'utilisation de la matrice inverse de Leontief.

Ainsi, les multiplicateurs de consommation permettent de déterminer la relation totale entre une branche et la totalité de l'économie. Cependant l'une des limites des multiplicateurs est qu'ils ne tiennent compte que du rôle de consommateur total des branches, ce en quoi l'analyse de liaison peut remédier en déterminant l'état de la relation entre une branche et le reste de l'économie : acheteuse ou fournisseuse.

L'analyse de liaison ne permet cependant pas d'identifier les origines ou les destinations des relations avec les autres branches constituant le reste de l'économie.

Cette limite peut être dépassée par l'analyse structurelle qui exploite en détail les relations interbranches. Cependant, cette dernière utilisée seule peut être « aride » étant donné le nombre de relations interbranches. Les deux outils précédents peuvent être mobilisés pour déterminer *ex ante* les composants intéressants du réseau.

Enfin, la bonne connaissance du cas d'étude, qui découle de la lecture du TES permet de contourner le problème de pondération des branches dans le système étudié, commun à ces trois méthodes.

L'application de la méthodologie présentée ici a permis la construction des TES régionaux économiques et de leurs pendants environnementaux. Cette méthodologie présentée ici fournit ainsi un outil détaillé et simple permettant la construction de tels modèles.

Le présent chapitre s'organise en sept sections. La section 2 détaille et formalise, d'un point de vue théorique, le modèle ES étendu à l'environnement. La section 3 présente le TES français dont la structure est reprise pour la construction du TES régional ; il s'agit donc d'un point de méthodologie important qui permet de poser les notations principales. La section 4 expose le processus de régionalisation qui conduit à la construction du TES régional. La méthode d'intégration environnementale appliquée menant au modèle ES étendu à l'environnement est exposée dans la section 5. La section 6 détaille les trois principaux outils analytiques utilisés. Enfin la section 7 conclut.

2. L'analyse Entrées-Sorties

Il s'agit là de formaliser clairement le modèle théorique mobilisé tout au long de ce travail, en présentant de manière générale le modèle ES dans une économie ouverte. Or, la littérature classique représente souvent le modèle ES sous sa forme la plus simple, à savoir dans une économie fermée ayant une seule catégorie de demande finale. Nous proposons donc une construction qui intègre le commerce extérieur qui agit à la fois comme un fournisseur de ressources grâce aux importations et à la fois comme un consommateur final supplémentaire au travers des exportations. Cette formalisation présente ainsi clairement le modèle ES en économie ouverte tout

en permettant de faire le lien avec la structure du TES développée dans la section suivante. Une fois le modèle ES économique détaillé, nous présentons présentés l'intégration d'un aspect environnemental puis le modèle ES étendu à l'environnement exposant ainsi le fonctionnement théorique complet de notre outil.

2.1 Le modèle Entrées-Sorties économique

Le modèle ES est construit à partir des données observées pour un territoire particulier : un pays, une région, une entité géographique ou économique particulière. Ces données représentent l'activité économique de ce territoire désagrégée en *branches* (agrégats d'entreprises ayant une production similaire) productrices de biens et services (Miller and Blair, 2009). L'économie ainsi décrite est composée de i branches productives, de la *demande finale* (constituée de la demande des ménages, des dépenses de l'État et de l'investissement) et ouverte au *commerce extérieur*.

La demande finale et la demande des exportations jouent un rôle crucial dans le modèle ES. Ces deux composants du modèle vont en effet déterminer le niveau de production totale de l'économie nécessaire pour satisfaire ces demandes.

Ainsi pour satisfaire ces dernières, l'économie *produit* (z_i) et *importe* (m_i) des biens et services. La somme de ces deux agrégats (productions/importations) définit *les ressources* dont dispose chaque branche de l'économie.

$$r_i = z_i + m_i \quad 2.1$$

Ces ressources sont réparties entre les différents composants de la demande adressés à chaque branche : les *productions intermédiaires* de la branche i , qui correspondent aux *demandes intermédiaires* des autres branches j adressées à i , notées x_{ij} , la *demande finale* y_i et les *exportations* ex_i qui sont des demandes provenant de l'extérieur de l'économie considérée. Les demandes intermédiaires matérialisent la demande des branches en biens et services requis pour réaliser leurs productions totales (finales et intermédiaires).

L'utilisation des ressources peut donc être représentée par l'équation suivante :

$$r_i = \sum_j x_{ij} + y_i + ex_i \quad 2.2$$

Cette équation peut être réécrite sous forme matricielle :

$$R = X + Y + EX \quad 2.3$$

La matrice R est une matrice colonne qui répertorie les ressources des branches. La matrice X est une matrice carrée (i lignes et j colonnes, avec $i = j$). Lue en ligne, elle inventorie les productions intermédiaires de la branche i vers les autres branches j . Lue en colonne, elle indique

les *consommations intermédiaires* la branche j , c'est-à-dire les demandes intermédiaires qu'elle adresse aux autres branches i de l'économie. La matrice colonne Y rassemble les demandes finales y_i , et la matrice colonne EX correspond aux exportations ex_i . Un modèle ES vérifié l'égalité comptable entre les ressources produites et importées (r_i) et les ressources consommées (r_j).

Déoulant de ses activités de production, une branche crée de la richesse qui est utilisée pour rémunérer le travail et pour créer de l'investissement. Cette richesse constitue la *valeur ajoutée brute*, c'est-à-dire la plus-value restante de la production de la branche, une fois les consommations intermédiaires retranchées :

$$va_j = z_j - \sum_i x_{ij} \quad 2.4$$

L'analyse ES repose sur l'utilisation des coefficients techniques qui sont les proportions de biens intermédiaires consommés par une branche i pour réaliser sa production. Ils sont calculés en divisant les flux interbranches x_{ij} par les ressources totales. Ces coefficients techniques offrent une vision fixe des relations interbranches (Miller and Blair, 2009).

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{r_j} \quad 2.5$$

Ces coefficients techniques sont qualifiés de véritables coefficients techniques, car ils mesurent véritablement les quantités de biens et services intermédiaires utilisés dans les ressources disponibles.

L'équation (2) peut alors être transformée ainsi :

$$r_i = \sum_j a_{ij} \cdot r_j + y_i + e_i \quad 2.6$$

Les coefficients techniques constituent alors la matrice A , qui peut alors être intégrée pour transformer l'équation matricielle 2.3

$$R = A \cdot R + Y + EX \quad 2.7$$

En exprimant R en fonction de la demande finale et des exportations, l'équation devient :

$$R = (I - A)^{-1} \cdot (Y + EX) \quad 2.8$$

La matrice $(I - A)^{-1}$ est appelée l'inverse de Leontief ou la matrice des besoins totaux (total requirement matrix) et représente la production totale que doit avoir chaque secteur s'il veut satisfaire la demande finale (Velázquez, 2006). Ses composants sont notés α_{ij} . La matrice $(Y + EX)$ est la matrice des emplois finaux qui regroupe la demande finale et les exportations.

La production en ressources totales de la branche i peut être décrite par la relation :

$$r_i = \alpha_{i1}(y_1 + ex_1) + \dots + \alpha_{in}(y_n + ex_n) = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}(y_j + ex_j) \quad 2.9$$

Où chaque α_{ij} élément de $(I-A)^{-1}$ exprime l'augmentation de la production d'une branche i si la demande finale d'une branche j augmente d'une unité. Elle exprime alors les besoins totaux (directs et indirects) de toutes les branches. Ainsi, à partir de ce modèle, il est possible de mesurer l'effet d'un choc d'emplois finaux d'une ou plusieurs branches, qu'il soit causé par la demande finale locale ou les exportations, sur l'économie entière.

Les équations présentées jusqu'ici traitent des échanges interbranches et des coefficients techniques totaux, sans préciser la provenance de ces flux, en d'autres termes, les ressources utilisées proviennent soit de la production soit des importations. La suite détaille alors le modèle ES suivant les origines des biens et services entrants dans l'économie.

L'équation 2.2 peut être réécrite en détaillant l'origine des produits utilisés. Un L en exposant indique alors qu'une valeur fait référence à la production locale, un M en exposant indique qu'une valeur provient de l'importation.

$$r_i = \sum_j (x_{ij}^L + x_{ij}^M) + y_i^L + y_i^M + ex_i \quad 2.10$$

Cette formulation permet alors de séparer ce qui est produit localement de ce qui est importé :

$$m_i = \sum_j x_{ij}^M + y_i^M \quad 2.11$$

$$z_i^L = \sum_j x_{ij}^L + y_i^L + ex_i \quad 2.12$$

Il faut noter que la production z_i ne correspond pas à la production locale z_i^L . Cette dernière est théorique, il s'agit de la production réalisée à partir d'intrants produits localement et répondant à la demande locale. Cette production est donc tributaire des productions strictement locales. Elle correspondrait normalement à la production z_i dans le cas d'une économie fermée ou très peu ouverte, où la production serait limitée par les ressources disponibles sur le territoire (dans le sens : ressources environnementales et humaines). Dans une économie ouverte, il est possible qu'un pays ait des productions supérieures à ce que permettraient ses ressources naturelles internes grâce au commerce extérieur ; à titre d'exemple la France produit de l'essence, des équipements de pointe ou encore de l'électricité d'origine nucléaire sans avoir de pétrole, de minéraux rares ou de ressources en uranium sur son territoire. La production z_i correspond ainsi la « véritable activité économique » présente sur le territoire incluant les importations intermédiaires, tandis que la production z_i^L correspond à l'activité si elle pouvait théoriquement exister sans importations. Ce n'est pas forcément le cas ; certaines productions ne peuvent être

réalisées que grâce à des importations : par exemple, sans l'importation de métaux, l'industrie de manufacture de véhicules ne produirait plus de voitures et non pas moins de voitures¹³.

À partir des équations (2.11) et (2.12) permettent alors de déterminer les coefficients techniques locaux et d'importations :

$$a_{ij}^L = \frac{x_{ij}^L}{z_j^L} \quad 2.13$$

$$a_{ij}^M = \frac{x_{ij}^M}{m_j} \quad 2.14$$

Ces derniers représentent respectivement les proportions de consommations intermédiaires locales dans la production locale et les importations intermédiaires locales par rapport aux importations totales de la branche.

Cette section explique ainsi le principe du modèle ES avec ouverture sur l'extérieur. Ce modèle se concentre sur les flux économiques entre composants au sein d'une économie.

2.2 Le modèle ES environnemental

Le modèle ES généralisé à l'environnement, et en particulier aux ressources en eau, est utilisé dans ce travail de thèse. Il s'agit de convertir le modèle ES économique présenté ci-dessus en modèle ES environnemental exprimant à la place des flux économiques des impacts environnementaux (ici des volumes d'eau consommés) générés par la production de ces flux économiques.

Nous définissons préalablement les termes suivants :

L'utilisation d'eau (« *water use* ») telle que définie par le Système de comptes environnementaux par l'ONU : le volume d'eau prélevé pour usage propre et d'eau reçue d'autres unités économiques, sur le territoire de référence, par an. Elle correspond dans notre cadre à ce que nous appelons « consommation directe d'eau » (ils sont notés wd_i dans ce travail de thèse). L'utilisation d'eau est un volume d'eau brut.

Les prélèvements désignent les volumes directement extraits du milieu par une branche, ils sont notés p_i . Ces prélèvements peuvent être utilisés directement par la branche ou dans le cas de la branche de distribution d'eau EZ, redistribués aux autres branches. Ces flux redistribués

¹³ C'est l'une des limites du modèle ES, la relation linéaire entre les composants de l'économie ne permet pas de spécifier si l'absence (ou la diminution) d'un intrant empêche totalement une production ou simplement la réduit proportionnellement. Cette précision doit alors être apportée par le chercheur.

sont notés alors s_i , et correspondent aux volumes fournis par le réseau de distribution au reste de l'économie.

La *consommation indirecte* d'une branche décrit le volume d'eau qui a été nécessaire à la production de ses consommations intermédiaires, c'est-à-dire l'eau consommée par les fournisseurs de cette branche pour satisfaire sa demande intermédiaire. Elle correspond à ce qui est qualifié dans la littérature d'*eau virtuelle* (au sens de Allan, 1994, 1998, précisé par Hoekstra et al. (2012) du Water Footprint Network).

La *consommation totale d'une branche* telle que définie par Velázquez (2006) s'inspirant des travaux sur l'intensité en énergie de Proops (1988), est la somme de l'eau utilisée par cette branche (consommation directe) et de sa consommation indirecte d'eau, soit la somme des consommations directes et indirectes d'eau de cette branche.

La première étape de la transformation du modèle ES économique en modèle ES consiste à définir la matrice W^D des *consommations directes d'eau*¹⁴ par branche. Chaque constituant wd_i de cette matrice, indique le *volume d'eau total directement utilisé* par la branche i . Ainsi, pour réaliser la production z_i , la branche i utilise un volume d'eau wd_i (exprimé en m³).

La seconde étape consiste à calculer *le coefficient d'impact environnemental* de la branche i (exprimé en nombre de m³ utilisés par unité monétaire produite domestiquement) :

$$\frac{wd_i}{\bar{z}_i} = e_i^D \quad 2.15$$

Ce coefficient indique le volume d'eau directement utilisé par i pour produire une unité monétaire sur le territoire d'où provient l'eau. Le terme \bar{z}_i désigne la *production domestique* qui se situe entre la production locale z_i^l et la production z_i . L'objectif de ce terme est de circonscrire les utilisations de l'eau aux activités économiques présentes sur le territoire, excluant de la sorte une partie des productions importées qui, elles, ne rentrent pas dans les activités économiques domestiques.

Les applications dans la littérature utilisent principalement la production strictement locale associée à l'utilisation d'eau. Cela permet d'exclure les importations d'eau contenues dans

¹⁴ Il s'agit des volumes d'eau utilisés directement par les branches pour réaliser leur production. Ces utilisations comprennent les usages pour refroidissement, comme intrant direct à la production, pour l'irrigation, pour le nettoyage des installations, pour les besoins vitaux et sanitaires des employés de la branche. Ce volume peut être issu d'un réseau de distribution et/ou directement extrait par les branches. Ce terme est équivalent à l'*utilisation de l'eau* et à la *consommation brute*.

les biens importés (Velázquez, 2006). La littérature reste cependant assez floue sur la production à utiliser pour calculer le coefficient d'impact direct : certains préconisent d'utiliser la production strictement locale, d'autres ne précisent pas la production utilisée.

Le choix de l'utilisation de la production strictement locale pose cependant un problème : celle-ci est hypothétique. Le modèle ES ne prend en compte que les proportions pour déterminer l'importance d'une relation, et pas son aspect « essentiel » à la production. Le modèle ES local n'a donc qu'une réalité limitée, étant donné qu'une économie ouverte ne fonctionnerait pas sans importations.

Par exemple, comment prendre en compte l'existence de grosses unités de production d'une branche dont l'activité dépend principalement des importations de biens intermédiaires, comme les raffineries françaises ? L'activité domestique de ces dernières est importante, cependant, elles ne fonctionneraient pas sans importations de pétrole qui devraient donc entrer dans le processus de production domestique. Si l'on ne considère que l'activité strictement locale, l'activité réelle est sous-estimée ; par suite, le coefficient d'impact environnemental est biaisé.

C'est pourquoi nous proposons le concept de *production domestique* \bar{z}_i dans cette partie. Il décrit la production qui est effectivement réalisée sur le territoire étudié et donc l'activité économique qui mobilise les ressources en eau du bassin fluvial considéré. Cet apport, important, permet d'améliorer la précision du calcul du coefficient d'impact environnemental et alors de construire une analyse ES étendue à l'environnement plus représentative du véritable impact d'une économie sur un fleuve.

Cette production exclut les importations pour la demande finale. Celles-ci sont produites en dehors de l'économie étudiée. Directement consommées par la demande finale et ne mobilisant pas de ressources en eau provenant du territoire considéré, elles n'entrent pas dans le processus de production domestique.

Concernant les importations intermédiaires, pour les branches primaires dont l'activité domestique dépend strictement des ressources naturelles domestiques, seule la production locale z_i^L est considérée dans le calcul du coefficient d'impact direct. En effet, il n'est pas possible d'importer des terres agricoles ou des filons de minerais permettant d'avoir des activités agricoles ou minières supérieures à ce qu'offre l'environnement du territoire considéré. Par contre, il est possible d'implanter une raffinerie ou une usine de sucre sur ce territoire même si celui-ci ne dispose pas des matières premières correspondantes, ces intrants pouvant être importés. L'activité économique s'appliquant à ces exemples n'en affecte pas moins les ressources en eau du territoire sur lequel ils sont implantés. Donc pour les activités de transformation et les services, c'est la production z_i diminuée des importations finales y_i^M qui est considérée.

Ce concept nous est apparu nécessaire durant les opérations de régionalisation, où ni la production strictement locale z_i^{RR} ni la production z_i ne semblait satisfaisante pour représenter l'activité implantée sur le territoire étudié : en considérant uniquement la production z_i , les productions primaires apparaissaient largement surévaluées, notamment les industries extractives. En effet, celle-ci intégrant des importations intermédiaires, devenait la deuxième branche productrice de la région, ce qui ne correspond pas aux activités de carrières et gravières régionales. L'activité régionale de cette branche était en fait surestimée par l'intégration des importations de pétrole par la branche de cokéfaction et raffinage.

Inversement, en utilisant la production strictement locale z_i^{RR} , la branche de cokéfaction et raffinage devenait une branche mineure de l'économie régionale ce qui ne correspond pas non plus à la réalité cette activité régionale. En effet, celle-ci ne consommant qu'une faible quantité d'intrants régionaux, sa production strictement locale est très faible. Il est donc nécessaire d'intégrer pour cette branche les importations intermédiaires, afin de représenter son activité régionale.

Nous définissons alors les productions domestiques \bar{z}_i suivant la règle de décisions suivante :

Si'il s'agit une branche primaire (agriculture, industries extractives, mines, carrières...) alors :

$$\bar{z}_i = \sum_j x_{ij}^L + y_i^L + ex_i \quad 2.16$$

Si i est une branche incluant une activité de transformation (industries manufacturières, services) alors :

$$\bar{z}_i = \sum_j x_{ij} + y_i^L + ex_i \quad 2.17$$

Où :

- Les x_{ij}^L correspondent aux relations interbranches strictement locales.
- Les x_{ij} correspondent à la relation interbranche totale de la région considérée, c'est-à-dire incluant la production locale et les importations intermédiaires

À partir de ces \bar{z}_i , les coefficients d'impacts environnementaux directs e_i^d peuvent alors être calculés.

En appliquant ce coefficient e_i^d à la relation 1, celle-ci peut alors être exprimée en volume d'eau utilisé pour produire chaque flux économique :

$$e_i^d * (\sum_j \bar{x}_{ij} + y_i^L + ex_i) = wd_i \quad 2.18$$

$$\sum_j w_{ij} + w_i^y + w_i^{ex} = wd_i \quad 2.19$$

Chaque terme indique maintenant la quantité d'eau utilisée correspondant à son équivalent économique : les w_{ij} indiquent les volumes d'eau utilisés pour les productions intermédiaires x_{ij} , w_i^y et w_i^{ex} indiquent les volumes d'eau utilisés pour réaliser respectivement la demande finale y_i et les exportations ex_i . Les w_i^{ex} étant les volumes d'eau incorporés dans les exportations, ils représentent des flux d'eau sortants de l'estuaire.

Les relations du modèle ES classique peuvent alors être reprises dans ce modèle ES de l'eau.

Les « coefficients techniques de l'eau » peuvent être calculés.

$$\frac{w_{ij}}{wd_j} = q_{ij} \quad 2.20$$

Ils indiquent la proportion d'eau utilisée pour produire chaque consommation intermédiaire en bien i par rapport à l'utilisation totale directe de la branche j . Ces coefficients constituent la matrice Q .

La relation 2.6 peut être réécrite en sa version environnementale.

$$\sum_j q_{ij} * wd_j + w_i^y + w_i^{ex} = wd_i \quad 2.21$$

$$QW^D + W^Y + W^{EX} = W^D \quad 2.22$$

En reprenant le développement du modèle classique, l'inverse de Leontief environnemental est alors retrouvé :

$$(I - Q)^{-1}(W^Y + W^{EX}) = W^D \quad 2.23$$

Cette relation exprime le volume d'eau total consommé par l'économie en fonction du volume d'eau utilisé pour produire la demande finale. Les composants ρ_{ij} indiquent alors le volume d'eau supplémentaire utilisé par la branche j si la demande finale en eau de la branche i augmente d'une unité (exprimée en volume d'eau).

La relation 2.21 peut ainsi être écrite sous forme d'équation :

$$\sum_j \rho_{ij} * (w_j^y + w_j^{ex}) = wd_i \quad 2.24$$

Enfin cette dernière relation permet de relier l'aspect environnemental à l'aspect économique

$$\sum_j \rho_{ij} * (e_j^D * (y_j + ex_j)) = wd_i \quad 2.25$$

Cette dernière relation indique la quantité d'eau totale (l'impact environnemental direct) utilisée par la branche i correspondant à une demande finale j (exprimée en unité monétaire).

Formulée autrement, elle correspond à l'impact environnemental total des branches i en fonction des demandes finales de l'économie (exprimées en unités monétaires). Cette relation fait alors le lien entre les aspects économiques et environnementaux.

La construction du modèle ES environnemental entraîne la production de nouvelles matrices : W , W^D , W^Y . Ces matrices peuvent être concaténées avec les matrices du modèle ES en un seul grand tableau.

| | Matrices des relations interbranches | Matrices de la demande finale | Matrice de production totale |
|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Matrices économiques | X | Y | \bar{Z} |
| Matrices de l'utilisation de l'eau | W | W^Y | W^D |

Figure 2-1 : Organisation du modèle ES

À partir de ce modèle, il est alors possible d'appliquer les méthodes de calculs d'impacts environnementaux indirects, de calculer les empreintes environnementales des branches, et de réaliser l'analyse de liaison qui permet d'affiner l'analyse en identifiant le rôle de chaque branche dans l'économie (en tant que producteur ou consommateur).

La construction du modèle ES repose sur l'utilisation de données réelles représentant l'économie d'un territoire. Ces données sont issues des comptes nationaux pour la partie économique et notamment le TES. La section suivante est donc consacrée à la présentation des systèmes de comptes nationaux, posant ainsi les définitions des différents composants de l'économie les relations comptables majeures entre les variables, la structure du TES, ainsi que les systèmes de nomenclature.

3. Le Tableau Entrées-Sorties

Le Tableau Entrée Sortie (TES) est un outil d'analyse économique qui représente la structure de l'économie. Comme son nom l'indique, le TES apparaît sous la forme d'un tableau, dont les lignes représentent les flux de produits à destination des différentes branches et des secteurs de la demande finale. Les colonnes listent les consommations de produits par les branches et les secteurs de la demande finale.

Le TES français fourni par l'INSEE existe en deux versions. La première, « classique », qui sert de référence dans ce chapitre est organisée en produits (lignes) par branches (colonnes). Ce TES est exprimé en prix d'achat, c'est-à-dire que les valeurs présentes incluent le prix de base augmenté des marges commerciales, des frais de transport, des impôts et taxes et des éventuelles subventions. La seconde version est le TES symétrique en prix de base, c'est-à-dire sans les taxes et subventions et en réallouant les marges de transport et commerciales aux branches de commerce et de transport. Le fait qu'il soit symétrique désigne le fait que dans ce tableau, une branche correspond à un produit, ce qui n'est pas le cas dans le TES classique où une branche peut produire plusieurs types de produits. Le TES symétrique est usuellement celui utilisé pour les analyses ES étendues à l'environnement. Cette section présente également la méthode utilisée par l'INSEE pour convertir le TES classique en TES symétrique, en prix de base.

3.1 Les systèmes de comptes nationaux et la nomenclature

Dans la section précédente, nous avons montré que le modèle ES théorique repose sur l'exploitation des comptes nationaux dont il reprend en partie l'architecture. Cette section expose donc le fonctionnement des systèmes de comptes nationaux. Son intérêt est double. D'abord, il s'agit de présenter la structure du TES, outil comptable nécessaire à un modèle ES et d'en définir les composants. Ensuite, sur la base d'un système de compte national institutionnel dont la désagrégation en branche repose sur une nomenclature officielle, il permet de construire un modèle ES comparable avec d'autres cas d'études utilisant cette même nomenclature ou une compatible.

Le TES régional construit dans ce travail de thèse utilise la nomenclature d'activité française (NAF 38, l'annexe B donne les codes et les intitulés de cette nomenclature) utilisée par l'INSEE pour les TES nationaux. Cette nomenclature a l'avantage d'être compatible avec les nomenclatures européenne (NACE rev 2) et internationale (Classification Internationale par Type, par Industrie, CITI rev4,) utilisées par les systèmes de comptes nationaux respectivement mis en place par Eurostat et l'ONU.

L'INSEE suit le SEC, mais en utilisant une nomenclature typiquement française : celle des activités françaises NAF (INSEE, 2015b). Sa version actuelle fait suite à sa deuxième révision,

elle est désignée NAF rév.2. Cette nomenclature a la même structure que la NACE rév.2. Elle est ainsi composée d'une arborescence en cinq niveaux :

- Niveau 1 : 21 sections communes à la NACE et à la CITI (nomenclature de l'ONU)
- Niveau 2 : 88 divisions communes à la NACE et à la CITI
- Niveau 3 : 272 groupes communes à la NACE
- Niveau 4 : 615 classes, communes à la NACE (niveau le plus fin en commun)
- Niveau 5 : 732 sous-classes, spécifiques à la France.

Enfin associé à chaque code NAF, est lié un code CPF (Classification des Produits Français). Cette nomenclature correspond à la nomenclature des produits et est construite comme la CPA de Eurostat.

Les TES de l'INSEE sont construits en suivant le SEC 2010 préconisé par Eurostat. Ce dernier est lui-même fortement inspiré du SCN des Nations Unies. Les données présentes dans les comptes nationaux utilisés pour construire les TES sont issues d'enquêtes auprès d'entreprises et d'enquêtes sur la production. Elles sont également complétées par les sources administratives disponibles. Le SEC distingue deux types de nomenclatures : la nomenclature des branches (NACE rév.2.), et la nomenclature des produits (CPA). L'INSEE utilise les nomenclatures françaises NAF rév.2 pour les branches et CPF pour les produits, qui sont construites sur la même structure que celles de Eurostat et, pour certains niveaux de désagrégation, que celles de l'ONU (CITI). Les données de l'INSEE sont donc compatibles avec les nomenclatures NACE rév.2 et CITI. Les TES nationaux fournis par l'INSEE utilisent le système de nomenclature NAF 38, qui est parfaitement intégré dans le système de nomenclature européen, NACE rév.2.

3.2 Le TES

Il est organisé en quatre tableaux détaillés dans cette sous-section.

3.2.1. Le Tableau des Ressources Emplois (TRE)

Le TRE décrit la répartition des ressources suivant leur provenance : production et importations. Ce tableau est lui-même divisé en deux parties.

La première répertorie les productions par type de produits, les importations de biens, les importations de services, le total des ressources en produits importés, ainsi qu'une colonne de correction CAF (cout assurance fret) / FAB (franco à bord). La dernière colonne de cette partie du TRE liste ainsi la totalité des ressources en produits. Elle décrit la relation (2).

La deuxième partie du TRE répertorie les marges commerciales m_{com_i} , les marges de transport m_{trans_i} , les impôts sur produits et les subventions sur les ressources r_i . Notons t_i les impôts nets de subventions.

Ainsi le total des ressources, des taxes, des subventions et des marges (marges commerciales et de transport), r_i^* (l'étoile indique une valeur en prix d'achat, le prix que va payer l'acheteur pour cette production, incluant les marges et les taxes).

$$r_i + m_{com_i} + m_{trans_i} + t_i = r_i^* \quad 2.26$$

3.2.2. Le Tableau des emplois intermédiaires (TEI)

Il est au cœur de la construction de l'analyse ES. Il répertorie en ligne les flux de produits i distribués aux branches j , et en colonne les consommations des branches j en produits i . Il correspondrait à la matrice X dans la section précédente. Cependant, étant donné qu'il est exprimé en prix d'achat, il est noté X^* . En outre, ce TES inclut des productions primaires et des productions secondaires, ce qui est problématique, car il n'est alors pas symétrique. Sous cette forme, il n'est alors pas directement utilisable pour mesurer les coefficients techniques (une branche peut produire plusieurs types de produits). Une transformation pour le convertir en TEI de type Leontief est nécessaire. Celle-ci sera présentée dans la sous-section sur la conversion du TES classique en TES symétrique.

3.2.3. Le Tableau des emplois finaux (TEF)

Le troisième tableau répertorie les différents types de demandes finales par produits (toujours en prix d'achat). Ainsi sont comptabilisées la demande en produits des ménages h_i^* , celle des administrations publiques (APU) adm_i^* , celle des Institutions sans buts lucratifs ngo_i^* (ISBSLM), la formation brute de capital fixe (FBCF), la variation des stocks, l'acquisition moins la cession d'objet de valeur et la formation brute de capital (FBC) $fbci^*$. Cette dernière étant la somme des trois précédentes, elle seule est donc prise en compte dans la notation. Enfin la dernière colonne liste les exportations ex_i^* par produits.

La demande finale y_i^* se décompose ainsi :

$$y_i^* = h_i^* + s_i^* + ngo_i^* + fbci^* \quad 2.27$$

Les exportations étant l'un des aspects du commerce extérieur, ils ne sont pas intégrés à la demande finale y_i^* .

3.2.4. Le Compte de production.

Le quatrième tableau est le compte de production qui répertorie les consommations intermédiaires et introduit les valeurs ajoutées par branches v_j . La somme de ces deux lignes donne la production non symétrique de la branche en prix d'achat notée z_j^{B*} :

$$z_j^{B*} = \sum_{i=1}^j x_{ij}^* + v_j^* \quad 2.28$$

Cette production est répartie sur trois lignes suivantes : production marchande, production pour emploi final propre et production non marchande.

La deuxième partie du compte de production reprend la production par branches. Les trois lignes suivantes sont les transferts agricoles, les autres transferts et les transferts totaux u_j (somme des deux lignes précédentes). Les transferts totaux et la production des branches peuvent être notés sous forme de matrice lignes.

$$z_j^{B*} + u_j = z_j \quad 2.29$$

Cette partie du compte de production est très utile pour construire la matrice de production qui, elle, permet d'établir un TES symétrique en prix de base. Il est important de remarquer qu'avec le TES classique en prix d'achat, la relation d'égalité comptable entre lignes et colonnes n'est pas respectée, en effet la présence des marges et des impôts et des productions secondaires (TES non symétrique) empêche de retrouver cette relation.

3.3 Le TES symétrique en prix de base

Ce n'est que récemment que l'INSEE s'est mis à publier le TES symétrique en prix de base ou SIOT (Symetric Input Output Table). Il n'existe que pour les années à partir de 2010.

Le TES symétrique en prix de base est séparé en deux TES, l'un qui est consacré à la production locale z_i^L , l'autre aux répartitions des importations m_i . Ces deux TES sont eux-mêmes constitués chacun de trois tableaux.

3.3.1. La matrice de production :

Il s'agit d'une matrice carrée qui liste en colonne les productions des branches et en ligne les productions par produits. Par exemple, la lecture en colonne indique que la branche j a produit en valeur 100 unités de produits i avec $i = j$ (sa production principale) et 10 unités de produits $i \neq j$ (production secondaire), au total la branche j a donc produit 110 unités. Le total en colonne est donc égal à z_j^B la production des branches non symétrique du TES classique. La lecture en ligne s'interprète ainsi : en valeur 90 unités du produit i ont été produites par la branche j ($j = i$), et 10 unités par une autre branche, ainsi au total 100 unités de i ont été produites. Le total en ligne permet de retrouver z_i .

La matrice de production possède la structure suivante (notons p_{ij} les constituants de la matrice de production).

| | Matrice de production | Productions en produits |
|-------------------------|--|--|
| | $C = \begin{pmatrix} \zeta_{11} & \cdots & \zeta_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \zeta_{i1} & \cdots & \zeta_{ij} \end{pmatrix}$ | $Z = \begin{pmatrix} z_1 = \sum_j \zeta_{1j} \\ \vdots \\ z_i = \sum_j \zeta_{ij} \end{pmatrix}$ |
| Production des branches | $Z^B = \left(z_1^B = \sum_i \zeta_{i1} \quad \cdots \quad z_j^B = \sum_i \zeta_{ij} \right)$ | |

Figure 2-2 : structure de la matrice de production

Les valeurs les plus élevées sont situées sur la diagonale. Celles-ci correspondent aux productions principales (production du produit i par la branche j correspondante, $i = j$) . Les valeurs plus faibles situées dans le reste du tableau indiquent la répartition des productions secondaires.

Le Tableau des entrées intermédiaires locales symétrique au prix de base correspond à la matrice X utilisée pour l'analyse ES. Sa structure est quasiment la même que celle du TES classique, à la différence près que celui-ci est symétrique, c'est-à-dire que chaque branche a une unique production.

3.3.2. Le tableau des emplois finaux local en prix de base.

Il répertorie les demandes finales domestiques. Sa structure est similaire à celle du TES classique : il est composé de la demande des ménages (h_i), celle des administrations (adm_i), celle des ISBLSM (ngo_i), la formation brute de capital ($fbci$) et les exportations (ex_i).

$$y_i = h_i + adm_i + ngo_i + fbci \quad 2.30$$

3.3.3. TES des importations.

Ce TES est lui aussi composé de trois tableaux :

Le premier est celui des ressources en importations au prix de base ; il répertorie les importations de chaque produit en deux colonnes, les importations en provenance de l'UE et les importations hors UE. La somme de ces deux colonnes donne les importations totales m_i .

Le deuxième et le troisième tableau ont la même structure que ceux du TES local. Ils répertorient respectivement les importations intermédiaires et les importations pour la demande finale.

Le deuxième tableau est un TEI qui décrit cette fois la répartition des importations dans les relations interbranches. Les sommes en lignes donnent les importations intermédiaires par produits, les sommes en colonnes donnent les importations intermédiaires par branches.

$$y_i^M = h_i^M + s_i^M + ngo_i^M + fbci_i^M \quad 2.31$$

Le troisième tableau décrit la répartition des importations pour les catégories de demandes finales : la demande des ménages, des administrations, des ISBLSM, de la formation brute de capital, et de l'exportation (importations réexportées, après emballage par exemple). Le total donne les importations pour satisfaire la demande finale.

La relation suivante permet, ensuite, de retrouver le total des importations :

$$m_i = \sum_j x_{ij}^M + y_i^M + ex_i^M \quad 2.32$$

Cette équation décrit la répartition des importations dans l'économie. Le terme ex_i^M correspond à des « exportations importées ». Ce terme pourrait être expliqué par les importations réexportées après reconditionnement. De manière plus générale, ce terme est expliqué par le phénomène de Cross Hauling, décrit par Kronenberg (2009), et qui est causé par l'hétérogénéité des produits. La classification en produit suppose une homogénéité au sein de chaque produit ; en réalité ce n'est pas le cas, ainsi, une région peut importer un produit agricole par exemple et exporter un produit agricole différent, alors que les deux seront comptabilisés dans la même catégorie des produits agricoles.

L'addition des deux TES permet de retrouver le total des ressources r_i ce qui correspond à l'équation (1).

L'addition des deux tableaux permet de retrouver le TES symétrique total en prix de base, qui est celui recherché pour construire le modèle ES étendu à l'environnement.

Cependant, quelques légères différences sur deux secteurs sont observées (HZ : transport et KZ activités financières et assurances) ; elles viennent de la colonne « correction CAB » du TRE qu'il faudra intégrer aux importations.

Il est important de remarquer que les ajouts des marges commerciales et de transport total et le total des subventions ne permettent de retrouver que le total des ressources. La répartition des marges et de l'imposition dans le TEI et dans les catégories de demandes finales est inconnue.

3.4 Transformation d'un TES classique en TES symétrique en prix de base et d'un TES de contenu en importations

Cette section présente la méthode utilisée par l'INSEE (INSEE et al. (2006) dans une note méthodologique détaillant justement comment construire le TES symétrique à destination d'Eurostat. Le TES classique présenté initialement n'est pas adapté au calcul des coefficients techniques. En effet comme les branches qui le constituent sont « impures », c'est-à-dire qu'elles incluent des productions secondaires, la présence de ces productions faussera le calcul des coefficients : la production de certains produits sera sous-estimée, car seule la production principale sera prise en compte, tandis que d'autres seront surestimés par l'ajout involontaire de productions qui n'ont rien à voir avec les productions principales. Les coefficients doivent donc être calculés à partir d'un SIOT, appelé également TES type Leontief.

Dans un TES symétrique, la matrice de production est diagonale : il n'y a plus de productions secondaires, celles-ci ayant été réallouées aux productions principales correspondantes. Ainsi une branche produit un seul produit (ou groupe de produit)(INSEE et al., 2006). C'est un tableau des emplois dont les branches ont été apurées des activités secondaires observées dans le tableau des ressources.

Le passage en prix de base permet de prendre en compte uniquement la valeur de la production, ce qui permet le découplage avec des données environnementales. Si les marges n'étaient pas réallouées, toutes les productions (hors commerce et transport) seraient surévaluées, et les productions du commerce et transport sous-évalués. Le SIOT par produit permet donc de décrire les relations techniques (échanges de produits) à l'intérieur d'une économie.

La méthode de transformation du TES classique en SIOT en prix de base est présentée. Le SEC 1995 recommande pour construire le TES symétrique de partir du TRE (tableau des ressources et des emplois). La note de l'INSEE liste les opérations qui permettent d'obtenir le TES symétrique en prix de base, composé du TES des productions domestiques et du TES des importations.

La première étape consiste estimer le TES en prix de base en retirant les marges commerciales m_{com_i} , de transport m_{trans_i} , ainsi que les impôts nets de subventions t_i . Les marges commerciales sont, en fait, réallouées à la branche commerciale et de transport. En effet dans le TRE, les sommes des marges sont nulles. Celles-ci sont traitées comme un service (donc une production) des branches commerce (GZ) et transport (HZ). Dans le TRE, les montants des marges commerciales et des marges de transports sont négatifs, et égaux à la somme des marges appliquées aux autres branches.

Les impôts nets de subventions sur les produits sont retranchés des emplois par branche. Les impôts sur produits de chaque branche (sommes en colonnes) sont réécrits sous les consommations intermédiaires et les emplois finaux.

Le problème dans notre cas est que le TRE disponible ne détaille pas la ventilation des marges et des impôts nets de subvention et que l'INSEE ne fournit pas de moyen de la retrouver. En utilisant des coefficients d'allocation¹⁵ (ou coefficients de Ghosh), il est possible de retrouver une ventilation satisfaisante. Ces coefficients sont obtenus de manière générale en faisant le rapport avec les cellules du TES et la somme de la ligne correspondante. Le calcul est le suivant :

$$b_{ij} = \frac{x_{ij}}{r_i} \quad 2.33$$

Dans le cas de ce TES, ce sont les valeurs en prix d'achat qui sont utilisés pour calculer ces coefficients :

Pour les productions intermédiaires

$$b_{ij}^* = \frac{x_{ij}^*}{r_i^*} \quad 2.34$$

Pour la demande finale

$$bf_i^* = \frac{y_i^*}{r_i^*} \quad 2.35$$

¹⁵ Les coefficients d'allocation indiquent la répartition de la production par branche. Ils sont calculés à partir des sorties totales (total en ligne) contrairement aux coefficients techniques qui utilisent les entrées totales (total en colonne). Ces coefficients sont initialement présentés et interprétés par Ghosh (1958).

L'application de ces coefficients b_{ij}^* et bf_i^* , aux marges de transport de commerce, et aux impôts nets de subventions t_i , permet de ventiler ces dernières le long du TES.

Le passage en prix de base se fait en retranchant les marges et impôts ventilés des valeurs du TES en prix d'achat.

$$r_i = r_i^* - m_{trans}_i - m_{com}_i - t_i \quad 2.36$$

Les marges de transport et commerciales pour les emplois intermédiaires

$$m_{trans}_{ij} = b_{ij}^* * m_{trans}_i \quad 2.37$$

$$m_{com}_{ij} = b_{ij}^* * m_{com}_i \quad 2.38$$

Et pour les marges de transport pour les emplois finaux :

$$m_{trans}f_i = bf_i^* * m_{trans}_i \quad 2.39$$

$$m_{com}f_{ij} = bf_{ij}^* * m_{com}_i \quad 2.40$$

Ainsi les marges sont réallouées et les impôts soustraits :

Pour les emplois intermédiaires

$$x_{ij} = x_{ij}^* - m_{trans}_{ij} - m_{com}_{ij} - t_{ij} \quad 2.41$$

Et pour la demande finale :

$$y_i = y_i^* - m_{trans}f_i - m_{com}f_i - t f_i \quad 2.42$$

Une fois le TES converti en TES en prix de base, la deuxième étape consiste à rendre symétrique le TEI. Pour cela, il faut multiplier la matrice du TEI obtenue à l'étape précédente (même structure que le TES classique, mais exprimée en prix de base), par la transposée de la matrice de production exprimée en pourcentage. C'est l'hypothèse de technologie par secteur d'activité qui suppose que la structure des intrants est la même à l'intérieur d'un secteur d'activité, quels que soient les produits vendus par ce secteur d'activité. Le TES symétrique en prix de base est ainsi obtenu. Dans celui-ci, les ressources par produits (sommés en colonnes) sont égales aux emplois par produits (sommés en lignes).

En multipliant la matrice des emplois intermédiaires en prix de base par la transposée de la matrice de production, le TES symétrique au prix de base est obtenu. Cette opération réalloue les transferts de productions secondaires aux productions primaires correspondantes, les branches

peuvent donc être considérées comme « pures » c'est-à-dire qu'une branche a une unique production.

$$x_{ij} = x_{ij}^* \cdot \left(\frac{\zeta_{ji}}{z_{ij}^B} \right) \quad 2.43$$

La troisième étape consiste à éclater ce SIOT pour séparer la production domestique des importations. L'INSEE et al. (2006) utilise l'hypothèse de proportionnalité, c'est-à-dire que le pourcentage d'import est le même pour tous les emplois finaux (conformément à la méthode des ratios). En s'appuyant sur les équilibres ressources emplois au niveau le plus désagrégé, la part des importations dans chaque branche est estimée, ce qui permet à l'analyste de retrouver le tableau des importations. Cette opération permet alors d'obtenir le SIOT national en prix de base.

À travers cette section, les structures du TES national classique et symétrique en prix de base ont été présentées, ainsi que la méthode de passage de l'un à l'autre. Cependant, l'objectif de ce travail de thèse est d'analyser les relations entre un bassin fluvial et l'économie implantée sur ce territoire, à travers le cas du bassin fluvial de l'estuaire de la Seine. Jusqu'ici, les TES présentés le sont uniquement à l'échelle nationale, ce qui ne correspond pas à notre cas d'étude. La section suivante est donc consacrée à la méthodologie de régionalisation utilisée pour construire un TES régional représentant l'économie de l'estuaire.

4. Régionalisation du TES

Nous présentons maintenant la méthodologie de régionalisation du TES. Il s'agit de construire un TES régional à partir du TES national et d'une méthode sans enquête.

La méthode de régionalisation proposée permet de construire le TES à partir d'une série d'étapes successives de mise à l'échelle et d'ajustement. La distinction entre l'échelle régionale et nationale est faite dans la notation, par un R (Régional) ou un N (National) en exposant. L'origine (production domestique ou importation) est caractérisée pour une valeur strictement domestique par un exposant RR , pour les importations originaires d'une autre région française, par un exposant MR et en provenance de l'extérieur de la France par un exposant XR .

Le processus de régionalisation est présenté sous la forme d'une série d'étapes permettant de retrouver un à un les constituants du SIOT régional. De manière résumée, le processus est le suivant : tout d'abord, dans une étape préliminaire, le SIOT en prix de base national est construit si besoin est, incluant un SIOT domestique et un SIOT des importations. Ensuite, les demandes finales y_i^R est estimée, puis la production régionale grâce aux valeurs ajoutées régionales. Les étapes suivantes permettront de retrouver les importations interrégionales m_i^{MR} et extranationales

m_i^{XR} , puis les ressources totales r_i^R de l'économie. Enfin la dernière étape permet d'estimer les exportations, puis d'ajuster le TES pour retrouver les valeurs régionales observées.

Étape 1 : régionalisation de la demande finale

Cette étape repose sur l'hypothèse selon laquelle le panier moyen des ménages est le même entre le niveau national et régional. La consommation des ménages h_i^R est alors régionalisée au prorata de la population régionale pop_i^R .

$$\frac{h_i^R}{pop_i^R} = \frac{h_i^N}{pop_i^N} \quad 2.44$$

$$h_i^R = \frac{h_i^N}{pop_i^N} pop_i^R \quad 2.45$$

Idem pour les ISBLSM, ils sont supposés proportionnels à la population. On suppose que l'activité des ONG est proportionnelle à la population du territoire.

$$ngo_i^R = \frac{ngo_i^N}{pop_i^N} pop_i^R \quad 2.46$$

Les dépenses des administrations sont supposées proportionnelles au nombre de fonctionnaires employés. La consommation des administrations adm_i^R est donc régionalisée au prorata du nombre de fonctionnaires fct_i^R ,

$$\frac{adm_i^R}{fct_i^R} = \frac{adm_i^N}{fct_i^N} \quad 2.47$$

$$adm_i^R = \frac{adm_i^N}{fct_i^N} fct_i^R \quad 2.48$$

- La formation brute de capital FBC est calculée au prorata à la production. L'hypothèse est que l'investissement (de renouvellement, de modernisation et d'expansion) est donc proportionnel à la production et que cette proportion est identique sur tout le territoire national et donc ne varie pas suivant les régions. Ainsi, que ce soit au niveau national ou régional les équipements ont besoin d'être remplacés au même rythme et la propension à moderniser et à se développer des entreprises est homogène au niveau national :

$$\frac{fbc_i^R}{z_i^R} = \frac{fbc_i^N}{z_i^N} \quad 2.49$$

$$fbc_i^R = \frac{fbc_i^N}{z_i^N} z_i^R \quad 2.50$$

La demande finale est ainsi obtenue :

$$y_i^R = h_i^R + adm_i^R + ngo_i^R + fbc_i^R. \quad 2.51$$

Il faut également séparer les importations interrégionales y_i^{MR} pour la demande finale des emplois finaux d'origine strictement domestique y_i^{RR} . Pour cela, la méthode des SLQ est utilisée. La règle de décision est la suivante :

$$y_i^{RR} = \begin{cases} (SLQ_i^R)y_i^R & \text{si } SLQ_i^R < 1 \\ y_i^R & \text{si } SLQ_i^R \geq 1 \end{cases}$$

Et les importations pour la demande finale :

$$y_i^{MR} = \begin{cases} (1 - SLQ_i^R)y_i^R & \text{si } SLQ_i^R < 1 \\ 0 & \text{si } SLQ_i^R \geq 1 \end{cases}$$

Cette dernière étape permet de séparer la production domestique et les importations interrégionales à destination de la demande finale.

Étape 2 : estimation de \mathbf{Z}' : la production de produits domestiques + importations interrégionales.

L'INSEE fournit la valeur ajoutée brute pour les anciennes régions. L'hypothèse est faite que les facteurs de production sont rémunérés de la même manière au niveau national et régional. C'est l'hypothèse d'unicité de technologie : les branches utiliseraient des technologies semblables pour produire au niveau national et régional, et produisent ainsi les mêmes proportions de productions primaires et secondaires. La relation suivante peut alors être introduite

$$\frac{v_j^R}{z_j^{BR}} = \frac{v_j^N}{z_j^{BN}} \quad 2.52$$

Ainsi :

$$z_j^{BR} = \frac{v_j^R}{v_j^N} z_j^{BN} \quad 2.53$$

Les productions des branches z_j^{BR} sont retrouvées. En multipliant z_j^{BR} par les composants de \mathcal{C} (exprimée en pourcentage) correspondants, la matrice de production régionale en valeur est obtenue. Les sommes en lignes permettent donc de retrouver une première estimation de la production régionale incluant les importations interrégionales $z_i'^R$.

La production des produits $z_i'^R$ est calculée initialement à partir d'un ratio national et de la valeur ajoutée brute. Cette production n'inclue donc pas les importations extranationales m_i^{XR} à destination de la région étant donné qu'elle est calculée uniquement à partir de la production nationale. Cependant elle contient encore les importations interrégionales en provenance des autres régions de France. Ces importations ne peuvent pas être mesurées à partir du TES national qui considère le territoire comme un tout homogène, les échanges « internes » entre régions sont donc inclus dans cette production estimée. L'étape suivante explique la méthode utilisée pour séparer la production strictement régionale des importations interrégionales.

Étape 3 : régionalisation de la matrice \mathbf{A} et calcul des relations interbranches strictement régionales

La production calculée à l'étape précédente décrit ce que serait la production régionale si elle était une homothétie de l'économie nationale. Il s'agit ainsi d'une « simple mise à l'échelle » des productions par branches au prorata de la valeur ajoutée. Dans la littérature sur les premières applications de la régionalisation, cette étape aurait été la dernière : on aurait simplement appliqué les coefficients techniques nationaux à cette production, ce qui aurait fourni une estimation des échanges interbranches régionaux.

Cependant, la prise en compte de deux aspects permet d'affiner cette méthode : tout d'abord, comme exposé précédemment, la production estimée au prorata de la valeur ajoutée intègre les importations interrégionales, ce qui implique que la production régionale estimée jusqu'ici doit être éclatée entre production locale et importations interrégionales. Ensuite, comme le soulignent Flegg and Tohmo (2013) l'utilisation des coefficients techniques nationaux au niveau régional n'est pas idéale : une région pouvant être spécialisée dans une production, et ainsi avoir certains coefficients techniques supérieurs aux coefficients nationaux.

Dans cette étape, la matrice \mathbf{A} des coefficients techniques nationaux est modifiée pour trouver les coefficients régionaux en utilisant la méthode des AFLQ (*Advanced Flegg Location Quotient*). Cette méthode permet de déterminer les coefficients régionaux, mais également, couplé avec l'étape 4, d'éclater la production Z^R entre production locale et importations interrégionales. La méthode pour déterminer les coefficients techniques régionaux (locaux) est la suivante :

Initialement, les $AFLQ_{ij}$ doivent être calculés :

$$AFLQ_{ij} = CILQ_{ij} \cdot \lambda \cdot [\log_2(1 + SLQ_j)]$$

Les $CILQ_{ij}$ sont les Cross-Industry Location Quotients calculés ainsi :

$$CILQ_{ij} = \frac{v_i^R/v_i^N}{v_j^R/v_j^N}$$

Les SLQ_j correspondent aux Simple Locations Quotients, calculés ainsi :

$$SLQ_j = \frac{v_j^R/\sum_j v_j^R}{v_j^N/\sum_j v_j^N}$$

Ces quotients sont présentés en détail par Flegg and Tohmo (2013b), Flegg et al. (1995), et Miller and Blair (2009). Le coefficient λ est un coefficient de pondération qui reflète le poids de la région étudiée dans l'économie nationale. Il est calculé ainsi :

$$\lambda = \left(\log_2 \left[1 + \frac{\sum_j v_j^R}{\sum_j v_j^N} \right] \right)^\delta$$

Le terme δ est fixé à 0,3 comme le préconise la littérature (Miller and Blair, 2009). Cette valeur, déterminée empiriquement, semble fonctionner dans de nombreux cas. Kowalewski (2015) approfondit sur ce coefficient en proposant un terme δ spécifique par branche.

La règle de décision suivante est ensuite appliquée :

$$a_{ij}^{RR} = \begin{cases} (FLQ_{ij})a_{ij}^N & \text{si } FLQ_{ij} < 1 \\ (AFLQ_{ij})a_{ij}^N & \text{si } FLQ_{ij} \geq 1 \end{cases}$$

Ces composants a_{ij}^{RR} expriment alors la proportion d'intrants produits domestiquement dans la production z_j^R . Ils constituent alors la matrice A^{RR} la matrice des coefficients techniques strictement régionaux.

La multiplication de Z'^R par A^{RR} donne la matrice X^{RR} c'est-à-dire la matrice des emplois intermédiaires strictement domestiques. La somme en colonne exprime les consommations intermédiaires et la somme en ligne, les emplois intermédiaires strictement régionaux.

Étape 4 : estimation les importations interrégionales.

Il s'agit d'une étape similaire à l'étape précédente, mais en utilisant l'inverse des AFLQ, afin de retrouver cette fois la proportion des importations interrégionales contenues dans Z' . Ainsi si la méthode des AFLQ permet de retrouver la proportion de productions locales contenues dans la production régionalisée, la proportion inverse (si elle est inférieure à 1¹⁶) indique donc les importations interrégionales requises pour compenser une production insuffisante. Si le $AFLQ_{ij}$ est supérieur ou égal à 1, la production intermédiaire x_{ij} est supérieure ou suffisante à la demande intermédiaire correspondante et il n'y a pas besoin de la compenser par des importations pour subvenir à la demande, donc les importations interrégionales pour cette case, seront considérées comme nulles.

La règle de décision est la suivante :

¹⁶ Si le $AFLQ_{ij} < 1$, cela indique que le coefficient technique a_{ij}^R associé sera inférieur au niveau requis pour satisfaire la demande (ce niveau requis correspondant, par hypothèse, au coefficient technique national), la production intermédiaire x_{ij} sera donc inférieure à ce qu'elle devrait être pour répondre à la demande. La région devra donc importer la différence pour compenser.

$$a_{ij}^{MR} = \begin{cases} FLQ_{ij} < 1, a_{ij}^{MR} = (1 - AFLQ_{ij})a_{ij}^N \\ FLQ_{ij} \geq 1, a_{ij}^{MR} = 0 \end{cases}$$

Ces composants a_{ij}^{MR} expriment alors la proportion d'intrants importés d'autres régions dans la production z_j^* . Ils constituent alors la matrice A^{MR} la matrice des coefficients techniques des importations interrégionales intermédiaires.

Les importations interrégionales intermédiaires sont obtenues ainsi :

$$a_{ij}^{MR} * z_j^* = x_{ij}^{MR} \quad 2.54$$

En additionnant les emplois intermédiaires strictement régionaux et les importations intermédiaires interrégionales, la relation suivante peut être écrite :

$$x_{ij}^{RR} + x_{ij}^{MR} = a_{ij}^N * z_j^* = x_{ij}^{NR} \quad 2.55$$

C'est-à-dire la répartition des ressources provenant uniquement du pays (productions et importations interrégionales) dans les emplois intermédiaires de la région.

Les étapes 3 et 4 permettent ainsi de séparer les productions et importations interrégionales intermédiaires contenues dans la production estimée Z^{NR} .

Étape 5 : estimer les importations extranationales.

Des importations extranationales \tilde{m}_i^{xR} temporaires sont calculées (l'accentuation \sim dénote une valeur temporaire qu'il faudra sûrement corriger dans une étape d'ajustement suivante). Pour cela, la méthode des ratios est utilisée : la proportion d'importations extranationales dans les ressources soit supposée identique entre le niveau national et régional.

$$\frac{\tilde{m}_i^{xR}}{\hat{r}_i^R} = \frac{m_i^N}{r_i^N} \quad 2.56$$

Qui est transformée ainsi :

$$\tilde{m}_i^{xR} = r_i^R * \frac{m_i^N}{r_i^N} \quad 2.57$$

Comme \tilde{r}_i^R , la première version des ressources, est inconnue, le rapport entre la production et les ressources est utilisé. Ce dernier est initialement supposé identique entre l'échelle nationale et régionale.

$$\tilde{r}_i^R = \frac{r_i^N}{z_i^*} * z_i^* \quad 2.58$$

La relation suivante décrit alors la répartition des ressources entre la production et les importations. Il s'agit ici de valeurs temporaires non corrigées :

$$z_i^R + \tilde{m}_i^{xR} = \hat{r}_i^R \quad 2.59$$

Ces importations extranationales sont ensuite ventilées dans le TES en utilisant des coefficients d'allocation b_{ij} en fonction de ressources. Cette ventilation permet alors de déterminer les importations extranationales destinées à la consommation intermédiaire, et celles destinées à la consommation finale.

Étape 7 : Exportations

Dans cette partie, il s'agit d'estimer les exportations et de corriger la matrice colonne R^R pour éviter les exportations négatives. La méthode utilisée ici est celle des *commodity balances*. La variable d'ajustement sera les importations extranationales.

Les deux expressions des ressources : $r_i^R = z_i^R + m_i^{MR} + m_i^{xR}$ et $\tilde{r}_i^R = \sum_{i=1}^i x_{ij}^R + y_i^R$ (ressources sans les exportations) sont comparées et la règle de décision suivante est appliquée :

- Si $r_i^R \geq \tilde{r}_i^R$ alors $\hat{r}_i^R + ex_i^R = r_i^R$.
- Si $r_i^R < \tilde{r}_i^R$, alors, r_i^R doit être corrigé (car les exportations seront négatives), en ajoutant la correction $\tilde{r}_i^R - r_i^R$ aux importations extranationales m_i^{xR} .

La correction des ressources r_i^R permet de calculer les exportations en réallouant les exportations négatives qui s'interprètent comme des importations supplémentaires non mesurées par le processus de régionalisation :

$$ex_i^R = r_i^R - \sum_{j=1}^j x_{ij}^R - y_i^R \quad 2.60$$

Ces exportations doivent permettre de retrouver l'équilibre emplois ressources :

$$r_i^R = z_i^R + m_i^{MR} + m_i^{xR} \quad 2.61$$

Étape 8 : répartition des importations supplémentaires issues de l'étape précédente

Il reste à répartir les importations extranationales supplémentaires calculées à l'étape précédente, pour avoir un TES complet qui respecte l'équilibre emplois ressources. Elles sont ajoutées aux importations extrarégionales calculées dans l'étape 6. Puis elles sont ventilées dans le TES des importations extranationales grâce aux coefficients d'allocation b_{ij} .

En additionnant ce tableau des importations extranationales au tableau précédemment utilisé, le TES régional incluant toutes les importations est obtenu.

Étape 9 : calcul de la valeur ajoutée

La valeur ajoutée est la production z_j à laquelle les consommations intermédiaires sont retranchées.

$$v_j^R = z_j^R - \sum_i x_{ij}^R \quad 2.62$$

Cependant, il est peu probable que les opérations de régionalisation conduisent à retrouver la valeur ajoutée brute observée. Il est même possible de trouver des valeurs ajoutées brutes négatives avec ce calcul. La succession de transformations de mise à l'échelle, et les méthodes de correction, reposent sur de nombreuses hypothèses, qui, si elles donnent un cadre pour obtenir une première estimation, ne permettent pas de retrouver les données initiales. C'est un problème courant dans la littérature sur la régionalisation. Cependant, il faut noter que s'il est extrêmement difficile de retrouver les valeurs observées, cette première estimation semble fournir un portrait qui respecte la structure en proportion de l'économie régionale. Il s'agit donc d'ajuster les grandeurs estimées jusqu'ici pour retrouver les données observées.

Les relations interbranches régionales sont estimées grâce à la méthode des AFLQ, à partir de données régionales observées. On suppose donc que ces dernières sont correctement estimées.

La production z_j' est estimée en supposant que le rapport entre la valeur ajoutée et la production est constant que ce soit au niveau national ou régional. Cette hypothèse de départ montre ici ces limites. En effet, la production régionale n'est pas en réalité une homothétie parfaite de la production nationale. Des spécificités régionales (la qualification de la main d'œuvre, le niveau d'investissement, le niveau de vie, le taux de chômage, la spécialisation industrielle...) vont influencer le rapport entre valeur ajoutée et production régionale de telle sorte à ce que celui-ci ne corresponde pas à ce même rapport au niveau national.

L'étape suivante propose donc une méthode permettant de calculer la production z_j^R (production corrigée), de telle sorte à ce que celle-ci permette de retrouver les valeurs ajoutées observées, tout en respectant l'égalité emploi/ressource.

Étape 10 : ajustement des exportations finales du modèle régionalisé

Une fois les étapes précédentes réalisées, le TES régional obtenu, même s'il est satisfaisant théoriquement, il ne permet pas de retrouver les valeurs ajoutées observées.

Ainsi, le commerce extérieur estimé au moyen des prorata nationaux n'est pas aussi bon que l'on pourrait le souhaiter. En s'inspirant de Catin and Nicolini (2005) qui contraignent leur modèle pour retrouver exactement la valeur ajoutée régionale observée par l'INSEE, une dixième étape de régionalisation permet de retrouver les valeurs ajoutées brutes observées.

Dans la méthode de régionalisation développée ici, le commerce extérieur est considéré comme la variable d'ajustement. Il représente le surplus (exportations)/déficit(importations) d'activité économique dans la région. La demande finale, et les consommations intermédiaires

estimées à partir de valeurs régionales exogènes (population, nombre de fonctionnaires) ne sont donc pas concernées par cet ajustement.

Il s'agit de déterminer les exportations/importations supplémentaires qui vont venir ajuster les productions régionales par branches z_i afin de retrouver les valeurs ajoutées observées. Cet ajustement se fait d'une manière itérative similaire à la méthode RAS de Stone, mais de manière légèrement plus simple. Il s'agit d'ajuster les exportations supplémentaires par un processus itératif de telle sorte à ce que la production z_i et le TES final permettent de retrouver exactement les valeurs ajoutées observées par l'INSEE.

Le terme (n) indique que la variable concernée est soumise à un processus d'opérations itératives, et le n indique le numéro de l'itération en cours. Le $ex_i(n)$ désigne les exportations supplémentaires ajoutées à la production régionale, si cette variable est négative, cela indique des importations supplémentaires qui sont alors ajoutées aux importations du modèle.

En reprenant la relation de la production locale initiale (2.12) :

État initial :

$$\sum_j x_{ij}^L + y_i^L + ex_i(0) = z_i^L(0) \quad (2.12)$$

$$z_i^L = z_i^L(0) \quad (2.12.1)$$

$$z_i^L(0) - \sum_i x_{ij} = v_i(0) \quad (2.12.2)$$

Cette valeur ajoutée $v_i(0)$ est celle mesurée par le TES régionalisé uniquement à partir des étapes précédentes. Celle-ci (valeur de départ) qui est très certainement différente de la valeur ajoutée observée (valeur objectif) dans les sources de données notée $v_i(\text{observée})$.

Itération (1)

$$ex(1) = v_i(\text{observée}) - v_i(0) \quad (2.12.3)$$

$$\sum_j x_{ij}^L + y_i^L + ex_i(1) = z_i^L(1) \quad (2.12.4)$$

$$z_i^L(1) - \sum_i x_{ij} = v_i(1) \quad (2.12.5)$$

$$v_i(\text{observée}) - v_i(1) = ex_i(2) \quad (2.12.6)$$

Itération 2 :

$$\sum_j x_{ij}^L + y_i^L + ex_i(2) = z_i^L(2) \quad (2.12.4')$$

$$z_i^L(2) - \sum_i x_{ij} = v_i(2) \quad (2.12.5')$$

$$v_i(\text{observée}) - v_i(2) = ex_i(3) \quad (2.12.6')$$

Itération n :

$$\sum_j x_{ij}^L + y_i^L + ex_i(n-1) = z_i^L(n) \quad (2.12.4^n)$$

$$z_i^L(n) - \sum_i x_{ij} = v_i(n) \quad (2.12.5^n)$$

$$v_i(\text{observée}) - v_i(n) = ex_i(n) \quad (2.12.6^n)$$

Et ainsi de suite, jusqu' à ce que $\frac{v_i(n)}{v_i(\text{observée})} \approx 1$. La production régionale ainsi ajustée devrait alors permettre de retrouver exactement la valeur ajoutée régionale.

Cette méthode a cependant un problème : dans le cas où la production initiale est sous-évaluée, la méthode d'ajustement des exportations conduira à des exportations positives supplémentaires permettant d'augmenter la valeur ajoutée pour qu'elle corresponde exactement à celle observée.

L'autre cas est celui où la production locale est surévaluée, et donc la méthode d'ajustement conduit à des exportations négatives (qui peuvent être considérées comme des importations supplémentaires) qui viennent « diminuer » la production pour que la valeur ajoutée s'ajuste sur la valeur ajoutée observée.

Nous proposons une dernière étape d'ajustement qui résout ce problème d'exportations négatives qui peuvent conduire à des coefficients d'allocation supérieurs à 1 (ils sont par définition inférieurs à 1), ce qui peut se traduire dans la version environnementale par des consommations d'eau négatives, et des consommations finales directes supérieures à la consommation totale directe de la branche.

Étape 11 : Importations intermédiaires supplémentaires

Les exportations ajustées négatives apparaissent sur les branches pour lesquelles la production z_i^L est « trop élevée ». La méthode d'ajustement précédente conduit donc à réduire cette production pour qu'elle permette de retrouver la valeur ajoutée observée (équations 2.12.2 et 2.12.5).

Ces exportations négatives peuvent être également interprétées comme des importations supplémentaires. Ainsi, en ajoutant des importations intermédiaires supplémentaires, les consommations intermédiaires des branches vont augmenter, réduisant ainsi la valeur ajoutée pour qu'elle corresponde à la production z_i^L . Étant donné que les importations interrégionales sont calculées à partir de la méthode AFLQ, nous considérons que ces importations sont correctement calculées. Les importations supplémentaires sont donc supposées être des importations internationales.

Tout d'abord, dans la colonne des exportations ajustées, les valeurs négatives sont remplacées par des valeurs nulles. Ainsi, les valeurs ajoutées des branches concernées par ces exportations devraient être supérieures à celles observées.

Pour les branches concernées par les exportations négatives, la différence entre la transposée de la production en ligne (il s'agit de la somme des productions distribuée par une branche à toutes les autres) et la valeur ajoutée de référence $v_i(\textit{observée})$ (donnée de manière exogène) détermine le volume « en trop » dans la valeur ajoutée : le *surplus de valeur ajoutée*. C'est-à-dire les consommations intermédiaires supplémentaires à insérer dans le TES.

Ce volume correspond à la somme des importations intermédiaires et non la somme des importations totales. Il faut donc paramétrer le volume d'importation total, qui, multiplié par les coefficients techniques d'importation α_{ij}^{XR} permettra de retrouver le volume d'importation intermédiaire nécessaire pour compenser *surplus de valeur ajoutée*

En retranchant à ce surplus, la somme des consommations intermédiaires locales $\sum_i x_{ij}^L$ et des importations intermédiaires interrégionales $\sum_i x_{ij}^{MR}$, la valeur des importations intermédiaires internationales $\sum_i x_{ij}^{XR}$ est obtenue.

En divisant celle-ci par la somme des coefficients techniques d'importation (*taux de consommation intermédiaire des importations* = $\sum_i \alpha_i^{XR}$), le volume total d'importations à répartir dans le TEI des importations internationales est obtenu.

Ce dernier est alors ventilé en colonne pour chaque branche ayant des exportations négatives grâce aux coefficients techniques d'importations (la somme en colonne doit permettre de retrouver exactement la valeur des importations intermédiaires internationales $\sum_i x_{ij}^{XR}$ calculée à l'étape précédente), recréant ainsi un TEI des importations internationales. Ces nouvelles importations intermédiaires font donc augmenter les consommations intermédiaires des branches, réduisant ainsi les valeurs ajoutées pour qu'elles coïncident avec les valeurs observées.

En additionnant ce TEI aux autres TEI (local et interrégional), le TEI total final est obtenu. Il permet de retrouver exactement les valeurs ajoutées observées, tout en ne contenant aucune données négatives. Il peut alors être intégré au TES.

Les coefficients techniques calculés à partir du TES final obtenus par la dernière étape peuvent être alors considérés comme les plus proches des coefficients techniques régionaux « véritables » inobservés.

En répétant ces étapes pour chaque année disponible, une série de TES représentant l'économie haute normande, pour la période 2004-2014, est ainsi créée.

5. Application de l'extension du TES à l'environnement,

Théoriquement, cette construction en utilisant la méthode ES généralisée apparaît simple et directe. Cependant son application repose sur la disponibilité des impacts environnementaux directs wd_i compatible avec le modèle ES économique. Ces impacts environnementaux directs wd_i permettent ensuite de construire les coefficients d'impacts indirects e_i^D . Ces deux grandeurs sont donc au cœur de la construction du modèle ES environnemental. Cependant la confrontation des besoins du modèle théorique aux contraintes de la réalité en vue d'une application réelle soulève des difficultés. L'objectif de cette section est donc de présenter une méthode pour concilier les données environnementales disponibles et un modèle ES économique.

En effet, les grandeurs économiques d'un modèle ES sont mesurées en unités économiques produites par branches économiques (définis par les systèmes de compte nationaux).

Les données environnementales peuvent être construites suivant d'autres types de découpages que le découpage par branches productrices : par type de polluants, par usage (ex : la nomenclature SANDRE¹⁷ qui répertorie les volumes d'eau par usages : irrigation, refroidissement, etc., et par masse d'eau), et sont donc souvent répertoriés sous des nomenclatures techniques différentes de la nomenclature économique. La différence de nomenclature rend ainsi toute utilisation directe des données impossible.

Les données peuvent être également lacunaires. Un travail préalable d'étude des données disponibles est donc nécessaire afin de déterminer les données disponibles et la manière de construire une matrice d'impacts environnementaux directs satisfaisante.

Dans cette partie, les sources de données environnementales principales seront initialement présentées, ainsi que les principales méthodes possibles pour adapter, corriger ou compléter ces données environnementales afin de les faire correspondre au modèle ES économique.

Ensuite, la méthodologie de construction de la matrice des impacts environnementaux directs est présentée.

En effet, la plupart des sources de données environnementales fournissent les prélèvements d'eau qui ne correspondent pas aux utilisations d'eau requises pour calculer e_i^D . Les prélèvements correspondent aux volumes prélevés directement dans la nature par les branches. Cependant, certaines branches (en particulier les services) ainsi que la majorité des composants de la demande finale ne prélèvent pas d'eau, mais sont approvisionnés par un réseau de distribution, ce qui ne permet pas de déterminer leurs coefficients d'impact environnemental direct.

¹⁷ Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau

Le problème posé par les données de prélèvements est que le volume prélevé par le réseau de distribution est important, tandis que les utilisations de l'eau des branches et de la demande finale liées à ce réseau n'apparaissent pas. Il faut donc répartir ce volume prélevé par la branche distributrice d'eau entre les autres composants de l'économie pour représenter leurs consommations d'eau.

La répartition de ce volume est la principale difficulté rencontrée par les analystes. Si la littérature est riche d'un point de vue théorique, la technique de la « boîte noire » est souvent utilisée concernant le détail des applications.

La méthode la plus répandue est de répartir ce volume au prorata d'une grandeur économique, en général la production. Le principal défaut de cette méthode est qu'en l'utilisant pour désagréger les consommations d'eau, les coefficients d'impact environnementaux des branches concernées seront identiques, limitant ainsi la portée de l'analyse.

Dans cette partie, une variation de cette méthode consistant à utiliser les relations économiques entre la branche distributrice d'eau (les coefficients d'allocation) et les autres branches est présentée. Cette variation méthodologique est une contribution méthodologique sur l'application du modèle ES étendu à l'environnement. Celle-ci concerne la construction des données d'utilisation de l'eau, et le calcul du coefficient d'impact direct e_i^D . En répartissant ce volume en proportion de ces relations, les utilisations de l'eau des branches concernées deviennent proportionnelles à leurs achats auprès du dit réseau de distribution et non plus proportionnelles à leur production, ce qui permettra d'obtenir des coefficients d'impacts environnementaux uniques pour chaque branche.

5.1 Sources de données

Cette sous-section répertorie les principales bases de données environnementales disponibles au niveau régional et national. Les données utilisées dans ce travail de thèse sont issues de ces bases de données.

5.1.1. Eurostat

La première source de données utilisable est Eurostat, le producteur de statistique européenne. Les données sur l'eau fournies par cet organisme sont construites à partir du « Data collection Manual for OECD/Eurostat Joint Questionnaire On Inland Waters », ou abrégé en Joint Questionnaire on Inland Water Manual (JQ IWM). Ce manuel/questionnaire est envoyé aux instituts de statistiques nationaux dans le but de construire une base de données unifiée sur l'eau à l'échelle mondiale. Ce manuel expose également les méthodes et les bonnes pratiques

utilisables par les instituts de statistiques pour collecter et traiter les données de l'eau dans leurs pays respectifs.

Les données fournies par Eurostat sur l'eau répertorient les utilisations de l'eau au niveau national par activités économiques suivant la nomenclature CPA qui appartient à la nomenclature européenne NACE rev 2 et donc compatible avec la NAF 38 (Nomenclature d'Activité française) du TES national de l'INSEE. Ces utilisations de l'eau sont en théorie réparties en fonction de l'origine de l'eau : soit prélevée soit fournie par un réseau public (Public water supply). Cependant dans la base de données, les utilisations par activités économiques sont toutes répertoriées dans la partie prélèvement, et seule la consommation d'eau des ménages est répertoriée dans la partie « Public water supply ».

Ainsi, dans le cas de Eurostat, étant donné que les volumes d'eau répertoriés sont les utilisations de l'eau, ces volumes peuvent être directement utilisables en tant qu'impact environnemental direct.

La base de données de Eurostat agrège les utilisations d'eau de plusieurs branches similaires en une seule. Cependant, les codes CPA correspondant à ces agrégations sont donnés ce qui permet d'assurer la correspondance entre données environnementales et économiques.

Les utilisations sont d'abord regroupées par catégorie d'approvisionnement :

Supplied : cette catégorie regroupe les consommations des ménages.

Self and other water supply : ces données répertorient les utilisations directes des branches répertoriées :

- Agriculture, activités forestières et pêche (A) : branche AZ
- Industries and Construction (B-F) somme des consommations des branches industrielles BZ à FZ (incluant DZ, excluant EZ)
- Mines et carrières (industries extractives) : BZ
- Production et distribution d'électricité D3511 D3513 : DZ
- Production et distribution d'électricité (uniquement pour des besoins de refroidissement) D3511 D3513_CL : DZ, cette ligne est une sous-catégorie de la ligne précédente.
- Construction F : FZ
- Services (G à U) : Consommation agrégée des branches GZ à TZ

La base de données précédente donne la consommation agrégée de l'industrie (C). Des données complémentaires détaillent les utilisations d'eau des différentes industries :

- Production de nourriture et boissons (C10 C11) : branche CA
- Production de textiles, vêtements et cuirs (C13 C15) : Branche CB
- Manufacture de papier et produits à base de pâtes à papier C17 : branche CC
- Cokéfaction, raffinage, produits chimiques, produits pharmaceutiques (C19-C21) : Consommation agrégée des branches CD, CE et CF

- Métallurgie C24 : CH
- Manufacture de matériel de transport C29 C30 : branche CL
- Autres manufactures : C_OTH (C15, C23, C27, C31, C32, C33) : branches CG, CI, CJ, CK, CM agrégées

Les données du secteur eau et dépollution ne sont pas directement accessibles. L'utilisation de la branche eau et dépollution (EZ, code nace rev 2 : 36 à 38) peut être calculée à partir du volume total fourni par un réseau de distribution (Public water Supply) et du volume fourni aux ménages. La différence correspond alors à une estimation de l'utilisation d'eau par la branche EZ (À dire d'expert ; Correspondance avec Pernille Schnoor Clausen, Eurostat). L'avantage de ces données est d'être directement compatibles avec la nomenclature NAF 38 et d'être utilisables directement étant donné qu'elles répertorient directement les utilisations de l'eau. Ces données sont utilisées pour calculer les coefficients d'impact environnemental au niveau national, fournissant ainsi des points de comparaison avec les coefficients environnementaux régionaux.

5.1.2. Les Agences de l'eau

Les agences de l'eau mettent en place les schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE). Elles sont notamment en charge de la gestion de l'eau au niveau d'un bassin fluvial et perçoivent les taxes sur l'eau qui leur permettent de mettre en place les mesures de protection du bassin. Leur rôle leur permet donc de disposer des volumes prélevés par point de prélèvements et par compteur et par code NAF au niveau de leur bassin versant respectif.

Les données fournies par l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN) répertorient ainsi les prélèvements de 25 branches correspondantes à la nomenclature NAF 38. L'agriculture, les industries et l'énergie prélèvent effectivement de l'eau pour l'irrigation ou l'usage industriel (principalement le refroidissement). Cependant, les prélèvements de certaines autres branches sont moins évidents à expliquer. Certaines entreprises appartenant à des branches de services peuvent ainsi avoir leur propre point de prélèvement. L'étude du code NAF du titulaire du site et l'étude des activités économiques de la commune où est situé le site d'extraction suffisent généralement à justifier ce volume d'eau. Par exemple : dans le cas du bassin Seine Normandie, des prélèvements de la branche enseignement (PZ) ont été répertoriés. Une rapide recherche sur les activités implantées dans les communes où sont implantés les points d'extraction permet de déterminer qu'il s'agit d'utilisation d'eau par des lycées agricoles.

Les volumes répertoriés par l'AESN sont les prélèvements d'eau. Ils ne correspondent donc pas directement aux utilisations d'eau par les branches. Elles devront donc être transformées

pour correspondre aux utilisations de l'eau par branche. La méthodologie de transformation est celle évoquée dans la sous-section 5.3 suivante.

Ces données sont les plus fiables (ce sont des mesures directes au compteur), les mieux localisées (elles correspondent parfaitement au territoire de l'estuaire), et fournies par l'organisme observateur direct (l'AESN). Elles sont donc au cœur de la construction du TES environnemental régional qui découlera de cette méthodologie, constituant la base de données environnementales principale. Elles seront complétées et comparées aux données de la Banque Nationale des Prélèvements en eau qui sont présentées à la suite.

5.1.3. La Banque Nationale des Prélèvements en Eau (BNPE)

Ces données listent les prélèvements par entreprise, commune ou organisme préleveur sur le territoire national par type d'utilisation de l'eau (Irrigation, refroidissement, Alimentation en eau potable, industrie). Ces données sont disponibles au niveau régional et national, il s'agit des données correspondant à un échantillon de sites d'extraction d'eau construit à partir des données des agences de l'eau. Ces données correspondent en grande partie aux données de l'AESN.

Cependant, cette base de données ne répertorie pas les codes NAF auxquels sont rattachés les organismes préleveurs. Il faut donc intégrer le code NAF en fonction de l'activité principale du propriétaire du site d'extraction. Un travail de recherche est ainsi à effectuer pour chaque entreprise ou organisme listé dans cette base de données. Plus précisément, les volumes dédiés à l'irrigation sont associés à la branche agriculture, sylviculture et pêche. Les volumes AEP sont associés à la branche production, distribution d'eau et dépollution. Les volumes répertoriés sous l'utilisation « Energie » sont associés à la branche production et distribution d'électricité (DZ). Les volumes liés à l'hydroélectricité ne sont pas utilisés, pour deux raisons : tout d'abord ils sont largement supérieurs à toutes les autres utilisations (de l'ordre du km³), il s'agit en général du débit du fleuve ou de la rivière où est situé le barrage, ce qui risque de biaiser l'indicateur d'utilisation de l'eau par la branche énergétique et de rendre les comparaisons avec d'autres pays, ou région difficile. Ensuite, les installations hydroélectriques ne font qu'utiliser la force de ce débit, l'eau n'est pas « consommée » dans le processus, et donc peut ne pas être comptabilisée comme utilisation.

Pour l'usage « Industriel », des recherches pour chaque entreprise citée sont nécessaires afin de trouver le code NAF correspondant à l'activité principale du site. Sachant qu'il y a au moins 21 codes NAF pouvant correspondre à une activité industrielle et que, au niveau national 1905 sites d'extractions industriels y sont répertoriés en 2010 (5400 en 2013), ce serait donc autant de recherches à effectuer pour attribuer un code NAF à chaque site d'extraction. Le codage des

utilisations industrielles de l'eau prendrait donc un temps conséquent au niveau national. Au niveau régional, ce codage est également long, mais possible (184 sites d'extraction répertoriés pour la Haute-Normandie en 2013). C'est pourquoi cette base de données est surtout exploitable au niveau régional.

De plus, certains sites majeurs ne sont pas répertoriés par la base de données de la BNPE, par exemple, la raffinerie de Donges en est absente (Loire-Atlantique) dans la base de données alors qu'il s'agit d'une des huit raffineries françaises et que ces installations utilisent des volumes d'eau conséquents.

Une partie des prélèvements de la raffinerie Total au Havre sont absents (en comparant la base de données BNPE et celle de l'AESN). Ce volume absent représenterait la moitié des prélèvements de la branche cokéfaction et raffinage pour la région Haute Normandie.

Ces volumes manquants conduisent à douter de la fiabilité de cette base de données : si de tels sites majeurs sont absents, combien d'autres sont manquants ? L'utilisation de cette base de données seule sous-estimerait les prélèvements d'eau par branche. Il s'agit cependant d'une base de données d'appoint utile, notamment pour estimer les utilisations de l'eau par des installations spécifiques (notamment les centrales nucléaires), et, combinée à d'autres sources de données, elle permet une première estimation des prélèvements au niveau régional.

5.1.4. Base de données EIDER (Ministère de la transition écologique et solidaire)

Le ministère de l'Écologie fournit les consommations de l'eau suivant trois grandes utilisations : Irrigation, industriels, ménages incluant les Activités Productives Assimilées Domestiques (APAD). Cette base de données est trop agrégée pour être utilisée dans le TES et offrir des résultats précis. Elle peut servir de base de données d'appoint notamment pour vérifier les résultats de la construction de la matrice des impacts environnementaux directs. Cette base de données contient cependant quelques données sur la consommation et la production d'énergie qui pourraient être utiles dans un modèle ES énergétique.

En conclusion, le mieux serait donc d'obtenir les données d'un organisme qui mesure directement les volumes d'eau, suivant un découpage correspondant à celui utilisé par le TES économique. Ce cas de figure est cependant rare. Dans le cas où les données sont regroupées suivant une désagrégation plus fine que celle utilisée, c'est idéal, car il est alors possible d'agréger les données pour qu'elles correspondent à la nomenclature souhaitée. Inversement, si les données environnementales sont présentées dans une désagrégation plus grossière que celle utilisée, un

chercheur peut éventuellement agréger les données économiques pour qu'elles correspondent aux données environnementales, ce qui entraîne une perte de précision. Inversement, les données environnementales peuvent être désagrégées afin de correspondre aux données économiques. Pour cela la méthode de répartition au prorata présentée après peut être utilisée. Il est également possible de construire les données environnementales manquantes, incomplètes ou trop agrégées à partir de coefficients environnementaux fournis par des études sectorielles et la littérature. Les méthodes et les moyens pour y parvenir sont présentés en suivant. Ces méthodes sont principalement issues du JQ IWM de Eurostat.

5.2 Méthodes usuelles de répartition des volumes d'eau

La nomenclature entre base de données économiques et base de données environnementales ne correspond pas toujours. C'est un problème délicat que de faire correspondre deux bases de données reposantes sur des désagréments différentes.

Cette sous-section présente les méthodes les plus courantes utilisées pour désagréger les volumes d'eau et/ou les répartir entre les activités économiques. Ces méthodes sont principalement issues du JQ IWM (de Eurostat, qui les publie à destination des organismes statistiques nationaux et de recherche. Deux principales méthodes sont proposées. Chacune peut être amendée par les chercheurs pour s'adapter au mieux au contexte étudié.

5.2.1. Méthode de la répartition au prorata

Certains organismes fournisseurs de données (Eurostat, MEDDE) fournissent un volume d'eau qui correspond à l'utilisation de l'eau d'un groupe de branches. Pour répartir ce volume de manière satisfaisante entre les branches correspondantes, il est possible d'utiliser une grandeur connue (production, emploi...) par branche pour obtenir une distribution proportionnelle. Eurostat préconise cette méthode en particulier pour le secteur des services.

L'hypothèse derrière cette méthode est que les branches qui constituent un même secteur ont une utilisation similaire de l'eau, ce qui permet d'utiliser la répartition au prorata.

Parmi les grandeurs utilisables, la production par branche peut être retrouvée dans le TES économique utilisé pour l'étude, l'emploi par branche peut être trouvé à partir des bases de données INSEE, ou à partir de la base de données de l'URSAFF qui fournit l'emploi salarié pour 687 sous-classes de la NACE rev 2 (sur les 732 disponibles), l'agriculture n'est pas comptabilisée. Les données de l'URSAFF sont disponibles à l'échelle nationale et régionale.

La répartition au prorata consiste à répartir le volume d'eau mesuré par un organisme pour un grand secteur. Cette méthode est utile pour répartir l'utilisation de l'eau des services entre les branches correspondantes. En effet, ces branches ont une utilisation similaire de l'eau qui est sensiblement la même que l'utilisation domestique des ménages (hygiène, consommation, cuisine). Pour ce grand secteur, cette méthode peut être utilisée pour obtenir l'estimation des utilisations de l'eau par les branches des services.

Pour l'industrie, cette méthode est plus délicate à appliquer. Ces branches ont des utilisations de l'eau très différentes (refroidissement, hydrocraquage, nettoyage industriel, dilution, découpage...). Par exemple, dans le cas des données fournies par le MEDDE, cette méthode fournirait des résultats hasardeux, car un seul secteur industriel est répertorié, qui regroupe toutes les activités industrielles. En utilisant la répartition au prorata sur ces données, cela reviendrait à considérer que l'utilisation de l'eau de l'industrie de l'automobile est la même que celle de l'agroalimentaire. Cette méthode peut être appliquée aux données de Eurostat, qui regroupe les utilisations de l'eau par branches industrielles similaires.

L'inconvénient de cette méthode est qu'elle gomme les spécificités des utilisations estimées à partir d'un même volume, et ce, même pour les services. Ainsi l'utilisation des branches des services estimée en répartissant le volume global « services » de Eurostat au prorata de la production ne prendra pas en compte le fait que la branche « autres services » (code SZ) englobe les activités de blanchisseries qui peuvent être fortement utilisatrices d'eau. Le coefficient d'impact de cette branche sera donc identique à celui d'une branche telle que les activités immobilières, ou la finance et l'assurance.

Le même problème se pose si l'on considère des spécificités économiques régionales qui peuvent faire varier fortement l'utilisation d'eau par les branches de services. Le cas particulier des stations de ski en est un bon exemple : cette activité est répertoriée dans les Arts, spectacles et activités récréatives (RZ) ; elle a une demande en eau extrêmement élevée. La présence de ces activités dans une économie peut alors tendre à faire augmenter le coefficient d'impact environnemental des services, mêmes si le reste des activités de services n'est pas particulièrement demandeur d'eau.

Enfin, tous les coefficients d'impacts environnementaux e_i^D calculés à partir de ces données seront identiques pour les branches concernées, ce qui peut nuire à la précision de l'analyse. Cependant, cette méthode fournit des estimations satisfaisantes à une échelle géographique large qui limitera l'impact de spécificités géographiques régionales.

5.2.2. Méthode des coefficients sectoriels

Si cette méthode n'est pas applicable, il est possible d'utiliser des coefficients d'impact sectoriels donnés dans la littérature. Un certain nombre d'entre eux sont disponibles dans le JQ IWM ; ceux-ci permettent de retrouver l'utilisation de l'eau par unité produite (t, volume, surface irriguée, unité de production) pour les coefficients de l'industrie et de l'agriculture. Cela implique de connaître les volumes par produits. Ce peut être problématique dans le cas de certaines branches : la branche cokéfaction et raffinage (CD) produit au moins 200 types de produits différents ; la branche agriculture, sylviculture et pêche regroupe des activités encore plus diverses, allant de la culture de légumes à la reproduction des plantes et l'exploitation forestière qui ne peuvent pas être exprimée dans la même unité.

Pour les services, des coefficients par tête sont disponibles. Ces derniers tiennent compte de la nature de la branche considérée pour fournir un coefficient par employé, par étudiant (suivant sa section), par employé d'hôtel (suivant le standing de l'hôtel), par patient d'hôpital, etc. (Mutschmann et al., 2002). Il faut donc disposer de données correspondantes (nombre d'employés, de patients...) pour pouvoir utiliser ces coefficients.

Le bureau européen EIPPCB (European Integrated Pollution Prevention Control Bureau) publie également des enquêtes sectorielles et des coefficients d'émission et d'utilisation de l'eau (BAT : Best available techniques) pour de nombreuses branches industrielles. Ces coefficients sont plus précis que les coefficients donnés par le JQ IWM. Ils répertorient les utilisations de l'eau et les principales émissions de polluants spécifiques à une production au niveau de la sous-classe de la NACE rev 2, la désagrégation la plus fine. Il faut donc disposer des volumes de production à l'échelle de l'économie étudiée. Ces coefficients ont été mesurés sur un échantillon d'installations industrielles spécifique à chaque branche considérée.

L'utilisation des coefficients mesurés dans la littérature permet d'obtenir des résultats précis. Ces coefficients sont utilisés par les diverses instances de statistiques pour compléter leurs données. Cependant, il faut pour les utiliser, disposer des volumes de production par branches à une échelle très fine. En outre, les coefficients sont calculés à partir d'échantillons, constitués à l'échelle européenne, ou à l'échelle d'une nation spécifique. L'utilisation de coefficients d'un pays (ou d'une région différente) peut conduire à une imprécision des estimations des volumes d'eau. Eurostat conseille également, dans la mesure du possible, de construire des coefficients sur mesure à partir de données directes sur l'économie étudiée.

Une fois les volumes par branches estimés grâce à ces coefficients, il peut être utile de les comparer avec les volumes agrégés fournis directement par un autre organisme fournisseur de

données afin d'en vérifier la validité : par exemple dans un premier temps estimer les utilisations d'eau des branches cokéfaction et raffinage (CD), industries chimiques (CE), et industries pharmaceutiques (CF) à partir de coefficients fournis par la littérature, puis dans un deuxième temps comparer la somme de ces volumes avec le volume agrégé donné par Eurostat pour ces trois branches. Cette comparaison permet de déterminer la validité des volumes estimés et les corrections éventuelles à y apporter.

Un exemple de correction est dans un premier temps d'utiliser les volumes estimés à partir de coefficients issus de la littérature pour calculer les proportions d'utilisation d'eau par branche (au sein d'un groupe). Puis dans un deuxième temps d'utiliser ces proportions pour répartir le volume d'eau mesuré (correspondant à ce groupe) par une base de données. Cette méthode permet de combiner les deux approches (prorata et utilisation de coefficients sectoriels).

Pour conclure sur ces méthodes, Eurostat et l'OCDE conseillent de chercher en premier lieu de se tourner vers les données directement issues d'un organisme de collecte (INSEE, Agence de l'eau), puis en deuxième lieu utiliser les méthodes évoquées (répartition au prorata et coefficients sectoriels) pour compléter et corriger la base de données initiale. Ainsi, un chercheur peut récupérer un jeu de données, compléter une donnée manquante ou incohérente en utilisant un coefficient d'impact issu de la littérature, et retrouver la répartition d'un type d'approvisionnement en eau en utilisant une répartition au prorata d'une grandeur. Dans le cas de ce travail de thèse, nous proposons une méthode originale, qui permet de dépasser les limites des deux méthodes présentées dans cette sous-partie.

5.3 Méthode proposée

Nous expliquons ici, la que nous avons développé pour distribuer les volumes d'eau prélevés entre les branches de l'économie. Notre méthode permet de transformer les données de prélèvements en données d'utilisation de l'eau, prenant en intégrant le rôle du réseau de distribution de l'eau. La réallocation des volumes prélevés par le réseau de distribution d'eau et distribués à l'économie se fait en intégrant les relations interbranches entre ce dernier et les autres composants de l'économie, grâce aux coefficients d'allocations issus du TES. Cette méthode a ainsi l'avantage de dépasser les limites des méthodes de répartitions au prorata ou au moyen de coefficients sectoriels, et est originale à ce travail de thèse dont elle est une contribution majeure.

La méthode d'intégration que nous proposons ici est très proche du modèle mixte tel que présenté par Hambÿe (2012) suite aux travaux de Koller et Luptacik (2007). Le modèle mixte est souvent utilisé dans des études empiriques, sur l'économie agricole et les ressources (Miller et

Blair, 2009). Il s'applique notamment dans le cas où la production d'un secteur est déterminée de manière exogène aux relations du TES.

La méthode proposée est, de plus, conforme aux propositions du système de comptes environnementaux de l'ONU (United nations, 2012) sur les volumes d'eau prélevés, fournis et reçus. Ce système de compte souligne ainsi l'importance de la branche de distribution d'eau (EZ de la NAF 38, code 36 en naf rev2 et CITI) dans le cadre de la construction d'un modèle ES de l'eau.

Dans le cas de données de prélèvement, comme celles de l'AESN et de la BNPE utilisées dans ce travail de thèse, il s'agit du volume d'eau extrait du milieu par point d'extraction. Cependant, elles ne sont pas utilisables directement avec le TES, car elles ne répertorient pas les utilisations d'eau par branche.

Ces données ne permettent de retrouver directement que les volumes prélevés par branche (noté p_i). La consommation directe (utilisation) de l'eau d'une branche, c'est-à-dire son impact environnemental direct total wd_i est égal au volume d'eau qu'elle prélève p_i additionné au volume d'eau qu'elle reçoit du réseau de distribution s_i .

$$wd_i = s_i + p_i \quad 2.63$$

Certaines branches n'extraient pas elles-mêmes l'eau qu'elles utilisent et donc leurs utilisations d'eau seront donc absentes de ces données. D'autres branches prélèvent une partie du volume utilisé (volume comptabilisé dans la base de données de prélèvement), tout en étant partiellement approvisionnées par le réseau (volume qui n'apparaîtra alors pas dans la base de données). Ces volumes « absents » (s_i) correspondent aux activités dont l'approvisionnement se fait grâce réseau de distribution (artisans, petites entreprises, construction, services).

En revanche le volume prélevé par la branche distribution d'eau et alimentation en eau potable (EZ) doit normalement être très élevé, car il correspond au volume d'eau total distribué par ce réseau. Ce volume regroupe : la consommation des ménages, la consommation des unités de production reliées au réseau de distribution et son autoconsommation.

Il s'agit donc de réallouer le volume d'eau prélevé par EZ aux autres branches et aux ménages, afin de construire les utilisations d'eau à partir des données de prélèvements.

Les agences de l'eau utilisent les proportions suivantes pour calculer le volume d'eau des APAD (Activités de Production Assimilées Domestiques).

Tableau 2-1 : Proportions des volumes assimilés domestiques par région

| Bassin versant | Part des APAD dans les consommations domestiques |
|------------------------------|--|
| Seine Normandie | 20 % |
| Rhône, Méditerranée et Corse | 18 % |
| Adour Garonne | 22 % |
| Loire Bretagne | 24 % |
| Rhin Meuse | 13 % |
| Artois Picardie | 20 % |

Source : Note APAD, AESN (Jacono, 2017)

Cette proportion correspond au volume prélevé par le réseau de distribution d'eau et distribué aux autres branches de l'économie. La proportion restante (80 % dans le cas de la Seine Normandie) représente alors le volume distribué aux ménages et autres consommateurs finaux (administrations et ONG).

Le problème est donc de répartir les 20 % du volume distribué entre les branches (cas de la Seine Normandie). De manière optimale, il faudrait disposer de la liste des volumes fournis par clients des entreprises de la branche distribution de l'eau, ce qui n'est pas possible dans de nombreux cas d'étude, y compris le cas de ce travail de thèse. Pour cela, la méthode de la répartition au prorata de la production ou de l'emploi pourrait être utilisée, mais voici la méthode proposée.

Les données de prélèvements permettent d'identifier le volume d'eau extrait du milieu naturel par le réseau de distribution, p_{EZ} . Ce volume total est ensuite redistribué au territoire qu'il approvisionne.

La base de données des prélèvements d'eau, fournie par l'AESN, a permis d'identifier la consommation brute de la composante dépollution (code 37 de la Naf rev2 et CITI) de la branche EZ. Celle-ci provient d'une activité liée du grand incinérateur de Rouen, qui utilise d'importants volumes à des fins de refroidissement. Il s'agit d'un aspect spécifique à ce travail, qui n'est peut-être pas reproductible suivant le degré de précision de la base de données utilisée. Dans le cas de données où les activités de distribution et de dépollution sont clairement séparées, le problème ne se pose pas. Inversement si les deux activités ne peuvent être dissociées, nous préconisons de suivre la littérature et de considérer que la branche distributrice d'eau n'utilise pas d'eau pour réaliser sa production.

Ainsi le volume total distribué au reste de l'économie $\sum_{i \neq EZ} S_j$ et à la demande finale w_{EZ}^Y est calculé net de cette autoconsommation.

$$\sum_{i \neq EZ} S_j + w_{EZ}^Y = p_{EZ} - w_{EZ,EZ} \quad 2.64$$

Grâce à la note de l'AESN sur l'APAD, le volume distribué à la demande finale peut être calculé ainsi :

$$w_{EZ}^Y = (p_{EZ} - w_{EZ,EZ}) * 0.8 \quad 2.65$$

Les ménages, administrations et ONG reçoivent ainsi 80 % du volume distribué par le réseau de distribution.

Les unités de production, et donc les branches reliées au réseau reçoivent donc les 20 % restants.

$$\sum_{i \neq EZ} S_j = (p_{EZ} - w_{EZ,EZ}) * 0.2 \quad 2.66$$

La méthode proposée pour répartir ce volume restant entre les branches est la suivante :

Ce volume est reparti au moyen des coefficients d'allocation de EZ. Ceux-ci indiquent donc les flux que cette branche envoie aux autres branches (ses « ventes » exprimées en proportion). Cette méthode repose sur l'hypothèse selon laquelle l'eau est facturée linéairement en fonction du volume, de manière uniforme sur le territoire considérée et du même montant pour toutes les branches. Elle repose également sur la qualité de la construction du TES qui permet de calculer les coefficients économiques, et sur l'hypothèse que la branche distribution d'eau soit principalement dédiée à la distribution d'eau : suivant les nomenclatures elle peut être associée aux activités de dépollution. L'hypothèse de facturation de manière linéaire et homogène par la branche distributrice permet de supposer que les productions envoyées par la branche EZ (distributrice d'eau) sont proportionnelles aux quantités d'eau fournies. Les coefficients d'allocation, qui mesurent ces productions exprimées en proportion, peuvent être alors utilisés pour répartir le volume des APAD. Cette méthode est ainsi conforme aux préconisations du système de compte environnementaux de l'ONU qui fait état de la proportionnalité existante entre flux économiques et volume d'eau fourni par le réseau de distribution au reste de l'économie.

Étant donné que les consommations industrielles de la dépollution et des ménages directes, au sein de la branche, sont déterminées directement à partir des données, les coefficients d'allocation sont calculés nets de celles-ci :

$$b_{EZ,j} = \frac{x_{EZ,j}}{\sum_{i \neq EZ} x_{EZ,j}} \quad 2.67$$

Ainsi pour chaque branche j , le volume que le réseau de distribution d'eau lui fournit est le suivant :

$$s_j = b_{EZ,j} * \sum_{i \neq EZ} s_j \quad 2.68$$

Alors pour $i = j$, l'utilisation de l'eau d'une branche correspond à ce qu'elle prélève plus ce qu'elle reçoit du réseau.

$$wd_i = p_i + s_i \quad 2.69$$

Pour compléter, étant donné que le volume prélevé par le réseau de distribution est réalloué aux autres branches. La consommation d'eau de l'activité de dépollution est répartie sur la ligne EZ, grâce aux coefficients d'allocations nets de la demande finale (calculée grâce aux proportions de la note APAD). Ces consommations intermédiaires représentent ainsi l'eau consommée par l'activité de dépollution pour répondre à la demande de chaque branche et de ses exportations de services de traitement. Il résulte du traitement particulier de la branche EZ, la création de trois coefficients de consommation directs :

Le coefficient total, qui n'est utilisé qu'à titre indicatif.

$$e_{EZ}^D = \frac{wd_{EZ}}{\bar{z}_{EZ}}$$

Le coefficient de la demande finale, utilisé strictement pour celle-ci :

$$e_{EZ}^{Dy} = \frac{w_{EZ}^Y}{y_{EZ}^L}$$

Le coefficient industriel, utilisé pour le reste de l'économie et les exportations :

$$e_{EZ}^{D(indus)} = \frac{wd_{EZ} - w_{EZ}^Y}{\bar{z}_{EZ} - y_{EZ}^L}$$

Les relations du TES de la branche EZ doivent donc tenir compte de ces deux types de consommations pour retrouver les données observées. À titre d'exemple, la relation 2.18 :

$$e_i^D * (\sum_j \bar{x}_{ij} + y_i^L + ex_i) = wd_i \quad 2.18$$

devient pour la branche EZ :

$$e_{EZ}^{D(indus)} * \sum_j \bar{x}_{EZ,j} + e_{EZ}^{Dy} * y_{EZ}^L + e_{EZ}^{D(indus)} * ex_{EZ} = wd_{EZ} \quad 2.18'$$

Cette branche est la seule à posséder ces deux types de coefficients.

Les utilisations de l'eau de la branche EZ sont ainsi déterminées de manière quasi exogène d'une manière similaire au modèle mixte, étant influencées par les coefficients d'allocations de la branche qui dépendent, eux, du modèle. Seule la demande finale de cette branche, qui représente la consommation domestique des ménages et des administrations w_{EZ}^Y est déterminée de manière

totalelement exogène, grâce à la note de l'AESN qui donne une proportion de 80 % des prélèvements de EZ comme étant destinés à la demande finale.

De plus, l'une de nos préconisations est que, dans les cas où l'utilisation de l'eau de la dépollution est séparée de la distribution de l'eau (en utilisant une nomenclature différente de la NAF 38), la ligne des coefficients de EZ devrait ne contenir que des zéros, ce qui correspond aux préconisations du modèle mixte.

Ainsi, dans le modèle ES que nous présentons, seule la ligne EZ du TES environnemental peut être considérée comme exogène au modèle, ce qui nous rapproche d'un modèle mixte.

Cependant, l'association de la branche distribution d'eau avec les activités de dépollution liée à la nomenclature NAF 38 nous limite. Il est important conserver une branche de dépollution endogène (économiquement) au modèle pour pouvoir analyser les effets économiques sur cette branche.

Enfin, garder une branche de distribution endogène permettrait également de tester les effets économiques d'investissement sur le réseau de distribution, surtout dans le cas d'investissements lourds en vue de s'adapter au changement climatique, qui pourrait ainsi affecter ses demandes intermédiaires.

Koller et Luptacik (2007) précisent que les coefficients déterminés dans ce modèle ne sont valides que dans le contexte du cas d'étude. Ainsi, si la méthode d'intégration est reproductible, les coefficients techniques de l'eau hauts normands ne devraient pas être utilisés pour d'autres estuaires.

À l'issue de cette partie, les utilisations de l'eau directes $w d_i$ par branches sont ainsi construites. Ces dernières permettent alors de construire le TES environnemental conformément à la méthode d'intégration environnementale décrite dans la partie 1 de chapitre, en intégrant la spécificité de la branche distributrice d'eau. La partie suivante présente ainsi les TES économiques et environnementaux construits à partir de cette méthode. Ces TES serviront ainsi à la construction du modèle ES qui sera alors exploité dans le chapitre 3. Ces derniers sont exploités grâce aux outils présentés dans la section suivante.

6. Outils analytiques

Les TES régionaux sont constitués de plusieurs matrices qui peuvent avoir une taille conséquente suivant la désagrégation considérée. Par exemple, les matrices, dans ce travail de thèse, des échanges intermédiaires, et donc des inverses de Leontief sont composées ainsi de 1369 valeurs chacune. L'analyse directe de ces matrices est possible, mais peu pratique, et il est difficile d'en faire ressortir les informations pertinentes. Cette section présente ainsi les outils analytiques appliqués pour exploiter ces données et faire ressortir « l'histoire » contenue dans ces dernières. Cette section présente ainsi les multiplicateurs de consommation qui déterminent l'impact environnemental total d'une branche, puis l'analyse de liaison dont l'objectif est d'étudier le rôle des différentes branches. Enfin, l'analyse structurelle est mise à contribution pour faire ressortir la structure des échanges interbranches.

6.1 Multiplicateurs

La méthodologie des multiplicateurs de consommation est organisée en deux parties ; tout d'abord est exposée la version « classique » du multiplicateur de consommation totale tel que présenté par Velázquez (2006). Ensuite, la version complétée, intégrant l'impact de la demande finale en eau et la structure des échanges d'eau incorporée interbranches, est développée.

Multiplicateur de consommation d'eau totale $mcet_i$

Le chapitre 2 détaille les différentes relations du modèle Entrées-Sorties étendu à l'environnement. L'exploitation de ces dernières est ainsi faite pour calculer les impacts environnementaux totaux exercés par les branches de l'économie.

La relation 2.15 décrit le coefficient d'impact direct, c'est-à-dire le nombre de m³ utilisés pour réaliser une unité monétaire de production.

$$e_i^D = \frac{wd_i}{\bar{z}_i} \quad 2.15$$

L'équation peut se réécrire ainsi :

$$wd_i = e_i^D \cdot \bar{z}_i \quad 2.15'$$

Cette dernière exprime alors, par branche, la consommation d'eau directe en fonction de la production. En notation matricielle, elle devient :

$$W^D = \widehat{E^D} \cdot \bar{Z} \quad 2.15''$$

Où $\widehat{E^D}$ est la matrice E^D (vecteur colonne) diagonalisée, ce que dénote l'accentuation $\widehat{}$.

La relation 2.8 du modèle ES économique, adapté pour la production domestique, peut alors être utilisée pour remplacer \bar{Z} dans l'équation précédente :

$$\bar{Z} = (I - \bar{A})^{-1} \cdot (Y + EX) \quad 2.8$$

Ainsi, 2.15'' devient alors :

$$W^D = \widehat{E}^D (I - \bar{A})^{-1} \cdot (Y + EX) \quad 2.70$$

Cette équation décrit alors la consommation d'eau de l'économie dans le BES en fonction des emplois finaux (demande finale Y et exportations EX). En supposant des emplois finaux unitaires ; l'équation devient :

$$W^* = \widehat{E}^D (I - \bar{A})^{-1} \quad 2.71$$

Les composants w_i^* , de la matrice W^* indiquent alors la consommation totale d'eau d'une branche i si sa demande finale augmente d'une unité : il s'agit du *coefficient d'impact total*.

Le *multiplicateur de consommation d'eau total* : $mcet_i$, compare alors ce coefficient avec le coefficient d'impact direct e_i^D .

$$mcet_i = \frac{w_i^*}{e_i^D} \quad 2.72$$

Ce multiplicateur indique ainsi le volume d'eau total consommé par l'économie, si une branche consomme un mètre cube d'eau supplémentaire. Il est exprimé en mètre cube d'eau consommé au total par l'économie en mètre cube d'eau consommé directement par la branche i . En d'autres termes, ce multiplicateur exprime de combien la consommation totale d'eau d'une branche est supérieure à sa consommation directe.

Le calcul de ce multiplicateur repose sur l'utilisation de la matrice $(I - \bar{A})^{-1}$ l'inverse Leontief économique domestique, ce qui dans le cadre d'une analyse des consommations d'eau n'est peut-être pas la plus adaptée à ce calcul, d'autant plus que la matrice $(I - Q)^{-1}$, l'inverse de Leontief environnemental, peut être exploité. Cette dernière intègre les spécificités des échanges d'eau incorporées dans sa structure liée aux paramétrages effectués pour intégrer l'influence du réseau de distribution d'eau (détaillés dans le chapitre 2 section 6.2).

Ces paramétrages concernent principalement l'activité de la branche distribution d'eau EZ et l'intégration de la demande finale en eau dans le TES environnemental. Dans les travaux de Velázquez, (2006), qui ont été une inspiration majeure de ce travail de thèse, la consommation d'eau des ménages n'apparaît pas, et la branche de distribution d'eau a un impact direct nul.

Une version complétée du $mcet_i$ est ainsi proposée, calculé à partir de la matrice inverse de Leontief environnementale.

Multiplicateur de consommation d'eau complété : $mcec_i$.

Ce multiplicateur mobilise les échanges d'eau interbranches dans son calcul, ainsi la consommation d'eau de l'économie dans le BES peut être décrite par la relation 2.23.

$$W^D = (I - Q)^{-1} \cdot (W^Y + W^{ex}) \quad 2.23$$

$$wd_i = \sum_j \rho_{ij} (w_i^y + w_i^{ex}) \quad 2.24$$

Cette relation, de la même manière que la relation 2.8 du modèle ES « classique », exprime la consommation directe totale de l'économie W^D en fonction de l'eau utilisée pour réaliser la demande finale W^Y et les exportations d'eau W^{ex} .

En intégrant le coefficient de consommation direct : E^D , les termes W^Y et W^{ex} peuvent être réécrits ainsi :

$$W^Y = \widehat{E^D} \cdot Y \quad 2.73$$

Et

$$W^{ex} = \widehat{E^D} \cdot EX \quad 2.74$$

Ou sous forme d'équation :

$$w_i^y = e_i^D \cdot y_i \quad 2.75$$

$$w_i^{ex} = e_i^D \cdot ex_i \quad 2.76$$

La relation 2.23 peut alors être réécrite :

$$W^D = (I - Q)^{-1} \cdot \widehat{E^D} \cdot (Y + EX) \quad 2.77$$

Ou sous forme d'équation :

$$wd_i = \sum_j \rho_{ij} \cdot e_j^D \cdot (y_j + ex_j) \quad 2.78$$

Ainsi en supposant des emplois finaux unitaires : $(y_i + ex_i) = 1$, la consommation d'eau totale de l'économie correspondant à la production d'une unité monétaire d'emploi final est la suivante :

$$e_i^T = \sum_j \rho_{ij} \cdot e_j^D \quad 2.79$$

ou en notation matricielle :

$$E^T = E^{D'} \cdot (I - Q)^{-1} \quad 2.80$$

Le multiplicateur de consommation d'eau complété, dans le sens où il intègre la structure particulière de $(I - Q)^{-1}$ se calcule alors en faisant le rapport entre la consommation d'eau totale unitaire e_i^T et le coefficient d'impact direct e_i^D .

$$mcec_i = \frac{e_i^T}{e_i^D} \quad 2.81$$

Ce dernier indique alors de combien la consommation d'eau totale d'une branche est supérieure à sa consommation directe, ou le volume consommé au total par l'économie si une branche i augmente sa production d'une unité monétaire. Ce coefficient s'interprète d'une façon similaire au le $mcet_i$, mais intègre la structure des échanges d'eau interbranches, ce qui le rendrait plus représentatif de l'impact environnemental.

Notons que les relations 2.23 et 2.70 permettent toutes les deux de retrouver W^D . Il y a bien égalité entre les deux équations. Cependant, elles ne décrivent pas les mêmes échanges. Il est donc intéressant de comparer les deux pour étudier les différences entre échanges économiques et échanges d'eau virtuelle. Il apparaît que, si les deux matrices ont des structures proches, la matrice $(I - Q)^{-1}$ est en fait une « déformation » de la matrice $(I - A)^{-1}$:

Nous montrons que, sans le paramétrage lié à la branche EZ, la relation entre les deux matrices est la suivante :

$$(I - Q)^{-1} = (I - A)^{-1} \otimes E$$

où nous notons E la matrice contenant les rapports $\frac{e_j^D}{e_i^D} = e_{ij}$, ces rapports indiquent le facteur multiplicateur de l'utilisation unitaire directe de l'eau d'une branche j par rapport à une branche i . En d'autres termes, e_{ij} mesure le rapport de proportionnalité entre les consommations directes d'eau unitaires de deux branches. Un rapport supérieur à 1 indiquera donc que l'utilisation unitaire directe de la branche j est supérieure à celle de i , d'un facteur e_{ij} . La matrice E « déforme » donc $(I - A)^{-1}$ pour obtenir $(I - Q)^{-1}$.

En d'autres termes, sous forme d'équation, la relation entre les coefficients inverses de Leontief de l'eau et les coefficients inverses économiques est donc la suivante.

$$\rho_{ij} = \alpha_{ij} \cdot \frac{e_j^D}{e_i^D}$$

Le produit des composants symétriques par rapport à la diagonale de la matrice entre eux est égal à l'unité :

$$e_{ij} \cdot e_{ji} = 1$$

Ainsi, les différences de valeur des multiplicateurs $mcet_i$ et $mcec_i$ s'expliquent, d'une part, par la déformation induite par le rapport $\frac{e_j^D}{e_i^D}$ dans le calcul de ρ_{ij} , et, d'autre part, par le paramétrage des composants de la branche EZ.

Étant donné qu'il y a égalité entre $(I - Q)^{-1} = (I - A)^{-1} \otimes E$, il est intéressant de comparer la méthode classique du calcul des multiplicateur reposant sur la matrice $(I - A)^{-1}$ avec les résultats obtenus par la matrice $(I - Q)^{-1}$. Celle-ci intégrant les spécificités liées aux échanges d'eau incorporée, mais également les caractéristiques liées à la distribution d'eau virtuelle (au travers de ses activités de dépollution), semblerait donc peut être plus pertinente que la matrice économique $(I - A)^{-1}$, qui tendrait à sous-estimer les utilisations d'eau totales. Cependant par prudence, il est préférable de considérer les deux méthodes ensemble, d'autant plus qu'elles identifient les mêmes branches.

6.2 Analyse de liaison

L'analyse de liaison permet d'étudier les relations interbranches plus en détail, et de déterminer leurs rôles dans l'économie. Deux principales méthodes existent : la HEM évoquée précédemment et les indicateurs de liaison.

Le calcul de ces indicateurs, dont les plus connus sont ceux développés par Rasmussen sont utilisés dans cette section pour mener l'analyse à bien.

Ces derniers sont composés de deux types d'indicateurs calculés à partir des composants α_{ij} de l'inverse de Leontief $(I - A)^{-1}$. Ces coefficients α_{ij} décrivent la variation de production j si la demande finale en biens i varie d'une unité.

L'indicateur de *forward linkage* (lien aval) F_i détermine l'influence qu'exerce une branche sur l'économie, c'est-à-dire son rôle de fournisseur.

Il est calculé ainsi :

$$F_i = \frac{\sum_i \alpha_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_j (\sum_i \alpha_{ij})}$$

Il mesure le rapport entre l'intensité totale des flux qu'une branche apporte à (envoi vers) l'économie face à l'intensité totale moyenne des relations envoyées vers l'économie (forward linkages).

Inversement, l'indicateur de *backward linkage* U_j (lien amont) décrit l'intensité des flux que reçoit une branche du reste de l'économie ou sa sensibilité aux variations de l'économie. Cet indicateur exprime donc le rôle de la branche en tant que consommatrice. Il est calculé ainsi

$$U_j = \frac{\sum_j \alpha_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_i (\sum_j \alpha_{ij})}$$

Il s'agit ici de comparer l'influence totale que reçoit une branche par rapport à l'influence totale moyenne que reçoivent toutes les branches.

Ces indicateurs, en intégrant tous les coefficients de Leontief, sont affectés par les autoconsommations des branches (les coefficients présents sur la diagonale de la matrice $(I - A)^{-1}$) qui ont des valeurs élevées, et tendent ainsi à écraser les autres coefficients qui, eux décrivent les relations avec les autres branches. C'est pourquoi les indicateurs nets de Rasmussen ont été proposés pour passer outre ce biais Sánchez-Chóliz and Duarte (2003).

Ces deniers se calculent ainsi :

Indicateurs de liaison net forward :

$$\bar{F}_i = \frac{\sum_i \alpha_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_j (\sum_{i,i \neq j} \alpha_{ij})}$$

Indicateur liaison net backward :

$$\bar{U}_j = \frac{\sum_j \alpha_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_i (\sum_{j \neq i} \alpha_{ij})}$$

Rasmussen (1956) puis Chenery and Watanabe (1958) définissent ensuite des typologies décrivant les caractéristiques des branches suivant leurs positions en termes de liaison backward et forward.

Ces typologies sont les suivantes (adapté de Sánchez-Chóliz and Duarte, 2003))

Tableau 2-2 : Typologie de Rasmussen

| | Backward faible $U_j (<1)$ | Backward élevé $U_j (>1)$ |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Forward élevé $W_i (>1)$ | Branches forward | Branches clefs |
| Forward faible $W_i (<1)$ | Branches peu importantes | Branches backward |

Tableau 2-3 : Typologie de Chenery et Watanabe

| | Backward faible $U_j (<1)$ | Backward élevé $U_j (>1)$ |
|---------------------------|---|-----------------------------|
| Forward élevé $W_i (>1)$ | Producteurs primaires de biens intermédiaires | Manufactures intermédiaires |
| Forward faible $W_i (<1)$ | Productions primaires finales | Manufactures finales |

Les indicateurs bruts et nets sont analysés et comparés. Cette comparaison permet de déterminer l'importance de l'autoconsommation de la branche dans son activité, apportant ainsi une information supplémentaire sur le rôle des activités humaines.

6.3 Analyse structurelle

Le problème, pour l'analyste, est de parcourir les 1369 coefficients qui composent la matrice inverse de Leontief, et d'en déduire la structure. Dans cette section, l'analyse structurelle est mobilisée afin d'identifier la structure des relations interbranches, d'un point de vue économique et environnemental.

La méthode de l'analyse structurelle repose sur le fait que la matrice inverse de Leontief peut être assimilée à une matrice d'adjacence utilisée pour décrire un réseau en théorie des graphes. Les branches constituent ainsi les sommets, et les relations interbranches, les liens.

Dans un premier temps un « filtre numérique » est appliqué, qui va permettre de ne conserver que les relations identifiées comme importantes. Titze et al. (2011) expliquent que si ce procédé conduit forcément à une perte d'information, du fait des relations éliminées, il permet également de faire ressortir la structure des échanges contenue dans la matrice inverse de Leontief, illustrant ainsi les relations majeures entre branches.

Une autre méthode aurait pu être utilisée, utilisée notamment par Bellet et al. (1990). Cette méthode repose sur le calcul d'un indicateur de réciprocité total, r_{ij} , qui est la somme des différents types de coefficients calculables à partir du modèle ES, et décrivant la relation entre i et j dans les deux sens : coefficients techniques a_{ij} et a_{ji} , coefficients d'allocation b_{ij} et b_{ji} .

En rapprochant chaque branche de sa voisine la plus proche (celle ayant l'indicateur r_{ij} le plus élevé), il est alors possible de construire des ensembles constitués des branches proches ; qui seraient donc les équivalents de nos « clusters » ou noyaux (Bellet et al., 1990).

Cette méthode a l'avantage de ne pas éliminer d'information, ce qui en ferait une alternative intéressante à celle proposée dans notre travail.

Cependant, l'inconvénient est que l'indicateur r_{ij} n'a aucune signification, contrairement aux coefficients de Leontief que nous utilisons. Ainsi, le réseau construit au moyen de cette méthode permet d'établir les proximités des branches, mais les liens en eux-mêmes ne s'interprètent pas en termes réels, contrairement aux nôtres.

Ainsi, dans les graphes produits, la valeur d'un lien indique la variation de production (dans le cas du graphe économique) ou de consommation d'eau (graphe environnemental) induite par l'augmentation de la demande finale du sommet émetteur sur le sommet récepteur.

Ainsi d'un point de vue de la théorie des réseaux, la méthode utilisée par Bellet et al. (1990) semble supérieure, car elle intègre la totalité des informations dans sa caractérisation des relations interbranches, mais elle y perd en termes d'interprétation contrairement à notre méthode qui est, certes plus simple dans son application, mais a l'avantage de fournir une interprétation concrète des relations entre branches.

Dans cette section, les matrices inverses de Leontief économique $(I - A)^{-1}$ et environnementale $(I - Q)^{-1}$, pour l'année la plus récente (2014), sont ainsi exploitées.

Pour identifier les relations importantes, un filtre numérique est appliqué aux matrices inverses de Leontief. Le filtre numérique est la moyenne en ligne des matrices inverses. La règle de décision suivante est appliquée :

- Si $\alpha_{ij} > \frac{1}{n} \sum_j \alpha_{ij}$, alors la relation α_{ij} est conservée
- Si $\alpha_{ij} < \frac{1}{n} \sum_j \alpha_{ij}$, alors la relation α_{ij} est considérée comme nulle

Le même filtre est appliqué à la matrice $(I - Q)^{-1}$ et aux coefficients ρ_{ij} . L'application de ce filtre numérique permet de ne conserver que les coefficients de Leontief supérieurs à la moyenne en ligne. En effet ces derniers indiquent de combien la production supplémentaire d'une branche i augmente si la demande finale en produits j augmente d'une unité : ils indiquent ainsi la relation totale entre deux branches.

La matrice ainsi apurée des relations non importantes peut alors être considérée comme une matrice d'adjacence dont les composants non nuls décrivent les poids des liens entre les différents sommets (les branches).

L'utilisation des logiciels Uci6 et Netdraw permet alors de représenter le graphe suivant les relations économiques interbranches majeures et d'exploiter les principales mesures de la théorie des graphes que sont la centralité et le degré afin de déterminer l'importance de chaque branche dans les réseaux des échanges économiques et environnementaux ainsi construits.

7. Conclusion

Ce chapitre est consacré à la modélisation des relations entre l'estuaire de la Seine et l'économie régionale. Si d'un point de vue théorique, le modèle ES apparaît simple, l'application est, elle-même, dans le cas d'une subdivision nationale compliquée. Il n'existe pas de données mobilisables pour appliquer directement ce modèle, ni a priori de méthode générale. Ainsi, les applications dans la littérature reposent souvent sur des modèles ad hoc.

Ainsi dans ce chapitre, une méthodologie de régionalisation et d'extension à l'environnement est développée en détail. Deux étapes majeures sont présentées : d'abord la méthode de régionalisation permettant de construire le modèle ES régional, puis la méthode d'intégration de l'environnement.

Les TES obtenus au moyen de cette méthode offrent une représentation détaillée de l'économie régionale suivant la nomenclature NAF 38, compatible avec les comptes nationaux et les systèmes de compte européen et international. Cette méthode de régionalisation ne requiert pas d'ajustements spécifiques au contexte, elle est donc généralisable.

La méthode d'intégration environnementale utilisée repose sur la méthode bien connue du découplage, qui consiste à calculer un coefficient d'impact environnemental permettant de répartir les utilisations de l'eau sur le TES économique. Des précisions sont apportées sur l'application de cette méthode. Les différences de nomenclatures entre les données économiques et environnementales font qu'elles ne sont pas directement compatibles. Nous proposons une méthode de répartitions des impacts environnementaux reposant sur l'utilisation des coefficients d'allocation. Cette méthode permet de dépasser les limites des méthodes usuelles de répartition des impacts entre les branches du TES, apportant ainsi plus de précision dans le calcul des impacts environnementaux.

De plus, la méthode d'extension à l'environnement fait ressortir le rôle majeur d'une branche distributrice modèle ES où l'on considère la distribution ou la collecte d'une ressource. Ainsi, ce modèle particulier est généralisable à des modélisations ES intégrant des aspects environnementaux distribués par une activité spécifique : l'eau, l'énergie, la collecte de déchets. Contrairement aux modèles ES étendus aux émissions de rejets atmosphériques, où les émissions peuvent être réparties au prorata de l'activité de chaque branche, la présence d'une branche distributrice complique la modélisation, car à son rôle « classique » s'ajoute justement celui de distributeur (ou collecteur) direct des impacts des autres branches, générant ainsi des problèmes de double comptage et de répartition des impacts distribués. Les relations interbranches s'en trouvent ainsi affectées.

Ce modèle repose uniquement sur des ajustements et des méthodes sans enquêtes. Il serait donc intéressant de confronter les résultats obtenus par cette méthode à des résultats obtenus par enquête. Cependant, une enquête extensive sur l'économie régionale requerrait des moyens trop importants. Ainsi une enquête sur un échantillon représentatif des activités régionales serait plus envisageable et viendrait enrichir la méthodologie développée dans ce chapitre.

En définitive, ce chapitre détaille la construction d'un modèle ES étendu à l'environnement qui a vocation à être transposable à d'autres régions. L'application au contexte de l'estuaire de la Seine a conduit à la construction du modèle ES de la Haute-Normandie pour la période 2004-2014 et ses pendants environnementaux pour le bassin versant de l'estuaire de la Seine. L'exploitation de ce modèle et des données est faite dans le chapitre suivant.

Chapitre 3

Exploitation du modèle ES étendu à l'environnement, multiplicateurs et liaisons et analyse structurelle

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous exploitons les TES et le modèle ES, au moyen des outils analytiques présentés, pour dresser le portrait approfondi du BES et de l'économie régionale. Les principales dynamiques économiques et de création d'impacts environnementaux vont ainsi être explorées en détail. Nous montrons ainsi que la région a un fort caractère industriel (l'industrie représente en 2014, 40,8 % de la production régionale), qui impacte fortement les ressources en eau (158,7 millions de m³ sont consommés directement par l'industrie en 2014, soit 38,9 % de la consommation régionale). De plus, nous identifions une deuxième spécialisation de la région, qui n'apparaît pas clairement dans le portrait fait dans le chapitre 1. Ainsi, l'estuaire de la Seine et la Haute-Normandie sont également spécialisés dans les activités pour la santé humaine, incluant les industries pharmaceutiques, les services de santé et l'hébergement médico-social.

Cette application a deux buts :

Le premier est d'étudier en profondeur le cas d'étude de ce sujet de thèse. L'utilisation conjointe des différents outils analytiques permet de dresser un portrait très détaillé de l'économie régionale et de sa relation avec le BES. À la connaissance de l'auteur, il n'existe pas d'application, d'autant moins conjointe, des différents outils présentés au cas de l'estuaire de la Seine.

Le second est de valider le modèle ES construit, ce qui permettra de l'utiliser comme outil de modélisation et de prédiction. Ainsi, chacun des outils mobilisés dans ce chapitre apportant des informations complémentaires ; la cohérence du modèle ES construit pourra être ainsi évaluée. En effet, si chacun des outils mobilisés amène à des conclusions cohérentes entre elles, tout en correspondant au portrait de la Haute-Normandie présenté dans le chapitre 1, le modèle ES régional pourra donc être considéré comme valide, et donc utilisable pour réaliser des prévisions.

L'utilisation de ces outils permet à la fois de confirmer et d'approfondir le portrait du BES fait dans le chapitre 1. Ainsi, l'analyse des TES, puis de l'HEM, montrent que l'industrie régionale produit pour répondre à une demande externe, plutôt qu'à la demande locale. Ainsi, 58,8 % de la production finale de l'industrie est destinée à l'exportation. Ceci impliquerait qu'une grande partie des pressions environnementales exercées sur le BES est d'origine extérieure. La production des biens industriels à

l'exportation correspondrait ainsi à une consommation d'eau totale de 95,5 millions de m³, soit un volume proche (68,7 %) de la consommation d'eau totale des ménages (139,1 millions de m³).

L'étude des multiplicateurs de consommation d'eau met en évidence l'importance des consommations indirectes sur l'estuaire, nuancant ainsi l'impact des industries sur le BES : ainsi, au travers des volumes d'eau incorporés dans les consommations intermédiaires, les services, en particulier de transport et de santé, apparaissent comme générateurs d'impacts plus importants que les industries. L'autre intérêt de l'étude de ces multiplicateurs est que leur évolution tend à montrer que les performances environnementales de la plupart des branches s'améliorent au cours de la période, à l'exception toutefois de la branche des industries extractives qui peut présenter un risque dans l'avenir.

L'analyse de liaison et l'analyse structurelle viennent compléter ces résultats en mettant en évidence les rôles de fournisseurs d'impact environnemental des industries, et consommateurs de certaines branches de services : le transport, les activités pour la santé humaine et les services financiers et d'assurance.

L'analyse quantitative permet de déterminer la structure de l'économie régionale et les clusters, branches liées par de fortes relations économiques ou environnementales, c'est-à-dire les branches s'organisant autour d'une activité économique, mettant ainsi en valeur la structure de l'économie haute normande. Il en ressort que les impacts environnementaux se diffusent plus largement que les impacts économiques au sein de la structure de l'économie régionale. Ce dernier outil montre alors qu'un choc de demande entraînera des impacts environnementaux affectant bien plus de branches que les impacts économiques.

Le présent chapitre s'organise ainsi : la section 2 exploite les TES régionalisés pour proposer un portrait approfondi du BES, complétant ainsi les apports du chapitre 1, notamment en ayant recours à une adaptation de l'HEM, identifiant ainsi les impacts totaux de la demande finale et des exportations sur le BES. La section 3 présente les multiplicateurs de consommation d'eau « classiques » tels qu'utilisés dans la littérature, et ceux calculés dans le cadre de ce travail. Les résultats des deux sont ensuite analysés. La section 4 est consacrée à l'analyse de liaisons. Elle s'organise en deux sous-sections dédiées aux liaisons économiques et environnementales. Dans la section 5, l'analyse structurelle des coefficients de Leontief économiques et environnementaux est présentée détaillant ainsi la structure des échanges interbranches. Enfin, la section 6 conclut.

2. Portrait approfondi du BES

À partir des TES régionalisés, des grandeurs économiques originales : production, ressources, commerce extérieur, demande finale et échanges interbranches, peuvent être exploitées. Leur analyse permet ainsi d'affiner le portrait de l'économie du BES en faisant ressortir des spécificités régionales inobservées par les grandeurs régionales directement disponibles.

Ensuite, les TES environnementaux permettent d'appréhender l'impact environnemental de l'économie régionale sur le BES. Ces données sont également inédites, car à la connaissance de l'auteur, la modélisation ES étendue à l'environnement du BES n'a pas été faite. À partir des TES et de la consommation directe d'eau, il est possible de calculer les coefficients d'impacts directs, puis les volumes d'eau consommés pour répondre à la demande finale et aux demandes extérieures au BES.

L'analyse de ces grandeurs approfondit ainsi la connaissance de l'estuaire de la Seine. La mise en rapport de ces données avec la structure hydrographique du BES permet de déterminer la localisation par UH des pressions environnementales, offrant de la sorte une perspective originale sur l'estuaire de la Seine.

Le modèle ES étendu à l'environnement permet d'étudier le système suivant, représenté dans la figure 3-1.

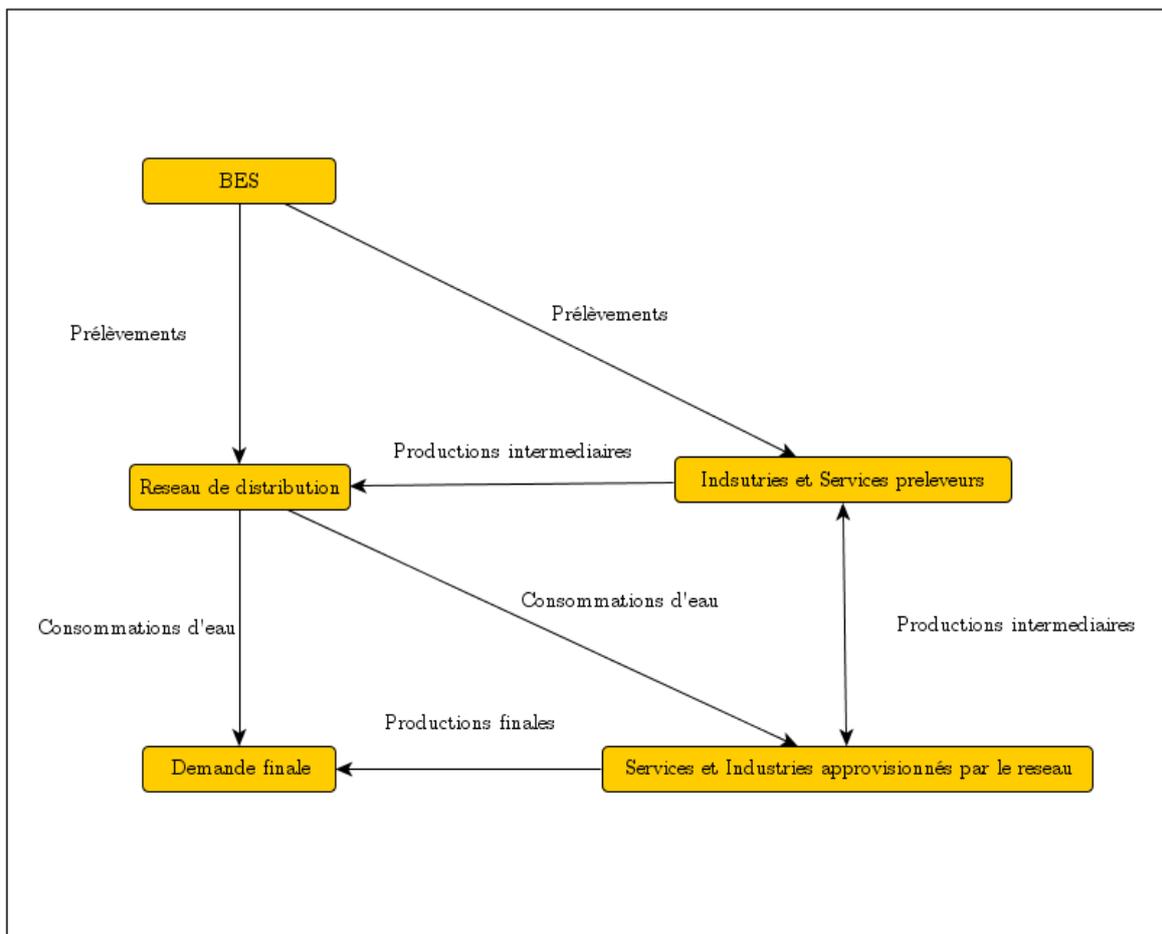


Figure 3-1 : Structure du système étudié

Source : adapté par l'auteur.

Le BES et l'économie régionale interagissent au travers des prélèvements (considérés comme un premier indicateur général de l'impact environnemental sur l'eau). Ces prélèvements sont effectués soit directement par les activités économiques, soit par l'intermédiaire d'un réseau de distribution qui prélève puis répartit les ressources en eau suivant la demande des composants économiques.

Ces ressources en eau sont ensuite utilisées par l'économie pour réaliser ses productions et par la demande finale pour satisfaire ses besoins en eau. Les productions économiques et leurs impacts environnementaux associés sont ensuite, conformément au modèle ES, répartis entre la production intermédiaire à destination des autres branches, la demande finale et les exportations.

Cette section explore ainsi ces données fournies par l'application des TES régionalisés. La première sous-section est consacrée à l'analyse des grandeurs régionalisée, la deuxième étudie les impacts économiques et environnementaux de la demande finale et des exportations, notamment par l'utilisation de la HEM et la troisième synthétise et conclue.

2.1 Portrait approfondi de l'économie du BES.

Le chapitre 1 a présenté les grandeurs directement disponibles : le PIB, la valeur ajoutée, l'emploi. Le processus de régionalisation développé dans le chapitre 2 a permis de construire les TES régionaux, fournissant ainsi de nouvelles données économiques régionales à analyser : la production, les ressources, le commerce extérieur et la demande finale régionale. Nous analysons donc ces grandeurs régionales par comparaison avec celles au niveau national issues, elles, des TES nationaux fournis par l'INSEE.

2.1.1. Production

La *production* est considérée comme l'ensemble des biens et services produits sur le territoire considéré. Il s'agit de la somme des consommations intermédiaires régionales et de la valeur ajoutée.

Le graphique 3-2 en représente l'évolution. La production totale régionale, de 94,59 milliards d'euros en 2004 (en valeur), est globalement croissante, et ce, de manière plus soutenue qu'au niveau national. Plusieurs variations sont notables, l'une en 2006-2007 pouvant correspondre à un impact du troisième choc pétrolier de 2005, et l'autre correspondant à la crise de 2009. Entre 2010 et 2012, la production rebondit pour décroître à nouveau en 2013 et se stabiliser en 2014 à 150,8 milliards d'euros.

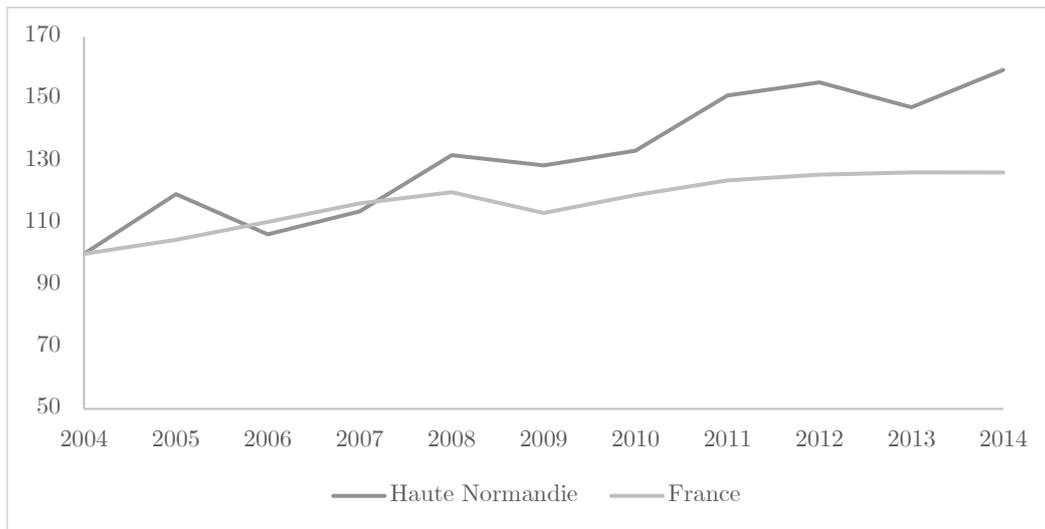


Figure 3-2 : Production en base 100

Source : adapté des TES régionalisés et des TES nationaux

Au niveau national, l'évolution est similaire, cependant la croissance nationale de la production est plus faible que celle observée au niveau régional (+26 %). La production nationale évolue également de manière plus « régulière » que la production régionale. En 2004, la production nationale était de 2979,62 milliards d'euros et atteignait 3761,61 milliards d'euros en 2014.

La *production par emploi* correspond au rapport entre la production et les emplois annuels. Celle-ci décrit alors la production en euro par emploi au niveau régional et national. Elle permet de comparer les performances de l'emploi entre les deux échelles géographiques.

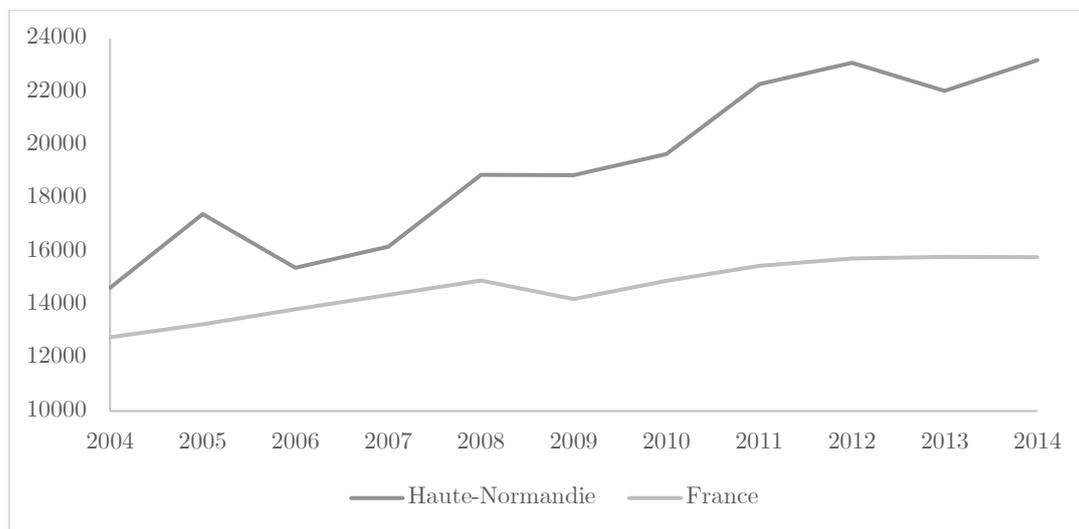


Figure 3-3 : Production par emploi (en euro de produit par emploi)

Source : adapté par l'auteur à partir des TES nationaux, des TES régionaux et des données sur l'emploi de l'INSEE

La production par emploi régionale est légèrement plus élevée qu'au niveau national. Cela s'explique principalement grâce à l'activité industrielle, et en particulier à la branche cokéfaction et raffinage qui emploie relativement peu de personnes (en moyenne 0,56 % de l'emploi régional sur la période), mais qui représente une part très élevée de la production régionale (en moyenne 15 % de la production régionale). En valeur absolue, cette branche emploie autour de 2712 personnes tout en produisant jusqu'à 28,85 milliards d'euros en 2014. Cette productivité remarquable s'explique par la présence des deux grandes raffineries de Normandie, qui comptent parmi les plus modernes et les plus importantes de France. Les raffineries normandes ont les indices Nelson les plus élevés de France : 8,7 pour la raffinerie Total, et 9,4 pour ExxonMobil à Notre-Dame-De-Gravenchon. L'indice Nelson est un indicateur de complexité et de sophistication d'une installation pétrolière. La moyenne de cet indice pour toutes les raffineries françaises est de 7,07 (les raffineries les plus complexes au monde ont des indices Nelson de 14 (Jamnagar, Inde) et 15,3 (Texas city, États unis)).

Cette différence entre la productivité de l'emploi régional et national est cependant à mettre en perspective avec justement le fait que la branche cokéfaction et raffinage, soit un producteur majeur, mais ne requiert que peu d'emploi et crée peu de valeur ajoutée. La productivité apparente du travail (rapport entre valeur ajoutée et emploi détaillé dans la section 2.2.3) du chapitre 1, montre que l'écart en termes de production de richesse (valeur ajoutée), est moins marqué entre le niveau national et régional.

L'analyse sectorielle de la production permet alors de déterminer les activités les plus représentées au niveau régional et national. La comparaison entre les deux niveaux géographiques montre clairement que l'activité régionale est spécialisée dans l'industrie (tableau 3-1). En effet, en 2014, ce secteur représente 44,9 % de la production régionale contre 24,5 % au niveau national. L'agriculture et la construction sont également des secteurs mieux représentés dans la production au niveau régional qu'au niveau national.

Tableau 3-1 : Répartition de la production

| En % | Agriculture | | Industrie | | Construction | | Services | |
|------|-------------|-----|-----------|------|--------------|-----|----------|------|
| | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat |
| 2004 | 2,4 | 2,2 | 38,2 | 26,8 | 7,2 | 7,0 | 52,2 | 64,0 |
| 2005 | 2,4 | 2,1 | 36,3 | 26,7 | 6,9 | 7,2 | 54,4 | 64,0 |
| 2006 | 2,0 | 1,9 | 36,8 | 26,7 | 8,0 | 7,5 | 53,3 | 63,9 |
| 2007 | 2,0 | 2,0 | 36,7 | 26,6 | 8,7 | 7,8 | 52,6 | 63,6 |
| 2008 | 2,2 | 2,0 | 43,7 | 26,4 | 7,9 | 8,0 | 46,2 | 63,7 |
| 2009 | 2,1 | 1,9 | 43,6 | 24,3 | 8,1 | 7,9 | 46,3 | 66,0 |
| 2010 | 2,4 | 2,0 | 43,9 | 24,7 | 8,1 | 7,5 | 45,6 | 65,9 |
| 2011 | 2,6 | 2,0 | 46,9 | 25,4 | 7,9 | 7,6 | 42,6 | 65,0 |
| 2012 | 2,9 | 2,1 | 46,1 | 24,9 | 7,9 | 7,5 | 43,1 | 65,5 |
| 2013 | 2,6 | 2,0 | 44,9 | 24,5 | 8,0 | 7,5 | 44,5 | 66,0 |
| 2014 | 2,6 | 2,0 | 44,9 | 24,5 | 7,5 | 7,5 | 45,0 | 66,0 |

Inversement, les services ne représentent que 45,0 % de la production régionale contre 66,0 % au niveau national en 2014. Cette proportion est de plus décroissante au cours de la période, ce qui correspond à une production industrielle de plus en plus importante, entraînant cette diminution de la proportion des services. De manière plus détaillée, le tableau 3-2 présente la répartition de la production industrielle en Haute-Normandie entre les branches correspondantes. L'annexe B rassemble les différentes nomenclatures utilisées.

La première production industrielle régionale est la cokéfaction et le raffinage (CD), qui représente une part croissante de la production industrielle (42,6 % de la production industrielle en 2014). Suivent ensuite, les branches de manufactures de matériel de transport (CL), les industries chimiques (CE), l'agroalimentaire (CA), les productions de matériaux non métalliques (CG) et la métallurgie (CH). Il s'agit principalement d'industries de transformation de matières premières en produits transformés (essence, plastiques, béton, verre, alimentation, produits chimiques) à destination d'industries de productions de biens finis (machines, équipements, électronique...). Ces industries (branches CA, CD, CE, CG et CH) représentent entre 57,3 % (2004) et 72,1 % (2014) de la production industrielle régionale, indiquant une forte spécialisation vers ce type de production.

Tableau 3-2 : Répartition de la production industrielle

| Branches (en %) | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BZ | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| CA | 9,3 | 8,5 | 9,0 | 8,8 | 6,9 | 7,1 | 7,8 | 6,7 | 6,7 | 7,3 | 6,1 |
| CB | 1,4 | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| CC | 4,7 | 4,4 | 4,5 | 4,3 | 3,2 | 3,0 | 3,8 | 3,3 | 3,0 | 3,4 | 2,9 |
| CD | 21,7 | 22,9 | 23,9 | 26,2 | 42,9 | 43,4 | 32,2 | 39,4 | 40,9 | 36,3 | 42,6 |
| CE | 9,4 | 9,0 | 9,4 | 9,3 | 9,0 | 9,3 | 10,4 | 11,2 | 10,2 | 9,6 | 10,2 |
| CF | 1,8 | 2,1 | 1,9 | 2,1 | 1,7 | 1,7 | 2,1 | 1,6 | 1,7 | 2,2 | 2,1 |
| CG | 8,1 | 8,2 | 8,1 | 8,8 | 6,9 | 6,4 | 7,8 | 7,0 | 6,9 | 7,2 | 6,5 |
| CH | 8,8 | 8,2 | 9,2 | 9,0 | 6,7 | 6,4 | 7,5 | 6,2 | 6,5 | 7,2 | 6,7 |
| CI | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| CJ | 2,6 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 1,4 |
| CK | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,6 | 1,9 | 1,8 | 2,1 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 1,8 |
| CL | 11,5 | 13,7 | 9,2 | 8,2 | 5,4 | 5,4 | 8,6 | 7,2 | 6,1 | 7,5 | 6,0 |
| CM | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,6 | 3,5 | 3,8 | 4,2 | 3,7 | 3,7 | 3,9 | 3,5 |
| DZ | 6,2 | 5,2 | 6,2 | 6,4 | 5,1 | 5,0 | 5,9 | 5,2 | 5,6 | 6,2 | 4,7 |
| EZ | 5,9 | 5,4 | 6,5 | 5,1 | 3,6 | 3,8 | 3,9 | 3,3 | 3,8 | 4,1 | 4,0 |

Source : TES régionalisés

Cette structure productive peut être justifiée par la présence des ports du Havre et de Rouen, qui facilitent l’approvisionnement en matières premières des grands sites industriels de transformation implantés le long de la Seine.

L’exception à ce constat est la branche production de matériels de transport, qui n’est pas une activité de production de matériaux secondaires. Cela s’explique que cette branche est historiquement bien implantée dans la région, notamment grâce aux sites de Renault-Sandouville et d’Alpine à Dieppe.

Pour les services, la production haute normande est concentrée sur cinq branches qui représentent plus de 50 % de la production de ce secteur : le commerce (GZ), le transport (HZ), l’immobilier (LZ), le soutien administratif (NZ) et l’administration publique (OZ). L’importance des deux premières branches, le commerce et le transport, est un résultat attendu. La forte production de ces branches s’explique par les activités maritimes et portuaires, bien implantées dans la région, qui participent à l’approvisionnement des industries régionales et de l’ensemble du pays.

Tableau 3-3 : Répartition de la production des services

| (en %) | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| GZ | 22,2 | 19,4 | 21,0 | 20,6 | 19,9 | 18,3 | 15,8 | 16,6 | 16,1 | 15,7 | 18,2 |
| HZ | 15,0 | 14,3 | 15,1 | 16,3 | 17,6 | 16,7 | 17,8 | 20,9 | 19,6 | 18,1 | 20,2 |
| IZ | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 2,5 |
| JA | 1,7 | 1,5 | 1,7 | 1,4 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,1 |
| JB | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 1,4 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| JC | 1,6 | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 1,6 |
| KZ | 4,5 | 5,3 | 4,8 | 4,7 | 4,6 | 5,7 | 5,3 | 4,9 | 4,8 | 5,1 | 4,9 |
| LZ | 10,5 | 9,1 | 10,9 | 10,6 | 10,3 | 10,8 | 11,1 | 9,8 | 10,1 | 10,4 | 9,6 |
| MA | 5,1 | 4,5 | 5,2 | 5,5 | 5,7 | 6,1 | 5,9 | 6,1 | 6,3 | 6,2 | 5,8 |
| MB | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| MC | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 0,9 |
| NZ | 10,5 | 9,5 | 10,9 | 10,6 | 10,6 | 9,8 | 9,3 | 9,5 | 9,1 | 8,8 | 8,1 |
| OZ | 6,7 | 6,6 | 6,9 | 7,3 | 7,4 | 7,9 | 7,9 | 7,2 | 7,5 | 7,7 | 7,7 |
| PZ | 4,3 | 3,8 | 4,3 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 3,9 | 4,0 | 4,4 | 4,1 |
| QA | 3,7 | 10,0 | 3,8 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,6 | 4,1 | 4,9 | 5,5 | 4,9 |
| QB | 5,5 | 5,4 | 5,4 | 5,7 | 5,7 | 6,3 | 6,5 | 5,7 | 6,0 | 6,3 | 5,9 |
| RZ | 0,7 | 1,3 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| SZ | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,2 |
| TZ | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,6 |

Source : TES régionalisés

2.1.2. Importations

Les importations sont constituées des biens et services produits en dehors d'un territoire, et consommés sur celui-ci pour compenser une production insuffisante ou à des ressources absentes sur ce territoire. Les importations régionales présentées ici sont les sommes des deux types d'importations : interrégionales et internationales.

Le graphique 3-4 indique l'évolution des importations totales au niveau régional et national en base 100. Les importations évoluent de manière assez similaire à la production. L'impact de la crise de 2008 est également bien visible. Celle-ci ayant causé une diminution de la production, les importations requises pour compléter la production ont donc dû augmenter à partir de 2011 pour compenser la baisse de production régionale.

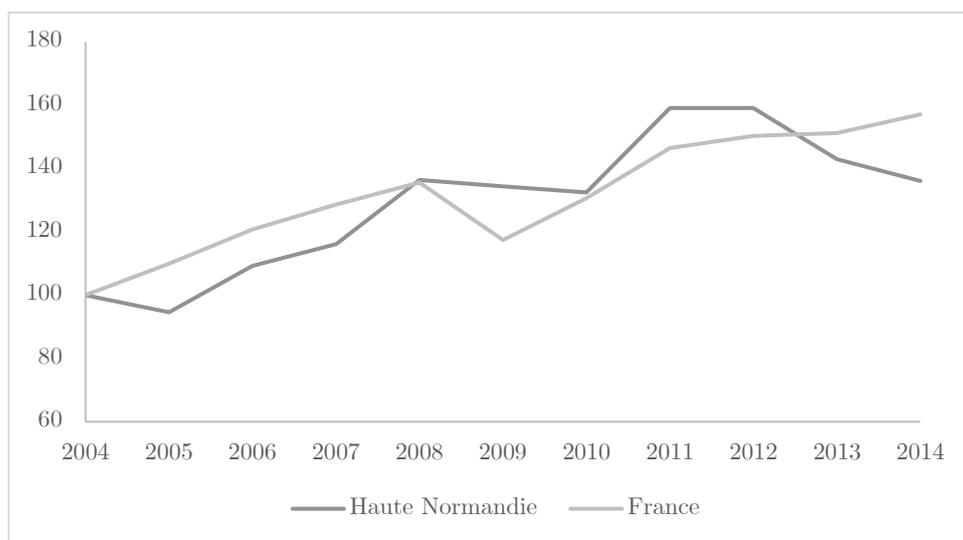


Figure 3-4 : Évolution en base 100 des importations

Source : adapté par l'auteur à partir des TES

À la différence de la production, les importations nationales ont progressé plus fortement que les importations régionales. En 2004 les importations nationales étaient de 406,7 milliards d'euros, et elles atteignent 641,8 milliards d'euros en 2014, soit une hausse de 57,1 %. Au niveau régional les importations passent de 56,6 milliards d'euros à 85,6 milliards d'euros en 2014, soit une hausse de 51,3 %.

Les importations et la production constituent les ressources, soit la quantité totale de biens ou services à disposition de l'économie étudiée. L'analyse de la proportion de la production et des importations dans les ressources permet de déterminer si la région ou le pays est plutôt importatrice ou productrice de ses ressources, ce que ne montre pas l'analyse des importations seules. Le tableau 3-4 indique la répartition des ressources régionales et nationales entre production et importations.

Tableau 3-4 : Répartition des ressources régionales

| En % | Région | | Nation | |
|------|------------|--------------|------------|--------------|
| | Production | Importations | Production | Importations |
| 2004 | 63,0 | 37,0 | 87,9 | 12,1 |
| 2005 | 68,3 | 31,7 | 87,4 | 12,6 |
| 2006 | 62,4 | 37,6 | 87,0 | 13,1 |
| 2007 | 62,6 | 37,4 | 86,8 | 13,2 |
| 2008 | 62,3 | 37,8 | 86,6 | 13,4 |
| 2009 | 62,0 | 38,0 | 87,5 | 12,5 |
| 2010 | 63,2 | 36,8 | 86,9 | 13,1 |
| 2011 | 61,8 | 38,2 | 86,0 | 14,0 |
| 2012 | 62,5 | 37,5 | 85,9 | 14,1 |
| 2013 | 63,7 | 36,3 | 85,9 | 14,1 |
| 2014 | 66,6 | 33,4 | 85,4 | 14,6 |

Sources : TES nationaux et TES régionalisés

Dans les deux cas, et sur la période considérée, la part des importations dans les ressources est stable : entre 31,7 % et 38,0 % au niveau régional, et entre 12,1 % et 14,6 % au niveau national. Étant donné que la région est un territoire plus petit que la nation, la part des importations est plus importante, à cause des importations interrégionales, qui constituent une catégorie d'importations supplémentaires. De plus, un territoire de petite taille n'est pas capable d'héberger autant d'activités productives qu'un autre territoire de grande taille ; il doit donc importer relativement plus de biens et services pour satisfaire sa demande interne.

Les structures des importations régionales et nationales sont détaillées dans le tableau 3-5. Les informations fournies par les importations confirment le caractère industriel de la Haute-Normandie. La majorité des importations concernent les services, sous-représentés dans la production régionale par rapport à la production nationale. Inversement, les importations de biens industriels sont, en proportion, largement inférieures aux nationales, ce qui est attendu, car la région est fortement productrice de ces biens.

Tableau 3-5 : Répartition des importations

| | Agriculture | | Industrie | | Construction | | Services | |
|------|-------------|-----|-----------|------|--------------|-----|----------|------|
| | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat |
| 2004 | 1,4 | 2,1 | 45,0 | 83,8 | 3,9 | 0,0 | 49,6 | 14,1 |
| 2005 | 0,8 | 2,0 | 44,6 | 84,2 | 2,0 | 0,0 | 52,5 | 13,8 |
| 2006 | 1,0 | 1,9 | 48,0 | 84,4 | 3,0 | 0,0 | 48,0 | 13,8 |
| 2007 | 1,0 | 1,9 | 49,2 | 83,9 | 3,2 | 0,0 | 46,6 | 14,2 |
| 2008 | 0,9 | 1,9 | 54,2 | 84,0 | 3,0 | 0,0 | 41,9 | 14,2 |
| 2009 | 1,0 | 2,1 | 52,7 | 79,3 | 2,8 | 0,0 | 43,5 | 18,6 |
| 2010 | 0,6 | 2,1 | 51,0 | 81,4 | 2,8 | 0,0 | 45,6 | 16,5 |
| 2011 | 0,6 | 1,9 | 67,1 | 82,1 | 2,6 | 0,0 | 29,8 | 16,0 |
| 2012 | 0,5 | 1,9 | 54,6 | 80,8 | 2,6 | 0,0 | 42,3 | 17,3 |
| 2013 | 0,8 | 2,0 | 51,4 | 79,2 | 0,9 | 0,0 | 46,8 | 18,8 |
| 2014 | 0,8 | 1,9 | 51,6 | 76,3 | 2,4 | 0,0 | 45,2 | 21,9 |

Sources : INSEE, TES nationaux et TES régionalisés

Les trois principales importations de la région Haute-Normandie sont les produits de la cokéfaction et raffinage (CD), les services des activités pour la santé humaine (QA) et les produits des industries extractives (BZ). Les importations de ces trois branches représentent une part croissante des importations régionales (de 34,2 % en 2004 à 38,3 % en 2014).

L'observation des branches industries extractives (BZ) et cokéfaction et raffinage (CD) est révélatrice de l'activité régionale et de la structure des échanges de pétrole français. Les importations des industries extractives représentent ainsi l'arrivée de pétrole et gaz bruts qui seront raffinés et transformés dans les raffineries normandes. Ces dernières produisent environ 200 produits différents issus du pétrole : du kérosène, des huiles et graisses industrielles, du carburant... Les importations de la

branche cokéfaction et raffinage (CD) correspondent donc aux produits issus du pétrole qui ne sont pas créés dans les raffineries normandes. Ces importations élevées s’expliquent par la forte demande nationale en gazole : les raffineries françaises n’en produisent pas assez pour satisfaire la demande nationale, il doit donc en être importé (UFIP, Garnier (2017)). Inversement, les raffineries françaises produisent de l’essence en surplus qui est exportée vers les pays fournisseurs de gazole. Il s’agit là d’une particularité des échanges français de carburants dérivés du pétrole.

Les importations de services pour la santé humaine s’expliquent principalement par la forte implantation de ce secteur (en termes d’emploi et d’infrastructure avec notamment deux grands hôpitaux à Rouen et au Havre) dans la région, nécessitant des approvisionnements supplémentaires.

2.1.3. Demande finale et exportations

La demande finale regroupe les demandes des ménages, des administrations, l’investissement et les variations de stocks. Les exportations sont les biens et services à destination de demandes finales ou intermédiaires extérieures. Dans le TES national, la demande finale et les exportations appartiennent au même tableau : le tableau des emplois finaux (TEF, chapitre 2 section 3.2.3), c’est pourquoi ils seront traités dans la même sous partie. Les structures des demandes finales régionales et nationales sont rassemblées dans le tableau 3-6. Elles ont des structures assez proches. Ce résultat est attendu, car la consommation des ménages régionale est une homothétie de la consommation des ménages nationale en proportion de la population. Ceci est basé sur l’hypothèse que les paniers moyens régionaux et nationaux sont identiques. La consommation des ménages étant le composant majeur de la demande finale, il en résulte que les demandes finales régionales et nationales ont une structure similaire.

Tableau 3-6 : Répartition de la demande finale

| En % | Agriculture | | Industrie | | Construction | | Services | |
|------|-------------|-----|-----------|------|--------------|------|----------|------|
| | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat |
| 2004 | 0,8 | 1,5 | 21,4 | 24,6 | 5,7 | 10,6 | 72,1 | 63,4 |
| 2005 | 1,2 | 1,4 | 18,7 | 24,3 | 7,0 | 10,9 | 73,2 | 63,4 |
| 2006 | 0,9 | 1,4 | 25,9 | 24,1 | 7,1 | 11,4 | 66,1 | 63,2 |
| 2007 | 0,8 | 1,4 | 22,0 | 23,9 | 6,2 | 11,7 | 71,1 | 62,9 |
| 2008 | 0,7 | 1,3 | 24,0 | 23,7 | 6,1 | 11,9 | 69,2 | 63,1 |
| 2009 | 0,7 | 1,3 | 22,3 | 21,7 | 6,2 | 11,3 | 70,9 | 65,7 |
| 2010 | 0,6 | 1,0 | 15,5 | 17,9 | 5,8 | 10,9 | 78,2 | 70,2 |
| 2011 | 0,3 | 0,8 | 9,6 | 19,0 | 4,6 | 11,0 | 85,5 | 69,2 |
| 2012 | 0,6 | 1,0 | 17,4 | 18,3 | 5,8 | 10,8 | 76,2 | 69,8 |
| 2013 | 0,5 | 0,9 | 16,8 | 18,4 | 5,8 | 10,7 | 76,9 | 70,0 |
| 2014 | 1,0 | 1,4 | 16,8 | 22,8 | 7,2 | 10,5 | 75,0 | 65,4 |

Sources : INSEE, TES nationaux et TES régionalisés

Les différences entre la demande finale régionale et nationale s'expliquent en partie par le calcul de l'investissement (FBC : FBCF+variation de stock+acquisition/cession d'objets de valeur) qui est déterminé en proportion de la production régionale, et la différence en proportion du nombre de fonctionnaires. L'investissement régional est plus orienté vers les activités industrielles, puisqu'il est calculé en proportion de la production de celle-ci.

Cependant, la demande finale (consommation des ménages, des administrations publiques et des ONG) est, elle, calculée en proportion de la population pour les ménages et les ONG, et celle des administrations, en proportion du nombre de fonctionnaire. Étant donné que la région est relativement bien dotée en fonctionnaires territoriaux, et en particulier de santé, sa demande finale des services, sur laquelle se concentre la demande des administrations, est d'autant plus grande.

Ainsi, le poids particulièrement important de la demande finale régionale des administrations sur les services explique pourquoi la demande finale agrégée de la région Haute Normandie est plus orientée vers les services que celle au niveau national. La figure 3-5 montre l'évolution des différentes consommations finales des ménages au cours de la période 2004-2014.

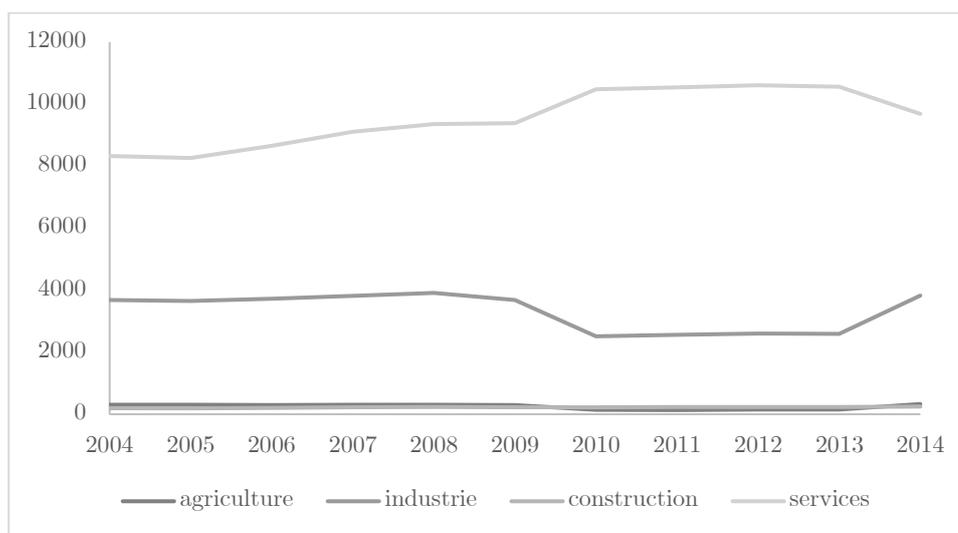


Figure 3-5 : Demande des ménages (euro par habitant)

Source : TES régionalisés

Le premier poste de dépense des ménages est constitué des services, suivi de l'industrie. La construction et l'agriculture occupent une part quasiment constante de la demande des ménages. Les services et l'industrie évoluent de manière quasi symétrique. La crise de 2008 a causé une chute dans la consommation de biens industriels, ce qui a fait mécaniquement augmenter la part des services dans la demande des ménages (la demande finale en valeur des ménages en services est, elle, restée stable durant cette période)

Une analyse plus détaillée permet d'identifier les principaux postes de demande des ménages. Ils sont répertoriés par branche dans le tableau 3-7. L'industrie occupe une part importante de la demande finale du fait de la demande en produits agroalimentaires. Il s'agit du deuxième poste de consommation des ménages, correspondant aux dépenses pour l'alimentation. Les ménages consomment assez peu de produits agricoles, mais plutôt des produits alimentaires transformés, ce qui explique à la fois la faible part de l'agriculture et la part élevée de l'agroalimentaire dans la demande finale.

Tableau 3-7 : Demande finale des ménages par secteur

| En % | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Agriculture | 2,5 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 2,3 |
| Industrie | 29,4 | 29,4 | 28,9 | 28,4 | 28,4 | 27,1 | 18,8 | 19,0 | 19,1 | 19,1 | 27,2 |
| • Dont Agroalimentaire | 10,3 | 10,3 | 10,0 | 9,9 | 10,0 | 9,7 | 8,6 | 8,7 | 8,8 | 8,8 | 10,2 |
| • Dont Cokéfaction et raffinage | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,3 | 2,7 | 1,8 | 1,8 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 |
| • Dont Énergie | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,2 | 3,6 | 3,6 | 3,6 |
| Construction | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| Services | 66,6 | 66,6 | 67,2 | 67,7 | 67,8 | 69,1 | 78,4 | 78,3 | 78,0 | 78,0 | 68,7 |
| • Dont Commerce | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 9,5 | 9,5 | 11,0 | 19,7 | 19,5 | 19,5 | 19,5 | 9,9 |
| • Dont Immobilier | 21,8 | 21,8 | 21,9 | 21,8 | 21,7 | 22,5 | 23,5 | 23,7 | 24,0 | 24,0 | 23,7 |
| • Dont Hébergement, restauration | 7,4 | 7,4 | 7,5 | 7,5 | 7,4 | 7,4 | 7,7 | 7,8 | 7,9 | 7,9 | 7,8 |

Source : adapté des TES régionaux

Dans les services, la principale consommation des ménages concerne la branche immobilière (IZ), qui inclut les services de location. Il s'agit là des dépenses de logement. Il s'agit du premier poste de consommation des ménages tous secteurs confondus. Ensuite viennent la demande en activités commerciales (GZ), puis l'hébergement et la restauration (IZ) liée aux périodes de vacances et divertissements.

Concernant les exportations, celles-ci ont évolué d'une manière similaire à la production. Les exportations hautes normandes s'élevaient à 60,22 milliards d'euros en 2004 et atteignent 87,83 milliards d'euros en 2014.

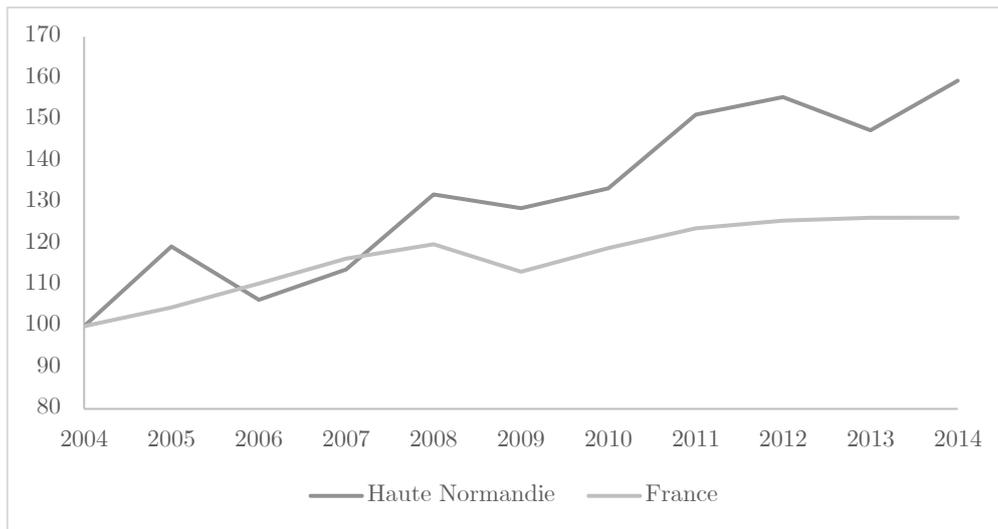


Figure 3-6 : Exportations en base 100

Source : TES nationaux et régionalisés

Les effets du choc pétrolier de 2005 et de la crise de 2008 s'observent également sur les exportations avec ces creux en 2006 et entre 2009 et 2010. Cependant au cours de la période 2004-2014, les exportations sont globalement croissantes : +23,1 %.

La balance commerciale permet de mettre en relation les exportations avec les importations pour déterminer si la région est plutôt émettrice ou réceptrice de flux économiques. La balance commerciale régionale a été fortement détériorée dès 2005 par le choc pétrolier puis par la crise de 2008 évoqués précédemment. On remarque que les effets de ces deux événements ont affecté durablement l'économie régionale sur toute la période. Cependant, malgré le fait que la région soit déficitaire, la balance commerciale s'est stabilisée en 2006 autour de -45 milliards d'euros. Elle reste alors autour de -50 milliards d'euros pendant le reste de la période.

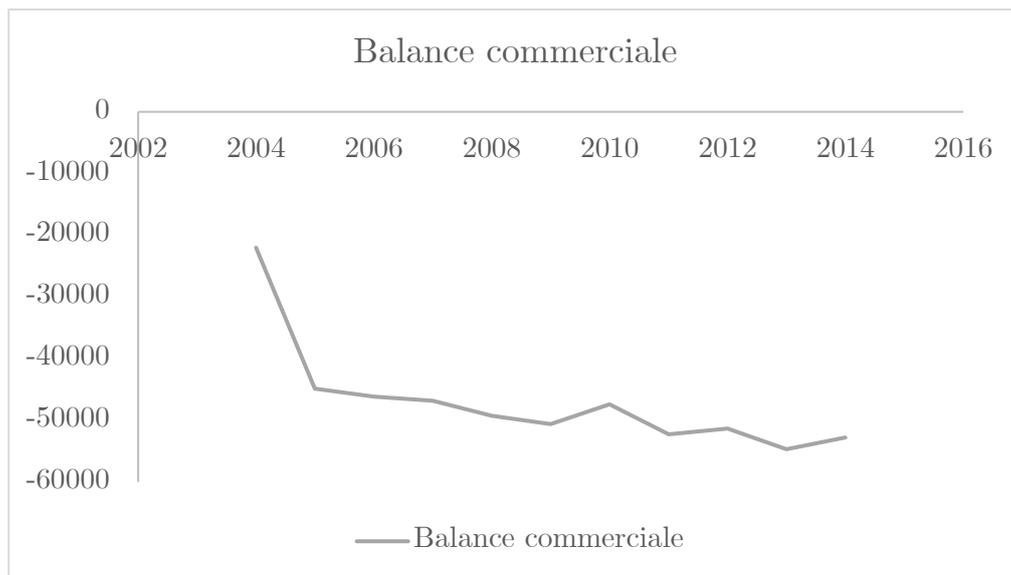


Figure 3-7 : Balance commerciale (en valeur, en million d'euros)

Source : TES régionalisés

Plus en détail, la région est largement importatrice, de biens industriels : principalement des industries extractives et de produits manufacturés, par contre elle est exportatrice nette de produits issus de la cokéfaction et le raffinage, d'énergie et de services de dépollution.

Les services sont également largement importés à l'exception du commerce et du transport qui sont deux exportations importantes. Elle exporte également des activités de construction.

L'analyse sectorielle permet alors de détailler la nature des exportations régionales et nationales. Ainsi, la région est plus exportatrice de services et de productions agricoles que la nation. L'industrie est moins représentée dans les exportations au niveau régional que national.

Tableau 3-8 : Répartition des exportations (en pourcentage)

| | Agriculture | | Industrie | | Construction | | Services | |
|------|-------------|-----|-----------|------|--------------|-----|----------|------|
| | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat | Région | Nat |
| 2004 | 3,9 | 2,6 | 37,0 | 73,8 | 10,0 | 0,0 | 49,1 | 23,6 |
| 2005 | 3,6 | 2,5 | 37,9 | 72,3 | 9,1 | 0,0 | 49,4 | 25,3 |
| 2006 | 3,2 | 2,2 | 35,8 | 73,6 | 11,3 | 0,0 | 49,8 | 24,2 |
| 2007 | 3,4 | 2,3 | 33,3 | 72,3 | 12,3 | 0,0 | 51,0 | 25,3 |
| 2008 | 4,0 | 2,6 | 37,6 | 70,3 | 12,0 | 0,0 | 46,4 | 27,2 |
| 2009 | 3,9 | 2,5 | 39,6 | 67,5 | 11,5 | 0,0 | 45,0 | 30,0 |
| 2010 | 4,0 | 2,3 | 44,4 | 65,6 | 12,5 | 0,0 | 39,1 | 32,0 |
| 2011 | 4,6 | 2,4 | 43,0 | 64,9 | 11,7 | 0,0 | 40,7 | 32,7 |
| 2012 | 5,0 | 2,3 | 42,7 | 64,3 | 11,9 | 0,0 | 40,3 | 33,4 |
| 2013 | 5,3 | 2,3 | 45,3 | 63,0 | 10,6 | 0,0 | 38,8 | 34,7 |
| 2014 | 4,9 | 2,4 | 32,7 | 63,7 | 11,9 | 0,0 | 50,5 | 33,9 |

Sources : INSEE, TES nationaux et TES régionalisés

Tout d'abord, la présence des exportations de la construction uniquement au niveau régional s'explique par les échanges interrégionaux, qui n'existent pas au niveau national.

L'examen des exportations montre un portrait différent de ce qui a pu être constaté jusqu'ici sur la Haute-Normandie. En effet, les exportations régionales du secteur industriel sont proportionnellement inférieures aux exportations nationales, ce qui ne correspond pas au caractère industriel de la région. De plus, les exportations de services sont également bien plus fortes, en proportion, au niveau régional qu'au niveau national, alors que les grandeurs précédentes (production, importations, emplois) montrent que les services sont proportionnellement sous-représentés dans l'économie régionale par rapport au niveau national.

Pour expliquer ces différences, il faut étudier en détail la répartition des exportations entre les branches régionales et nationales.

Au niveau national, les principales exportations sont surtout concentrées autour de branches industrielles. Ainsi, trois branches industrielles de transformation de matières premières (CA, agroalimentaire, CE, industrie chimique et CH) représentent en moyenne 20,4 % des exportations françaises sur la période 2004-2014. Trois industries de haute technologie (CL : manufacture de moyens de transport : automobile, aéronautique, construction navale, CK fabrication de machines et d'équipements, et CI fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques) représentent la majeure partie des exportations françaises : 27,5 % en moyenne sur la période 2004-2014. La manufacture des matériels de transport représente à elle seule entre 15 et 20 % des exportations françaises.

Concernant les services, le commerce (GZ), le transport (HZ) et le soutien administratif (NZ) sont les principales branches exportatrices françaises, représentant 20,1 % en moyenne des exportations françaises. Le commerce et le transport représentent chacun autour de 8 % des exportations. Seules ces trois branches de services semblent ressortir dans les exportations nationales.

Les principales exportations nationales sont donc réparties entre neuf branches dont six industrielles. Les exportations industrielles se concentrent surtout sur des biens de haute technologie : matériels électroniques et optiques (CI), manufacture de machines et d'équipements (CK), et d'équipements de transport (CL). La branche métallurgie CH pourrait également être comptée comme branche de haute technologie dans l'analyse au niveau national, car celle-ci inclut la production d'armement, qui compte pour 5 à 8 milliards d'euros dans les exportations françaises (Lamigeon, 2017). Cette forte présence des industries de haute technologie dans les exportations nationales explique donc pourquoi la part de l'industrie est si développée au niveau national.

À l'échelle régionale, les exportations principales sont regroupées autour de six branches. Deux branches relatives aux industries de transformation, CD (cokéfaction et raffinage) et CE (industrie chimique) représentent 14,7 % des exportations régionales, en moyenne sur la période 2004-2014. La branche CL (manufacture de matériels de transport) représente en moyenne 4,3 % des exportations

régionales. La région Haute-Normandie est, aussi fortement exportatrice d'activités de construction (FZ), celle-ci comptant pour 11,3 % des exportations régionales.

Les principaux services exportés sont le commerce (GZ) et le transport (HZ) qui représentent respectivement 13,2 % et 13,9 % en moyenne des exportations régionales. La troisième branche de services exportatrice majeure est la branche de soutien administratif (NZ), avec 6,4 % des exportations régionales.

Les exportations régionales apparaissent donc plus concentrées sur les activités de services et en particulier le transport et le commerce, ce qui correspond au profil de la Haute-Normandie caractérisée par ses deux grands ports. La concentration de l'activité industrielle autour de la cokéfaction et raffinage et des industries chimiques explique la part relativement faible des exportations industrielles régionales en comparaison avec le niveau national.

Pour compléter cette étude, la proportion des exportations dans les emplois finaux va être analysée. Ces derniers sont, en effet, composés de la demande finale (somme de la demande des ménages, des administrations, des ONG, de l'investissement et de la variation des stocks) et des exportations. La proportion des exportations, ou de la demande finale (qui est la proportion inverse), dans les emplois finaux permet de déterminer si l'activité finale d'une branche est destinée aux marchés extérieurs, ou à la demande finale interne.

2.1.4. Comparaison exportations/ demande finale.

L'analyse de la répartition des emplois finaux, entre la demande finale et les exportations, complète ce portrait en identifiant les destinataires des productions régionales finales.

Tableau 3-9 : Part des exportations dans les emplois finaux

| En % | Agriculture | Industrie | Construction | Services |
|------|-------------|-----------|--------------|----------|
| 2004 | 64,5 | 39,1 | 40,3 | 20,7 |
| 2005 | 67,6 | 57,1 | 46,0 | 30,7 |
| 2006 | 61,7 | 38,5 | 41,8 | 25,4 |
| 2007 | 62,8 | 37,0 | 43,8 | 21,8 |
| 2008 | 70,9 | 40,2 | 45,8 | 22,3 |
| 2009 | 69,9 | 41,8 | 42,8 | 20,4 |
| 2010 | 78,3 | 58,7 | 51,8 | 19,9 |
| 2011 | 85,4 | 65,5 | 51,7 | 16,7 |
| 2012 | 82,4 | 57,6 | 53,0 | 22,7 |
| 2013 | 83,2 | 54,6 | 45,0 | 18,4 |
| 2014 | 77,5 | 58,8 | 54,8 | 33,0 |

Source : adapté des TES régionalisés

Les productions agricoles, industrielles et la construction sont ainsi majoritairement destinées à l'exportation, tandis que les services sont principalement dédiés à la demande finale régionale.

En détail par branche, les produits et services destinés à l'exportation plutôt qu'à la demande finale (celles dont le rapport exportations/emplois finaux est supérieur à 50 %) sont présentés dans le tableau 3-10.

Tableau 3-10 : Branches orientées vers l'exportation (moyenne sur la période 2004-2014)

| En % | Proportion de production finale exportée |
|---|--|
| Agriculture | |
| AZ | 73,1 % |
| Industries | |
| CC | 77,7 % |
| CD | 54,5 % |
| CE | 76,0 % |
| CG | 77,7 % |
| CH | 73,4 % |
| DZ | 68,0% |
| Distribution de l'eau et dépollution | |
| EZ | 73,3 % |
| Services | |
| GZ | 60,3 % |
| HZ | 80,6 % |
| JC | 63,1% |
| MA | 72,8 % |
| MC | 77,7 % |
| NZ | 88,9% |
| TZ | 70,9 % |

Source : adapté des TES régionalisés

Les produits et services dédiés à l'exportation plus qu'à la satisfaction de la demande finale locale confirment l'orientation résolument industrielle de la région. Les branches industrielles y sont majoritairement représentées. Les principales productions régionales sont destinées à être exportées : il s'agit notamment de l'agroalimentaire, de la cokéfaction et du raffinage, des matériaux métalliques et non métalliques, des matériels électriques et des matériels de transport.

Les branches énergie et eau/dépollution destinent une part majoritaire de leurs productions finales à l'exportation plutôt qu'à la demande finale régionale. L'électricité constitue un marché particulier, car la distribution d'électricité ne se fait pas selon le découpage administratif des régions. Les deux centrales nucléaires hautes normandes approvisionnent ainsi, non seulement la région, mais également une partie du nord de la France, et parfois le sud de l'Angleterre, suivant les demandes adressées au réseau de distribution d'électricité : ceci explique la proportion élevée des exportations d'électricité dans les emplois finaux.

Concernant la branche distribution d'eau et dépollution, les activités de distribution d'eau ne peuvent être source d'exportations, car elles sont gérées par des délégations de services publics confiées aux collectivités territoriales, donc des subdivisions territoriales de la région. La proportion des

exportations de cette branche dans les emplois finaux, s'explique par la présence du grand incinérateur de Rouen qui peut proposer des services de dépollution en dehors de la région, notamment grâce à sa capacité à traiter les déchets hospitaliers des départements proches.

L'agriculture est également une production régionale plus largement exportée que consommée sur place. Celle-ci est principalement dédiée à la production de colza et de blé dans le sud-est de l'Eure. Le Vexin normand est dédié à la production de pommes de terre et de betteraves. Les pays de Caux et d'Auge (partie nord et ouest de la région) sont, eux, principalement occupés par les élevages de bovins pour le lait et la viande, qui d'ailleurs représente la principale production agricole de Haute-Normandie (INSEE, 2016f). L'importance de cette activité particulière dans la production agricole explique ainsi cette forte tendance à l'exportation de l'agriculture régionale.

En termes de services, ce sont principalement les activités de transport et de commerce qui sont exportés, accompagnés par les services annexes liés à ces activités : soutien administratif, réalisation d'études, conseils juridiques, activités d'assurance, ainsi que les activités informatiques et d'information. Cela recoupe les conclusions de l'analyse des autres grandeurs étudiées précédemment. Il en ressort également que l'industrie, composant majeur de la production régionale, n'est pas majoritairement dépendante de la demande finale locale, mais plutôt des exportations de la région, c'est-à-dire de demandes extérieures à la Haute-Normandie.

En complément à ce constat sur la forte importance de branches industrielles peu créatrices de valeur ajoutée, il faut noter que les branches de services, qui, elles, sont productrices de valeur ajoutée, sont sous-représentées dans l'économie régionale. Ceci expliquant pourquoi le PIB par emploi est plus faible en Haute Normandie qu'au niveau national, et ce d'autant plus que les deux activités de services principales de la région : le commerce et le transport, sont des activités relativement peu créatrices de valeur ajoutée.

Ainsi, pour élaborer plus en profondeur le concept de création de valeur ajoutée, la sous-section suivante est consacrée à l'analyse par branche du rapport entre valeur ajoutée et production : le taux de valeur ajoutée.

Ce rapport mesure la capacité des branches à dégager des richesses des branches par rapport à leurs productions totales. Le taux de valeur ajoutée est particulièrement élevé pour les services, et les industries de haute technicité. Inversement les industries lourdes et l'agriculture se caractérisent par des taux de valeur ajoutée faibles. Ces branches doivent en effet mobiliser un capital important pour pouvoir produire. Le tableau 3-11 résume les principaux taux de valeurs ajoutées (les neufs plus élevés et les neufs plus faibles). Les taux indiqués correspondent à la moyenne par branche sur la période 2004-2014.

Tableau 3-11 : Taux de valeurs ajoutées

| Branches | Valeurs supérieures | Branches | Valeurs inférieures |
|----------|---------------------|----------|---------------------|
| TZ | 100,0 | HZ | 29,3 |
| PZ | 88,4 | CA | 28,2 |
| LZ | 84,4 | CH | 28,1 |
| OZ | 81,7 | AZ | 27,6 |
| QB | 78,4 | EZ | 26,7 |
| QA | 71,5 | DZ | 22,6 |
| SZ | 60,0 | CL | 20,0 |
| IZ | 55,7 | CE | 16,8 |
| CF | 53,1 | CD | 3,6 |

Source : calculé par l'auteur

Ce tableau montre que les rapports les plus élevés sont essentiellement dans les services en général et certaines branches industrielles : pharmaceutique (CF), manufacture de matériel électrique (CJ), manufacture de matériels électroniques (CI), manufacture de biens d'équipements (CK), autres industries (CM) (L'annexe C détaille les taux de valeur ajoutée pour toutes les branches). La branche TZ est particulière : il s'agit des activités des ménages en tant qu'employeurs, et ses consommations et productions intermédiaires sont nulles, expliquant son taux de valeur ajoutée égal à 100%. Nous ne l'analyserons pas, d'autant plus qu'il s'agit d'une branche mineure de l'économie.

Une exception à ce constat est la branche BZ, les industries extractives qui, en Haute-Normandie, concernent surtout des activités de carrières de pierres et de gravières. Ce cas particulier peut s'expliquer par la faible consommation intermédiaire de l'activité locale de cette branche, principalement concentrée dans sa demande en produits pétroliers (CD), en matériaux de construction (CG) et son autoconsommation (BZ).

Un autre constat qui peut être tiré de cet indicateur est que celui-ci est décroissant pour une grande majorité des branches, indiquant que la part de la valeur ajoutée dans la production est décroissante et inversement que la part de la consommation intermédiaire diminue.

Les seules branches pour lesquelles ce rapport est croissant sont l'industrie du textile (CB) marginalement implantée dans la région, l'industrie pharmaceutique (CF), la fabrication de matériel électronique (CI), les activités bancaires et d'assurance (KZ), l'immobilier (LZ), et l'hébergement médico-social (QB). Ces branches concernent toutes des activités soit de haute technologie soit requérant des emplois qualifiés.

L'analyse des grandeurs des TES régionaux apporte une connaissance approfondie du fonctionnement de l'économie régionale du BES.

Tout d'abord, un aspect qui n'apparaît pas clairement en analysant simplement les valeurs ajoutées et le PIB est l'importance des branches cokéfaction et raffinage (CD) et les industries extractives (BZ) dans le fonctionnement de l'économie régionale.

L'économie régionale est en partie organisée autour de ces deux branches, qui, si elles ne dégagent pas de valeurs ajoutées importantes, ont des productions et des ressources particulièrement élevées qui entraînent et fournissent des biens intermédiaires à l'industrie régionale haute normande. L'implantation et le fonctionnement de ces deux branches sont appuyés par l'activité portuaire qui participe à leur approvisionnement en matières premières.

2.1.5. Discussion sur la dynamique de la matrice interbranche et évolution sur la période

Le modèle Entrées Sorties est par nature un outil statique, dont nous avons produit huit versions couvrant les huit années de la période 2008-2014. Il serait intéressant de pouvoir les exploiter pour en obtenir une version dynamique.

En effet de tel modèles ES dynamiques existent (Miller et Blair, 2009). Ils reposent sur l'effet de l'investissement sur les coefficients techniques. L'investissement permettrait de « matérialiser » le progrès technique et son influence sur les coefficients, modifiant ainsi la matrice A . La construction de ce modèle dynamique repose sur l'utilisation de « coefficients de capitaux »: « ..., *this coefficient is interpreted as the amount of sector i 's product (in dollars) held as a capital stock for production of one dollar's worth of output by sector j .* ».

Ce modèle dynamique est intéressant, mais il implique de connaître le stock de capital contenu dans chaque flux du TES, et d'anticiper les intentions d'investissements dans chaque branche. Le modèle analyse donc les évolutions d'un modèle ES sous des scénarios d'investissement, mais ne fournit pas de méthode de projection à proprement parler. Il ne semble ainsi pas suffisamment adapté à réaliser une projection temporelle d'un TES par prolongement des tendances bien qu'une modification de la structure de la matrice A soit effectivement à faire pour intégrer les tendances d'évolution des coefficients techniques.

Hewings et Jensen (1987) et Hewings et al. (1988), répondant à la critique faite selon laquelle le modèle ES classique est mal adapté à l'analyse du changement technologique, car statique, ont montré que la notion de « *field of influence* » (méthode de représentation des changements dans les coefficients) peut quand même être utilisée pour évaluer les effets du changement technologiques et donc dépasser cette limite. Les modifications de structure liées aux évolutions technologiques peuvent être alors intégrées au modèle ES, et ainsi évaluer les impacts de l'innovation sur la structure du TES. Ils fournissent ainsi une version du TES dynamique, évoluant suivant le *field of influence*, lui-même déterminé à partir des innovations technologiques.

Israilevich et al. (1996, 1997), dans la continuité de Hewings, propose une étude sur les évolutions structurelles des modèles ES, en particulier sur les données de Chicago. Il s'agit d'une estimation, basée sur l'économétrie temporelle, des composants du TES. Cette méthode repose donc sur l'estimation l'évolution tendancielle des composants du modèle ES, en particulier les coefficients techniques, pour représenter le progrès technique.

La première méthode repose sur une étude spécifique des TES régionaux afin de déterminer la contribution du capital dans chaque coefficient technique. Une enquête de terrain serait éventuellement nécessaire. La seconde méthode nécessite d'avoir une série suffisamment longue de TES régionaux pour mener à bien l'estimation statistique.

N'ayant pas les données nécessaires à l'application de ces deux méthodes, nous avons cependant produit huit TES, qui permettent d'observer l'économie régionale sur une période suffisamment longue pour établir des tendances et tenir compte des effets conjoncturels qui viendraient biaiser l'analyse. Les TES produits dans ce travail pourraient servir de point de départ pour construire une série suffisamment longue pour pouvoir appliquer à l'avenir ces méthodes.

Nous pouvons ainsi présenter l'évolution des coefficients techniques sur la période 2008-2014 étudiée. Trois données sont considérées : la moyenne sur la période, qui donne un aperçu de la valeur intertemporelle du coefficient, l'écart type qui vient préciser cette valeur, et enfin le taux de variation globale entre 2008 et 2014 qui permet de déterminer la tendance d'évolution des coefficients. Les coefficients techniques sont calculés à partir des données en volume, les prix ne sont donc pas pris en compte.

Les coefficients techniques ont majoritairement tendance à augmenter (779 coefficients techniques sont croissants et 590 coefficients sont décroissants). Ce résultat est cohérent avec les prévisions de l'ADEME, qui nous conduisaient à une augmentation en nombre et en intensité des relations interbranches.

De manière plus synthétique, le tableau 3-12 détaille la moyenne des coefficients techniques par branche (en colonne), l'écart type et la variation globale. Ce tableau permet de repérer les branches ayant les consommations intermédiaires moyennes les plus élevées et leurs variations globales au cours de la période.

Une précision doit être apportée : il apparaît que les consommations intermédiaires des activités pour la santé humaine ont augmenté fortement au cours de la période. Cependant, cela s'explique principalement par des variations de valeurs infimes (passant d'un ordre de grandeur de 10^{-5} à 10^{-3} entre 2008 et 2014). Cela pourrait effectivement correspondre à une augmentation du recours à des services de santé en entreprise, mais cela s'applique à de très petites valeurs, d'où ces taux de variation très élevés. Pour éviter que ces taux de variations ne biaisent les calculs de taux de variation, nous proposons dans

le tableau suivant, une mesure intégrant les activités pour la santé humaine (QA) et une mesure sans QA, qui serait plus réaliste.

Tableau 3-12 : Caractéristiques des moyennes des coefficients techniques

| Branche | Coefficients techniques | | | Coefficients techniques | | |
|---------|-------------------------|------------|-------------------|-------------------------|------------|-------------------|
| | Avec QA | | | Sans QA | | |
| | Moyenne | Écart type | Variation globale | Moyenne | Écart type | Variation globale |
| AZ | 0,017 | 0,003 | 17,7 % | 0,017 | 0,003 | 13,6 % |
| BZ | 0,002 | 0,001 | 30,8 % | 0,002 | 0,001 | -24,3 % |
| CA | 0,013 | 0,002 | 123,2 % | 0,013 | 0,002 | 28,2 % |
| CB | 0,004 | 0,001 | -3,1 % | 0,004 | 0,001 | -44,9 % |
| CC | 0,012 | 0,002 | 90,2 % | 0,012 | 0,002 | 14,8 % |
| CD | 0,017 | 0,003 | 25,7 % | 0,017 | 0,003 | -11,1 % |
| CE | 0,013 | 0,002 | 47,4 % | 0,014 | 0,002 | -13,5 % |
| CF | 0,004 | 0,002 | 22,1 % | 0,004 | 0,002 | -25,1 % |
| CG | 0,012 | 0,002 | 61,6 % | 0,012 | 0,002 | -0,1 % |
| CH | 0,012 | 0,001 | 98,2 % | 0,012 | 0,001 | 20,8 % |
| CI | 0,004 | 0,001 | 54,0 % | 0,004 | 0,001 | -10,7 % |
| CJ | 0,006 | 0,001 | 38,2 % | 0,006 | 0,001 | -20,6 % |
| CK | 0,006 | 0,001 | 77,5 % | 0,006 | 0,001 | 2,5 % |
| CL | 0,010 | 0,002 | 49,9 % | 0,010 | 0,002 | -12,4 % |
| CM | 0,010 | 0,001 | 108,5 % | 0,010 | 0,001 | 17,3 % |
| DZ | 0,017 | 0,002 | 100,9% | 0,018 | 0,002 | 21,3% |
| EZ | 0,017 | 0,003 | 138,6 % | 0,017 | 0,003 | 64,4 % |
| FZ | 0,016 | 0,002 | 101,8 % | 0,016 | 0,002 | 18,0 % |
| GZ | 0,014 | 0,005 | 206,6 % | 0,015 | 0,005 | 68,2 % |
| HZ | 0,016 | 0,004 | 87,8 % | 0,017 | 0,004 | 4,7 % |
| IZ | 0,009 | 0,003 | 103,2 % | 0,009 | 0,002 | 30,0 % |
| JA | 0,011 | 0,003 | 139,2 % | 0,011 | 0,003 | 41,2 % |
| JB | 0,009 | 0,003 | 184,0 % | 0,009 | 0,003 | 93,1 % |
| JC | 0,012 | 0,004 | 200,3% | 0,012 | 0,004 | 83,4% |
| KZ | 0,010 | 0,002 | 78,0 % | 0,010 | 0,001 | 47,8 % |
| LZ | 0,004 | 0,002 | 142,4 % | 0,004 | 0,002 | 57,3 % |
| MA | 0,011 | 0,002 | 194,8 % | 0,011 | 0,002 | 64,2 % |
| MB | 0,009 | 0,004 | 61,6 % | 0,008 | 0,003 | -3,5 % |
| MC | 0,011 | 0,003 | 159,0 % | 0,011 | 0,003 | 46,5 % |
| NZ | 0,009 | 0,002 | 115,6% | 0,009 | 0,002 | 16,4% |
| OZ | 0,019 | 0,008 | -18,5 % | 0,018 | 0,007 | -27,1 % |
| PZ | 0,019 | 0,008 | 8,2 % | 0,019 | 0,008 | -12,9 % |
| QA | 0,008 | 0,005 | -41,8 % | 0,005 | 0,003 | -48,0 % |
| QB | 0,006 | 0,002 | 82,5% | 0,006 | 0,001 | 27,4% |
| RZ | 0,008 | 0,006 | 178,0 % | 0,008 | 0,006 | 140,1 % |
| SZ | 0,008 | 0,002 | 152,6 % | 0,008 | 0,002 | 42,3 % |
| TZ | 0,000 | 0,000 | 0,0 % | 0,000 | 0,000 | 0,0 % |

Calculé par l'auteur

Nous montrons que les consommations intermédiaires des branches auraient tendance à augmenter (en proportion) et le taux de valeur ajoutée à diminuer, ce qui correspondrait à des rendements décroissants.

Ces coefficients techniques croissants correspondent donc à des taux de marge décroissant, c'est-à-dire qu'en proportion la valeur ajoutée par branche a tendance à décroître, ce qui est cohérent avec le constat des taux de valeur ajoutée décroissants, tant au niveau national que régional.

En intégrant la branche QA dans le calcul, 33 branches sur 37 ont des coefficients croissants, et sans cette branche ce sont 23 branches. Le calcul sans cette branche particulière permet ainsi de nuancer cette hausse généralisée des coefficients techniques.

Ainsi, la hausse moyenne des coefficients techniques concerne principalement les branches de services, la distribution d'eau et d'électricité, quelques branches industrielles et l'agriculture.

Nous expliquons ce phénomène par l'augmentation du nombre de procédés et techniques dans les processus de production, et à l'augmentation du recours à des services annexes. Cela pourrait correspondre à une tendance à l'externalisation de tâches à des sous-traitants, ce qui entraînerait des consommations intermédiaires supplémentaires des branches, correspondant à la multiplication des services et technologies utilisées dans les méthodes de production. La complexification des biens et services entraîne donc une augmentation du nombre d'intrants nécessaires à leur production, ce qui pourrait justifier cette hausse des coefficients techniques, tout en venant diminuer progressivement les taux de valeur ajoutée.

Cependant, nous constatons inversement que les industries « lourdes » notamment les dérivés du pétrole (CD, CE, CF, CG), bien implantées le long de l'estuaire ont des productivités croissantes (coefficients techniques décroissants), indiquant que ces branches auraient amélioré leur processus de production, consommant moins d'intrants intermédiaires tout en augmentant leurs productions et leurs taux de valeur ajoutée.

En termes de volatilité des coefficients techniques, mesurée par l'écart type, ce sont les branches de services qui se distinguent. En moyenne, l'écart type dans les services est de 0,0019 (écart type relatif de 0,36) quand il est de 0,0007 pour les industries (écart type relatif de 0,18). Les relations interbranches des services seraient donc beaucoup plus volatiles que celles des industries, et donc plus sensibles aux chocs.

Cette sensibilité s'explique surtout par la nature des processus de production, les productions industrielles ont recours à des processus relativement stables au cours du temps ; la nature des biens produits évoluant peu. Inversement, les services évoluent bien plus facilement au cours du temps, tant dans leur manière d'être produit que dans leur nature propre.

S'il apparaissait que l'évolution technique régionale se traduit par une augmentation des coefficients techniques (traduisant une augmentation des consommations intermédiaires), nous apportons cependant une nuance à cette analyse en nous concentrant uniquement sur le coefficient technique le plus élevé de chaque branche qui correspond à sa consommation intermédiaire la plus importante. Cela permet de vérifier si la hausse des coefficients techniques (en proportion) est liée à une augmentation des coefficients techniques les plus faibles (comme pour QA), qui viendrait biaiser l'analyse ou si cette augmentation est vraiment liée à l'influence des principales consommations intermédiaires.

Dans le tableau 3-13 nous confirmons la tendance à la hausse des consommations intermédiaires, 24 des 37 branches ont leur coefficient le plus important croissant sur la période, ce qui correspond à ce que nous trouvons dans le tableau 1.

Nous pouvons donc confirmer le fait que l'évolution technique régionale se caractérise par plus de consommation de biens intermédiaires. Plus en détail, deux catégories de branches se distinguent particulièrement : les relations intrabranches (d'une branche vers elle-même) et la branche cokéfaction et raffinage.

Les relations intrabranches (la consommation des produits d'une branche par elle-même) est le coefficient maximum le plus répandu, ce résultat en lui-même n'est pas surprenant, les relations intrabranches étant souvent le poste de consommation le plus élevé des consommations intermédiaires.

Il ne se dégage pas de tendances principales en termes d'évolution : certaines branches augmentent leurs relations intrabranches tandis que d'autres les diminuent, sans distinction entre branches industrielles et de services.

Un point intéressant, et en même temps cohérent, les productions issues de l'industrie du pétrole (CD) sont cruciales pour l'économie régionale, rejoignant les conclusions déjà faites sur l'économie régionale, cette branche correspond au coefficient technique le plus élevé pour 13 branches sur 37. Nous montrons en plus que ces produits représentent tous une part croissante dans la consommation intermédiaire des branches. Cela se justifie par le fait que la particularité dans la production régionale est l'important bassin des industries du pétrole implanté le long de l'estuaire, qui ont à leur tour attiré de nombreuses industries connexes (chimie, plastiques...).

Cela se traduit par une augmentation totale entre 2008 et 2014, de ces consommations intermédiaires de 20 milliards d'euros (produits par CD à destination de toutes les autres branches). Ceci montrerait qu'il n'y a pas de réductions de la consommation de produits du pétrole dans l'économie, au contraire, ce qui indiquerait que le SNBC (qui prévoit une baisse de ces activités) est loin d'être une réalité le long de l'estuaire de la Seine.

Tableau 3-13 : caractéristiques du coefficient technique maximum

| | Coefficient maximum | Branche max | Variation |
|----|---------------------|-------------|-----------|
| AZ | 0,22 | CD | 69,5 % |
| BZ | 0,03 | CD | 95,1 % |
| CA | 0,11 | AZ | -2,9 % |
| CB | 0,07 | CB | -7,6 % |
| CC | 0,18 | CC | 18,5 % |
| CD | 0,32 | CD | 27,1 % |
| CE | 0,24 | CD | 17,1 % |
| CF | 0,06 | CF | 123,7 % |
| CG | 0,18 | CG | -5,0 % |
| CH | 0,23 | CH | 27,4 % |
| CI | 0,03 | CI | -18,2 % |
| CJ | 0,06 | CJ | 5,1 % |
| CK | 0,06 | CH | -15,1 % |
| CL | 0,14 | CL | 27,1% |
| CM | 0,07 | CH | 3,6% |
| DZ | 0,26 | BZ | -4,7 % |
| EZ | 0,22 | EZ | 67,3 % |
| FZ | 0,09 | CG | 17,8% |
| GZ | 0,14 | CD | 124,1% |
| HZ | 0,38 | CD | 78,1% |
| IZ | 0,14 | CA | -3,2 % |
| JA | 0,11 | CC | -4,1 % |
| JB | 0,07 | CD | 206,3% |
| JC | 0,10 | CD | 85,1% |
| KZ | 0,16 | KZ | -1,0% |
| LZ | 0,04 | KZ | 947,3 % |
| MA | 0,09 | MA | -4,7 % |
| MB | 0,06 | CD | 73,2 % |
| MC | 0,12 | CD | 103,9 % |
| NZ | 0,08 | NZ | -32,0% |
| OZ | 0,24 | CD | -7,3% |
| PZ | 0,22 | CD | 39,5 % |
| QA | 0,14 | QA | 7,3 % |
| QB | 0,03 | QB | 7,3% |
| RZ | 0,14 | RZ | 66,1 % |
| SZ | 0,05 | CD | 166,3 % |
| TZ | 0,00 | TZ | 0,0 % |

Calculé par l'auteur

L'augmentation moyenne des coefficients techniques constatée précédemment peut être alors justifiée par la hausse de la consommation de produits pétroliers par les branches, notamment de service. Inversement, la branche pétrolière et les branches des industries lourdes connexes (chimie, plastique,

pharmaceutique) améliorent leur productivité (coefficients globalement décroissants, en excluant QA du calcul).

Ces résultats montrent que nombreuses branches dépendent encore trop des produits dérivés du pétrole, tandis que cette industrie augmente, elle, sa productivité, ce qui semble contradictoire avec les objectifs de la SNBC.

2.2 Dimension environnementale

La présente sous-section exploite de façon similaire les TES environnementaux du BES. Tout d'abord les consommations d'eau directes et les coefficients d'impacts environnementaux viennent compléter et nuancer les constats faits dans le chapitre 1 à partir des données sur les prélèvements. Ensuite, l'importance du commerce extérieur sur le BES est présentée afin d'identifier l'influence des activités extérieures sur l'estuaire.

2.2.1. Contexte de la Haute-Normandie par rapport au niveau national et aux pays voisins européens

À partir des données d'Eurostat, nous avons calculé les coefficients d'utilisation de l'eau directs pour l'Espagne, la France, l'Allemagne et la Belgique. Cependant, les données disponibles ne permettent pas d'obtenir de désagrégation aussi fine que celle obtenue dans notre travail.

Tableau 3-14 Consommation d'eau unitaire e_i^D pour différents pays d'Europe (2010)

| En litres par euro produit | Espagne | France | Allemagne | Belgique | Haute-Normandie |
|----------------------------|---------|--------|-----------|----------|-----------------|
| Agriculture | 402,5 | 43,5 | 4,8 | 6,0 | 1,6 |
| Industries extractives | 0,5 | 15,6 | 73,2 | 56,2 | 4,5 |
| Industries manufacturières | 2,3 | 2,4 | 3,2 | 5,6 | 2,5 |
| Distribution d'électricité | 79,5 | 214,9 | 171,7 | 320,3 | 0,6 |
| Distribution d'eau | 3,5 | 10,6 | 10,0 | 1,8 | 40,5 |
| Construction | 0,0 | 1,5 | 0,0 | nd | 0,3 |
| Services | 0,5 | 0,3 | 0,0 | 0,3 | 0,2 |

Source : données Eurostat, calculs de l'auteur

Il en ressort que les utilisations de l'eau directes suivent les spécialisations économiques des pays ainsi que la nature des productions.

Ainsi, l'Espagne, et dans une certaine mesure la France, se caractérisent par des coefficients agricoles d'utilisation d'eau directs élevés, ce qui s'explique par le recours important à l'irrigation. La Belgique et l'Allemagne se caractérisent, elles, par des utilisations de l'eau élevée dans les industries extractives et manufacturières, ce qui illustre bien les consommations d'eau élevées des industries minières et lourdes de ces pays.

La Haute-Normandie par son climat et la nature de son agriculture a une utilisation de l'eau unitaire proche de celle de l'Allemagne et de la Belgique, c'est-à-dire bien inférieure à celle de l'Espagne ou de la France. Un point intéressant est que la consommation d'eau des industries manufacturières de la région est quasiment identique à celle de la France, et bien inférieure à celle de l'Allemagne et de la Belgique, alors que, du fait de son caractère industriel, il aurait été attendu que l'utilisation de l'eau de la Haute-Normandie soit elle-même, élevée. Ce constat permet donc de montrer l'efficacité de l'utilisation de l'eau le long de l'estuaire, grâce aux bonnes performances environnementales des industries de l'estuaire.

La faible utilisation de l'eau unitaire de la Haute-Normandie pour la distribution d'électricité s'explique par le fait que les centrales nucléaires normandes s'approvisionnent en mer. Leurs consommations d'eau directes pour le refroidissement ne sont donc pas prises en compte par les données de l'AESN. Seuls les prélèvements pour le circuit primaire, qui se font en eau douce, sont détectables par nos données.

2.2.2. Consommations d'eau directes et impacts environnementaux

La consommation sectorielle est analysée ici, afin de déterminer les principales branches consommatrices directes d'eau. Les principaux consommateurs directs sont les activités de distribution de l'eau et de dépollution (demande en refroidissement des incinérateurs), les industries lourdes du cours principal et l'agroalimentaire.

Le tableau 3-12 détaille les principales consommations d'eau le long de l'estuaire (moyenne sur la période 2008-2014).

Tableau 3-15 : Consommations d'eau directes

| Branches | wd_i (en million de m ³) |
|--------------------|--|
| EZ | 235,6 |
| • Dont dépollution | 93,3 |
| CD | 76,7 |
| CE | 34,4 |
| CC | 32,9 |
| CF | 13,7 |
| CH | 7,3 |

Source : AESN

Les consommations directes sont principalement causées par le secteur de la production et distribution l'eau (EZ), les industries lourdes (CD, CE, CC, CF, CA). L'annexe D détaille par branche et par an les consommations d'eau directes. Sur la période considérée, la consommation de l'eau de la branche de production et distribution de l'eau est relativement stable, voire en légère baisse, celle des industries secondaires et manufacturières en forte baisse, tandis que celle des industries extractives est en très forte hausse sur la période. Cette hausse s'explique par le fait que cette industrie s'est fortement développée, dynamisée par la demande accrue en matériaux venant du projet d'infrastructure « Grand Paris ». Les impacts de ce projet pourraient également expliquer la hausse de la consommation du secteur construction. L'énergie n'est pas une consommatrice majeure, malgré des besoins en eau de refroidissement usuel fort. Cela s'explique par le fait que les centrales nucléaires normandes s'approvisionnent en mer, et donc n'ont que des impacts faibles sur le BES.

La forte consommation d'eau du secteur EZ est induite par la demande finale (figure 3-8), c'est-à-dire la consommation d'eau par les ménages, les administrations, et les exportations de services de dépollution.

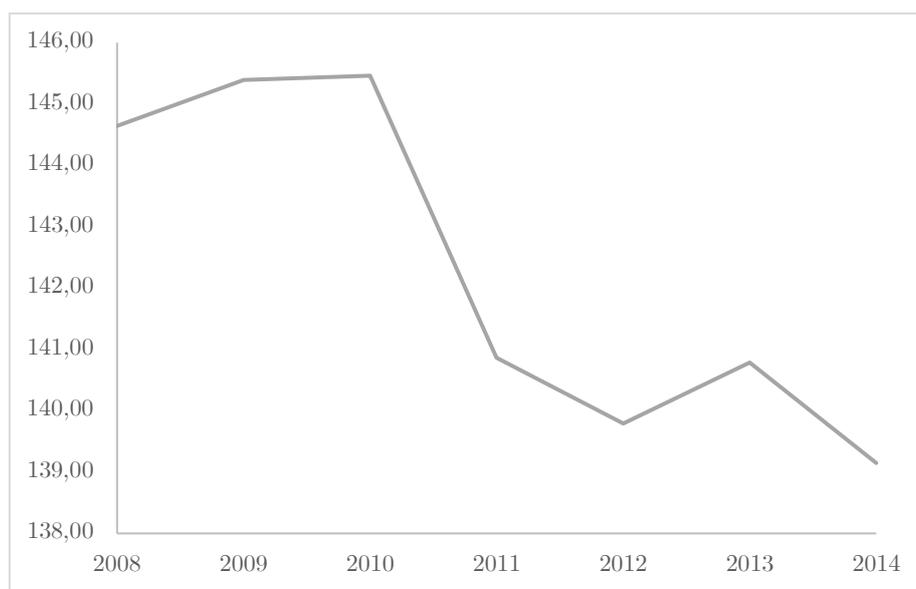


Figure 3-8 : Consommation d'eau par la demande finale (en millions de m³)

Source : Adapté des données de l'AESN

Elle se situe entre 145,5 et 139,2 millions de m³. La demande finale d'eau est le poste de consommation directe le plus élevé de l'économie régionale.

La seconde raison expliquant pourquoi la branche EZ a une consommation directe si élevée est que la branche de distribution d'eau inclut également les activités de dépollution, caractérisées dans la région par un grand incinérateur. Ce dernier consomme annuellement entre 95 et 90 millions de m³, ce qui en fait le second poste de consommation d'eau directe le plus élevé après la demande finale.

Afin d'analyser plus finement ces consommations d'eau, les consommations d'eau suivant leurs utilisations sont étudiées. C'est-à-dire les consommations d'eau (en proportion de la consommation totale) utilisées pour réaliser la demande finale, la demande intermédiaire et les exportations. Ces différentes consommations d'eau sont issues des TES environnementaux. Il sera alors possible de déterminer le composant de la demande responsable de l'impact sur les ressources en eau le plus élevé. De plus, les secteurs pour lesquels la consommation d'eau est provoquée par une demande extérieure au BES seront identifiés, c'est-à-dire les secteurs « exportateurs directs d'impact environnementaux ».

2.2.3. Destination des consommations d'eau

Tout d'abord, de manière générale, la répartition des consommations directe d'eau entre la demande finale, la demande intermédiaire et les exportations est résumée dans le tableau 3-13. La demande finale de l'économie régionale est donc la plus consommatrice d'eau, en moyenne sur la période 35,99 % de la consommation d'eau directe sur le BES.

Représentant une proportion proche de la demande finale, le volume d'eau utilisé pour produire la demande intermédiaire est le second poste de consommation d'eau, avec en moyenne 35,64 % de la consommation d'eau.

Tableau 3-16 : Répartition des consommations d'eau par emploi

| En % | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Demande finale | 36,1 | 34,9 | 34,1 | 34,0 | 35,8 | 38,3 | 38,7 |
| Demande intermédiaire | 34,3 | 36,2 | 37,2 | 37,7 | 35,6 | 34,8 | 33,7 |
| Exportations | 29,6 | 28,9 | 28,7 | 28,3 | 28,6 | 27,0 | 27,5 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Source : adapté des TES environnementaux

Le volume d'eau consommé pour réaliser les exportations représente, en moyenne 28,4 % de la consommation d'eau le long du BES. C'est-à-dire que cette proportion des consommations issues de l'estuaire de la Seine est destinée à répondre à une demande extérieure. En d'autres termes, il s'agit de l'impact direct exporté du BES, qui représente ainsi 93,1 millions de m³ en moyenne, en baisse régulière depuis 2008 (-9,4 % entre 2008 et 2014).

L'étude sectorielle de ces consommations permet d'affiner l'analyse. La branche de distribution d'eau jouant un rôle particulier dans la consommation d'eau, elle a été considérée séparément des autres branches industrielles. Le tableau 3-14 répertorie ainsi la proportion d'eau directement utilisée par chaque secteur pour réaliser la demande finale, la demande intermédiaire et les exportations. Les consommations d'eau du secteur agricole sont principalement dédiées à des productions pour l'exportation. En moyenne, 73,0 % de la consommation d'eau agricole est utilisée pour des produits qui seront exportés. Ainsi l'impact environnemental agricole direct sur le BES est majoritairement causé par

des demandes externes aux BES. Il en est de même pour la construction, où 59,4 % des consommations d'eau servent à répondre à une demande extérieure.

Pour l'industrie, la consommation d'eau est majoritairement utilisée pour produire des biens intermédiaires : en moyenne, 61,7 % du volume consommé y est consacré. L'industrie utilise également l'eau pour les exportations ce qui représente 33,2 % du volume consommé, tandis que le volume dédié à la production destinée à la demande finale n'est que de 5,1 % en moyenne.

Les services utilisent l'eau de manière équilibrée, même si la demande finale est un peu plus représentée, et la demande intermédiaire sous représentée : 38,7 % pour la demande finale, 25,9 % pour la demande intermédiaire et 35,4 % pour les exportations.

Ces résultats sont cohérents avec le portrait économique de la région qui montre que les branches agricoles et industrielles sont plutôt tournées vers des productions intermédiaires et des exportations, tandis que les services répondent plutôt à la demande finale locale.

Tableau 3-17 : Répartition des consommations d'eau par emploi et par secteur (en %)

| | | Demande finale | | | | | | |
|--------------------|--|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Agriculture | | 11,8 | 12,3 | 6,4 | 3,7 | 5,9 | 10,8 | 9,5 |
| Industrie | | 9,1 | 6,1 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 4,6 | 7,9 |
| Distribution d'eau | | 60,7 | 61,2 | 60,5 | 59,5 | 60,1 | 60,1 | 60,7 |
| Construction | | 29,6 | 33,3 | 26,2 | 27,0 | 26,1 | 43,6 | 24,6 |
| Services | | 37,3 | 38,4 | 32,8 | 41,7 | 39,1 | 46,2 | 35,7 |
| | | Demande intermédiaire | | | | | | |
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Agriculture | | 18,1 | 16,2 | 24,1 | 22,2 | 21,5 | 13,9 | 12,7 |
| Industrie | | 55,2 | 59,0 | 65,7 | 67,4 | 64,4 | 63,4 | 57,1 |
| Distribution d'eau | | 16,6 | 16,7 | 15,5 | 15,3 | 15,8 | 17,2 | 18,6 |
| Construction | | 10,3 | 10,9 | 10,3 | 10,5 | 10,4 | 11,9 | 9,6 |
| Services | | 27,1 | 27,5 | 28,5 | 23,3 | 24,9 | 25,2 | 24,7 |
| | | Exportations | | | | | | |
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
| Agriculture | | 70,1 | 71,5 | 69,4 | 74,2 | 72,6 | 75,3 | 77,8 |
| Industrie | | 35,8 | 34,9 | 31,6 | 29,9 | 33,0 | 32,1 | 35,0 |
| Distribution d'eau | | 22,8 | 22,1 | 24,0 | 25,2 | 24,1 | 22,6 | 20,7 |
| Construction | | 60,1 | 55,8 | 63,6 | 62,6 | 63,5 | 44,6 | 65,7 |
| Services | | 35,6 | 34,1 | 38,7 | 35,0 | 36,0 | 28,6 | 39,6 |

Source : adapté par l'auteur à partir des TES environnementaux du BES

Le réseau de distribution est, lui, principalement tourné vers la satisfaction de la demande finale, soit 60,4 % du volume consommé par cette branche. Il s'agit ici du volume d'eau distribué aux ménages qui est considéré comme la « production » finale de la branche. Cette proportion est constante sur la période. L'autoconsommation du réseau de distribution représente, elle, 16,5 % de la consommation de la branche, et est également constante au cours du temps. Les « exportations » représentent 23,1 %. Il s'agit du volume d'eau utilisé par les activités de dépollution pour traiter des demandes extérieures, par exemple, des déchets traités par l'incinérateur de Rouen.

Ainsi un volume d'eau conséquent est utilisé en réponse à une demande extérieure. Ce volume d'eau peut alors être interprété comme une exportation d'impact environnemental.

Comme le montre le tableau 3-15, l'industrie est le principal exportateur d'impact environnemental, au travers de l'eau consommée. Le volume est important, mais en baisse au cours de la période, ce qui peut être considéré comme une diminution des pressions environnementales exercées par les activités humaines sur le BES. L'activité de dépollution est le second exportateur d'impact environnemental, notamment à cause des besoins en eau important des incinérateurs.

:

Tableau 3-18 : Volumes d'eau utilisés pour les exportations

| Millions de m ³ | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Agriculture | 1,9 | 2,4 | 3,0 | 3,8 | 2,0 | 2,2 | 1,6 |
| Industrie | 48,8 | 50,8 | 45,4 | 43,1 | 43,4 | 37,7 | 40,6 |
| Activité de dépollution (EZ) | 37,9 | 34,6 | 44,4 | 46,4 | 43,8 | 40,6 | 36,3 |
| Construction | 1,2 | 1,1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,2 | 1,5 |
| Services | 5,0 | 4,5 | 4,8 | 4,1 | 4,1 | 3,2 | 5,9 |

Source : calculé par l'auteur

Le tableau 3-16 montre que, les branches industrielles exportant le plus d'impact environnemental sont la cokéfaction et le raffinage (CD), la papeterie et le travail du bois (CC), les industries chimiques (CE), la métallurgie (CH) l'agroalimentaire (CA) et la production de matériaux non métalliques (CG). Ces impacts directs sont décroissants au cours du temps, sauf pour les industries chimiques (+75,8 %), l'agroalimentaire (+10,8 %) et la production de matériaux non métalliques (+7,7 %).

Tableau 3-19 : Principales branches exportatrices d'eau

| Millions de m ³ | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| CD | 18,2 | 18,2 | 11,1 | 8,8 | 8,5 | 3,4 | 1,8 |
| CC | 13,3 | 9,4 | 9,5 | 8,3 | 8,0 | 7,9 | 7,9 |
| CE | 10,9 | 17,3 | 11,3 | 14,6 | 14,0 | 13,0 | 19,2 |
| CH | 2,0 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 2,1 | 1,6 |
| CA | 1,8 | 1,9 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 1,2 | 2,0 |
| CG | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,9 | 1,0 |

Source : Calculé par l'auteur

Ces chiffres s'expliquent par l'implantation croissante de deux branches dans la région. Ainsi, l'industrie régionale exerce ainsi, à l'exception de CE, CA et CG des pressions décroissantes, tout en ayant une production croissante, indiquant une amélioration des performances environnementales, et une meilleure utilisation de l'eau.

Pour les services, les trois principaux exportateurs d'impacts sont le commerce (GZ), les activités pour la santé humaine (MA), et les activités administratives et de soutien (NZ). Cependant les volumes pour ces branches restent faibles en comparaison des industries (entre 1 et 2 millions de m³).

Cette analyse approfondie des consommations fait ressortir le fait qu'une partie conséquente (28,4 % en moyenne) de la consommation directe d'eau régionale est causée par une demande extérieure. Un gestionnaire du BES doit donc prendre en compte cette information : une partie importante des impacts sur l'environnement de l'estuaire est déterminée à l'extérieur du territoire, et donc potentiellement en dehors des moyens d'action régionaux pouvant être mis en place pour réduire la pression environnementale des activités humaines.

2.2.4. Importations d'eau

Il a été montré que l'estuaire de la Seine « exportait » directement 93,1 millions de m³ d'eau. Cette sous-section estime le volume d'eau importé par l'économie de l'estuaire. Il s'agit de la consommation d'eau nécessaire à la production des importations à destination de l'économie régionale.

Cependant, pour calculer précisément ce volume d'eau importé, il faudrait connaître précisément les conditions de production, et donc le volume d'eau utilisé, de chaque bien et service importé. Étant donné qu'il n'est pas possible d'identifier la provenance des importations à partir du modèle ES utilisé ici, le coefficient d'impact environnemental régional est appliqué aux importations issues du TES régionalisé.

Les volumes ainsi obtenus donnent une estimation des volumes d'eau consommés à l'extérieur de l'estuaire pour réaliser les importations. Cela supposerait que toutes les importations sont produites dans des conditions environnementales similaires à celles de l'estuaire de la Seine.

Tableau 3-20 : Importations d'eau

| En millions de m3 | 2008 | 2011 | 2014 |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Agriculture | 0,9 | 0,9 | 0,5 |
| Industrie | 140,4 | 172,6 | 144,6 |
| Eau et dépollution | 33,1 | 18,0 | 11,4 |
| Construction | 0,7 | 0,6 | 0,6 |
| Services | 5,8 | 4,4 | 5,1 |
| Total | 180,8 | 196,6 | 162,3 |

Source : calculé par l'auteur

L'industrie importe de loin le plus grand volume d'eau (84,5 % du volume importé calculé, moyenne sur la période). Ce résultat est attendu, car le secteur industriel comprend des branches fortement importatrices : les industries extractives (BZ, 23,3 % en moyenne du volume importé), la cokéfaction et le raffinage (CD, 19,9 %), l'activité de dépollution (EZ, 11,6 %) les industries du bois et du papier (CC, 10,0 %), les industries chimiques (CE, 10,0 %) et les industries pharmaceutiques (CF, 14,19 %). À elles seules, ces six branches génèrent ainsi 88,9 % en moyenne des importations d'eau de l'économie régionale.

Le volume total importé augmente au cours de la période, notamment à cause de l'augmentation des importations observée, et en particulier les importations de la branche BZ. Ces dernières augmenteraient de 351,5 %. Ce volume d'eau correspondrait à l'impact environnemental de l'extraction du pétrole et du gaz importé pour la branche cokéfaction et raffinage.

Le BES est bien doté en ressources en eau, et il héberge des activités économiques fortement consommatrices d'eau, ce qui est conforme à la théorie HOS : une région a intérêt à se spécialiser dans une production nécessitant des ressources dont elle est bien dotée. Elle devrait donc être exportatrice nette d'eau.

La balance environnementale, soit la différence entre exportations d'eau et importations d'eau, est calculée pour vérifier si ce principe s'applique au BES (figure 3-9).

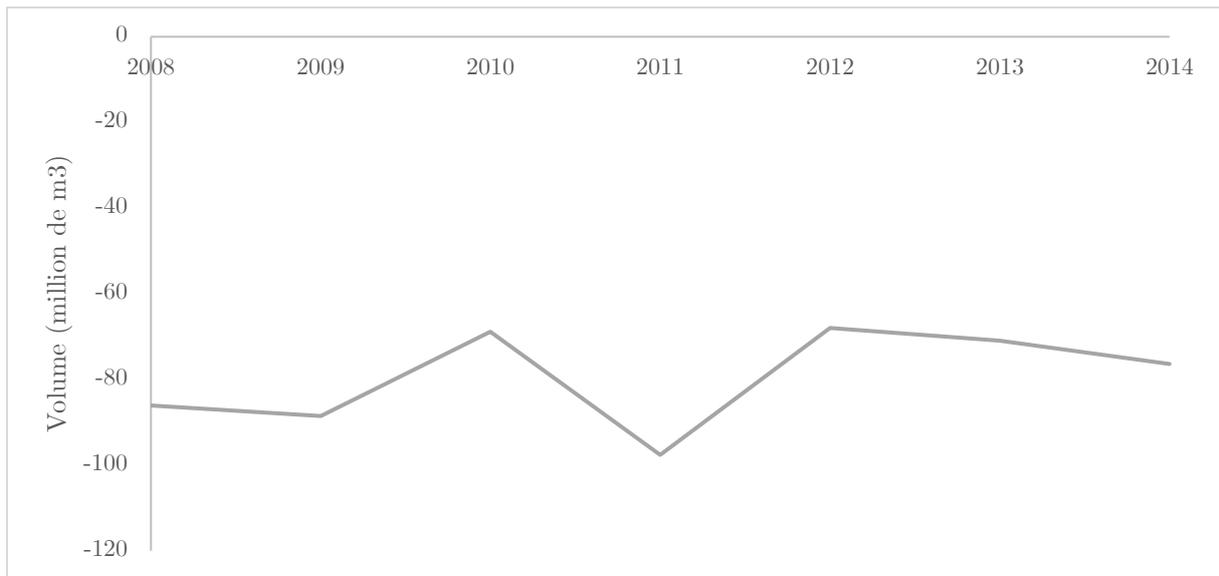


Figure 3-9 : Balance environnementale

Source : calculé par l'auteur

L'estuaire de la Seine serait ainsi importateur d'eau. Cela s'expliquerait par les importations de biens industriels manufacturés et en produits de la branche BZ (pétroles et gaz). En effet, seule cette branche industrielle augmente ses importations d'eau au cours de la période et elle représente désormais un tiers de ces importations d'eau.

L'augmentation des importations de cette branche conduit donc à ce constat surprenant, où, une région bien dotée en eau, importe de l'eau supplémentaire au lieu d'être exportatrice. Cependant, ce constat est à relativiser étant donné que les conditions de production des biens de la branche BZ sont inconnues.

Aussi en ne considérant pas la branche BZ, l'eau importée diminue en fait de 36,8 %. Dans ce cas la balance environnementale reste toujours négative à cause de la diminution des exportations, mais serait alors nettement croissante (+257,9 % entre 2008 et 2014). Étant donné que nous n'avons aucune information sur les volumes d'eau consommés par les importations, et particulièrement pour les produits des industries extractives, ce résultat hypothétique serait plus conforme au principe des avantages comparatifs.

Jusqu'ici, seuls les impacts directs mesurés ont été analysés. En effet, les volumes évoqués dans cette section correspondent à des consommations directes. Cette analyse ne permet pas encore d'évaluer l'impact total des branches sur l'estuaire. Les impacts totaux de la demande finale et des exportations, c'est-à-dire incluant les demandes intermédiaires et leurs contenus en eau sont analysés dans la section suivante

2.2.5. Impact total de la demande finale et des exportations

La mesure l'impact total de la demande finale et des exportations sur l'économie régionale et sur le BES nécessite une adaptation de la HEM (Schultz, 1977; Cella, 1984). Celle-ci consiste à comparer l'état du modèle ES avec (dans son état de référence) et sans la grandeur désirée. Les variations induites par la suppression de la grandeur (demande finale ou exportations) permettent d'obtenir une évaluation de l'impact de ces deux grandeurs sur le modèle étudié.

Dans cette section, au lieu de tester l'effet de la suppression d'une unique branche (méthode usuelle), nous testons l'effet de la suppression hypothétique totale de la demande finale puis des exportations sur la production et sur la consommation d'eau des branches, pour l'année 2014.

Demande finale

L'état de l'économie sans la demande finale est présenté dans le tableau 3-18. Cette demande finale entraîne légèrement plus de la moitié de la production domestique, surtout concentrée dans les services. De ce fait l'impact sur la consommation d'eau est relativement limité. Cependant, la consommation d'eau des ménages, c'est-à-dire la production finale¹⁸ de la branche EZ, a été conservée. En effet, la suppression de cette valeur suppose que la population régionale ne consomme plus d'eau, ce qui implique que soit le BES n'abrite pas d'habitants, soit que la population s'approvisionne en eau en dehors du BES.

Tableau 3-21 : HEM de la demande finale

| | Valeurs de référence | | Après Choc | | Variations en valeur | | Variation en % | |
|-----------------------|----------------------|--------|-------------|--------|----------------------|--------|----------------|--------|
| | \bar{z}_i | wd_i | \bar{z}_i | wd_i | \bar{z}_i | wd_i | \bar{z}_i | wd_i |
| Agriculture | 3953,6 | 2,2 | 3263,8 | 1,9 | -689,9 | -0,4 | -17,4 | -17,4 |
| Industrie | 106832,7 | 157,5 | 63711,4 | 96,7 | -43121,3 | -60,8 | -40,4 | -38,6 |
| Distribution de l'eau | 2956,1 | 229,2 | 2159,2 | 216,5 | -796,9 | -12,7 | -27,0 | -5,5 |
| Construction | 12328,2 | 2,6 | 7932,7 | 1,6 | -4395,5 | -0,9 | -35,7 | -35,6 |
| Services | 125920,3 | 15,8 | 47439,4 | 8,8 | -78480,8 | -7,0 | -62,3 | -44,4 |
| Total | 251990,9 | 407,3 | 124506,5 | 325,5 | -127484,4 | -81,8 | -50,6 | -20,1 |

Source : calculé par l'auteur

Ces résultats montrent que les secteurs des services sont majoritairement impactés, d'un point de vue économique, par la demande finale. Ainsi, la demande finale de référence entraîne une production totale de 78,8 milliards d'euros pour les services. La baisse pour l'industrie est également conséquente, puisque la production totale de l'industrie chute de 43,1 milliards d'euros sans la demande finale des ménages.

¹⁸ La production finale d'une branche correspond à la lecture en ligne du TES : il s'agit de la demande finale adressé à une branche

L'impact environnemental total est plus faible (-20,1 %) que l'impact économique (-50,6 %). Le recours à des importations pour satisfaire la demande finale (et donc la disparition de la demande finale locale) a, dans ce cas, des effets limités sur l'environnement, mais bien plus marqués sur l'économie. Toujours d'un point de vue environnemental, la demande finale impacte bien plus les services que les industries, entraînant une diminution de la consommation directe des services de -62,3 %, tandis que la consommation d'eau des industries ne diminue que de 38,6 %. Cependant, en volume d'eau, la variation industrielle représenterait une quantité bien plus élevée. L'industrie diminuerait sa consommation d'eau de 60,8 millions de m³, contre seulement 7 millions de m³ pour les services.

Il ressort de ces résultats que l'eau utilisée pour réaliser les productions finales n'exerce pas une pression environnementale totale majeure sur le BES (à l'exception de la consommation directe des ménages). Ainsi, l'eau consommée pour répondre à la demande finale ne représente pas un volume conséquent. En effet, ce sont principalement les services qui sont fortement affectés par la demande finale, mais étant donné que ce sont des branches peu consommatrices d'eau, l'effet sur le BES reste limité.

Impact total des Exportations

Le tableau 3-19 montre l'état de l'économie en supprimant hypothétiquement les exportations. Elles semblent avoir un impact total quasiment aussi important sur l'économie et le BES que la demande finale.

Tableau 3-22 : HEM des exportations

| | Valeur de référence | | Après Choc | | Variation en valeur | | Variation en % | |
|-----------------------|---------------------|--------|-------------|--------|---------------------|--------|----------------|--------|
| | \bar{z}_i | wd_i | \bar{z}_i | wd_i | \bar{z}_i | wd_i | \bar{z}_i | wd_i |
| Agriculture | 3953,6 | 2,2 | 689,9 | 0,4 | -3263,8 | -1,9 | -82,6 | -82,5 |
| Industrie | 106832,7 | 157,5 | 43121,3 | 62,1 | -63711,4 | -95,5 | -59,6 | -60,6 |
| Distribution de l'eau | 2956,1 | 229,2 | 796,9 | 171,3 | -2159,2 | -57,9 | -73,0 | -25,2 |
| Construction | 12328,2 | 2,6 | 4395,5 | 0,9 | -7932,7 | -1,6 | -64,3 | -64,3 |
| Services | 125920,3 | 15,8 | 78480,8 | 7,1 | -47439,4 | -8,7 | -37,7 | -54,9 |
| Total | 251990,9 | 407,3 | 127484,4 | 241,8 | -124506,5 | -165,5 | -49,4 | -40,6 |

Source : calculé par l'auteur

Les secteurs les plus affectés, en proportion par les exportations sont l'agriculture qui perd 82,6 % de sa production et la distribution de l'eau avec une diminution de 73,0 %. La construction et l'industrie sont également profondément affectées par la disparition des exportations avec une perte respective de 59,6 % et 64,3 % de leurs productions.

Pour les services, l'impact économique est moins marqué, mais reste important (-37,7 %), ceci s'explique par le fait que les services régionaux sont plus orientés vers la demande finale que vers les exportations.

Ce résultat confirme les conclusions du chapitre 1 sur le portrait de l'économie régionale, à savoir une économie régionale participant à un cycle de production dépassant le cadre géographique considéré. Il permet aussi de mesurer l'importance totale des exportations sur l'économie du BES. Les exportations entraînent une production de 124,1 milliards d'euros, soit 49,4 % de la production régionale, principalement pour l'agriculture, l'industrie, la distribution de l'eau et la construction. De plus, le poids économique élevé des services explique pourquoi, malgré des baisses importantes de production dans tous les autres secteurs, il n'y a pas de diminution totale de la production plus élevée.

D'un point de vue environnemental, l'effet est moindre. La disparition des exportations entraîne une baisse de 40,6 % de la consommation d'eau dans le BES. Cette baisse moins importante s'explique par le fait que pour la branche de distribution de l'eau, si sa variation économique est conséquente, sa variation de consommation directe est bien plus faible (-25,5 %). Cette différence de variation se trouve dans le fait que le volume d'eau utilisé pour les exportations par cette branche est faible, en comparaison avec le volume total consommé directement par cette branche, et qui inclut la demande en eau des ménages.

La variation totale des consommations d'eau liées à la disparition des exportations représente un volume de 165,5 millions de m³, soit 40,6 % du volume d'eau prélevé dans l'estuaire, ce qui est supérieur à la consommation d'eau directe des ménages (autour de 130 millions de m³). Ce résultat est intéressant, car il montre que, la plus grande partie des consommations d'eau par l'économie régionale sur l'estuaire provient de demandes extérieures. Cela permet de constater que l'impact direct de 93,1 millions de m³ en moyenne (85,9 millions de m³ en 2014) est en fait largement sous-évalué.

L'impact indirect contenu dans les consommations intermédiaires des branches doit donc être pris en compte. La section suivante est donc consacrée au calcul des coefficients d'impacts environnementaux totaux (incluant les impacts intermédiaires) et aux multiplicateurs de consommation d'eau.

3. Multiplicateurs de consommation

Cette section est consacrée au calcul des multiplicateurs de consommation directs, puis indirects calculés suivant la méthode exposée dans le chapitre 2, section 6.1. Ces multiplicateurs décrivent l'impact total associé à la consommation d'un mètre cube d'eau par les branches.

3.1 Impacts directs

En mettant en relation les consommations d'eau directes wd_i et les productions domestiques \bar{z}_i , les coefficients d'impacts directs ont été calculés. Ces derniers expriment ainsi, pour chaque branche, le volume d'eau consommé directement pour produire une unité monétaire. Il s'agit ici du coefficient d'impact direct (aussi désigné comme productivité eau apparente dans le cas des consommations d'eau) e_i^D .

Les principaux coefficients de consommations sont regroupés dans le tableau 3-20. Il s'agit des moyennes sur la période 2008-2014 (les données complètes par branche et par années sont dans l'annexe E). De manière similaire à ce qui a été trouvé avec les consommations d'eau, ce sont les industries qui ont les coefficients de consommation d'eau directe les plus élevés, ce qui s'explique par le fait que les ressources en eau sont nécessaires à de nombreux processus de production industriels : refroidissement, dilution, nettoyage.

Les faibles coefficients de consommation directs des services s'expliquent par le fait que les services utilisent surtout l'eau à des fins principalement domestiques : sanitaire, consommation. Les exceptions concernent les services de transport qui utilisent ponctuellement d'importants volumes d'eau pour le nettoyage de conteneurs, ainsi que les services blanchisseries (inclus dans RZ¹⁹). Concernant ces derniers, ces services ne représentent pas une activité régionale majeure : leur coefficient de consommation directe est donc relativement élevé pour une branche de service, mais reste faible comparativement à des industries.

De manière plus détaillée, la branche de distribution de l'eau (EZ) a le coefficient de consommation d'eau directe la plus importante avec 32,7 litres par euro produit (moyenne calculée sur la période 2008-2014). Cependant, ce résultat est attendu, car ce secteur extrait et distribue de l'eau. Ce coefficient important s'explique par le fait que la consommation d'eau des ménages (qui correspond à la production finale de la branche EZ) est le premier poste de consommation d'eau le long du BES, de plus la production de cette branche est faible en valeur, relativement à sa consommation d'eau. Ce chiffre

¹⁹ Dans le cas précis de l'estuaire de la Seine et de la Haute-Normandie, les services peuvent être agrégés, car ayant des coefficients d'impacts faibles et relativement proches. Cependant, le contexte géographique doit être parfois intégré avant cette agrégation. Ainsi la branche des activités récréatives (RZ) contient les activités des domaines skiabiles, ce qui dans le cas des régions montagneuses s'accompagnera d'une consommation directe d'eau très élevée. Cette branche de service aura alors un coefficient proche d'une branche industrielle, et ne pourra pas être agrégé avec les autres services.

s'explique également par le volet dépollution de la branche, qui est la seconde consommation la plus élevée de l'estuaire à cause de la demande du grand incinérateur de Rouen.

Tableau 3-23 : Coefficients de consommation directs (moyenne de la période 2008-2014)

| Branche | e_i^D (Litre par euro) |
|----------|--------------------------|
| AZ | 1,1 |
| BZ | 4,4 |
| CA | 1,2 |
| CB | 0,2 |
| CC | 12,3 |
| CD | 2,5 |
| CE | 4,0 |
| CF | 8,4 |
| CG | 0,6 |
| CH | 1,2 |
| CI | 0,1 |
| CJ | 0,8 |
| CK | 0,1 |
| CL | 0,4 |
| CM | 0,1 |
| DZ | 0,5 |
| EZ | 37,6 |
| FZ | 0,2 |
| Services | 1,1 |

Source : calculé par l'auteur

Les autres branches ayant des coefficients de consommation directe élevés sont ensuite les industries du papier et du travail du bois (CC), les industries pharmaceutiques (CF), les industries extractives (BZ), l'industrie chimique (CE) la cokéfaction et le raffinage (CD) et la métallurgie (CH). Toutes ces branches peuvent être qualifiées d'activités de transformation de matière première, à l'exception de la branche BZ (extraction). De manière générale, les impacts environnementaux directs diminuent sur la période, pour tous les secteurs, sauf pour les industries extractives où, au contraire il augmente fortement. Cet accroissement s'explique par une demande accrue en matériaux de construction, notamment due au projet du « Grand Paris » qui s'approvisionne auprès des carrières normandes.

L'indicateur de consommation d'eau direct peut être complété par la consommation en eau associée à la création d'un euro de valeur ajoutée (Annexe F). Cet indicateur permet de déterminer la création de richesse en fonction de la consommation d'eau le long du BES.

La branche EZ est de nouveau la branche pour laquelle l'indicateur est le plus élevé, requérant en moyenne 399,5 litres d'eau pour produire un euro de valeur ajoutée. Les facteurs explicatifs de ce

coefficient restent les mêmes que précédemment : une consommation d'eau élevée à cause de la demande finale et un taux de valeur ajoutée relativement faible (en moyenne la valeur ajoutée de EZ représente 17,9 % de la production, le taux de valeur ajoutée moyen de l'économie régionale est de 23,8 %).

Parmi les branches ayant des indicateurs élevés, se retrouvent les mêmes que précédemment, mais dans un ordre différent : la cokéfaction et raffinage (CD, 114,3 litres par euro de VA), l'industrie du bois et du papier (CC, 65,8 litres par euro de VA) les industries extractives (BZ, 62,7 litres par euro de VA), les industries chimiques (CE, 38,2 litres par euro de VA) et les industries pharmaceutiques (25,9 litres par euro de VA en moyenne). Ces résultats s'expliquent principalement grâce au taux de valeur ajoutée. Les branches ayant les taux les plus faibles doivent avoir une production élevée pour créer une unité de valeur ajoutée, leur consommation d'eau étant proportionnelle à leur production, un volume d'eau important doit donc être consommé pour produire une unité de valeur ajoutée. Cependant, ces coefficients sont également tous décroissants au cours de la période sauf pour la branche BZ pour laquelle il augmente fortement.

Ces industries consomment ainsi le plus d'eau directement pour réaliser leurs productions. Le fait que les industries lourdes aient l'impact environnemental le plus élevé n'est pas surprenant, l'eau étant un intrant important pour ces activités, cependant les productions de ces industries ne sont pas destinées directement la demande finale, mais à satisfaire la demande intermédiaire d'autres branches d'industries à fort contenu technologique ou de services, demandeurs de matières transformées.

Ainsi l'impact de ces industries correspond plutôt à des demandes intermédiaires d'autres branches, qui, elles, ne semblent pas avoir d'impact direct élevé sur les ressources en eau de l'estuaire de la Seine.

3.2 Impacts totaux

Les multiplicateurs de consommations $mcet_i$ et $mcec_i$ ²⁰ (définis dans le chapitre 2 section 6.1) permettent de mettre en évidence le fait que les services ont des consommations totales bien supérieures à leurs consommations directes. Parallèlement les industries se caractérisent par des consommations indirectes faibles. Ces deux indicateurs mettent en avant le fait que la consommation d'eau directe n'est pas un indicateur de performance environnementale représentatif de la pression environnementale des branches.

Le tableau 3-21 regroupe les multiplicateurs de consommation totale $mcet_i$ et $mcec_i$ les plus élevés (moyenne sur la période, les résultats complets par branche et par an sont dans l'annexe H). Les multiplicateurs de consommation donnent des résultats différents en termes d'échelle : le $mcec_i$ est largement supérieur au $mcet_i$. Cependant, ils identifient des branches similaires : l'enseignement (PZ), les activités pour la santé humaine (QA), le transport (HZ), les activités récréatives (RZ) et les administrations publiques (OZ).

Tableau 3-24 : Multiplicateurs de consommation

| Branche | $mcet_i$ | Branche | $mcec_i$ |
|---------|----------|---------|----------|
| PZ | 63,0 | QA | 92224,5 |
| QA | 59,1 | PZ | 16670,5 |
| HZ | 40,6 | RZ | 10102,2 |
| OZ | 23,6 | HZ | 4398,3 |
| RZ | 16,5 | OZ | 2746,4 |
| JA | 12,2 | CI | 2596,1 |
| KZ | 11,5 | KZ | 2365,2 |
| JB | 10,5 | JB | 2111,7 |
| CM | 9,8 | MB | 2047,1 |
| FZ | 9,8 | CK | 1533,8 |

Source : calculé par l'auteur

La différence d'échelle s'explique par les matrices utilisées pour calculer ces multiplicateurs. La matrice $(I - Q)^{-1}$ fournit ainsi des multiplicateurs bien plus élevés (en reprenant la matrice Q de Velázquez (2006) sur l'Andalousie, des résultats du même ordre de grandeur peuvent être retrouvés en calculant le $mcec_i$).

Cette différence s'explique par le fait que dans la matrice A économique, il ne peut y avoir coefficients techniques supérieurs à 1 : une branche ne pouvant avoir de consommation intermédiaire supérieure à sa production, sauf dans le cas d'une valeur ajoutée négative. Cependant, une branche ayant une valeur ajoutée négative n'aurait aucun intérêt à exister, la production détruisant alors des richesses.

²⁰ $mcet_i$: multiplicateur d'eau totale
 $mcec_i$: multiplicateur d'eau complété

Ainsi la matrice $(I - A)^{-1}$, les seuls coefficients inverses de Leontief supérieurs à 1 sont ceux de la diagonale.

Dans le cas de la matrice Q , il peut exister des coefficients techniques de l'eau supérieurs à 1. En effet, la consommation directe d'eau d'une branche peut être inférieure à la quantité d'eau nécessaire à la production d'un ou plusieurs biens intermédiaires. C'est notamment le cas, comme le montrent ces multiplicateurs de nombreuses branches de services, qui consomment directement très peu d'eau, mais dont les consommations intermédiaires nécessitent d'importants volumes d'eau pour être produites. Cela conduit à avoir des coefficients inverses de Leontief environnementaux ρ_{ij} largement supérieurs à 1 non plus uniquement sur la diagonale, mais également là sont présentes des consommations indirectes supérieures à la consommation directe des branches. Cela conduit ainsi à ces multiplicateurs de consommation totale si élevés.

Ces deux multiplicateurs illustrent l'impact total des branches, c'est-à-dire à la fois l'impact direct (en termes de consommation d'eau) et l'impact du reste de l'économie engendré par leur demande intermédiaire.

Les branches principales génératrices d'impact total sont majoritairement des branches de services, et en particulier les activités qui représentent une part importante de l'activité régionale : notamment le transport, dont la consommation totale se situe autour de 40 m³ d'eau ($mcet_i$) pour chaque mètre cube d'eau consommé directement.

Les autres branches principales génératrices de consommation d'eau totale, sont, l'enseignement (PZ) qui a le multiplicateur $mcet_i$ le plus élevé, la branche des activités pour la santé humaine (QA) dont le $mcet_i$ est aussi particulièrement important. Le transport, déjà cité, et les activités récréatives se caractérisent également par des consommations totales importantes. Ces multiplicateurs élevés s'expliquent par des consommations intermédiaires particulièrement forte venant de branches fortement utilisatrices d'eau directement : l'agroalimentaire, les papeteries, la production de produits du pétrole, la chimie, et le transport. Notons que la branche PZ de l'enseignement regroupe toutes les activités de formation : privées et publiques. Ainsi, si les consommations intermédiaires importantes en agroalimentaire, en papier et en transport se comprennent aisément, la forte consommation de produits pétroliers et chimique par cette branche est plus dure à expliquer. Nous supposons qu'il s'agit d'une caractéristique liée à la spécialisation de la région dans ces productions industrielles, qui entraîne ces besoins en formations liées, qui elles-mêmes requièrent des intrants de ces industries. De plus cette consommation peut être reliée aux besoins en transport de la branche enseignement.

Pour la branche QA (activité pour la santé humaine), ce multiplicateur élevé s'explique principalement par la forte consommation intermédiaire de produits des industries pharmaceutiques, elles-mêmes consommatrices directes d'eau. Cette relation apparaît naturelle entre ces activités. La

branche QA est également consommatrice de produits du pétrole, ce qui pourrait s'expliquer par les besoins en carburants des groupes électrogènes des hôpitaux.

Quelques branches industrielles engendrent également des impacts totaux forts sur l'environnement (l'annexe G détaille tous les multiplicateurs par branches). Il s'agit d'industries manufacturières, produisant des biens au fort contenu technologique : fabrication de produits informatiques et optiques (CI), fabrication de machines et autres industries et réparation (CM) : meubles, joaillerie, matériel de sport, matériel médical, et la manufacture d'équipements (CK).

Les branches orientées vers la production de matières premières ou secondaires ont des impacts environnementaux totaux bien plus faibles, malgré le fait qu'elles soient d'importantes consommatrices directes. Parmi ces industries, l'agriculture (AZ), le textile (CB), et l'énergie (DZ) ont des impacts relativement élevés (par rapport au reste de ces industries). Les industries lourdes (CD, CE, CF, CG, CH) se distinguent par leur faible consommation d'eau totale.

Ces résultats montrent que ce sont les branches de services et les branches industrielles de haute technicité ont les impacts totaux les plus élevés. L'économie du BES peut être ainsi qualifiée de bien adaptée à l'exploitation de ses ressources en eau. En effet, étant bien dotée en eau, cette économie aurait intérêt à s'orienter vers des activités économiques principalement consommatrices directes, et à exporter ces productions, ce qui est bien le cas. Les branches des industries lourdes, qui ont les impacts directs les plus élevés, sont ainsi particulièrement bien implantées le long du BES, et fournissent le reste du pays.

Les branches ayant des multiplicateurs de consommation d'eau totaux élevés, donc consommatrices indirectes fortes, telles que les services ne devraient pas être dominantes dans l'économie régionale. En effet, ces branches ont des consommations directes faibles, et, mais ont des consommations totales élevées, causées par le biais de leurs demandes intermédiaires : ces branches peuvent donc être qualifiées d'importatrices d'impacts environnementaux. Ces activités sont donc à privilégier dans le cadre de bassins fluviaux faiblement dotés en eau. C'est également ce qui est observé le long de l'estuaire : les services sont sous-représentés dans la production (par rapport au niveau national). Une exception notable est toutefois la branche de transport qui a les multiplicateurs de consommation totaux les plus élevés, et qui est particulièrement bien implantée le long du BES.

Cette exception s'explique néanmoins par l'activité portuaire de l'estuaire. La géographie du BES a favorisé l'implantation du port du Havre et le transport fluvial vers Paris. La présence du port a à son tour entraîné l'implantation d'industries lourdes, notamment les raffineries de pétrole qui ont pu profiter d'un approvisionnement facilité. La présence de ces industries a ensuite bénéficié aux activités portuaires qui ont pu profiter d'un approvisionnement en carburant proche. Ainsi, la forte présence de la branche transport (HZ) s'explique par la synergie existante entre cette branche et les industries lourdes, et en particulier la cokéfaction et raffinage (CD).

Mises en relation avec la structure de l'estuaire, les activités de transport sont principalement implantées le long du cours principal, autour du Havre et de Rouen, c'est-à-dire, dans les UH Seine Estuaire Amont, Seine Estuaire Moyen, Seine estuaire aval. Ces UH sont les mieux dotées en eau, étant donné qu'elles peuvent profiter du cours principal (534 millions de m³/s, soit 16,84 km³ par an), les pressions exercées sur ces dernières peuvent donc être acceptables du point de vue quantitatif. Cependant, le développement des activités de services peut engendrer des pressions sur les UH périphériques au cours principal, qui, elles approvisionnent en eau potable les centres urbains. Celles-ci étant les plus fragiles face aux pressions anthropiques, cela pourrait aggraver les situations de stress hydriques actuellement observées.

4. Analyse de liaison

Les multiplicateurs de consommations ont permis de mesurer l'impact total des branches sur le BES, mettant en avant le fait que les branches des services entraînent des impacts environnementaux bien supérieurs à leurs impacts directs apparents, au travers de leurs consommations intermédiaires.

Dans la présente section, le rôle des branches en tant que consommatrices ou productrices est exploré d'un point de vue économique et environnemental. La méthode est celle des indicateurs de liaisons décrit dans le chapitre 2, section 7.2. Les résultats sont organisés en deux parties : tout d'abord l'analyse économique, puis celle environnementale.

4.1 Aspect économique

4.1.1. Indicateurs de liaison économiques brutes

Pour des raisons de présentation, les branches de la NAF 38 utilisées dans le TES ont été agrégées en nomenclature A10 (voir annexe B, pour la correspondance avec la nomenclature NA38). Les indicateurs forward et backward sont utilisés pour placer les branches dans un repère orthonormé reprenant les typologies de Rasmussen et Chenery et Watanabe.

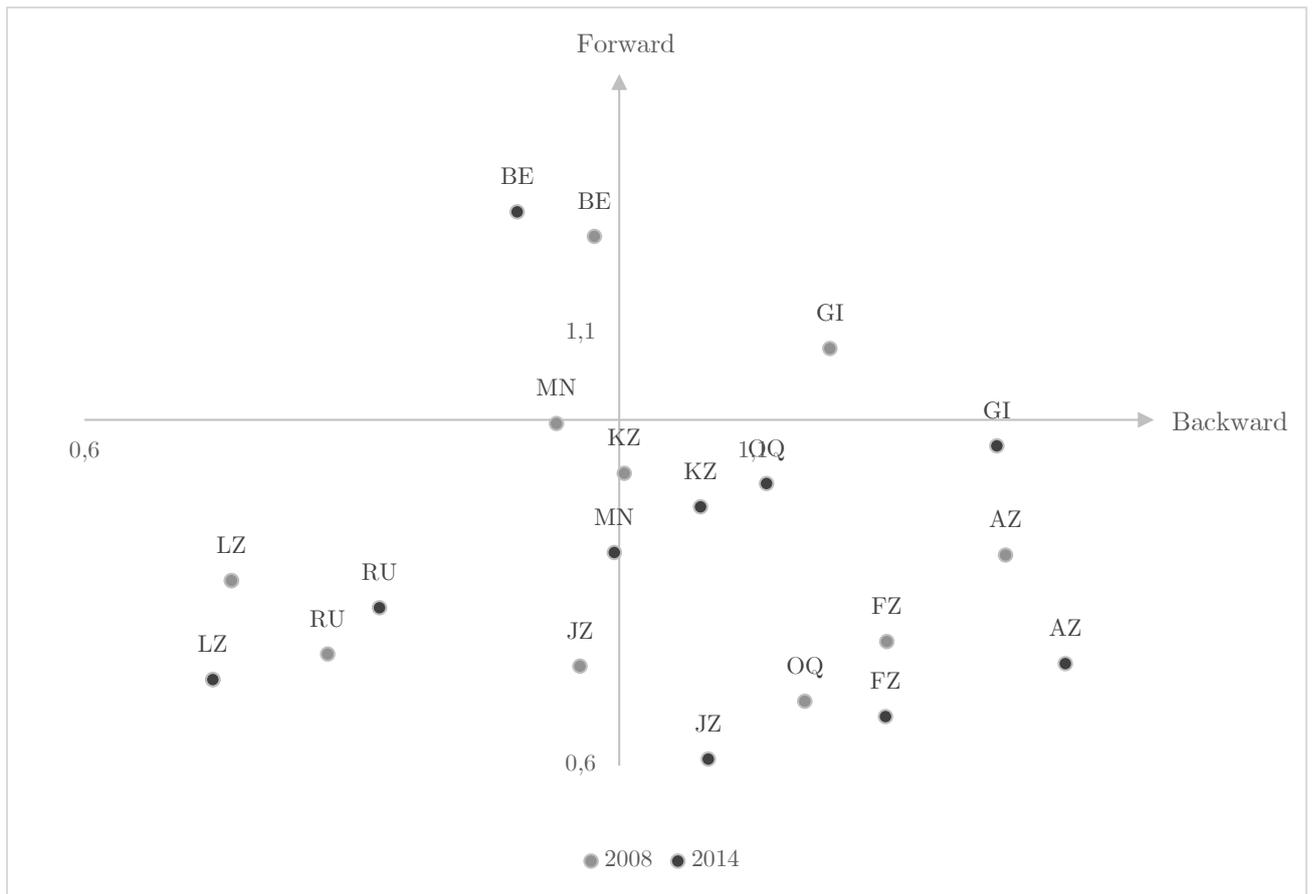


Figure 3-10 : liaisons économiques brutes

Source : calculé par l'auteur

Suivant la typologie de Rasmussen, les branches clés de l'économie régionale sont les services de commerce, de transports et d'hébergement (GI). La branche GI perd en influence en tant que fournisseuse (forward décroissant, et backward croissant) et quitte le quadrant des branches clés, pour rejoindre celui des branches acheteuses.

Les branches « vendeuses », sont les industries, agrégées sur le point BE. Sur la période considérée, elles deviennent moins acheteuses et plus fournisseuses (backward décroissant et forward croissant), indiquant une diminution de leur rôle de fournisseur primaire.

Les branches backwards (branches « acheteuses ») sont les branches agricoles (AZ), de construction (FZ), de communication (JZ) et d'activités spécialisées et de recherche (MN).

Enfin, dans ce que la typologie de Rasmussen qualifie de « branches peu importantes » se trouvent les services restants : l'immobilier (LZ) et les autres services (RU).

Cependant, la typologie de Rasmussen, bien qu'elle permette de faire un premier tri entre les branches, peut être approfondie. Ainsi, les branches ayant des indicateurs backward et forward faibles sont catégorisées comme branches peu importantes. Ces faibles indicateurs montrent qu'effectivement, ces branches sont peu tournées vers les échanges intermédiaires, et donc qu'elles influencent relativement

peu les autres productions. Cependant, cela indique également que ces branches sont principalement orientées vers la satisfaction de la demande finale, et donc qu'elles jouent un rôle également important dans l'activité économique.

L'usage de la typologie de Chenery et Watanabe apporte une analyse plus approfondie que celle de Rasmussen.

Selon cette typologie, les branches clefs : le commerce, le transport et l'hébergement (GI), sont des activités de « manufactures intermédiaires », c'est-à-dire qu'elles ont d'importantes relations interbranches. Ces branches sont des consommatrices et fournisseuses importantes de l'économie, leurs productions impactent donc fortement le reste des autres branches. Le point de l'industrie s'est déplacé vers la gauche, presque au niveau du repère. Ce déplacement montre le rôle croissant des industries extractives (BZ) qui sont des industries primaires, donc plus orientées vers le rôle de fournisseur que d'acheteur. Le déplacement vers le haut (forward croissant) s'explique principalement par l'évolution de la branche cokéfaction et raffinage dont l'impact, en tant que consommatrice (initialement déjà élevé), s'est considérablement accru sur la période.

Les branches backward : l'agriculture (AZ), la construction (FZ) ; l'information et les communications (JZ) et les activités spécialisées et de recherche (MN), l'administration publique et la santé humaine (OQ) sont des manufactures finales : elles sont des acheteuses importantes, mais leur rôle en tant que fournisseur n'est pas développé dans l'économie régionale. Leurs productions ne sont pas destinées à la demande intermédiaire, mais finale, d'où cette dénomination.

Les branches « peu importantes » : l'immobilier (LZ), les activités financières et d'assurance (KZ), et les autres services (RU), sont en fait des branches de productions primaires finales, c'est-à-dire qu'elles répondent plus à la demande finale qu'à la demande intermédiaire de l'économie. Au cours de la période RU a gagné en influence sur l'économie que ce soit dans son rôle de fournisseuse ou d'acheteuse. La branche immobilière a perdu en influence, indiquant une orientation croissante vers la demande finale. Enfin, la branche des activités financières et des assurances (KZ), initialement proche des branches orientées vers la demande finale est devenue clairement une acheteuse importante de l'économie régionale.

Enfin, les branches forward sont les branches productrices primaires de biens intermédiaires. Suivant cette nomenclature, les industries (BE) appartiennent à cette typologie, en particulier grâce à l'activité des industries extractives.

L'analyse des liaisons brutes a fourni une première analyse sur le rôle des branches. Comme le soulignent Sánchez-Chóliz and Duarte (2003) le fait d'intégrer l'autoconsommation de la branche peut biaiser les indicateurs de liaisons. Celle-ci (incluse dans le coefficient α_{ij} avec $i = j$), étant toujours élevé, tend à surévaluer les indicateurs bruts. C'est pourquoi les indicateurs nets sont calculés dans la sous-section suivante.

4.1.2. Indicateurs de liaisons nets :

L'analyse des indicateurs nets permet de se concentrer uniquement sur l'influence économique qu'exerce ou reçoit une branche du reste de l'économie, en supprimant l'influence de la branche sur elle-même. Les résultats de l'analyse de liaison nette sont rassemblés dans la figure 3-11.

Dans le quadrant supérieur droit, correspondant aux branches clefs (suivant Rasmussen) ou aux branches de manufacture intermédiaires (suivant Chenery et Watanabe), se trouvent les services de commerce, transport et hébergement (GI), les activités spécialisées et de recherche, et les industries (BE), mais seulement pour l'année 2008. Ainsi, les activités de services GI sont véritablement des branches dédiées aux productions intermédiaires. Dans le cadre de l'estuaire de la Seine, il s'agit de l'activité liée au port : celle-ci est effectivement plus orientée vers la demande des entreprises et des industries plutôt que la demande des ménages.

Les activités financières et d'assurances (KZ) gagnent fortement en influence nette au cours de la période, devenant, ainsi une branche clef de l'économie régionale. Ainsi l'influence nette de cette branche a augmenté (en tant que fournisseuse), mais son influence brute en tant que fournisseuse a diminué. Cela indique que la branche des activités financières consomme moins de services issus de sa propre activité et joue alors un plus grand rôle auprès des autres branches de l'économie en tant que fournisseuse, ce qui la place ainsi dans le rôle des branches clefs. L'influence nette des industries est moindre (du point de vue forward et backward) que l'influence brute mesurée précédemment : les industries interagissent alors principalement entre elles. Leur influence reçue et émise sur l'économie est, de plus, décroissante. Ainsi en 2014, les industries régionales s'orientent vers des productions primaires. Le développement de la branche BZ et la perte d'influence de la branche CD peuvent expliquer ce changement.

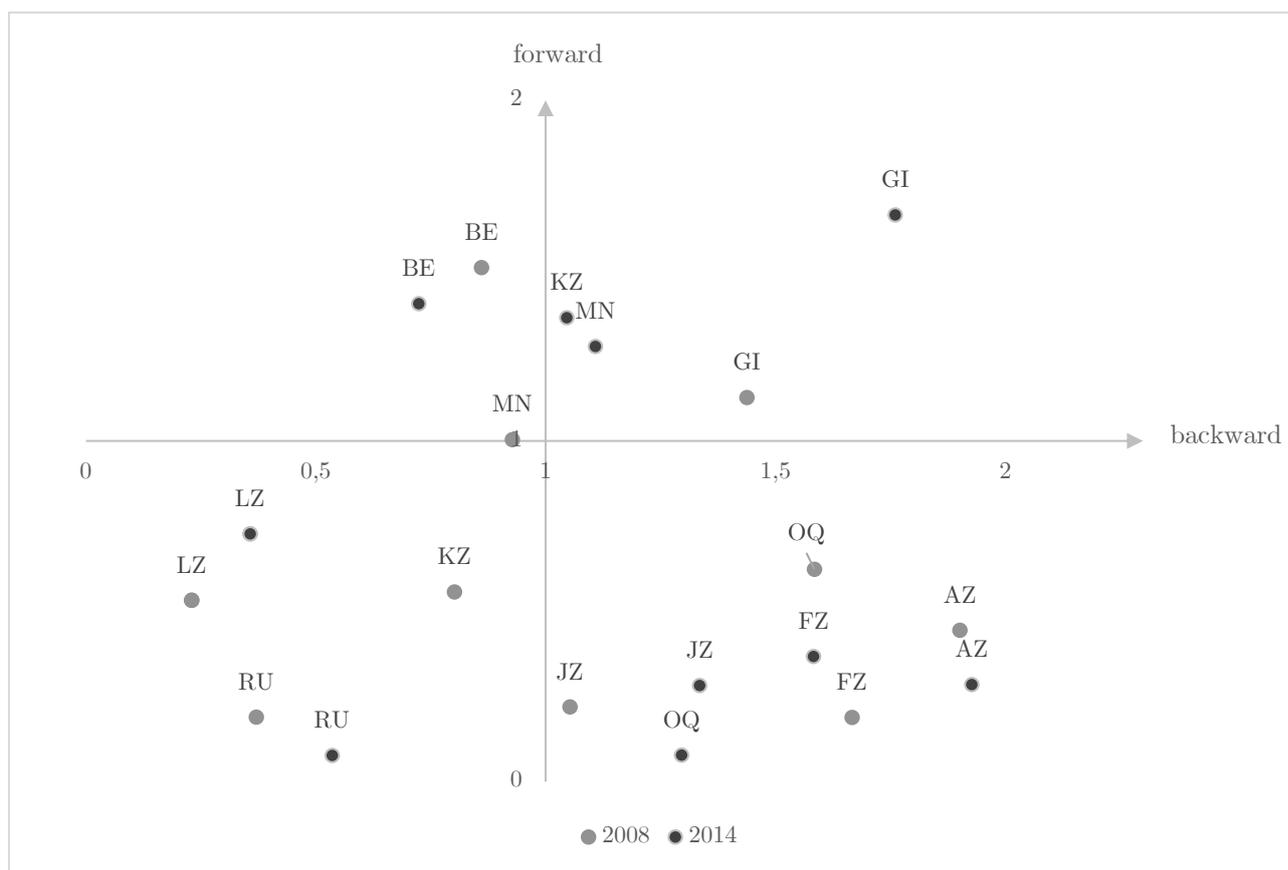


Figure 3-11 : Liaisons économiques nettes

Source : calculé par l'auteur

Le quadrant inférieur droit (branches « backward » ou « manufactures finales ») regroupe les mêmes branches que la version brute de ces résultats : agriculture (AZ), construction (FZ), information et communication (JZ), et l'administration publique et la santé humaine (OQ). Cependant, l'agriculture a gagné légèrement en influence backward, mais perdu en influence forward dans le cadre des indicateurs nets, ce qui indique l'importance des consommations intermédiaires pour cette branche, plutôt que son autoconsommation. Le constat est similaire pour la construction. La branche de l'information et des communications gagne en importance tant backward que forward. Les évolutions dans ce quadrant peuvent illustrer la diminution au sein de l'économie régionale, relative, du rôle des branches « classiques » de l'économie : construction et agriculture, au profit de branches dédiées à des activités au contenu technologique plus avancé : l'information et la communication au sein de l'économie régionale.

Dans le quadrant inférieur gauche (branches non importantes, ou productions primaires finales) l'on retrouve les mêmes branches que pour les indicateurs bruts : l'immobilier (LZ), et les autres services (RU), exclusivement des services.

Selon les typologies, il en ressort que les industries, le transport et le commerce sont les branches clefs de l'économie régionale. Cependant, au cours de la période, le transport et le commerce gagnent en importance, alors que l'industrie change de rôle.

Le commerce et le transport deviennent les branches clefs de l'économie régionale grâce au développement de leur rôle de fournisseur. L'industrie elle se repositionne vers les productions de matières premières, perdant de l'importance en tant qu'acheteuse.

De manière plus détaillée, cette variation s'explique principalement par les évolutions de deux branches : la cokéfaction et raffinage et les industries extractives.

La cokéfaction et raffinage (CD), si elle ne produit que peu de valeur ajoutée, fait vivre le reste de l'économie régionale grâce à ses consommations intermédiaires particulièrement élevées. Cependant son rôle en tant que fournisseuse diminue avec le temps, correspondant à une baisse de consommation des produits pétroliers.

Les industries extractives (BZ), elles gagnent en importance en tant que fournisseuses, notamment grâce aux importations de produits pétroliers et de gaz qui augmentent au cours de la période, mais également à cause de l'augmentation de l'activité domestique de cette branche. Inversement, les industries plus développées, comme la fabrication de matériels de transport, déclinent peu à peu dans la région. Ainsi, un repositionnement des industries régionales semble s'opérer vers des activités plus « primaires ».

Ce constat est cependant à relativiser, avec la possible implantation d'une filiale de production d'éoliennes au Havre , qui viendra alors modifier la tendance observée sur la période actuelle (Garnier, 2018), en donnant alors plus d'importance aux branches CI, CG, CH et DZ , ainsi qu'aux services associés (études économiques, scientifiques et techniques, MA).

Les indicateurs de liaison permettent ainsi de dresser un portrait cohérent du fonctionnement de l'économie régionale, tant d'un point de vue économique que des ressources en eau. Les branches primaires (agriculture, industries extractives) et les industries jouent ainsi un rôle de producteur de biens intermédiaire et d'eau virtuel aux services qui ont majoritairement des rôles de consommateurs intermédiaires principalement tourné vers la satisfaction de la demande finale. Ces rôles sont fluctuant au cours de la période, mais restent cohérents avec la nature de l'activité des branches et le contexte régional.

Il est également intéressant de constater que les rôles sont bien plus marqués pour l'analyse de liaisons environnementales, ce qui illustre l'effet de la déformation engendrée par la conversion du modèle ES économique en modèle environnemental.

Les indicateurs analysés ici concernent l'influence économique des branches. La section suivante est consacrée à ces mêmes indicateurs calculés à partir des coefficients de Leontief issus des TES environnementaux.

4.2 Dimension environnementale

4.2.1. Indicateurs de liaison environnementaux bruts :

Les indicateurs de liaison environnementaux indiquent la distribution de l'impact environnemental. Ils sont calculés de la même manière que les indicateurs économiques, mais à partir de la matrice de Leontief environnementale $(I - Q)^{-1}$. Une branche ayant un indicateur environnemental forward élevé génère directement un fort impact environnemental, qu'elle redistribue ensuite au reste de l'économie au travers des demandes intermédiaires qui lui sont adressées.

Une branche ayant un indicateur backward environnemental élevé, aura un impact direct faible, mais sera demandeuse d'impacts environnementaux auprès d'autres branches : elle est donc acheteuse d'impacts, et correspondrait aux branches ayant un multiplicateur de consommation totale indirect.

Les indicateurs de liaison environnementaux dressent un portrait différent de celui des indicateurs économiques. Les industries en général (BE) sont ici clairement fournisseuses d'impact environnemental (consommatrices directes), même si cette agrégation des branches industrielles intègre la distribution de l'eau, ce résultat se retrouve pour la majorité des branches industrielle et particulièrement pour les industries de transformation de matière première (industrie du pétrole, chimie, métallurgie).

Les services et la construction (OQ, GI, KZ, FZ) sont nettement acheteuses d'impacts environnementaux (consommatrices indirectes), ce qui correspond aux résultats obtenus grâce aux multiplicateurs de consommation d'eau de la section précédente.

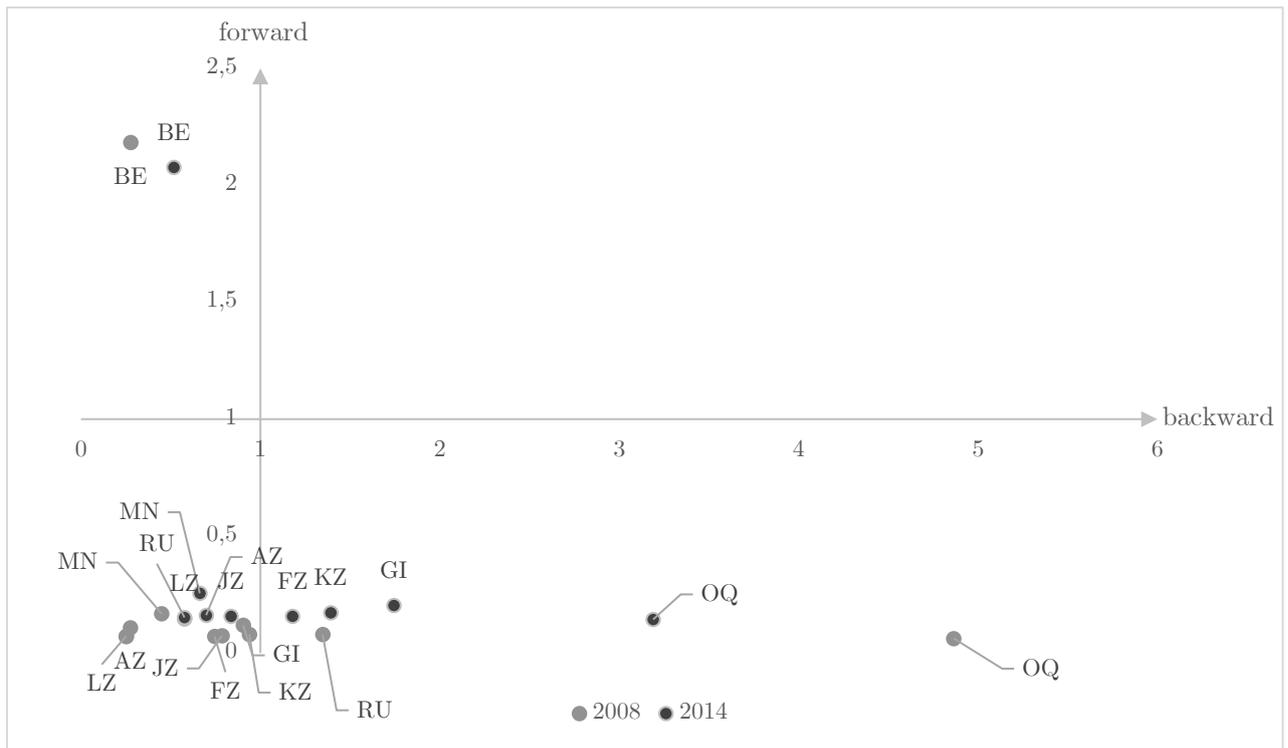


Figure 3-12 : Liaisons environnementales brutes

Source : calculé par l'auteur

Une large partie des branches ne joue pas de rôle significatif en tant que distributrice ou consommatrice d'eau incorporée (quadrant inférieur gauche). Il s'agit majoritairement des branches de services, et de l'agriculture. Ce positionnement de l'agriculture s'explique surtout par le fait que cette branche prélève peu d'eau dans le bassin fluvial. Cependant, l'intégration des volumes d'eau fournis par les précipitations pour l'irrigation fournirait un portrait différent de cette branche.

Ce constat est ainsi cohérent avec les résultats précédents. Un point remarquable est qu'aucune branche n'est dans le cadrant supérieur droit correspondant aux branches clefs (indicateurs backward et forward bruts élevés). Cela indique qu'il n'existe pas, dans le cas de l'estuaire de la Seine et des indicateurs bruts, de branche étant à la fois fournisseuse et consommatrice d'eau incorporée.

4.2.2. Indicateurs de liaisons environnementaux nets

Les indicateurs nets fournissent un portrait légèrement différent de celui des indicateurs bruts. Les industries restent des fournisseuses majeures d'impact environnemental, cependant, ce rôle diminue fortement au cours de la période étudiée, contrairement à ce qui est observé avec les indicateurs bruts. Cela implique que l'industrie en tant que fournisseuse aux autres branches perd en importance. Le fait que les indicateurs bruts, eux, restent stables montre alors que l'influence de la branche sur elle-même est croissante. La diminution de l'indicateur forward net montre également que l'impact environnemental distribué par l'industrie diminue, ce qui correspond à un impact indirect du reste de l'économie décroissant, signe d'une amélioration des performances environnementales des productions industrielles.

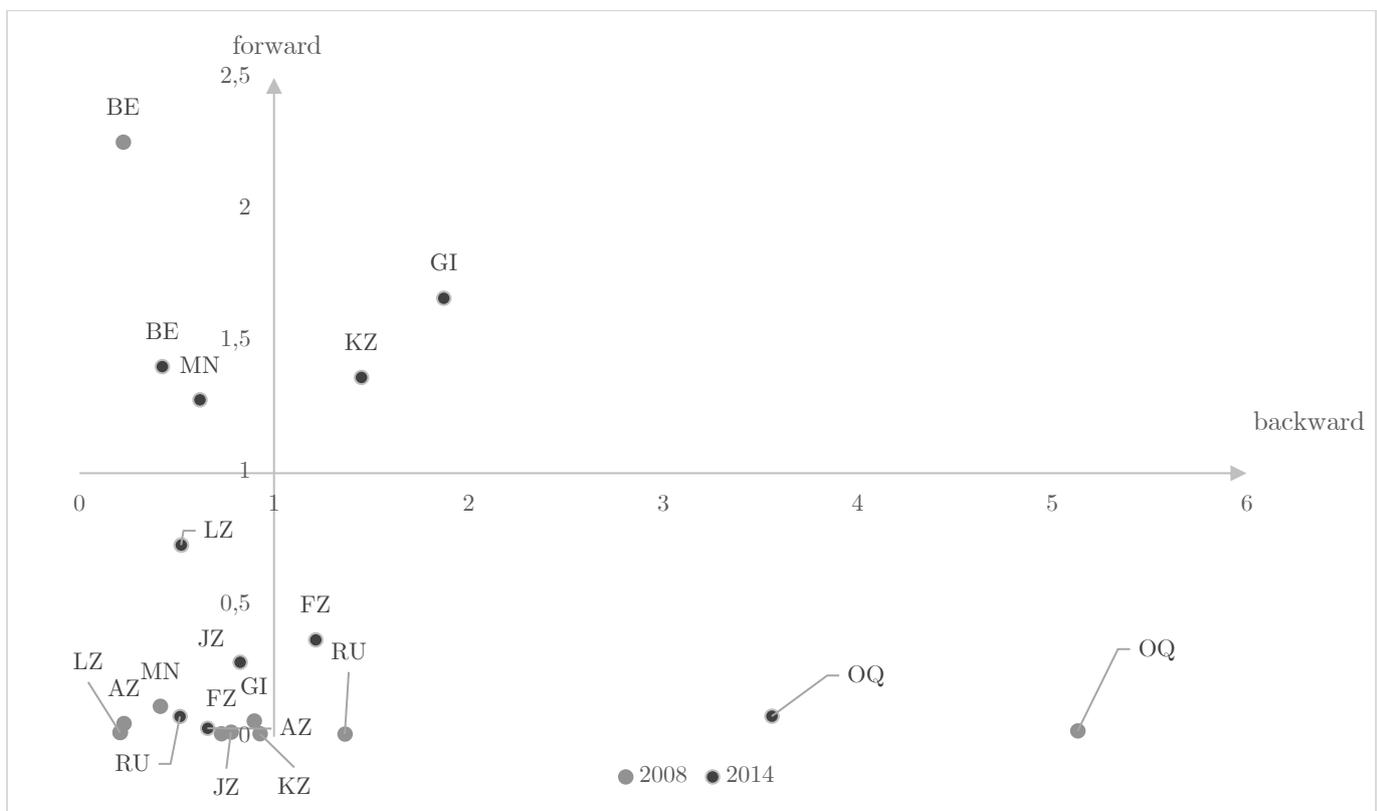


Figure 3-13 : Liaisons environnementales nettes

Source : calculé par l'auteur

Dans le quadrant inférieur droit, se trouvent les mêmes branches que dans le cas des indicateurs bruts. Cependant, les branches commerce, transport et hébergement (GI) et les activités financières et d'assurances (KZ) n'y sont représentées que pour l'année 2008. Ces deux branches se retrouvent en 2014 dans le quadrant supérieur droit, c'est-à-dire émettrices et réceptrices importantes d'eau incorporées, ou « branches clés ». Ce constat s'explique pour GI, par le fait que la branche transport consomme directement beaucoup d'eau par rapport aux branches de service : l'eau est utilisée pour nettoyer les

conteneurs, mais également est également une consommatrice indirecte importante comme l'ont montré les multiplicateurs d'impact de la section précédente.

Le cas de la branche KZ est plus délicat à expliquer étant donné que cette branche n'est a priori pas une branche consommatrice d'eau. Les indicateurs bruts de KZ sont stables, ainsi le fait que la branche a un indicateur net croissant indique que son autoconsommation est au moins restée constante, montrant alors que ce sont bien les impacts distribués aux autres branches qui ont augmenté.

Les indicateurs de liaison employés dans cette section ont permis de déterminer le rôle de chaque branche dans l'économie et son rôle vis-à-vis de l'utilisation du BES.

Deux branches : celle des activités financières et d'assurance (KZ), et celle des activités de commerce, transport et l'hébergement et restauration (GI) sont mises en avant par cet outil d'analyse. Le développement de l'activité de ces deux branches pourrait être ainsi problématique d'un point de vue environnemental. Ainsi, une réorientation de l'économie régionale industrielle vers les activités de services (financiers, assurance, tourisme) pourrait conduire à l'augmentation des pressions exercées sur l'estuaire.

De plus, l'augmentation du nombre d'événements naturels violents, et certains effets sur la santé humaine liés au changement climatique risquent de dynamiser les activités d'assurance. Ainsi, les risques d'inondations et de submersion accrus de même que les effets sur la santé causés par les canicules, des événements météorologiques extrêmes entraîneraient un surcroît d'activité des assurances.

L'analyse de liaison permet de déterminer si une branche est productrice ou consommatrice, mais ne elle détermine pas qui sont les destinataires ou les fournisseurs privilégiés de ces relations interbranches. Pour cela, il faut analyser en détail chaque coefficient du modèle ES pour déterminer les relations majeures interbranches. La section suivante est donc consacrée à l'analyse structurelle du modèle ES étendu à l'environnement dans le but de faire ressortir la structure des échanges entre les branches.

5. Analyse structurelle

La méthode d'analyse structurelle exposée dans le chapitre 2 section 6.3 permet d'exploiter en profondeur les coefficients inverses de Leontief. Cette méthode permet ainsi d'exploiter les matrices des relations interbranches du modèle ES et d'en faire ressortir la structure des échanges.

5.1 Analyse structurelle économique

L'application du filtre numérique à la matrice $(I - \bar{A})^{-1}$ permet d'obtenir la représentation suivante de la structure des échanges interbranches totaux majeurs de l'économie haute normande. La disposition des sommets est faite de telle sorte que le graphe soit le plus plat possible, c'est-à-dire qu'il y a le moins de « croisement » entre les liens. De la sorte, les branches les plus connectées seront localisées vers le centre du graphe.

Ce type de disposition permet d'identifier rapidement les branches centrales dans l'économie régionale : la cokéfaction et le raffinage (CD), l'industrie chimique (CE), la métallurgie (CH) et les activités pour la santé humaine (QA). L'analyse approfondie de ce graphe permet en outre d'identifier les branches ayant des relations fortes, et donc de repérer les éventuels clusters.

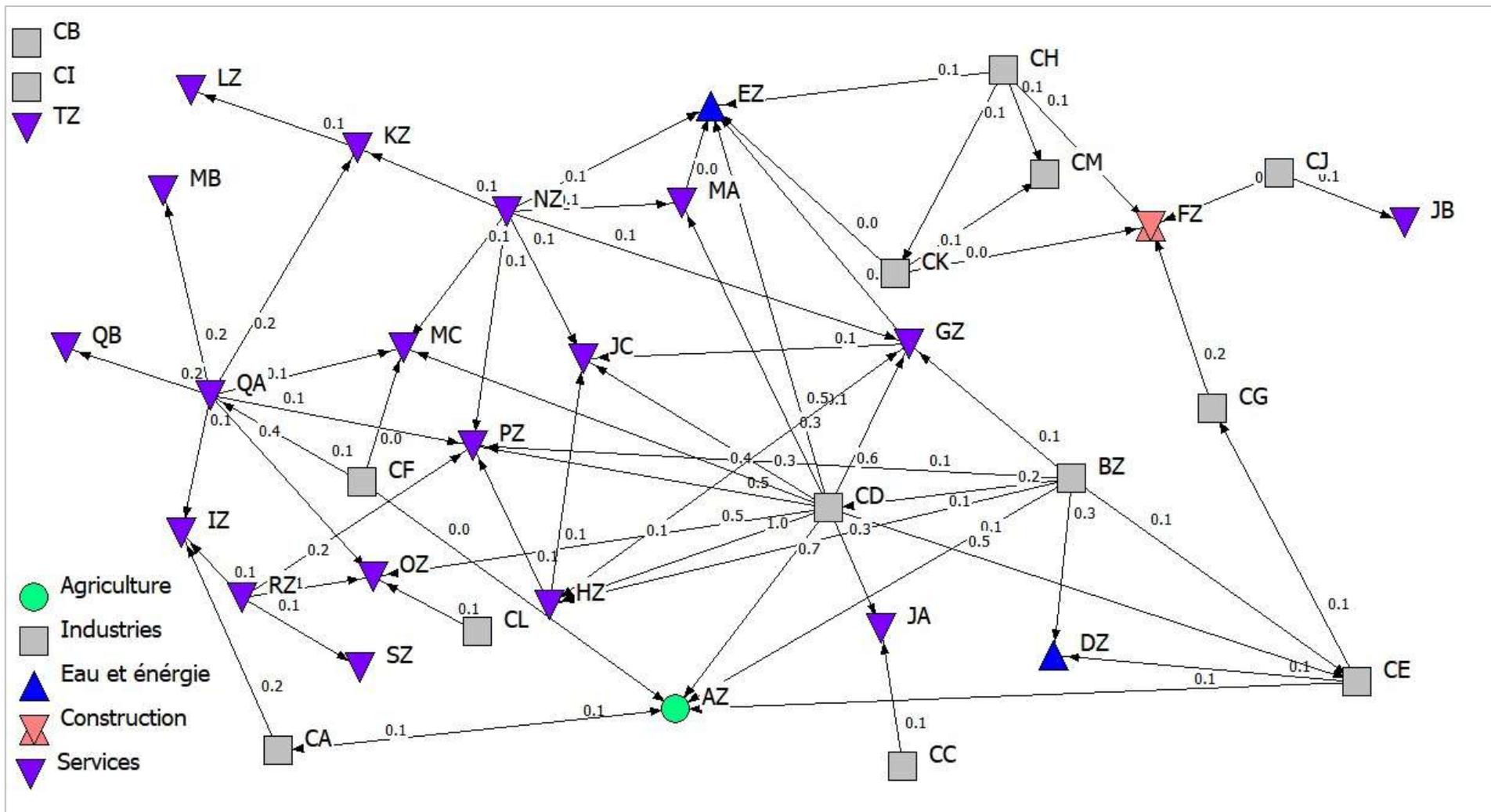


Figure 3-14 : Représentation des relations économiques principales

Source : créé par l'auteur

Ce graphe montre les élasticités entre les branches. Si la demande finale d'une branche augmente, les productions des branches reliées à celle-ci varieront du pourcentage correspondant à la valeur du lien.

À titre d'exemple, l'augmentation de la demande finale de la branche CD d'une unité va entraîner une production supplémentaire de la branche BZ de 0,2 unité. L'augmentation de la demande finale de la branche HZ (transport) engendrera une production supplémentaire de 1 (0,97) pour la branche CD : il s'agit de l'intensité totale de la demande en carburant par la branche HZ.

Ainsi ce graphe représente la répartition des principaux coefficients de Leontief. Ils permettent dès lors de matérialiser les relations interbranches économiques majeures, permettant ainsi d'identifier en détail, la transmission des effets économiques entre les différentes activités humaines.

Les branches industries textiles (CB), production de matériel électronique (CI), l'activité des ménages en tant qu'employeurs (TZ) n'apparaissent pas connecté au reste du réseau. Ce n'est pas par absence de connexions, mais cela indique que la demande finale adressée à ces branches n'influence que peu le reste de l'économie. Ces branches sont des branches mineures de l'économie régionale ce qui expliquerait ce constat.

Ainsi ce graphe représente la répartition des principaux coefficients de Leontief. Il matérialise les relations économiques majeures interbranches, permettant ainsi d'identifier en détail, la transmission des effets économiques entre les différentes activités humaines.

Le réseau ainsi représenté s'organise autour de plusieurs pôles ou groupes. Ainsi ces clusters ; ensembles de branches connectées ensemble autour de productions proches ou complémentaires, peuvent être détaillés.

Clusters apparents :

La branche cokéfaction et raffinage (CD) est au centre du réseau : sa production est fortement influencée par la demande des transports (HZ), de l'agriculture (AZ), les industries chimiques (CE), dans une moindre mesure, le commerce (GZ), la distribution de l'eau et la dépollution (EZ). Inversement, la demande finale de la branche CD va impacter fortement la production de la branche des industries extractives (BZ), qui est son principal fournisseur. Les relations majeures avec ces branches montrent ainsi que le « réseau » économique du BES s'organise autour de la branche cokéfaction et raffinage.

L'ensemble constitué des branches : activités pour la santé humaine (QA), hébergement médico-social (QB), industries pharmaceutiques (CF), activités de recherche (MB), est connecté aux branches finance et assurance (KZ) et aux activités immobilières (LZ), décrit les activités liées à la santé humaine : la branche QA est au centre du groupe, appuyée par QB. La demande finale de QA influe fortement sur la production de CF. La branche MB est également reliée à QA illustrant les liens entre la santé humaine et la recherche. En outre, la branche QA est connectée à la branche KZ, ce qui se correspond aux activités d'assurance, notamment les assurances médicales.

La branche KZ est elle-même connectée aux activités immobilières (LZ), ce qui semble être cohérent avec la nature de ces deux branches.

Un autre ensemble remarquable est organisé autour des activités de construction (FZ), dont la demande finale va impacter principalement les branches de la métallurgie (CH) et de fabrication de produits non métalliques (CG), qui sont donc des fournisseurs de matériaux de construction.

L'ensemble, composé des branches de manufacture de biens d'équipement (CK), de matériel électrique (CJ) et les autres industries (CM), influe sur la production de la branche métallurgie (CH), ce qui est justifié par l'importante demande en produits métalliques de ces branches. Cet ensemble constituerait ainsi le groupe des industries manufacturières.

Enfin, le groupe constitué de l'agriculture (AZ), l'agroalimentaire (CA), l'hébergement et la restauration (IZ) et les activités récréatives (RZ) représente les connexions entre les activités de production alimentaires et celles liées au tourisme et à la restauration. Il est également intéressant de noter les liens qu'entretient l'agriculture avec les branches des industries chimiques (CE, engrais) et l'industrie pharmaceutique (CF, traitements pour l'élevage).

Ce graphe illustre ainsi le réseau des relations économiques principales complétant alors le portrait approfondi de l'économie du BES présenté dans ce chapitre, exploitant le modèle ES construit. Les mesures de centralité et de degré permettent de repérer quelques groupes organisés autour de productions complémentaires.

Définition de centralité et de degré

La centralité intermédiaire (betweenness) est un indicateur d'importance d'un sommet dans un réseau. Une forte centralité, dans le cas de notre réseau, indiquera que la branche probablement un rôle prépondérant dans la distribution et la consommation des contenus en eau.

Les mesures de degrés sortant et entrant, ainsi que les mesures de centralités ont été utilisées pour déterminer les membres importants de ce réseau.

Le degré mesure le nombre de liens que possède un sommet, c'est-à-dire le nombre de connexions qu'a une branche avec le reste de l'économie.

Deux types de degrés peuvent être spécifiés : le degré sortant indique le nombre de liens émis par une branche, tandis que le degré entrant indique le nombre de liens reçu par une branche. Dans le cadre des réseaux étudiés ici, les liens entrants indiquent une demande adressée à la branche qui les reçoit. Ils illustrent alors le rôle de fournisseur. Les liens sortants indiquent la demande d'impact adressée à une autre branche, donc le rôle de consommateur. Ainsi, le degré sortant indique si une branche est demandeuse (c'est-à-dire si elle augmente la consommation d'eau des autres branches), tandis que le degré entrant indique si la branche est fournisseuse (elle consomme de l'eau pour fournir les autres branches).

Les centralités permettent de déterminer les branches les plus « importantes » dans le réseau. Ces branches correspondent pour la majorité d'entre elles, aux branches identifiées comme au cœur de clusters régionaux : les industries du pétrole, les activités pour la santé humaine, la métallurgie et l'industrie chimique.

Le tableau 3-22 répertorie les principales mesures de centralités (les données complètes sont dans l'annexe centralité).

Tableau 3-25 : Mesures de centralité et de degré

| Branche | Centralité | Degré | Degré Entrant | Degré Sortant |
|---------|------------|-------|---------------|---------------|
| CD | 202,2 | 12,0 | 11,0 | 1,0 |
| EZ | 122,9 | 6,0 | 0,0 | 6,0 |
| QA | 106,6 | 8,0 | 7,0 | 1,0 |
| PZ | 77,0 | 6,0 | 0,0 | 6,0 |
| NZ | 69,7 | 7,0 | 7,0 | 0,0 |
| FZ | 68,4 | 4,0 | 0,0 | 4,0 |
| CE | 62,9 | 5,0 | 3,0 | 2,0 |
| OZ | 59,7 | 4,0 | 0,0 | 4,0 |
| AZ | 42,1 | 5,0 | 1,0 | 5,0 |
| RZ | 39,9 | 4,0 | 4,0 | 0,0 |
| CH | 39,7 | 4,0 | 4,0 | 0,0 |
| CK | 39,7 | 4,0 | 3,0 | 1,0 |
| KZ | 38,5 | 3,0 | 1,0 | 2,0 |
| CG | 35,9 | 2,0 | 1,0 | 1,0 |
| BZ | 34,1 | 7,0 | 7,0 | 0,0 |
| CJ | 32,0 | 2,0 | 2,0 | 0,0 |
| JA | 32,0 | 2,0 | 0,0 | 2,0 |

Source : calculé par l'auteur

La mesure de centralité met alors en évidence le rôle central de la branche CD et des branches liées. Un second cluster industriel majeur est également mis en valeur par les mesures de centralités : celui organisé autour de la branche des activités pour la santé humaine (QA), regroupant autour d'elle, la recherche, les activités financières, la restauration, et l'hébergement médico-social.

L'existence de ce deuxième cluster industriel explique ainsi pourquoi l'emploi public hospitalier est si développé en Seine-Maritime (23,6 % des emplois publics de Seine-Maritime, contre 18,3 % pour toute la Haute-Normandie (INSEE, Analyses Normandie - 9, 2016)).

5.2 Analyse structurelle des échanges d'eau

Les poids des liens indiquent ici le volume d'eau additionnel consommé par une branche j (sommets récepteur du lien) si la consommation pour la demande finale d'une branche i (sommets origine du lien) augmente d'un mètre cube.

La première différence observée entre les relations économiques et les relations environnementales est le nombre : le réseau des échanges d'impact environnementaux est plus dense (117 relations) que le réseau économique (65 relations). Ainsi, l'analyse de l'économie de l'environnement ne peut se faire uniquement sur des critères économiques : une grande partie des échanges d'impacts environnementaux ne correspondent pas à des liens économiques forts.

Le réseau des impacts environnementaux présente, comme le réseau économique une structure multipolaire, qui peut être mise en évidence par les mesures de centralité et de degré (Annexe H). Ces mesures recourent les conclusions de l'analyse de liaison. Les principales mesures sont regroupées dans le tableau 3-23.

Elles permettent d'identifier les branches importantes dans le réseau des échanges d'eau incorporée. Ainsi, les principales mesures de centralités concernent des branches de services et quelques industries spécifiques : L'enseignement (PZ), les activités financières et d'assurance (KZ), les industries chimiques, les activités pour la santé humaine (QA) et les activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques (MA) pour les principales. Ces branches de service se caractérisent par des degrés sortants élevés, donc plutôt émettrices de demande. Ainsi, si la demande de la branche PZ augmente, cela influencera la production de 19 autres branches, dont la cokéfaction et le raffinage (CD), l'industrie du bois et du papier (CC) et les industries chimiques (CE).

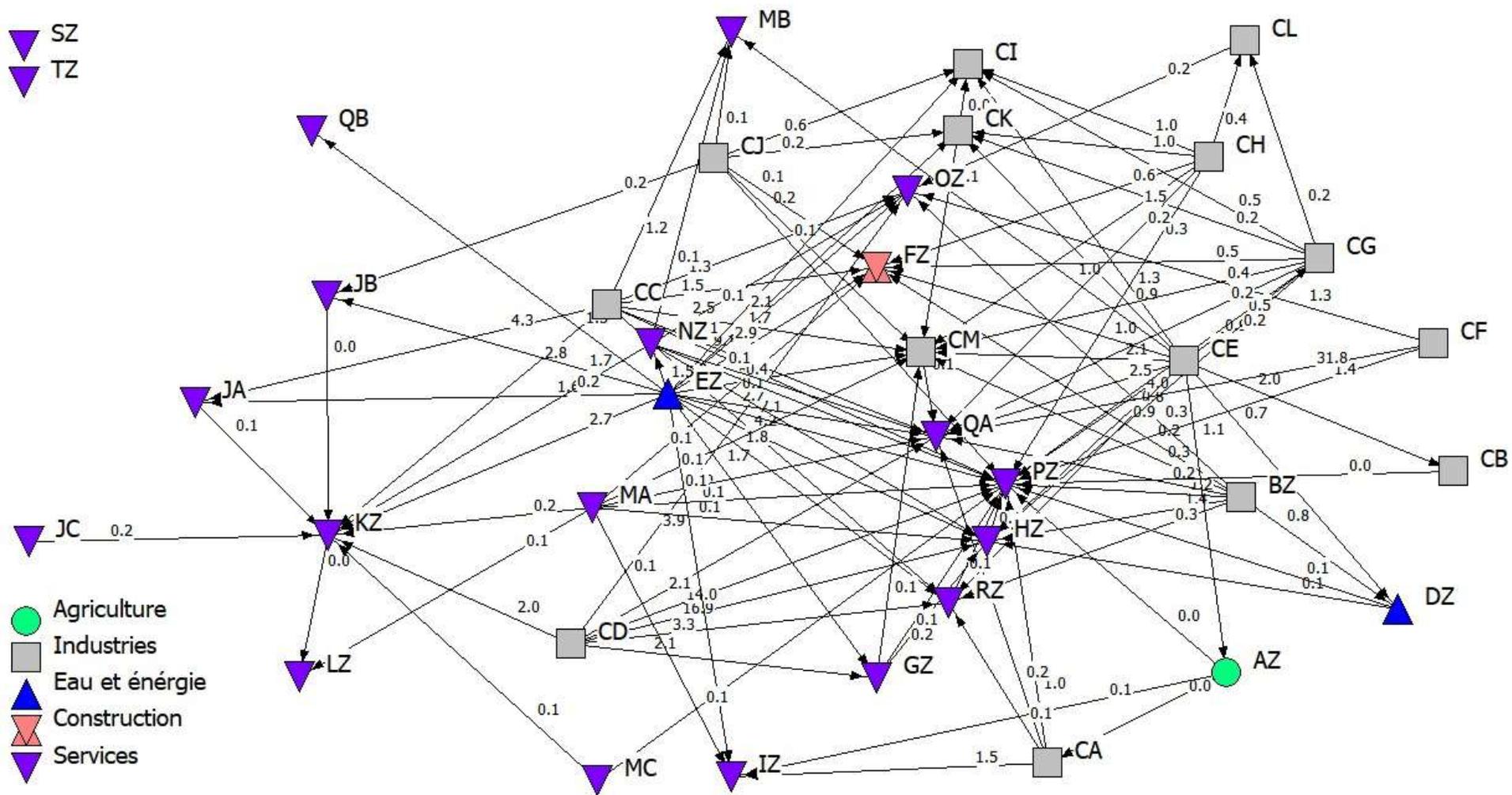


Figure 3-15 : Représentation des relations environnementales majeures

Source : créé par l'auteur

Tableau 3-26 : Mesures de centralité et de degré du réseau environnemental

| | Centralité | Degré | Degré entrant | Degré sortant |
|----|------------|-------|---------------|---------------|
| PZ | 131,195 | 19 | 0 | 19 |
| EZ | 117,318 | 16 | 16 | 0 |
| KZ | 63,091 | 10 | 1 | 9 |
| CE | 38,5 | 13 | 13 | 0 |
| QA | 34,045 | 12 | 0 | 12 |
| MA | 31,677 | 8 | 8 | 0 |
| CC | 27,406 | 9 | 9 | 0 |
| CM | 22,218 | 11 | 1 | 10 |
| OZ | 21,134 | 7 | 0 | 7 |
| HZ | 16,583 | 10 | 1 | 9 |
| CG | 16,055 | 9 | 8 | 1 |

Source : calculé par l'auteur

Des industries jouent également un rôle majeur dans ce réseau, en particulier les industries de dépollution (EZ), les industries chimiques (CE) et la papèterie et du travail du bois (CC). Ces branches se caractérisent surtout par leur rôle de fournisseur d'impact environnemental, comme l'indique leur degré entrant élevé.

Ainsi, la branche des industries chimiques est une branche qui n'apparaissait pas jusqu'à maintenant particulièrement remarquable en termes d'impact économique et environnemental et dans tous les cas de figure moins importante que d'autres branches majeures (CD, HZ, GZ, OZ). L'analyse met en évidence le fait que la branche CE reçoit un nombre important de relations : 13. Ce qui en fait ainsi un fournisseur majeur d'impact environnemental ; les demandes finales qui déterminent sa production sont entre autres, les activités pour la santé humaine (QA), l'industrie textile (CB), les activités récréatives (RZ), la recherche (MB).

L'analyse structurelle met ainsi en valeur la description « mécanique » du processus économique et des échanges d'impacts environnementaux. Le nombre de relations importantes plus élevé dans le modèle ES environnemental que dans le modèle économique indique qu'un choc aurait des impacts affectant plus de branches d'un point de vue environnemental qu'économique.

Ce résultat met ainsi en avant la fragilité de l'économie du BES face aux effets du changement climatique : l'économie dans son ensemble diffuserait plus largement des chocs environnementaux que des effets économiques.

5.3 Ego networks : détail des branches cokéfaction et raffinage et distribution d'eau et dépollution

Le réseau de distribution d'eau virtuelle total (fig. 3-15) reste dense et donc peu lisible à l'œil nu. C'est pourquoi, nous étudions en exemple, deux sous-réseau ; les ego network, de deux branches majeures : la branche cokéfaction et raffinage pour le réseau économique, et la branche distribution de l'eau pour les échanges d'eau virtuelle (fig.3-16 et fig.3-17).

Prenons en exemple l'égo network spécifique pour la branche cokéfaction et raffinage. La figure 3-16 représente ce sous-réseau, et montre toutes les branches connectées directement (distance géodésique égale à un) à la branche cokéfaction et raffinage.

Les liens entrants dans la branche CD représentent les demandes envoyées à celle-ci, et les liens sortants, les demandes de la branche.

CD reçoit ainsi 12 demandes « majeures », et en envoie une seule vers la branche BZ (industries extractives). Cela confirme donc son rôle de fournisseur majeur de l'économie régionale (elle répond à de nombreuses demandes), et nous identifions également sa relation de consommateur de matières premières (pétrole brut) produites par la branche BZ.

La valeur du lien correspond au coefficient inverse de Leontief entre deux branches. Ainsi, en considérant la valeur la plus élevée en exemple : de HZ vers CD (valeur : 0,97), il s'agit du coefficient $\alpha_{CD;HZ}$, qui décrit l'effet de la consommation finale de HZ sur la production CD. Ainsi, si la consommation finale de HZ augmente d'une unité, la production de CD augmentera de 0,97 unité. Notons que cette valeur est particulièrement élevée, car elle décrit la demande de la branche de transport en carburant, ce qui est une relation évidemment forte au regard de la nature des activités des deux branches. Notons que cette relation entre CD et HZ est la plus forte de la matrice économique, en dehors de la diagonale (qui contient par nature les coefficients les plus élevés).

Le lien entre CD et BZ (valeur : 0,2) représente l'effet de la demande de CD sur la production de la branche des industries extractives : si la demande finale de CD augmente d'une unité, la production de BZ augmentera de 0,2. Il s'agit ici, de l'expression, en proportion, de la demande en matières premières brutes de l'industrie du pétrole.

Ainsi, chacun de ces liens représente les relations totales interbranches, et fournit un portrait cohérent de ces relations.

En termes d'échanges d'eau, la figure 3-17 représente le sous-réseau qui détaille les voisins directs (l'ego network) de la branche (EZ) de distribution d'eau. Ce graphe illustre ainsi le rôle de distributeur de consommations d'eau indirectes de la branche EZ (notamment au travers de son activité de dépollution), auprès de branches de services.

Cette branche n'émet pas de demande majeure ce qui en fait un producteur « pur » de consommations indirectes, c'est-à-dire un fournisseur d'eau incorporée.

L'absence de liens sortants forts avec le reste des industries s'expliquerait par le fait que ces activités de distribution d'eau et de dépollution représentent des proportions relativement faibles par rapport aux liens avec les fournisseurs/consommateurs des industries. Les services de distribution de l'eau et de dépollution représenteraient alors un intrant mineur pour les industries, cela se justifie par le fait que la plupart des industries extraient elles-mêmes leur eau.

De la même façon qu'avec le réseau économique, les valeurs des liens indiquent le volume consommé par une branche si la demande finale (exprimée en volume d'eau) augmente d'une unité. Par exemple si la demande finale de IZ (hébergement et restauration) augmente d'un mètre cube, la consommation d'eau de EZ augmentera de 12,6 mètres cubes. Ce volume additionnel représente l'eau que devrait consommer la branche EZ pour fournir IZ en eau, et assurer le service de traitement des déchets de cette branche.

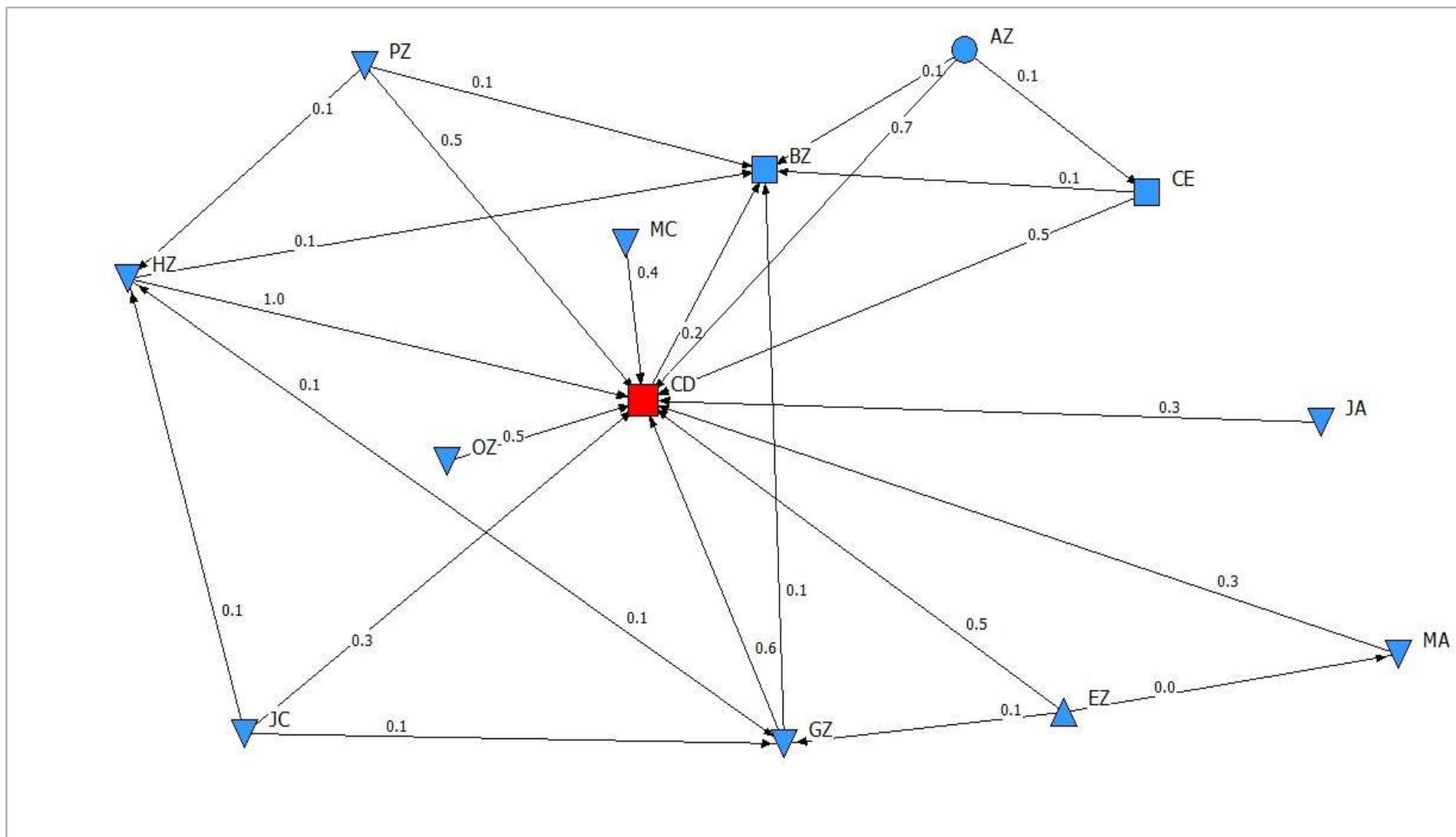


Figure 3-16 : Ego network économique de la branche cokéfaction et raffinage (CD)

Source : créé par l'auteur

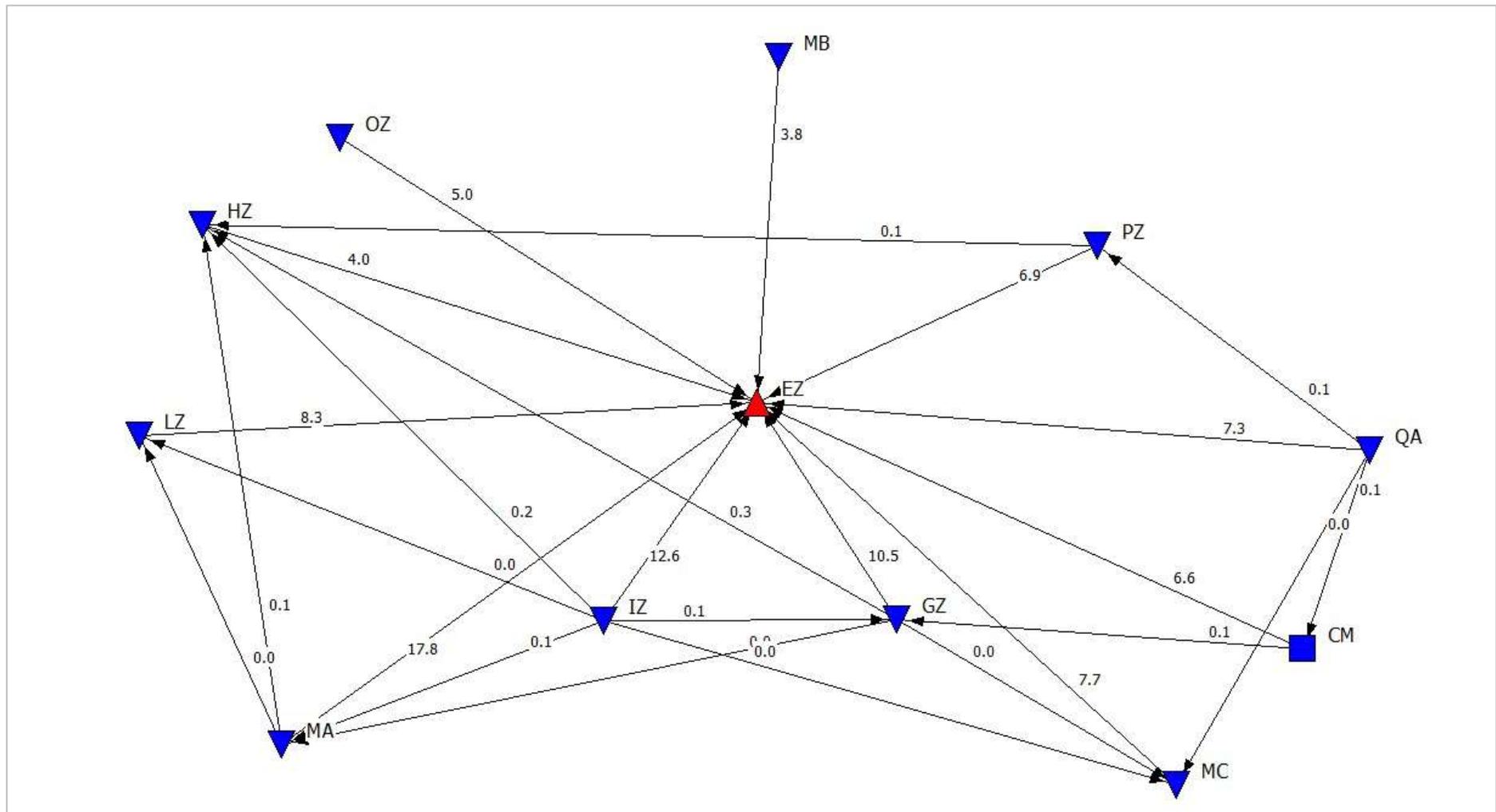


Figure 3-17 : Ego network de l'eau virtuelle de la branche Distribution d'eau et Dépollution (EZ)

Source : créé par l'auteur

6. Discussion et Conclusion

Dans le présent chapitre, nous avons examiné l'économie régionale et ses impacts sur l'estuaire de la Seine à partir du modèle ES étendu à l'environnement. Les grandeurs régionalisées et leurs impacts sur l'économie obtenus grâce aux TES régionalisés ont été analysés. Ensuite, L'HEM est appliquée afin de déterminer les impacts économiques et les consommations d'eau totales, des catégories d'emplois finaux sur l'économie régionale et sur le BES. Les multiplicateurs de consommations ont permis d'identifier les véritables impacts des activités humaines sur l'estuaire. L'analyse de liaison a identifié le rôle des branches dans l'économie et pour l'estuaire. Enfin, l'analyse structurelle a mis en avant la mécanique des transmissions d'impacts économiques et environnementaux au sein de l'économie.

L'utilisation conjointe de ces outils apporte une vision détaillée de l'économie régionale et de sa relation avec le BES. De plus, le fonctionnement de cette relation a été exploré en profondeur, notamment en analysant la manière dont les effets économiques et environnementaux se propagent entre les branches. Les résultats sont cohérents entre eux, chaque outil venant compléter les conclusions des autres, et correspondant au portrait de la Haute-Normandie, le modèle ES étendu à l'environnement peut donc être supposé comme valide.

L'économie est spécialisée autour deux pôles principaux : le premier s'organise autour de l'industrie lourde liée à la production de pétrole et des industries chimiques, en coopération avec les services de transport et commerciaux, et les activités pour la santé humaine, appuyées par les industries pharmaceutiques et la recherche.

De ces deux pôles économiques, le premier est celui qui a l'impact direct le plus élevé sur l'estuaire. Celui-ci est en effet exploité principalement par les industries lourdes concentrées le long du cours principal, ce qui correspond aux résultats de Beaumais and Laroutis (2007) sur le fait que l'économie régionale s'appuie fortement sur les ressources en eau. De plus, au sein de cette organisation de l'économie, la branche de distribution de l'eau joue un rôle économique secondaire, mais crucial en tant que distributeur principal d'impact environnemental.

Les résultats permettent cependant de montrer que le pôle économique principal, constitué des industries du pétrole et du transport, est orienté vers les exportations plutôt que la demande finale locale. Ce résultat se justifie par le fait que les raffineries normandes approvisionnent le pays et plus particulièrement les aéroports parisiens en carburants. Les services de transport régionaux sont, eux orientés vers le transport de marchandises, notamment le transport maritime, plutôt que vers le transport de passagers, ce qui explique également pourquoi cette branche n'est pas orientée vers la demande finale locale. Ainsi, le BES est exportateur de ressources en eau, même si rapporté aux importations d'eau ce

rôle exportateur serait moins marqué au cours du temps, non pas à cause d'une diminution des exportations, mais surtout en raison de la hausse des importations, en particulier de pétrole et de gaz.

En termes d'allocation des ressources, l'économie régionale est donc adaptée aux ressources en eau abondantes fournies par l'estuaire : elle est spécialisée non seulement dans les productions fortement consommatrices d'eau (raffineries et industries lourdes), mais également dans les productions consommatrices indirectes d'eau, associées aux industries lourdes (le transport). La spécialisation économique est donc particulièrement adaptée au contexte de l'estuaire de la Seine.

Malgré tout, ces résultats doivent être nuancés. Tout d'abord si la spécialisation de l'économie régionale est adaptée à l'estuaire, cela s'est fait en modifiant profondément la physique de ce dernier. Ainsi, la construction du grand port du Havre s'est faite au détriment des marais de l'estuaire. Les activités humaines dans cette zone ont ainsi fortement altéré les cycles de vie de la faune locale, entraînant ainsi une diminution de la qualité des eaux, des ressources halieutiques et des populations d'oiseau.

L'état de l'estuaire, exposé au chapitre 1, montre que toutes les UH sont affectées par la présence humaine. Les UH du cours principal et périphériques sont les plus soumises aux pressions environnementales. Elles sont précisément utilisées pour approvisionner le cœur de l'économie régionale : les industries et le transport.

Les UH périphériques fournissent également de l'eau aux industries, aux services, et doivent également fournir de l'eau à une large partie de la demande finale présente dans les centres urbains du Havre et Rouen. Ces pressions entraînent une dégradation qualitative importante des UH du cours principal et périphériques.

D'un point de vue quantitatif, si le cours principal est largement doté en eau et donc ne présentent pas de risque immédiat de pénurie, les UH périphériques sont, elles, déjà très affectées. Certaines (le Commerce et la Lezarde) sont en déficit hydrique, les autres sont juste à l'équilibre et présentent ainsi un risque de manque d'eau à venir. Il y a donc un risque sérieux problème de compétition à venir autour de ces ressources en eau, qui pourrait opposer les industries locales à la consommation d'eau des ménages.

C'est d'autant plus inquiétant, que nombre de ces pressions sont causées par des demandes externes à la région. Par exemple, la consommation d'eau des raffineries, en réponse à la demande en carburant des aéroports parisiens, sera donc fortement influencée par l'évolution du trafic aérien français. Cela impliquera qu'il pourrait exister une concurrence autour des ressources en eau de la Lézarde (exploitée par la raffinerie ExxonMobil) entre les habitants de Port Jérôme et les aéroports de Paris.

Par suite, si la spécialisation économique actuelle de la Haute-Normandie apparaît bien adaptée à l'estuaire de la Seine, ce constat positif n'est pas si clair à l'échelle des UH, des tensions fortes sur les ressources existant déjà à l'heure actuelle.

De plus, cette adaptation de l'économie régionale à l'estuaire de la Seine actuel est un risque de fragilité face au changement climatique à venir. Les activités au cœur de l'économie régionale sont localisées dans les UH les plus exposées à la montée des eaux le long de l'aval du cours principal, au risque d'inondations et au risque de stress hydrique long de l'amont du cours principal et des UH périphériques.

À cela s'ajoute, le fait que des pressions supplémentaires issues de l'agriculture pourraient venir amplifier ce risque. En effet, l'agriculture n'exerce actuellement pas de pression excessive sur les ressources en eau de l'estuaire grâce au faible recours à l'irrigation. Cet état de fait pourrait changer, et la consommation d'eau liée à l'irrigation deviendrait bien plus importante. Cela conduirait alors à des pressions accrues sur les UH jusqu'ici épargnées : les UH côtières, de l'Eure ou Amont, mais également sur les UH périphériques. Ces dernières seraient alors soumises à une triple concurrence entre les demandes des industries, de la population et de l'agriculture, aggravant ainsi leurs états quantitatifs et qualitatifs.

Il apparaît alors nécessaire de repenser la structure de l'économie : d'après les résultats, il semble plus opportun de conserver le caractère industriel du BES, en encourageant les industries propres pour limiter au maximum les pressions sur le BES. Les branches de l'agriculture, de la distribution de l'eau et de la construction ont ainsi des rôles importants à jouer dans l'avenir de l'estuaire. Ces dernières étant les principales branches dont l'activité peut modifier positivement, restaurer l'environnement, et protéger les activités humaines des effets du changement climatique.

La structure actuelle de l'économie est donc potentiellement problématique, car elle est trop « spécialisée », ce qui pourrait la rendre inadaptée à un BES modifié par le changement climatique. La création d'un modèle théorique qui a été validée par une confrontation des résultats et des observations permet de se projeter, avec précaution en 2050, afin de déterminer une évolution possible de l'économie régionale et de sa relation avec l'estuaire.

Chapitre 4

TES 2050 et perspectives

1. Introduction

D'ici 2050, le contexte de l'estuaire de la Seine aura évolué. D'un point de vue économique, en se référant aux scénarios institutionnels à long terme, les activités de services devraient avoir une place plus importante. Ainsi, respectant le scénario de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), l'industrie représenterait 17,84 % du PIB en 2050 contre 21,32 % en 2014, tandis que le poids économique des services augmentera passant de 69,06 % en 2014 à 74,53 % en 2050.

D'un point de vue environnemental, le changement climatique devrait affecter l'estuaire, entraînant une diminution potentielle de la disponibilité des ressources en eau. Il s'agit donc dans ce chapitre d'étudier la relation qu'aurait l'économie régionale projetée en 2050 avec l'estuaire de la Seine. Cette prospective sera donc un outil de connaissance utile dans la gestion future des ressources en eau du bassin.

La construction du modèle à cet horizon temporel nécessite de définir le cadre macroéconomique à partir des prévisions institutionnelles existantes. Au niveau national, les perspectives économiques les plus lointaines, réalisées par l'Ageing report, l'ADEME, et le CEPII (Callonnet et al., 2013a; European Commission et al., 2017; Foure et al., 2012) sont faites à l'horizon 2050. Ce qui coïncide avec les études environnementales locales sur l'impact du changement climatique (Ducharne et al., 2003, 2007) établies par le GIEC. La correspondance entre ces deux types d'études explique donc le choix de l'horizon 2050 que nous retenons dans ce travail de thèse.

Le TES régional économique est construit par extrapolation du cadre macroéconomique national issu des projections institutionnelles citées précédemment. Ce cadre, combiné à des projections de TES pour les années 2025-2030-2035 fournies par l'ADEME permet d'obtenir une projection nationale pour 2050. Ce cadre et les données obtenues suivent la SNBC, conforme aux engagements de l'accord de Paris. Le TES national 2050 ainsi obtenu est ensuite régionalisé, fournissant ainsi un TES régional économique pour 2050.

Concernant la consommation d'eau, il existe au niveau régional des travaux commandés par l'AESN au BIPE²¹ (AESN et BIPE, 2005). Ces derniers évaluent, sur l'ensemble du bassin de la Seine, l'évolution de la consommation d'eau par activités. Ce rapport fournit un cadre prévisionnel pouvant servir de référence pour la construction du TES environnemental. Cependant, son échelle ne correspond

²¹ Bureau d'Informations et de Prévisions Économiques, cabinet de conseil

pas tout à fait à celle du BES, et la nomenclature utilisée est bien plus agrégée que celle utilisée par notre TES. Enfin, l’horizon temporel de ce rapport est l’année 2025, qui ne correspond pas à notre objectif. En conséquence, les conclusions de ce rapport seront utilisées avec prudence, et ne serviront que de cadre prévisionnel, par extrapolation jusqu’en 2050, pour vérifier l’acceptabilité des estimations de consommations d’eau.

Ces dernières, utilisées dans ce travail, sont estimées au moyen d’une méthode statistique commune (*Time Series Forecasting*) appliquée aux données disponibles. Différentes méthodes statistiques de prévisions des consommations d’eau existent (Mohamed and Al-Mualla, 2010), les *judgmental forecasting* ou comité d’experts (utilisé par l’AESN et le BIPE pour les prévisions du Rapport phase 1), la *regression forecasting* (régression multivariée entre la consommation de l’eau et des variables explicatives), *Time Series Forecasting* (régression temporelle univariée, *Cascade forecasting*, *Artificial neural network*, *Support vector machine forecasting*). Parmi toutes ces méthodes usuelles, la prévision temporelle univariée sera utilisée dans ce travail. Elle est couramment utilisée dans la littérature (Caiado, 2007, 2010; Zhai et al., 2012; Zhou et al., 2000), notamment grâce à sa simplicité d’application et quand aucune autre méthode ne se démarque.

Cette méthode suppose que la variable expliquée suive une tendance temporelle qui reste constante, et peut donc être extrapolée à l’horizon souhaité. Elle nécessite donc assez peu de données. Les projections obtenues sont ensuite comparées au cadre de référence de l’AESN, afin de s’assurer de leur validité.

L’objectif du chapitre est de prolonger les TES actuels (2008-2014) jusqu’en 2050. Le modèle ES ainsi obtenu sera analysé afin de déterminer les caractéristiques de l’économie régionale à cet horizon, et d’en dégager les principales évolutions par rapport à 2014, d’un point de vue économique et environnemental.

Ce chapitre propose ainsi une projection originale d’une économie régionale suivant le scénario SNBC, offrant une vision de l’état potentiel de l’économie en 2050, ainsi que l’état de la relation entre l’économie et les ressources en eau du fleuve. Il n’existe, à la connaissance de l’auteur pas de projection de TES régional équivalent, pour le bassin fluvial de la Seine. L’application des outils d’exploitation d’un modèle ES (multiplicateurs, analyse de liaison et analyse structurelle) permet d’étudier ce futur possible en détail.

Ce travail met en avant la mutation de l’économie régionale qui au cours des années à venir changerait de spécialisation, passant d’activités industrielles lourdes et des productions dédiées à la consommation intermédiaire et aux exportations, à des activités industrielles de pointe et des services notamment logistiques (la valeur ajoutée de la branche transport et entreposage augmenterait potentiellement de 351,8 % d’ici 2050). L’industrie lourde resterait présente, mais occuperait une place bien moins importante dans l’économie régionale. Par exemple, la valeur ajoutée de la cokéfaction et le

raffinage diminuerait de 93,4 % entre 2014 et 2050, ce qui correspondrait à la SNBC qui suppose la fin des véhicules à moteur thermiques, et donc la consommation finale de carburant d'ici 2050. Cette branche se concentrerait alors quasiment exclusivement sur des productions intermédiaires.

L'application des outils analytiques sur le TES 2050 permet d'explorer en détail l'état potentiel de la situation de l'estuaire. Il en ressort une diminution de la consommation d'eau globale de l'économie (-20,3 % au total), indiquant une baisse des pressions quantitatives sur l'estuaire. Cependant, l'augmentation du nombre de relations interbranches, de leur intensité, ainsi que la place croissante des services, rendrait l'économie régionale plus sensible aux restrictions d'eau, notamment pour le réseau de distribution dont le rôle serait encore plus important pour les activités de services.

Ce chapitre s'organise en deux sections :

Une première section est consacrée à la construction du TES régional 2050. Le cadre macroéconomique est présenté, puis le TES régional économique est établi. Ensuite, la prévision du cadre de référence environnemental est introduite. Les estimations statistiques conduisant à l'évaluation de la consommation d'eau sont ensuite détaillées puis comparées avec le cadre de référence, et corrigées si nécessaire.

La seconde section exploite le TES 2050 construit. L'utilisation des outils, multiplicateurs de consommations d'eau, analyse de liaison et analyse structurelle, permet ainsi de mettre en avant les principales évolutions régionales. Une étude de la sensibilité de la valeur ajoutée régionale à une restriction des prélèvements d'eau est ensuite étudiée.

2. Construction du TES régional 2050

Dans cette section, nous détaillerons la construction du TES 2050. La première sous-section dresse le cadre macroéconomique de référence à partir des prévisions institutionnelles. La deuxième est consacrée à la construction du TES régional économique respectant le cadre macroéconomique.

Une troisième sous-section détaille l'aspect environnemental. Nous présentons les prévisions de l'AESN, suivies des projections de consommations d'eau obtenues par une méthode statistique. La confrontation de ces dernières avec les prévisions de l'AESN permet de valider ou de corriger les consommations obtenues par la méthode statistique. Ainsi sont apportées des projections de consommations originales, obtenues à partir de données récentes, et intégrant les apports précédents. Cette section se conclut par la construction du TES environnemental.

2.1 Prévisions institutionnelles économiques à l'horizon 2050

La première étude du CEPII (Centre d'Études Prospectives et d'Informations Internationales) estime pour le PIB national français un taux de croissance de 1,5 % par an jusqu'en 2050 (Foure et al.,

2012). Ce scénario de croissance est obtenu à partir du modèle MaGE (Macroeconomics of the Global Economy) pour 147 pays, dont la France. Le modèle en question repose sur une fonction de production Cobb-Douglas. Cette dernière est complétée par l'introduction de la consommation énergétique comme facteur de production. La fonction de production ainsi utilisée pour cette projection du PIB est une fonction CES (Constant Elasticity of Substitution), celle-ci est, elle-même, constituée d'une fonction Cobb-Douglas, combinant travail et capital, et d'une fonction intégrant l'énergie et sa productivité.

Le facteur travail a été projeté en 2050 en conciliant les projections de population en âge de travailler de l'ONU pour cette année-là (scénario de fertilité moyen) avec les projections de l'OIT, le tout étant complété par des projections et des ajustements effectués par les auteurs du CEPPII.

Le capital en 2050 est calculé par les auteurs grâce à un processus d'inventaire permanent, calculé à partir de l'investissement en capital fixe d'un pays. La valeur du stock de capital initial est fixée à trois fois le PIB de 1960.

La consommation d'énergie en 2050 est estimée à partir des prix de l'énergie, en supposant que les entreprises maximisent leurs profits sous contrainte de la fonction de production CES imbriquée. Le prix de l'énergie est paramétré de sorte à s'accroître à taux constant. Le taux de croissance utilisé est égal au taux moyen de croissance prévu pour la période 2030-2035.

Les données utilisées pour cette projection du CEPPII sont issues des bases de données de la Banque Mondiale et du FMI pour les séries du PIB sur la période 1960-2009, les prix de l'énergie et du pétrole utilisés comme proxy du prix de l'énergie (1970-2009). La consommation énergétique est également issue de données de la Banque Mondiale. La productivité énergétique est calculée à partir de la consommation énergétique, du prix de l'énergie et du PIB.

Les données relatives à la population active proviennent des estimations de population de l'ONU pour les années (1980-2008) et de l'OIT.

Ce modèle proposé par Foure et al. (2012) a comme principal intérêt de compléter la fonction Cobb-Douglas classique utilisée pour réaliser des projections par l'intégration de la consommation énergétique. Cet ajout de l'aspect énergétique ouvre la possibilité d'intégrer ensuite, des effets environnementaux. Ce travail offre ainsi une méthode de projection très détaillée et appliquée à grande échelle ; cependant les données utilisées remontent à 2009, et les conclusions de ce modèle seraient peut-être à remettre en perspective avec les tendances les plus récentes.

La deuxième étude est faite au niveau européen, par Commission européenne qui publie les « *Ageing reports* » (European Commission et al., 2015 et European Commission et al., 2017). Le PIB français devrait, d'après cette étude, évoluer jusqu'en 2050 en suivant les taux de croissance moyens suivants.

Tableau 4-1 : Taux de croissance du PIB prévus par les Ageing Reports

| | | 2016- 2020 | 2021- 2025 | 2026- 2030 | 2031- 2035 | 2036- 2040 | 2041- 2045 | 2056- 2050 |
|-----------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ageing report 2015 | Taux de croissance moyen sur la période | 1,20 | 1,20 | 1,40 | 1,50 | 1,80 | 1,70 | 1,80 |
| Ageing report 2018 | Taux de croissance moyen sur la période | 1,10 | n/a | 1,20 | n/a | 1,70 | n/a | 1,90 |

Source : Ageing Report 2015, 2018

L'édition de 2018 a revu à la baisse les prévisions de croissance pendant la première partie de la période. Ces prévisions de croissance, plus faibles dans la version 2018, sont expliquées principalement par une moindre productivité du travail entre 2016 et 2035, qui n'était pas prise en compte par la version de 2015.

Les « Ageing reports » sont réalisés pour les 28 membres de l'Union européenne. Les données sur les États membres sont fournies par Eurostat. La méthodologie utilisée pour réaliser ces projections est une fonction Cobb-Douglas classique intégrant deux facteurs de production : le travail et le capital.

Les variables sont estimées d'abord jusqu'en 2026 en utilisant la méthodologie T+10 appliquée par la Commission européenne pour les calculs de projections de croissance (Havik et al., 2014) et développée pour le Ageing Report de 2015. Pour les années suivantes (le long terme, après 2026), il est supposé que l'économie converge alors vers un état stationnaire, suivant le modèle de croissance néoclassique standard (modèle de Solow).

Ce modèle n'est pas aussi développé que celui proposé par le CEPII dans le sens où il n'intègre pas de facteurs de production supplémentaires tels que l'énergie. Il s'agit toutefois d'un modèle de référence, reconnu institutionnellement et utilisé par la Commission européenne pour réaliser ses prévisions.

Un troisième modèle peut être cité. L'ADEME, l'OFCE (Observatoire Français des Conjectures Économiques) et le TNO (Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée, traduit du Néerlandais : nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) ont développé le modèle keynésien multisectoriel ThreeME (Callonnec et al., 2013b; Reynès, 2016). Celui-ci est utilisé par l'ADEME pour déterminer les impacts de la transition énergétique et de l'impact économique de politiques publiques telles que l'application de la taxe carbone. L'avantage de ce modèle est qu'il est multisectoriel, donnant ainsi une prévision de la structure du PIB en 2050. Le cadrage économique et démographique de l'Ageing report est repris dans ce modèle, en supposant une reprise modérée de la croissance, mais ne retrouvant jamais son niveau d'avant crise.

Tableau 4-2 : Taux de croissance du PIB utilisé par l'ADEME

| | 2010-2020 | 2020-2030 | 2030-2035 | 2035-2050 |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Taux de croissance moyen | +1.5 % | +1.4 % | +1.7 % | +1.7 % |

Source : ADEME Vision 2035-2050

L'étude « Évaluation macroéconomique des visions énergétiques 2030-2050 de l'ADEME » (Callonnec et al., 2013), découlant de l'utilisation du modèle ThreeME, montre que pour le scénario de référence, le taux de croissance de l'économie tendrait vers 1,8 % sur la période 2010-2050 , principalement du fait de la hausse de la productivité du travail.

Ces trois études proposent un taux de croissance économique convergeant, en 2050, entre 1,5 pour l'étude du CEPII (la plus ancienne) et 1,8 % pour l'Ageing Report 2018 et le modèle ThreME de l'ADEME, les plus récents, ce qui incite à considérer ces taux de croissance réalistes. Si ces prévisions d'évolution sont *a priori* fiables, les résultats se limitent à ce seul PIB, sans proposer d'estimation des évolutions sectorielles.

En complément, nous avons contacté, L'ADEME qui nous a fourni des projections TES nationaux pour les années 2010, 2025, 2030 et 2035 qui seront exploitées afin de déterminer l'évolution sectorielle de l'économie nationale.

Ces TES sont produits en suivant la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC). Cette dernière définit la stratégie de la France à long terme en matière de réduction d'émissions de gaz à effet de serre afin d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. La SNBC s'appuie sur un scénario de référence : le scénario « Avec Mesures Supplémentaires » (AMS). Celui-ci a été construit lors d'un exercice de modélisation commun à la programmation Pluriannuelle de l'Énergie. Il décrit une trajectoire possible permettant d'atteindre l'objectif de réduction des émissions de CO2 du SNBC.

Ce scénario AMS n'annonce pas de rupture avec les prévisions macroéconomiques de la Commission européenne et celle démographique de l'INSEE. Il est donc compatible avec les prévisions de l'Ageing Report. Il envisage la décarbonation des différentes productions et la compensation des émissions incompressibles par l'utilisation de puits de carbone.

Ce scénario prédit ainsi des évolutions notables pour le secteur des transports, du bâtiment, de l'agriculture, de la sylviculture, de l'industrie et de la production d'énergie.

Pour les transports, l'objectif de la SNBC est atteint par une réduction drastique des motorisations classiques, remplacées par des motorisations électriques, au gaz, et en maîtrisant la croissance du secteur en favorisant des approvisionnements locaux. Ces remplacements concernent

exclusivement le transport terrestre, les transports aérien et maritime sont considérés comme des émissions incompressibles, notamment du fait de l'absence de technologies efficaces pouvant remplacer les motorisations actuelles de ces modes de transport. La consommation en carburants fossiles est donc fortement décroissante.

Le secteur du bâtiment se caractérisera par une diminution du volume de construction du neuf à cause d'un renforcement de la réglementation concernant ce type de constructions. Cependant, l'activité de rénovation devrait, elle, s'intensifier pour atteindre l'objectif de 100 % de bâtiments basse consommation d'ici 2050. Associée à cette tendance, la diffusion de nouvelles technologies de l'habitat (maisons intelligentes), se traduirait par une activité fortement accrue du secteur de la construction.

L'agriculture évoluerait en intégrant les modifications de demande intérieure (passage au bio). Ce secteur transformera sa manière de produire (changement des types de culture, optimisation des cycles de l'azote, techniques de labour, etc.). L'agriculture joue un rôle important dans l'adaptation au changement climatique en limitant l'artificialisation des sols. Associée à l'agriculture, la sylviculture devrait également être une partie prenante importante dans la SNBC, par son rôle de puits de carbone. De plus, la gestion intelligente des forêts et la mise en avant du bois comme matériaux de construction conduiraient à un triplement de la production sylvicole.

L'objectif de la SNBC concernant l'industrie serait un maintien de l'activité au niveau de 2015, tout en favorisant l'électrification des procédés, les gains d'efficacité énergétique, l'économie circulaire, le recyclage, l'écoconception et la valorisation des déchets. Ces mesures devraient alors favoriser les branches industrielles ayant des contenus technologiques. Ces mesures conduiraient les branches industrielles lourdes à représenter une part moindre dans la production.

Enfin, la SNBC vise une production d'énergie quasi décarbonée, par un mix énergétique composé de chaleur renouvelable, biomasse, électricité décarbonée, gaz renouvelable.

Les TES fournis par l'ADEME reflètent ce scénario au travers de leur structure. Ces évolutions seront donc intégrées dans le TES régional 2050. La prise en compte de la SNBC se justifie par le fait qu'il s'agit d'une stratégie de politique nationale à long terme de référence, conforme aux engagements de l'État français pris lors de l'accord de Paris en 2015. Nous supposons donc que les trajectoires économiques nationale et régionale suivent le scénario utilisé par la SNBC.

2.2 Construction du TES 2050 de la Haute-Normandie

Ce TES régional est réalisé à partir des données de l'ADEME extrapolées jusqu'en 2050. La construction du TES national utilisé est, elle, détaillée dans l'annexe J.

Le TES est composé de deux principaux blocs : le tableau des emplois intermédiaires et le tableau des emplois finaux. Deux grandeurs clés sont nécessaires à leur construction : la valeur ajoutée

et la demande finale. De celles-ci découlent les calculs des autres, qui permettront ainsi d'obtenir le TES complet pour 2050.

2.2.1. Valeur ajoutée et tableau des emplois intermédiaires

La première grandeur à calculer est la valeur ajoutée. Elle permet ensuite de retrouver la production et d'ajuster les coefficients techniques nationaux, conduisant ainsi à la construction du TEI, élément central du modèle ES.

Valeur ajoutée totale

Pour la valeur ajoutée totale, deux méthodes sont proposées. La première est une application des prévisions de croissance de l'Ageing report 2018, en appliquant un différentiel de taux de croissance constant (mesuré comme la moyenne des différences entre taux de croissance national et régional pour les années 2004-2014). La seconde méthode repose sur l'évolution de la productivité totale des facteurs et des prévisions de l'emploi en Haute-Normandie.

La *première version* de la valeur ajoutée régionale totale en 2050, consiste à réutiliser les prévisions nationales et à les appliquer au contexte régional. La méthode utilisée ici reprend ce principe, mais en l'adaptant. En supposant que les économies régionale et nationale poursuivent leurs évolutions actuelles, l'écart entre le taux de croissance national et régional devrait rester constant. Ainsi un taux de croissance régional peut-il être calculé pour la période 2014-2050. Le taux de croissance du PIB régional, observé à partir des données de l'INSEE, est inférieur au taux de croissance national, à cause de l'industrie qui est un secteur à faible valeur ajoutée dont le poids économique est élevé en Haute-Normandie, contrairement aux services. Ainsi les prévisions nationales doivent être adaptées au contexte régional par l'application d'un différentiel de taux de croissance.

Le taux de croissance de l'Ageing report 2018 (tableau 4-3) est utilisé dans cette section, étant donné qu'il s'agit de la prévision la plus récente. Ce taux de croissance est corrigé du différentiel de croissance entre l'échelle régionale et nationale observé sur la période 2004-2014. Ce différentiel de croissance s'explique par l'orientation industrielle de la région, moins créatrice de valeur ajoutée que les services. Il est donc supposé que la région garde sa spécialisation industrielle entre 2014 et 2050. Le différentiel est calculé comme la moyenne des écarts entre la croissance du PIB national et régional (en volume), ce qui correspond à une différence de 0,7 point de croissance. Abstraction faite de l'effet de la crise de 2008, ce dernier semble stable sur la période considérée.

Tableau 4-3 : Projections des taux de croissance national et régional

| En % | 2016-2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Taux de croissance national (Ageing 2018) | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,9 |
| Taux de croissance régional utilisé(volume) | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,2 |

Source : Ageing report 2018

La valeur ajoutée totale est estimée en retranchant les 10 % correspondant aux droits de douane. Cette proportion est constante sur la période 2004-2015 (Chapitre 1, section 1 : Synthèse de l'économie haute normande). Celle-ci est donc supposée constante jusqu'en 2050. La valeur ajoutée totale serait donc de 63,12 milliards d'euros en volume.

La *seconde version* de la valeur ajoutée régionale totale est calculée en mobilisant les données sur l'évolution de la productivité du travail et les prévisions d'emploi.

L'emploi en 2050 est projeté en utilisant les prévisions de l'emploi en 2070 (INSEE et al., 2017) appliquées à la projection de la population régionale de 2050 (INSEE, 2017d). L'emploi en Haute-Normandie est donc évalué à 837246,3 personnes.

Le tableau 4-4 regroupe les prévisions de l'Ageing report concernant l'évolution de la productivité horaire du travail

Tableau 4-4 : Prévision de la productivité horaire du travail

| | 2016 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|------|------|------|------|------|
| Labour productivity per hour (taux de croissance) | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 1,5 |

Source : Ageing Report 2018

L'INSEE fournit l'évolution du temps de travail annuel sur la période 2004-2017 (INSEE, comptes nationaux, base 2014, Organisation du temps de travail).

À partir de ces données, et en supposant une évolution constante du temps de travail jusqu'en 2050, celui-ci devrait légèrement augmenter jusqu'à 1428 heures par an par travailleur.

La productivité apparente du travail régionale de 2016 est donc de de 74036,2 euros par emploi²². Ceci correspond alors à une productivité horaire du travail de 52,1 euros de l'heure.

²² Estimée en considérant une évolution constante entre 2004 et 2014 de la productivité apparente du travail calculée à partir des TES régionalisés.

En appliquant les variations issues des prévisions depuis 2016 de l'Ageing report 2018 à cette productivité horaire, corrigée du différentiel de croissance cité précédemment, qui illustre l'orientation industrielle régionale, la productivité horaire en 2050 peut être calculée.

Le produit de cette dernière par le volume horaire totale régional de 2050 (temps de travail annuel par le nombre d'emplois prévus en 2050) permet d'obtenir la seconde version de la valeur ajoutée totale de 2050, qui serait alors de 69,29 milliards d'euros, soit 15 % supérieure à celle estimée en se basant uniquement sur les prévisions de croissance du PIB. Le tableau 4-5 regroupe les données et les résultats du calcul.

Tableau 4-5 : Valeur ajoutée régionale calculée à partir de l'emploi et de la productivité

| | 2016 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|-------|-------|-------|-------|------------|
| Évolution de la productivité horaire Ageing report, corrigée du différentiel régional | 0,0 % | 0,2 % | 0,3 % | 0,7 % | 0,8 % |
| Productivité horaire (VA/heure) | 52,6 | 53,1 | 55,0 | 59,5 | 65,0 |
| Nombre d'heures travaillées annuelles par emploi | | | | | 1427,9 |
| Emploi en personnes | | | | | 746489,9 |
| Volume horaire en heures | | | | | 1065905402 |
| VA (en milliards d'euros) | | | | | 69,3 |

Source : Calculé par l'auteur

Nous retenons pour la valeur ajoutée régionale totale (en volume), la moyenne des deux versions calculées précédemment. Ainsi en 2050, la valeur ajoutée de l'économie haute normande devrait s'élever à 64,3 milliards d'euros, soit une augmentation de 37,7 % par rapport à 2010.

Structure par branche de la valeur ajoutée régionale

La structure de la valeur ajoutée est primordiale pour retrouver les valeurs par branches qui conditionneront à leur tour les productions. Elle est retrouvée en utilisant les variations structurelles calculées à partir des TES fournis par l'ADEME. Il est supposé que les variations de structure nationales s'appliquent au niveau régional conformément à l'hypothèse que nous avons faite pour régionaliser le TES national : la région est une homothétie de l'économie nationale à une échelle inférieure.

Donc, si l'activité d'une ou plusieurs branches (représentée par la valeur ajoutée) augmente au niveau national, cela implique que l'activité régionale de ces branches a également augmenté dans des proportions identiques.

Cette hypothèse permet alors d'appliquer les variations structurelles nationales à la valeur ajoutée régionale. Les variations appliquées sont celles calculées pour la valeur ajoutée nationale, à partir des TES de l'ADEME (tableau 4-6).

Tableau 4-6 : Structure de la valeur ajoutée 2050

| | Structure 2010 (%) | Branche NAF 118 correspondante | Variations appliquées (%) | Structure (%) | Structure ajustée (%) | VA 2050 (millions d'euros, volume) |
|----|--------------------|--|---------------------------|---------------|-----------------------|------------------------------------|
| AZ | 1,8 | Agriculture, forestry and fishing | -18,9 | 1,5 | 1,2 | 798,5 |
| BZ | 0,1 | Other industrial products | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 4,3 |
| CA | 2,4 | Manufacture of food products and beverages | 9,1 | 2,6 | 2,2 | 1431,1 |
| CB | 0,3 | Other industrial products | -1,4 | 0,3 | 0,2 | 153,7 |
| CC | 1,2 | Articles of paper and paperboard | -7,4 | 1,1 | 0,9 | 610,3 |
| CD | 1,4 | Oil | -93,1 | 0,1 | 0,1 | 55,0 |
| CE | 2,0 | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | 22,2 | 2,4 | 2,0 | 1314,8 |
| CF | 1,3 | Other industrial products | -1,4 | 1,3 | 1,1 | 714,5 |
| CG | 2,8 | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | 35,0 | 3,8 | 3,2 | 2081,7 |
| CH | 2,6 | Basic iron and steel and of ferro-alloys+Non-ferrous metals | -25,8 | 1,9 | 1,6 | 1044,9 |
| CI | 0,4 | Other industrial products | -1,4 | 0,4 | 0,3 | 198,7 |
| CJ | 0,7 | Other industrial products | -1,4 | 0,7 | 0,6 | 401,6 |
| CK | 0,9 | Other industrial products | -1,4 | 0,9 | 0,8 | 488,1 |
| CL | 1,7 | Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 47,6 | 2,4 | 2,1 | 1345,5 |
| CM | 1,9 | Other industrial products | -1,4 | 1,9 | 1,6 | 1052,7 |
| DZ | 1,5 | Electricity+Natural gas | -20,4 | 1,2 | 1,0 | 660,8 |
| EZ | 1,3 | Other industrial products | -1,4 | 1,3 | 1,1 | 731,1 |
| FZ | 6,7 | Buildings and Civil engineering | -7,1 | 6,2 | 5,3 | 3411,1 |
| GZ | 8,2 | Business services | 5,3 | 8,6 | 7,3 | 4755,8 |
| HZ | 6,3 | Transports | 282,2 | 24,0 | 20,4 | 13218,5 |
| IZ | 2,1 | Business services | 5,3 | 2,2 | 1,9 | 1197,2 |
| JA | 0,4 | Business services | 5,3 | 0,4 | 0,3 | 219,9 |
| JB | 0,5 | Business services | 5,3 | 0,6 | 0,5 | 307,4 |
| JC | 0,6 | Business services | 5,3 | 0,7 | 0,6 | 367,8 |
| KZ | 3,0 | Business services | 5,3 | 3,1 | 2,7 | 1728,4 |
| LZ | 11,5 | Business services | 5,3 | 12,2 | 10,3 | 6699,7 |
| MA | 2,7 | Business services | 5,3 | 2,9 | 2,4 | 1577,8 |
| MB | 0,2 | Services | 2,3 | 0,2 | 0,1 | 82,4 |
| MC | 0,4 | Business services | 5,3 | 0,4 | 0,3 | 219,5 |
| NZ | 5,9 | Business services | 5,3 | 6,2 | 5,3 | 3422,7 |
| OZ | 8,4 | Public services | -6,8 | 7,8 | 6,7 | 4318,9 |
| PZ | 5,0 | Services | 2,3 | 5,2 | 4,4 | 2840,4 |
| QA | 4,6 | Public services | -6,8 | 4,3 | 3,6 | 2354,9 |
| QB | 6,7 | Public services | -6,8 | 6,2 | 5,3 | 3435,0 |
| RZ | 0,5 | Business services | 5,3 | 0,5 | 0,5 | 294,5 |
| SZ | 1,1 | Services | 2,3 | 1,1 | 1,0 | 628,5 |
| TZ | 1,0 | Business services | 5,3 | 1,1 | 0,9 | 606,0 |

Source : adapté par l'auteur à partir de la NAF rev1

Les valeurs ajoutées régionales sont alors utilisées conjointement avec les valeurs ajoutées nationales pour appliquer la méthode AFLQ, présentée dans le chapitre 2 section 4, et ainsi régionaliser les coefficients techniques pour 2050. Ces derniers utilisés conjointement à la production serviront à construire le Tableau des Emplois Intermédiaires.

Production régionale

Pour la période 2014-2050, la production régionale est estimée en combinant les données régionales de la productivité de l'emploi (production par emploi), la projection régionale des emplois en 2050 et l'évolution de la productivité totale des facteurs (TFP, *Total Factor Productivity*) fournie par l'Ageing Report de 2018.

La production régionale par emploi est mesurée, sur la période 2004-2014. Nous supposons qu'elle suive les mêmes évolutions que la productivité totale des facteurs prévue par l'Ageing Report (tableau 4-7). La productivité totale des facteurs en Haute-Normandie évolue, par hypothèse, de manière similaire au niveau national du fait d'une homogénéité du cadre législatif du travail et des technologies entre ces deux échelles.

Tableau 4-7 : Évolution de la productivité totale des facteurs

| | 2016 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| TFP (taux de croissance) | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,0 |

Source : Ageing report 2018

La production régionale par emploi proposée sera donc proportionnelle à l'emploi projeté et intègre l'évolution de la TFP.

Tableau 4-8 : Productivité totale par emploi

| Année | En euro par emploi (volume) |
|-------|--------------------------------|
| 2004 | 157262,5 |
| 2005 | 183427,4 |
| 2006 | 159427,2 |
| 2007 | 165082,1 |
| 2008 | 187812,2 |
| 2009 | 187455,1 |
| 2010 | 192562,2 |
| 2011 | 213752,1 |
| 2012 | 217445,1 |
| 2013 | 205904,8 |
| 2014 | 219494,6 |
| 2016 | 222139,1 |
| 2020 | 227748,4 |
| 2030 | 245911,9 |
| 2040 | 271382,8 |
| 2050 | 302773,2 |

Source : Calculé par l'auteur à partir de l'Ageing Report 2018

La production régionale par branche de 2050 est calculée dans le tableau 4-9.

Tableau 4-9 : Production régionale 2050

| Emplois | Production par emploi (millions par emploi) | Production en milliards |
|----------|--|----------------------------|
| 746489,9 | 0,3 | 226,0 |

Source : Calculé par l'auteur à partir des données de l'Ageing Report

La structure sectorielle de cette production est obtenue en reprenant les variations nationales projetées à partir des TES de l'ADEME entre 2010 et 2050, et appliquées suivant la clef de répartition NA118-NA38 (tableau 4-10). Ainsi, la structure de la production régionale est cohérente avec les prévisions sectorielles nationales.

Tableau 4-10 : structure de la production 2050

| Branche NA38 | Structure (%) | Correspondance N118 | Variation appliquée (%) | Structure 2050 (%) | Structure ajustée (%) | Production 2050 (millions d'euros) |
|-----------------|---------------|--|----------------------------|-----------------------|--------------------------|--|
| AZ | 2,4 | Agriculture, forestry and fishing | -24,1 | 1,8 | 2,2 | 4929,1 |
| BZ | 0,1 | Mining of coal and lignite | -92,8 | 0,0 | 0,0 | 14,6 |
| CA | 3,4 | Manufacture of food products and beverages | 4,6 | 3,6 | 4,2 | 9553,4 |
| CB | 0,3 | Other industrial products | -2,6 | 0,3 | 0,4 | 846,1 |
| CC | 1,7 | Articles of paper and paperboard | -13,9 | 1,4 | 1,7 | 3877,8 |
| CD | 14,1 | Oil | -84,8 | 2,1 | 2,5 | 5748,9 |
| CE | 4,6 | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | -43,1 | 2,6 | 3,1 | 6932,9 |
| CF | 0,9 | Other industrial products | -2,6 | 0,9 | 1,1 | 2435,3 |
| CG | 3,4 | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | -9,7 | 3,1 | 3,7 | 8257,0 |
| CH | 3,3 | Basic iron and steel and of ferro-alloys+Non-ferrous metals | -26,4 | 2,4 | 2,9 | 6472,6 |
| CI | 0,4 | Other industrial products | -2,6 | 0,4 | 0,5 | 1047,6 |
| CJ | 0,8 | Other industrial products | -2,6 | 0,8 | 0,9 | 2108,0 |
| CK | 0,9 | Other industrial products | -2,6 | 0,9 | 1,1 | 2447,6 |
| CL | 3,8 | Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 18,9 | 4,5 | 5,3 | 12079,3 |
| CM | 1,9 | Other industrial products | -2,6 | 1,8 | 2,1 | 4858,0 |
| DZ | 2,6 | Electricity+Natural gas | -48,3 | 1,3 | 1,6 | 3603,2 |
| EZ | 1,7 | Other industrial products | -2,6 | 1,7 | 2,0 | 4455,3 |
| FZ | 8,1 | Buildings and Civil engineering | 7,7 | 8,7 | 10,3 | 23305,9 |
| GZ | 7,2 | Business services | 7,9 | 7,8 | 9,2 | 20782,5 |
| HZ | 8,1 | Transports | -10,1 | 7,3 | 8,6 | 19486,9 |
| IZ | 1,4 | Business services | -4,4 | 1,3 | 1,6 | 3539,5 |
| JA | 0,5 | Business services | 7,9 | 0,6 | 0,7 | 1563,9 |
| JB | 0,5 | Business services | 7,9 | 0,5 | 0,6 | 1443,8 |
| JC | 0,8 | Business services | 7,9 | 0,9 | 1,0 | 2284,1 |
| KZ | 2,4 | Business services | -4,4 | 2,3 | 2,7 | 6173,1 |
| LZ | 5,0 | Business services | 7,9 | 5,4 | 6,4 | 14562,1 |
| MA | 2,7 | Business services | 7,9 | 2,9 | 3,4 | 7752,9 |
| MB | 0,2 | Services | 1,8 | 0,2 | 0,2 | 508,5 |
| MC | 0,4 | Business services | 7,9 | 0,5 | 0,5 | 1225,4 |
| NZ | 4,2 | Business services | 7,9 | 4,5 | 5,4 | 12178,6 |
| OZ | 3,6 | Public services | -4,4 | 3,4 | 4,1 | 9227,3 |
| PZ | 2,0 | Services | 1,8 | 2,1 | 2,5 | 5581,0 |
| QA | 2,1 | Public services | -4,4 | 2,0 | 2,4 | 5321,4 |
| QB | 3,0 | Public services | -4,4 | 2,8 | 3,4 | 7577,2 |
| RZ | 0,3 | Business services | 7,9 | 0,4 | 0,4 | 982,0 |
| SZ | 0,7 | Services | 1,8 | 0,7 | 0,8 | 1870,7 |
| TZ | 0,4 | Business services | -4,4 | 0,4 | 0,4 | 983,5 |

Source : Calculé par l'auteur à partir des données du modèle ThreeMe fournies par l'ADEME

La production en produit est retrouvée en utilisant la matrice de production de 2015, de la même façon que pour de la projection du TES national en 2050 (Annexe I). Cette production en produits peut alors être utilisée dans le processus de régionalisation utilisé dans la section 4 du chapitre 2 pour retrouver le TEI.

2.2.2. Tableau des emplois finaux

Pour les emplois finaux, ce processus de régionalisation est le même que celui utilisé dans le chapitre 2, où le panier moyen des habitants de la Haute-Normandie est supposé identique à celui des Français, ce qui permet de régionaliser la demande finale au prorata de la population.

L'INSEE propose des prévisions démographiques pour la Normandie en 2050 (INSEE, 2017d). Celles-ci sont, elles-mêmes, créées à partir des projections démographiques nationales (modèle Omphale, INSEE, 2016d).

Au niveau national, l'INSEE (2017d) estime que la population augmenterait dans toutes les régions, mais surtout dans l'ouest et le sud. Ainsi, la hausse de la population nationale s'établirait à +0,3 %. La proportion des plus de 65 ans augmenterait fortement d'ici 2050, entraînant un vieillissement de la population.

En Haute-Normandie, le faible solde naturel auquel s'ajouterait un léger excédent migratoire engendrerait donc d'ici 2050 une population régionale faiblement croissante et vieillissante. La croissance démographique peu élevée de la Haute-Normandie, et le départ des populations les plus jeunes font que la population active en 2050 restera stable, voire diminuera. En Normandie, les seniors (65 ans ou plus) représenteraient à l'horizon 2050, 30 % de la population. Les classes d'âges plus jeunes, elles, seraient moins nombreuses ; les moins de 20 ans représenteraient ainsi 49 % (contre 54 % en 2013), et les âges intermédiaires (20-64 ans) 22 % (contre 25 % en 2013) de la population.

La Normandie ferait alors partie des régions ayant une croissance démographique faible et une population vieillissante, dans le prolongement de la tendance actuelle (INSEE, 2017d). La croissance démographique est estimée à moins de 0,1 %. Concernant les départements de l'ancienne région Haute-Normandie, l'Eure serait toujours le moteur de la croissance démographique (+0,3 %) tandis que la Seine-Maritime resterait stable (croissance prévue de 0,0 %). En termes de population, d'ici 2050, celle de la Haute-Normandie est estimée à 1 946 500 habitants soit un gain de 96 900 habitants (par rapport à 2013, année de référence de la prévision de l'INSEE). L'excédent migratoire serait le principal facteur de cette augmentation. Cet excédent s'expliquerait par l'installation de seniors en Normandie, tandis que les générations les plus jeunes auraient tendance à quitter la région.

Les données considérées pour régionaliser la demande finale des ménages sont répertoriées dans le tableau 4-11 :

Tableau 4-11 : Population 2050

| 2050 | |
|----------------------|----------|
| Population nationale | 74024507 |
| Population régionale | 1946530 |

Source : (INSEE et al., 2017)

La demande finale et les autres catégories de demande finale (APU, FBC) en 2050 sont régionalisées en reprenant la méthode expliquée dans le chapitre 2. Le nombre de fonctionnaires utilisé pour les dépenses des APU, est obtenu en supposant que la fonction publique est maintenue, c'est-à-dire que la part des fonctionnaires dans la population reste identique entre 2014 et 2050, au niveau national comme régional. Le tableau 4-12 rassemble les données par branches des différentes composantes de la demande finale.

Ces trois grandeurs calculées, le TES régional de 2050 peut être construit en appliquant le processus de régionalisation détaillé dans le chapitre 2 puis les échanges extérieurs ajustés pour contraindre le modèle à retrouver exactement la valeur ajoutée.

Le TES ainsi construit représente alors ce que serait l'économie régionale haute normande en 2050 dans le prolongement des projections de tendances économiques et démographiques institutionnelles, et ceci sans rupture technologique ou économique majeure, dans un environnement naturel et politique stable, et en suivant la SNBC.

Cette économie régionale est ainsi plus orientée vers les services, notamment des transports et le commerce. L'industrie lourde auparavant au cœur de la spécialisation régionale serait alors tournée vers les productions intermédiaires régionales.

Tableau 4-12 : Détail de la demande finale 2050

| | Ménages | APU et ISBLSM | FBC | Total |
|----|---------|------------------|---------|---------|
| AZ | 685,9 | 0,0 | 773,7 | 1459,5 |
| BZ | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| CA | 6070,2 | 14,7 | 46,1 | 6130,9 |
| CB | 1434,2 | 0,1 | 6,4 | 1440,7 |
| CC | 296,6 | 0,0 | 6,8 | 303,3 |
| CD | 85,0 | 0,0 | 447,6 | 532,6 |
| CE | 846,0 | 5,6 | 75,7 | 927,3 |
| CF | 349,7 | 634,9 | 21,8 | 1006,4 |
| CG | 447,8 | 0,0 | 28,4 | 476,1 |
| CH | 256,1 | 0,0 | 255,2 | 511,2 |
| CI | 722,8 | 4,3 | 82,1 | 809,2 |
| CJ | 453,2 | 0,0 | 91,3 | 544,5 |
| CK | 63,7 | 0,0 | 422,5 | 486,2 |
| CL | 2981,4 | 2,4 | 1098,5 | 4082,3 |
| CM | 1433,5 | 67,5 | 840,4 | 2341,4 |
| DZ | 721,4 | 0,0 | 0,0 | 721,4 |
| EZ | 656,5 | 0,0 | 0,0 | 656,5 |
| FZ | 550,5 | 0,0 | 11177,6 | 11728,1 |
| GZ | 4961,5 | 1925,9 | 0,0 | 6887,3 |
| HZ | 2193,6 | 359,6 | 0,0 | 2553,2 |
| IZ | 3819,1 | 81,5 | 0,0 | 3900,6 |
| JA | 946,9 | 83,5 | 239,6 | 1270,1 |
| JB | 1251,5 | 0,0 | 0,0 | 1251,5 |
| JC | 106,7 | 0,0 | 900,3 | 1007,0 |
| KZ | 2879,0 | 0,0 | 0,0 | 2879,0 |
| LZ | 11607,2 | 2057,9 | 144,4 | 13809,4 |
| MA | 462,5 | 0,0 | 866,3 | 1328,8 |
| MB | 0,0 | 1487,8 | 257,5 | 1745,3 |
| MC | 200,0 | 0,0 | 2,7 | 202,7 |
| NZ | 535,8 | 91,8 | 0,0 | 627,7 |
| OZ | 37,4 | 25378,3 | 0,0 | 25415,7 |
| PZ | 684,3 | 13263,2 | 0,0 | 13947,6 |
| QA | 1530,0 | 15281,7 | 0,0 | 16811,7 |
| QB | 1222,4 | 5088,5 | 0,0 | 6311,0 |
| RZ | 992,0 | 2717,9 | 5,6 | 3715,6 |
| SZ | 922,3 | 594,3 | 57,5 | 1574,1 |
| TZ | 167,9 | 65,0 | 0,0 | 232,9 |

Source : calculé par l'auteur

Plus en détail, la cokéfaction et le raffinage ont grandement perdu en importance dans la production totale, tandis que l'industrie chimique prendrait de l'importance. L'agriculture resterait stable, en légère baisse. La construction représenterait également une part importante de l'activité

régionale. Cela pourrait s'expliquer par les effets de la transition énergétique et l'adaptation au changement climatique qui requerraient la construction d'infrastructures supplémentaires et des modernisations des bâtiments actuels. L'annexe J répertorie les principales grandeurs économiques régionalisées.

2.3 Projection de la consommation d'eau unitaire régionale et construction du TES environnemental 2050

Pour construire le TES environnemental régional 2050, il est nécessaire de déterminer la consommation d'eau directe des branches à cet horizon.

Cependant, projeter directement la consommation directe des branches, wd_i , n'apparaît pas le plus pertinent. En effet, celle-ci dépend des performances environnementales (leur propension à réduire leur impact environnemental) des branches, mais également de leur production. Ainsi, évaluer les consommations d'eau indépendamment des productions serait incomplet. C'est pourquoi le coefficient de consommation direct e_i^D apparaît plus intéressant pour construire le TES environnemental.

Celui-ci indique la consommation d'eau par la production d'une unité de production domestique \bar{z}_i . Il intègre l'utilisation de l'eau par la branche ainsi que le progrès technique associé à cette utilisation. En effet, les investissements liés aux techniques de diminution de l'utilisation de l'eau (comme la fermeture du circuit de refroidissement) sont intégrés dans l'activité des branches, et sont donc inclus dans la production.

Ainsi une branche favorisant des techniques de réutilisation, de traitement, d'optimisation de ses consommations d'eau aura un coefficient e_i^D plus faible qu'une branche qui ne tient pas compte de la problématique de l'eau dans ses processus de production.

La projection des coefficients d'impact direct est obtenue au moyen d'estimations temporelles univariées. L'objectif ici est de déterminer une estimation à long terme des consommations d'eau, permettant de construire un TES environnemental réaliste. C'est pourquoi cette méthode, simple à mettre en œuvre, et permettant d'identifier une tendance d'évolution temporelle, est choisie.

La sous-section s'organise ainsi : dans un premier temps, nous exposons les prévisions institutionnelles. Elles serviront de cadre de référence pour vérifier la validité des projections obtenues par la méthode statistique. Dans un deuxième temps, les résultats de l'estimation statistique sont présentés, puis comparés au cadre prévisionnel. Suivant la cohérence des estimations avec ce cadre, des corrections sont apportées, permettant ainsi d'obtenir les coefficients d'impact e_i^D utilisés alors pour construire le TES régional environnemental en 2050.

2.3.1. Cadre prévisionnel

Les prévisions institutionnelles effectuées étudient l'évolution des ressources en eau en général et le climat. Il existe assez peu de prévisions sectorielles des consommations d'eau par l'économie régionale.

Deux rapports, commandés par l'AESN, et réalisés par le BIPE (phase 1) et Hydratec²³ (phase 2), proposent des prévisions de consommation d'eau pour la Haute Normandie à l'horizon 2025. Ces dernières, élaborées par des comités d'experts, distinguent trois scénarios :

- Tendancieriel : ce scénario poursuit les efforts engagés dans la protection du BES au rythme actuel. Il s'agit donc d'une prolongation des tendances socio-économiques et réglementaires actuelles sans modifications.
- Libéral : l'hypothèse est faite d'une meilleure croissance économique, dans un contexte plus libéral économiquement et socialement. L'initiative est laissée aux individus et aux entreprises. Ce scénario suppose une baisse des contraintes réglementaires et des efforts visant à préserver l'environnement et en particulier la ressource en eau.
- Volontariste (ou de rupture) : inversement au précédent, ce scénario suppose un renforcement des efforts de préservation de la ressource en eau passant par des actions plus importantes des acteurs publics et privés. Des politiques publiques volontaristes sont mises en place afin de maîtriser la ressource en eau et faire face aux risques de pénurie.

Cette étude projette à long terme les niveaux de prélèvements et de consommations d'eau du bassin fluvial de la Seine, à l'échelle des sous-bassins, et par type d'usages. Ces projections sont obtenues à partir de comités d'experts qui ont évalué les évolutions probables de la consommation d'eau pour l'ensemble du bassin versant de la Seine.

Les prélèvements totaux devraient diminuer à l'échelle du bassin pour toutes les activités confondues selon les trois scénarios envisagés. Ces projections sont utilisées comme cadre de référence pour évaluer la validité des estimations statistiques.

Ces projections portent sur les prélèvements et les consommations nettes. Les prélèvements désignent, dans cette étude, les volumes d'eau prélevés par les activités qui consomment de l'eau :

- Adduction pour Eau Potable (AEP)
- Industries
- Énergie
- Agriculture (principalement l'irrigation)
- Autres (canaux, loisirs...) non-traités dans ce rapport

Les prélèvements considérés dans cette étude correspondent donc à la définition des consommations d'eau utilisée dans ce travail de thèse, plutôt qu'à la notion de consommation nette qui

²³ Bureau d'étude technique dans le domaine de l'eau

est la différence entre l'eau consommée (consommation brute) et les rejets. Les prévisions de ce rapport sont utilisées dans ce travail pour déterminer un cadre prévisionnel en les extrapolant jusqu'en 2050, puis en les comparant avec les projections de consommation que nous avons estimées.

Tableau 4-13 : Prévisions du Rapport phase 1 de la BIPE

| 2015-2025 | Prélèvements | | | Consommations nettes | | |
|------------|--------------|----------|--------------|----------------------|---------|--------------|
| | Tendanciel | Libéral | Volontariste | Tendanciel | Libéral | Volontariste |
| Tout usage | -3,73 % | -1,75 % | -14,20 % | -0,53 % | 0,52 % | -13,85 % |
| AEP | -10,31 % | -5,77 % | -19,36 % | -9,06 % | -4,27 % | -14,46 % |
| Industries | -8,82 % | -9,40 % | -10,89 % | -8,82 % | -9,40 % | -10,89 % |
| Irrigation | -1,74 % | -16,97 % | -26,16 % | n.c | n.c | n.c |
| Énergie | 20,02 % | 20,02 % | 0,00 % | 36,84 % | 36,84 % | 0,00 % |

Source rapport phase 1 ASEN, BIPE

Des baisses significatives de prélèvement et de consommation sont donc prévues sur l'ensemble de l'estuaire à l'exception de l'usage pour l'énergie. Pour le cas spécifique du BES, ce rapport prévoit un recul lent des prélèvements, entre -0,7 % par an et -0,5 % par an des consommations nettes.

Ce faible recul s'explique par le maintien des activités industrielles et l'installation possible de moyens de production supplémentaires. Cependant, ces scénarios évaluent l'évolution de la consommation, sans intégrer l'activité économique par branche. Cette dernière est considérée indirectement à travers le taux de croissance économique.

Les projections que nous avons réalisées (en utilisant le taux de variation moyen entre 2015 et 2025) définissent alors le cadre prévisionnel suivant :

Tableau 4-14 : Extrapolations 2025-2050

| | Prélèvements | | | Consommations nettes | | |
|------------|--------------|---------|--------------|----------------------|---------|--------------|
| | Tendanciel | Libéral | Volontariste | Tendanciel | Libéral | Volontariste |
| Tout usage | -8,6 % | -4,1 % | -30,4 % | -1,2 % | 1,2 % | -29,7 % |
| AEP | -22,7 % | -13,1 % | -39,9 % | -20,1 % | -9,8 % | -30,9 % |
| Industries | -19,6 % | -20,8 % | -23,9 % | -19,6 % | -20,8 % | -23,9s% |
| Irrigation | -4,1 % | -35,6 % | -51,2 % | n.c | n.c | n.c |
| Énergie | 53,9 % | 53,9 % | 0,0 % | 109,9 % | 109,9 % | 0,00 % |

Calculé par l'auteur à partir des données du rapport phase 1

Le long de la Seine, les prélèvements décroîtront lentement suivant les scénarios tendanciel et libéral. Cependant, en suivant un scénario volontariste, il serait possible de réduire ces prélèvements

d'un tiers. L'énergie est le seul type d'usage dont les prélèvements devraient augmenter, notamment à cause d'une demande accrue en énergie.

Cependant, ces prévisions pour cet usage ont une validité limitée du fait de la spécificité de l'énergie en Haute-Normandie. En effet, les centrales nucléaires prélèvent leur eau de refroidissement en mer, échappant ainsi au cadre de l'étude.

Pour l'agriculture également, ces prévisions doivent être considérées avec précaution, car elles ont été réalisées à partir de données issues des territoires de la Somme et de la Picardie. L'irrigation le long de l'estuaire de la Seine n'a pas été considérée dans ce rapport.

Ainsi, le cadre prévisionnel de cette étude est utilisé à titre indicatif, du fait de sa parution ancienne, et de la non-exhaustivité de son cadre d'étude. Nous supposons cependant que les tendances générales présentées dans ce rapport sont toujours valides.

2.3.2. Projection statistique

Les coefficients de consommation d'eau directs sont déterminés à partir des tendances actuelles. Ils seront utilisés pour calculer les consommations d'eau directes, à partir des productions issues du TES 2050 réalisé précédemment. Ces consommations seront alors comparées au cadre prévisionnel de l'AESN afin d'en déterminer la validité et les corrections éventuelles à apporter.

La méthode *times series forecasting* (prévisions par séries temporelles) semble tout à fait indiquée pour notre modèle du fait de son application relativement rapide, et demandant un minimum de données. Les applications se font usuellement sur des données journalières pour capturer les effets saisonniers.

Cependant, l'objectif de cette section est de capturer, pour chaque branche la tendance générale d'évolution de consommation d'eau par euro produit sur la période 2008-2014. La tendance reflète ainsi l'évolution de la consommation d'eau, mais intégrant également les efforts faits par les branches pour améliorer leurs performances environnementales. Il s'agit donc uniquement ici de déterminer les tendances à long terme, de consommation d'eau unitaire annuelle pour chaque branche et de les prolonger jusqu'en 2050.

Les conclusions sur les consommations d'eau du rapport phase 1 seront prises en compte afin que les résultats des prévisions par séries temporelles restent conformes au cadre prévisionnel établi par les parties prenantes de la gestion de l'eau du bassin versant Seine-Normandie.

Les prévisions linéaires sont à exclure, en effet sur une période assez longue, les coefficients de consommation d'eau décroissants deviendront négatifs, perdant ainsi tout sens.

Deux types d'ajustements sont testés :

Exponentiel

$$e_i^D(t) = \beta_i^{exp} * \delta^{exp t} \quad 4.1$$

Puissance

$$e_i^D(t) = \beta_i^{puis} * t^{\delta^{puis}} \quad 4.2$$

Pour chaque branche, les coefficients de détermination (R2 ajusté) des deux ajustements sont comparés, et la régression pour lequel cet indicateur est le plus élevé (donc celle pour laquelle, la variable temporelle est la plus significative) est favorisée. Les coefficients β et δ sont déterminés par régression linéaire réalisée à partir du logiciel Stata.

À partir de ces fonctions, l' e_i^D , puis le wd_i sont calculés pour 2050 ($t=43$). La consommation directe d'eau est calculée à partir de la production domestique issue du TES 2050.

Ces résultats sont ensuite confrontés au cadre institutionnel établi, et ajustés en conséquence. Ainsi, pour certaines branches sera favorisée une régression peut-être moins significative statistiquement, mais fournissant un résultat plus cohérent avec les prévisions issues du rapport du BIPE.

Cette étape d'ajustement permet ainsi d'écrémer les relations significatives, mais conduisant à des consommations d'eau irréalistes, et de proposer ainsi une évaluation de la consommation d'eau directe proche des prévisions préexistantes.

Le prolongement des consommations au moyen d'un ajustement linéaire n'est pas envisageable. En effet, à suffisamment long terme, les coefficients e_i^D deviendraient négatifs pour les branches dont le coefficient est décroissant ou largement trop important pour les autres branches, conduisant à des non-sens. Le tableau 4-15 rassemble les résultats des ajustements.

Les régressions temporelles pour lesquelles le R2 ajusté est significatif, sont majoritaires dans le cas des industries (10 branches sur 16, incluant la distribution de l'eau industrielle). C'est attendu étant donné que ces branches ont les impacts directs les plus élevés sur l'estuaire au travers des prélèvements réguliers. Ce résultat est également encourageant, car les industries étant les principales préleveuses d'eau et distributrices d'eau, il est important d'avoir pour ces branches des tendances temporelles significatives. Les calculs de consommation d'eau pourront ainsi être considérés comme plus fiables. L'annexe K rassemble les résultats des régressions.

Concernant les services, 8 branches sur 19 ont des R2 ajustés significatifs. Cela s'expliquerait par le fait qu'elles ont des consommations d'eau directes très faibles (l'eau n'étant pas un intrant majeur pour la plupart des services). Le fait d'avoir de faibles volumes implique qu'une variation en volume, même faible, pour ces branches, pourra se traduire par des variations conséquentes en proportion. Les

séries temporelles des services sont donc très dispersées, d'où la difficulté d'obtenir des tendances temporelles significatives pour ces branches.

Tableau 4-15 : Résultats des régressions

| Branche | Régression la plus significative | R2 ajusté le plus élevé | e_i^P 2050 (litres par euro) |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| AZ | Puissance | 0,4 | 0,0 |
| BZ | Exponentiel | 0,9 | 39,2 |
| CA | Puissance | 0,8 | 0,1 |
| CB | Puissance | 0,8 | 0,0 |
| CC | Exponentiel | 0,8 | 3,6 |
| CD | Puissance | 0,9 | 0,0 |
| CE | Exponentiel | 0,0 | 2,9 |
| CF | Exponentiel | 0,3 | 4,7 |
| CG | Exponentiel | 0,4 | 0,3 |
| CH | Exponentiel | 0,7 | 0,7 |
| CI | Exponentiel | -0,2 | 0,1 |
| CJ | Exponentiel | 0,8 | 0,3 |
| CK | Puissance | 0,1 | 0,7 |
| CL | Exponentiel | 0,9 | 0,2 |
| CM | Puissance | 0,4 | 0,0 |
| DZ | Puissance | 0,6 | 0,0 |
| EZ (industriel) | Puissance | 0,8 | 30,8 |
| FZ | Puissance | 0,2 | 0,1 |
| GZ | Puissance | 0,7 | 0,0 |
| HZ | Exponentiel | 0,7 | 0,0 |
| IZ | Puissance | 0,7 | 0,0 |
| JA | Exponentiel | 0,1 | 0,1 |
| JB | Puissance | 0,6 | 150,7 |
| JC | Puissance | 0,4 | 0,3 |
| KZ | Exponentiel | 0,6 | 0,0 |
| LZ | Puissance | 0,8 | 0,0 |
| MA | Puissance | 0,3 | 0,0 |
| MB | Exponentiel | 0,1 | 0,1 |
| MC | Puissance | 0,9 | 0,1 |
| NZ | Puissance | 0,4 | 0,1 |
| OZ | Exponentiel | -0,2 | 0,1 |
| PZ | Exponentiel | -0,1 | 0,0 |
| QA | Exponentiel | -0,1 | 0,0 |
| QB | Puissance | 0,7 | 0,1 |
| RZ | Puissance | 0,1 | 1,0 |
| SZ | Puissance | 0,3 | 0,1 |
| TZ | Exponentiel | 0,0 | 0,1 |

Source : calculé par l'auteur

Cependant, l'objet de cette régression est d'identifier une tendance temporelle à extrapoler à un horizon lointain. Le critère du coefficient de corrélation ajusté est donc utilisé à titre indicatif dans ce travail, pour pouvoir faire un premier choix entre la régression exponentielle et puissance.

Ainsi, en utilisant la production \bar{z}_i du TES 2050 BAU, la consommation d'eau directe wd_i par branche peut être retrouvée. En comparant ces consommations avec les projections du Rapport phase 1 (extrapolées pour 2050) et en s'appuyant sur les e_i^P de 2014, la validité des consommations obtenues est déterminée. Ainsi, certains coefficients ayant des R2 ajustés élevés pourront être rejetés s'ils conduisent à des résultats irréalistes au regard du rapport cité précédemment, ou présentent des écarts aberrants (ou inexplicables) par rapport à 2014.

Les consommations directes en eau obtenues uniquement en se reposant sur le critère du R2 ajusté sont répertoriées dans le tableau 4-16.

Tableau 4-16 : Consommations directes en eau, première version

| | Prévisions Rapport phase 1 | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------|---------------|------------------|----------------|-------------|
| | 2050 | 2014 | Variation (%) | Volontariste (%) | Tendanciel (%) | Libéral (%) |
| Agriculture | 0,0 | 2,1 | -99,3 | -63,9 | -5,7 | -46,5 |
| Industries | 117,5 | 157,0 | -25,2 | -32,1 | -26,7 | -28,3 |
| Énergie | 0,1 | 1,7 | -96,5 | 0,0 | 84,8 | 84,8 |
| Distribution de l'eau | 72,2 | 229,2 | -68,5 | nc | nc | nc |
| Construction | 3,6 | 2,8 | 32,0 | nc | nc | nc |
| Services | 389,0 | 14,5 | 2579,0 | nc | nc | nc |
| AEP (services +distribution d'eau) | 461,1 | 243,7 | 89,2 | -51,5 | -30,7 | -18,1 |
| Total | 582,4 | 407,3 | 43,0 | -40,3 | -12,1 | -5,8 |

Source : calculé par l'auteur

Ces consommations d'eau ne sont pas satisfaisantes, car elles présentent trop d'écart avec ce qui est projeté par les travaux du Rapport phase 1 et présentant des évolutions incohérentes entre les valeurs estimées et la valeur de référence de 2014. La suite de la sous-section détaille le traitement de ces incohérences.

Distribution de l'eau et demande finale

La première correction à apporter concerne la branche de distribution de l'eau (EZ) et ses composants : distribution d'eau industrielle et distribution d'eau aux ménages (demande finale).

Celle-ci se divise en deux activités principales : la consommation d'eau industrielle, principalement causée par l'activité d'un grand incinérateur, et la consommation d'eau à destination des

ménages (redistribuée). En utilisant, uniquement les coefficients de consommation d'eau estimés statistiquement, la consommation industrielle de la branche serait de 37,1 millions de m³ et de 35,1 millions de m³ pour la demande finale.

L'activité d'incinération consomme actuellement autour de 90 millions de m³ suivant une tendance stable. Il semble donc peu réaliste que cette consommation d'eau diminue pour ne représenter qu'un tiers de sa consommation actuelle d'ici 2050. À moins de l'apparition d'une rupture technologique, ce résultat semble donc sous-estimé.

La consommation pour la demande finale semble également irréaliste, car elle ne tient pas compte de la population. La demande en eau des ménages suit effectivement une tendance décroissante du fait de la baisse de consommation par habitant causée par entre autres, de meilleures performances du réseau, des équipements ménagers et du comportement du consommateur qui évolue. Cependant il est également peu réaliste que la consommation d'eau des ménages puisse diminuer de près de 75 % (139,14 millions de m³ en 2014, contre 72,2 dans cette première estimation) en 36 ans, surtout dans le cas d'une population croissante (même légèrement).

C'est pourquoi pour le cas spécifique de la branche EZ, la consommation d'eau industrielle et à destination de la demande finale w_{EZ}^Y seront estimées différemment.

Concernant la demande finale, la méthode des séries temporelles s est appliquée à la consommation par habitant, et non pas au coefficient d'impact ed_i .

Les résultats sont les suivants :

Tableau 4-17 : Consommation d'eau des ménages

| | 2050 puiss | 2050 exp | 2014 |
|---------------------------|------------|----------|---------|
| Consommation par habitant | 51,8 | 71,5 | 75,1 |
| Population | 194630 | 1946530 | 1852494 |
| Million m ³ | 100,9 | 139,3 | 139,1 |
| R2 ajusté | 0,8 | 0,7 | |

Source : calculé par l'auteur

La consommation d'eau obtenue par la régression puissance est la plus significative. Elle intègre la population, tout en intégrant la tendance observée de réduction de consommation d'eau des ménages induite par le progrès technique et l'évolution des comportements des consommateurs. Cette consommation de 100,9 millions de m³ représente une baisse de 27,5 %, ce qui correspond au cadre défini par le rapport phase 1 pour les AEP (Adduction en eau potable) qui prévoyait une baisse de consommation comprise entre 18,1 % (scénario libéral) et 51,5 % (scénario volontariste). La consommation d'eau des ménages estimée ici est légèrement supérieure à celle du scénario tendanciel (baisse 30,6 %).

La consommation industrielle :

La méthode des séries temporelles univariées est appliquée directement à la consommation d'eau industrielle de la branche EZ, étudiant ainsi le volume d'eau utilisé par l'incinérateur pour réaliser sa production. Les résultats sont les suivants :

Tableau 4-18 : Consommation industrielle de la branche EZ

| | 2050 puiss | 2050 exp | 2014 |
|------------|------------|----------|------|
| Million m3 | 78,7 | 91,1 | 90,1 |
| R2 ajusté | 0,05 | -0,09 | |

Source : calculé par l'auteur

Les régressions ne sont pas significatives, indiquant qu'il n'y aurait pas de corrélation entre la variable temporelle et la consommation d'eau industrielle de EZ. Cependant, ils sont d'un ordre de grandeur cohérent avec la situation actuelle.

La consommation totale de EZ (industrielle et finale) serait donc de 179,6 millions de m³ (229,20 en 2014) soit une baisse de 27,3 %, ce qui est alors cohérent avec les prévisions du rapport phase 1, et avec l'hypothèse de meilleurs rendements du réseau de distribution associés à une baisse de la consommation d'eau liés par exemple à des équipements domestiques plus économes.

Agriculture :

Le coefficient e_t^p de l'agriculture estimée amène à une consommation d'eau directe de 0,015 million de m³ en 2050 (2,12 en 2014), soit une baisse de 99,3 % ce qui est irréaliste, surtout en tenant compte du contexte climatique qui tendrait à faire augmenter la consommation d'eau pour l'irrigation.

Il est également difficile dans le cas de l'agriculture de se raccrocher aux prévisions du rapport phase 1. Ces dernières ont été faites pour les principales régions agricoles du bassin de la Seine : la plaine de la Beauce, La Champagne Ardenne-Picardie. Les autres régions y compris la Haute-Normandie n'entrent donc pas dans le cadre de l'étude. Les apports du BIPE sur l'agriculture sont donc limités dans le cadre de notre travail. Notons cependant que les baisses de prélèvements prévues sont nettement moins marquées que celles calculées à partir de notre estimation initiale.

Dans le cas de l'agriculture, le coefficient estimé au moyen de la régression exponentielle (0,4 litre par euro) est donc favorisé au détriment de la régression puissance malgré le fait que cette dernière ait un R2 ajusté plus élevé. Le coefficient, obtenu par la régression puissance (4,3E-03 litres par euro), conduit à une consommation d'eau bien trop faible pour être réaliste.

En utilisant le coefficient exponentiel, la consommation d'eau de l'agriculture wd_{AZ} serait alors de 1,5 million de m³, soit une baisse de la consommation d'eau de 28,3 %, ce qui reflète la baisse de la production agricole régionale et l'amélioration des techniques d'irrigation. Cette estimation est bien plus

cohérente que la précédente, tout en restant dans le même ordre de grandeur que ce qui est observé en 2014.

Industries :

La consommation d'eau des industries apparaît à première vue cohérente avec les projections de la BIPE, correspondant à une baisse d'environ 25,3 %. Cependant, en détail par branche, certaines aberrations peuvent être constatées.

En effet, pour les branches de l'industrie textile (CB), cokéfaction et raffinage (CD), et de l'énergie (DZ), le coefficient e_i^D estimé par la régression puissance est bien trop faible, par rapport à 2014, malgré un R2 ajusté plus élevé que celui obtenu avec la régression exponentielle. Les consommations d'eau estimées alors sont, de manière irréaliste, inférieures à leurs niveaux de 2014, en particulier pour CD, qui est actuellement le troisième consommateur d'eau direct de l'estuaire. Ces consommations sont présentées dans le tableau 4-19.

Tableau 4-19 : Consommations industrielles problématiques

| | 2050 (critère R2) | 2014 | Variation |
|----|-------------------|------|-----------|
| CB | 0,0 | 0,1 | -99,8 |
| CD | 0,0 | 50,2 | -100,0 |
| DZ | 0,1 | 1,7 | -96,5 |

Source : calculé par l'auteur

Le critère du R2 ajusté comme choix de la meilleure estimation est alors insuffisant. Pour ces branches le coefficient de consommation d'eau obtenu par la régression exponentielle est préféré. Les consommations d'eau associées à ces coefficients sont contenues dans le tableau 4-20.

Tableau 4-20 : Corrections des consommations industrielles

| | e_i^D exp | e_i^D 2014 | wd_i 2050 (e_i^D exponentiel) | wd_i 2014 | Variation (%) |
|----|-------------|--------------|--|-------------|------------------|
| CB | 0,04 | 0,10 | 0,14 | 0,09 | 63,6 |
| CD | 0,58 | 1,18 | 7,71 | 50,22 | -84,6 |
| DZ | 0,58 | 0,33 | 1,35 | 1,73 | -21,9 |

Source : calculé par l'auteur

Les consommations d'eau de CB, CD et DZ resteraient du même ordre de grandeur, tout en diminuant, en particulier pour CD. Cette forte diminution s'explique d'une part par le coefficient de consommation d'eau décroissant, illustrant les meilleures performances environnementales de la branche et d'autre part par la baisse notable de la production, correspondant au scénario « neutralité carbone » des TES de l'ADEME utilisé.

En proportion, la consommation d'eau de la branche CB augmenterait significativement, mais en volume d'eau, cela resterait une consommation très marginale.

Services :

Pour les services, deux branches ont des consommations d'eau qui semblent anormales : les télécommunications (JB) et les activités récréatives (RZ). Le tableau 4-21 présente les coefficients de consommation d'eau et les consommations d'eau obtenus uniquement en considérant le critère du R2 ajusté.

Tableau 4-21 : Coefficients et consommations des services problématiques

| | e_i^D 2050 (initial puissance) 1/euro | e_i^D 2014 1/euro | Variation (%) | wd_i 2050 (initial puissance) | wd_i 2014 | Variation (%) |
|----|--|------------------------|------------------|---------------------------------------|-------------|------------------|
| JB | 150,65 | 0,2 | 78658,9 | 372,0 | 0,2 | 229857,4 |
| RZ | 1,0 | 3,2E-02 | 3043,5 | 5,8 | 0,2 | 2619,4 |

Source : calculé par l'auteur

Concernant JB, cette consommation particulièrement élevée s'explique par la hausse de la production de la branche, ce qui est cohérent avec le scénario de l'ADEME, et surtout par le coefficient e_{JB}^D qui est 78658,9 % plus élevé que le coefficient de 2014. Ainsi, le coefficient issu de la régression exponentielle serait à favoriser (0,4 litre par euro produit), restant du même ordre que la valeur de 2014 (0,2 litre par euro produit) tout en observant une augmentation significative représentant les besoins accrus de cette branche.

Enfin, pour la branche RZ, il s'agit du même cas de figure que pour JB : le coefficient de consommation est trop élevé (+1042,9 % par rapport à 2014) ce qui engendre une consommation d'eau directe bien supérieure à la valeur de 2014. L'utilisation du coefficient obtenu par la régression exponentielle (7,6E-02 litres par euro) conduit à des résultats plus réalistes (avec une hausse de la consommation de +104,6 %), matérialisant la demande accrue en eau des activités récréatives.

Coefficients de consommation d'eau unitaires et consommation d'eau corrigés

Suite à ces corrections, les coefficients de consommation d'eau directs retenus et les consommations d'eau associées sont répertoriés dans le tableau 4-22.

Tableau 4-22 Coefficients et consommations d'eau directes retenus

| | e_i^D 2014 (1/euro) | e_i^D 2050 retenu (1/euro) | wd_i 2014 (million de m ³) | wd_i 2050 (million de m ³) |
|------------------------|--------------------------|------------------------------------|---|---|
| AZ | 0,6 | 0,4 | 2,2 | 1,5 |
| BZ | 6,8 | 39,2 | 5,9 | 3,5 |
| CA | 1,1 | 0,1 | 5,7 | 1,4 |
| CB | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| CC | 10,4 | 3,6 | 27,4 | 25,2 |
| CD | 1,3 | 0,6 | 49,7 | 7,7 |
| CE | 4,2 | 2,9 | 35,8 | 32,0 |
| CF | 10,4 | 4,7 | 17,8 | 33,6 |
| CG | 0,6 | 0,3 | 3,8 | 4,2 |
| CH | 0,9 | 0,7 | 6,2 | 10,7 |
| CI | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 |
| CJ | 0,7 | 0,3 | 1,2 | 1,0 |
| CK | 0,1 | 0,7 | 0,3 | 3,0 |
| CL | 0,3 | 0,2 | 1,6 | 2,3 |
| CM | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,1 |
| DZ | 0,4 | 0,6 | 1,8 | 1,4 |
| EZ (total) | 78,0 | 36,0 | 229,2 | 179,6 |
| EZ (demande finale) | 604,3 | 247,8 | 139,1 | 100,9 |
| EZ (Industriel) | 33,2 | 17,2 | 90,1 | 78,7 |
| FZ | 0,2 | 0,1 | 2,6 | 3,6 |
| GZ | 0,2 | 0,0 | 3,3 | 0,8 |
| HZ | 0,1 | 0,0 | 0,9 | 1,1 |
| IZ | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,0 |
| JA | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| JB | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 1,0 |
| JC | 0,6 | 0,3 | 0,9 | 1,3 |
| KZ | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,4 |
| LZ | 0,1 | 0,0 | 0,7 | 0,3 |
| MA | 0,4 | 0,0 | 2,4 | 0,3 |
| MB | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| MC | 0,6 | 0,1 | 0,6 | 0,3 |
| NZ | 0,3 | 0,1 | 2,0 | 2,3 |
| OZ | 0,1 | 0,1 | 1,8 | 2,8 |
| PZ | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,6 |
| QA | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 |
| QB | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 0,6 |
| RZ | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,4 |
| SZ | 0,6 | 0,1 | 0,6 | 0,3 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | | | 324,28 | 407,32 |

Source : calculé par l'auteur

Associés à la production domestique, ces coefficients permettent alors de calculer la consommation d'eau par secteur pour 2050. Le tableau 4-23 regroupe ces dernières ainsi que les variations prévues par les projections du rapport phase 1.

Tableau 4-23 : Consommations directes ajustées pour 2050

| | Prévisions Rapport phase 1 | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------|---------------|------------------|----------------|-------------|
| | wd_i 2050 | wd_i 2014 | Variation (%) | Volontariste (%) | Tendanciel (%) | Libéral (%) |
| Agriculture | 1,5 | 2,1 | -28,4 | -63,9 | -5,7 | -46,5 |
| Industrie | 125,3 | 157,0 | -20,2 | -32,1 | -26,7 | -28,3 |
| Énergie | 1,4 | 1,7 | -21,7 | 0,0 | 84,8 | 84,8 |
| Distribution de l'eau | 179,6 | 229,2 | -21,6 | nc | nc | nc |
| Construction | 3,6 | 2,8 | 32,0 | nc | nc | nc |
| Services | 12,8 | 14,5 | -11,8 | nc | nc | nc |
| AEP (services +distribution d'eau) | 192,4 | 243,7 | -21,0 | -51,5 | -30,7 | -18,1 |
| Total | 324,3 | 407,3 | -20,4 | -40,3 | -12,0 | -5,8 |

Source : calculé par l'auteur

Les consommations ainsi ajustées sont plus cohérentes avec le cadre prévisionnel déterminé par le BIPE. La croissance de la consommation d'eau de la construction s'explique par le scénario utilisé par l'ADEME pour les TES nationaux utilisés dans ce travail. Le scénario « neutralité carbone » prévoit une activité accrue de la construction correspondant à la rénovation des bâtiments pour les rendre économes en énergie et l'activité liée à la transition énergétique. Ce qui s'accompagne d'une consommation d'eau plus importante malgré des coefficients de consommation unitaire pour la plupart décroissant.

Ces coefficients de consommation directs sont alors utilisés pour réaliser le TES environnemental 2050 suivant la méthode détaillée dans le chapitre 2.

3. Exploitation du TES 2050

L'objet de cette section est d'utiliser le modèle ES construit à partir du TES étendu à l'environnement de 2050. Cette section mobilise les outils analytiques présentés dans le chapitre 2 et 3.

3.1 Consommation d'eau directes et totales

3.1.1. Multiplicateurs de consommation

L'application de la méthode de calcul des multiplicateurs de consommation d'eau totale ($mcet_i$) et des multiplicateurs de consommation complétés ($mcec_i$) donne les résultats suivants.

Les multiplicateurs de consommation d'eau sont dans la majorité des cas croissants. Les variations sont bien plus marquées avec le $mcec_i$ plutôt qu'avec le $mcet_i$. La principale explication vient de la méthode de calcul des multiplicateurs, qui sont des rapports entre le coefficient de consommation d'eau totale et le coefficient de consommation d'eau direct. Ainsi, malgré la tendance globale à la baisse des consommations directes, les consommations indirectes seraient plus importantes d'ici 2050. L'augmentation des consommations indirectes serait due à une augmentation des échanges interbranches, tant en nombre qu'en intensité. Les branches échangeraient ainsi plus d'eau incorporée, tout en ayant, pour la plupart, des méthodes de production plus économes en eau. Le tableau 4-24 répertorie les principaux multiplicateurs (les données complètes sont dans l'annexe K).

Tableau 4-24 : Multiplicateurs de consommation 2050

| $mcet_i$ | 2050 | 2014 | $mcec_i$ | 2050 | 2014 |
|----------|------|------|----------|---------|---------|
| MA | 75,1 | 4,9 | QA | 85874,0 | 32644,7 |
| CM | 41,0 | 12,2 | IZ | 30024,4 | 652,7 |
| GZ | 32,8 | 10,8 | MA | 20133,9 | 124,0 |
| MC | 31,1 | 4,7 | LZ | 10406,8 | 579,0 |
| IZ | 30,8 | 9,1 | CM | 9597,5 | 1817,9 |
| JA | 26,5 | 7,9 | GZ | 8064,6 | 314,5 |
| MB | 19,4 | 4,1 | PZ | 5261,8 | 9266,0 |
| HZ | 12,5 | 44,8 | HZ | 3226,2 | 3198,2 |
| QA | 10,8 | 50,8 | MB | 2397,8 | 305,9 |
| KZ | 10,8 | 13,6 | MC | 1818,4 | 87,5 |

Source : calculé par l'auteur

Ainsi on observe, entre 2014 et 2050 des augmentations très fortes entre les indicateurs de consommation d'eau. L'évolution est particulièrement marquée pour le $mcec_i$. Notons que pour les variations extrêmes (QA, IZ, MA, MB, MC, GZ), il s'agit de rapports entre des valeurs initialement faibles, dont le numérateur est croissant (la consommation totale), et le dénominateur décroissant (la consommation directe), d'où ces variations extrêmes.

Ces résultats mettent en valeur l'impact indirect croissant des services, en particulier de ceux dont l'importance économique s'accroîtrait au cours des années à venir : le commerce, les activités de conseils juridiques, scientifiques et techniques, les activités de recherche et les activités pour la santé humaine et le transport. Notons que, sur les 15 branches industrielles présentes dans ce TES, 11 ont un $mcec_i$ décroissant, et seulement 5 pour les 18 branches de services. Pour le $mcet_i$, ce serait un constat différent, où seules 6 branches industrielles ont un multiplicateur décroissant et 8 pour les services. Cependant, proportionnellement, plus d'industries réduisent leurs consommations d'eau totales que de services.

Les multiplicateurs permettent alors de dresser un portrait d'une économie, qui consommerait directement moins d'eau, mais dont les consommations indirectes augmenteraient drastiquement à cause des relations interbranches plus fortes et plus nombreuses. Ces résultats sont obtenus en considérant des évolutions des consommations d'eau obtenues en prolongeant les tendances actuelles.

3.1.2. Effets d'une augmentation de la consommation d'eau directe par branche sur la consommation d'eau totale de l'économie

L'objet de cette section est d'évaluer la sensibilité de la consommation totale des branches vis-à-vis des consommations directes dans le contexte de l'économie régionale de 2050.

Pour cela, nous évaluons la variation des multiplicateurs de consommation d'eau totale $mcet_i$ et complété $mcec_i$ suite à une variation de la consommation directe wd_i de 10 % d'une branche i . L'étude de cette variation permet alors d'identifier les branches les plus sensibles à la consommation directe d'eau. Le premier intérêt est alors de mettre en valeur l'augmentation des consommations indirectes des branches, dont la consommation directe est faible, mais dépendantes d'approvisionnements intensifs en eau. Le second intérêt est d'identifier les branches dont la consommation directe influence le plus sur les consommations totales de l'économie.

Pour chaque choc (augmentation de 10 % de wd_i), les multiplicateurs $mcet_j$ sont calculés (en reprenant la méthode expliquée dans le chapitre 2, section 6.1). Les variations par rapport à la valeur de référence (sans choc) des multiplicateurs indiquent l'augmentation de la consommation totale d'une branche j suite au choc sur la branche i . Ces variations sont notées $\Delta mcet_{ij}$ et $\Delta mcec_{ij}$.

Notons qu'une augmentation de la consommation directe de i fera diminuer son multiplicateur de consommation totale. Celui-ci est calculé en faisant le rapport entre la consommation totale w_i^* et sa consommation directe. Cette dernière augmentant plus vite que sa consommation totale, le multiplicateur de la branche qui subit le choc est donc inférieur à sa valeur de référence et sa variation est négative.

Ces variations sont rassemblées dans une matrice carrée. Les lignes correspondent à la branche sur lesquelles un choc est appliqué, et les colonnes rassemblent les variations induites par ces chocs. La

diagonale indique les variations du multiplicateur de la branche i suite à un choc sur elle-même. Elles sont donc négatives.

Deux indicateurs permettent de synthétiser les effets des chocs de consommations directes par branche. Ces derniers reprennent la méthode de calcul des indicateurs de liaisons nets. Nous cherchons à identifier les branches les plus sensibles aux consommations directes des autres branches, c'est-à-dire celle ayant les variations les plus marquées.

Il s'agit donc de comparer la variation moyenne induite et subie par chaque branche par rapport à la variation moyenne totale induite ou subie par l'économie dans son ensemble.

L'indicateur d'influence θ_i compare donc les moyennes en ligne, nettes de la diagonale pour supprimer les valeurs négatives, par rapport à la variation moyenne totale (moyenne des moyennes en lignes). Cet indicateur résume alors les variations sur les autres branches qu'induit l'augmentation de 10 % des consommations directes d'une branche i . Une valeur supérieure à un indique donc que la branche i engendre des variations supérieures à la moyenne totale observée, sa consommation directe influence donc fortement les consommations totales des autres branches.

$$\theta(mcec)_i = \frac{\left(\frac{1}{i} \sum_{j, j \neq i} \Delta mcec_{ij}\right)}{\frac{1}{j} \sum_j \left(\frac{1}{i} \sum_{j, j \neq i} \Delta mcec_{ij}\right)}$$

L'indicateur de sensibilité $\mu(mcec)_j$ compare les variations subies par une branche j suite aux chocs sur les branches i avec la variation moyenne totale subie par l'économie. Les variations moyennes en colonnes, nettes de la diagonale, sont calculées et comparées avec la variation moyenne totale. Un indicateur supérieur à 1 indique donc qu'une branche j a subi des variations supérieures à la moyenne totale et donc qu'elle est plus sensible aux variations de consommations directes.

$$\mu(mcec)_j = \frac{\left(\frac{1}{j} \sum_{i, i \neq j} \Delta mcec_{ij}\right)}{\frac{1}{j} \sum_j \left(\frac{1}{i} \sum_{j, j \neq i} \Delta mcec_{ij}\right)}$$

Le calcul est identique avec l'indicateur $mcec_i$.

Les résultats montrent que les branches de services sont les plus influencées par les consommations directes des autres branches et que les branches industrielles sont celles dont la consommation d'eau directe influence le plus la consommation d'eau totale. Le tableau 4-25 répertorie les branches ayant les indicateurs les plus élevés (les résultats complets sont dans l'annexe L).

Tableau 4-25 : indicateurs de variation des multiplicateurs

| $mcet_i$ | | | | $mcec_i$ | | | |
|----------|------------------|---------|---------------|----------|------------------|---------|---------------|
| Branche | $\theta(mcet)_i$ | Branche | $\mu(mcet)_j$ | Branche | $\theta(mcec)_i$ | Branche | $\mu(mcec)_j$ |
| EZ | 15,3 | MA | 1,4 | EZ | 19,5 | QA | 1,2 |
| CE | 7,3 | CM | 1,4 | BZ | 5,2 | IZ | 1,2 |
| CC | 4,0 | IZ | 1,4 | CE | 4,8 | MA | 1,2 |
| BZ | 3,1 | MC | 1,4 | CC | 3,2 | LZ | 1,2 |
| CH | 1,7 | GZ | 1,4 | CF | 2,6 | CM | 1,2 |
| CD | 1,1 | JA | 1,4 | CH | 0,3 | GZ | 1,2 |
| CG | 0,9 | MB | 1,3 | CD | 0,2 | PZ | 1,2 |
| CF | 0,8 | QB | 1,3 | CK | 0,1 | HZ | 1,2 |

Source : calculé par l'auteur

Du point de vue de l'indicateur de sensibilité, ce sont bien les branches de services qui sont le plus affectées par les consommations directes des autres branches : d'une part ces branches sont quasiment toutes exclusivement approvisionnées en eau par le réseau, d'où leur sensibilité face à la consommation d'eau directe de ce dernier ; et d'autre part ces branches s'approvisionnent en équipements transformés auprès des branches industrielles fortement consommatrices directes d'eau.

Parmi ces branches de services, ce sont les activités intensives en contenus technologiques et en biens transformés qui sont les plus représentées : les activités de conseils (MA), l'hôtellerie (IZ), le commerce (GZ) l'hébergement médico-social (QB), les activités humaines (QA), les autres activités techniques et de conseil (MC) ou encore la recherche (MB). Une industrie est également présente : les autres industries manufacturières (CM). Celle-ci englobe la fabrication de matériel médical, la bijouterie et la fabrication de meubles.

De manière attendue la branche distribution de l'eau (EZ) est celle qui exerce le plus d'influence sur la consommation d'eau totale. Ce résultat se justifie par le rôle de fournisseur d'eau de la branche. Cependant, il est intéressant de remarquer que l'indicateur d'influence calculé à partir du $mcet_i$ est plus élevé que celui calculé à partir du $mcec_i$. Il en est de même pour l'indicateur de la branche BZ (industries extractives).

Inversement, les autres branches industrielles présentes dans ce tableau (CE, CC, CH, CD et CF) ont des indicateurs d'influence calculés à partir du $mcec_i$, supérieurs à ceux calculés à partir du $mcet_i$. Un constat similaire peut être fait pour l'indicateur de sensibilité : il est plus faible quand il est calculé avec le $mcet_i$ plutôt qu'avec le $mcec_i$.

Cette différence s'expliquerait par le fait que dans le cas du $mcec_i$ la matrice inverse de Leontief économique $(I - \bar{A})^{-1}$ est utilisée, tandis que pour le $mcet_i$ c'est la matrice environnementale $(I - Q)^{-1}$. Cette dernière intègre des modifications permettant d'intégrer les spécificités liées à la distribution de

l'eau, ce que ne fait pas la matrice économique. Les résultats obtenus avec la matrice environnementale sont donc supposés plus représentatifs de la réalité que ceux issus de la matrice économique.

Ce constat amènerait à conclure que l'utilisation de la matrice $(I - \bar{A})^{-1}$, matrice économique utilisée pour calculer le $mcec_i$, conduirait à sous-estimer certains impacts environnementaux et à en surestimer d'autres. Cependant, par prudence, nous conseillons de calculer les deux versions, d'autant plus qu'elles amènent à des résultats similaires, dans le sens où les branches détectées par ces indicateurs sont quasiment toutes les mêmes.

Ces résultats montrent également qu'en 2050, suivant le scénario neutralité carbone, les industries jouent toujours un rôle important de fournisseur d'eau indirect, tandis que les services restent d'importants consommateurs d'eau incorporée.

Ainsi l'augmentation des consommations d'eau directes de ces branches entraînerait une augmentation significative de la consommation totale des autres branches de l'économie. Une branche se distingue en particulier : la branche des industries chimiques (CE) qui est un fournisseur majeur pour de nombreuses branches. C'est, à l'exception du réseau de distribution d'eau, la branche dont la consommation directe affecte le plus la consommation totale des autres branches.

La branche cokéfaction et raffinage (CD) aurait beaucoup perdu en importance en tant que distributrice d'impact. Cependant, cette branche, en 2050, n'aurait plus de rôle crucial vis-à-vis de la demande finale, ni n'aurait la production régionale la plus élevée, mais resterait importante grâce à son rôle de fournisseur de biens intermédiaires (huiles, produits dérivés du pétrole, gaz) dont il n'existe pas de substituts. Cette branche devrait donc jouer un rôle, certes non majeur dans l'économie régionale et dans l'estuaire, mais orienté vers l'approvisionnement des industries locales.

Il est également intéressant de constater que l'augmentation de la consommation directe d'eau de l'agriculture n'entraîne pas d'augmentation de consommation totale majeure pour le reste de l'économie. Cette branche serait pourtant l'une des plus affectées par le changement climatique, qui devrait engendrer un recours accru à l'irrigation. Cette faible variation relative s'explique par le fait que l'agriculture a une seule relation majeure, qui est avec l'agroalimentaire. Ainsi, l'augmentation de la consommation d'eau directe de l'agriculture affecte donc principalement la consommation totale de l'agroalimentaire. Ces résultats sont donc à considérer en complément des prévisions du GIEC Normandie (Kazmierczak et al., 2019).

En effet, l'augmentation du recours à l'irrigation aura un impact direct conséquent sur les réserves d'eau de l'estuaire. Cependant, cet impact ne se propagerait au travers de l'économie qu'au travers de la demande intermédiaire de l'agroalimentaire (en supposant une demande finale et des exportations constantes).

Même si la consommation d'eau directe de l'agriculture augmentait par exemple de 311 % suivant les prévisions les plus pessimistes de Schaldach et al. (2012), l'impact sur la consommation totale de l'économie resterait inférieur à celui d'autres branches.

En conséquence, ces résultats montrent le rôle toujours important des industries en tant que consommateurs directs. L'estuaire de la Seine en 2050 serait donc toujours soumis aux pressions industrielles. Cependant, les principaux distributeurs d'impacts ont changé : une transition s'est opérée des branches lourdes de la cokéfaction et raffinage vers les industries chimiques. Inversement les services restent d'importants consommateurs d'impact environnementaux incorporés, ce qui pourrait être problématique, surtout que dans le cadre de la SNBC, les services occuperont une place croissante dans l'économie régionale.

3.2 Analyse de liaison

Cette sous-section applique l'analyse de liaison au TES 2050. L'aspect économique est traité en premier, il est suivi de l'aspect environnemental.

3.2.1. Indicateurs économiques

Indicateurs bruts

De manière synthétique, les rôles de branches évolueraient au cours des années à venir (figure 4-1). Les industries redeviendraient des branches clefs de l'économie, notamment grâce au développement de branches de hautes technologies dans la région contrebalançant le rôle décroissant des industries lourdes.

Trois secteurs en particulier deviennent clefs dans l'économie : le commerce, le transport et l'hébergement restauration (GI) et les activités spécialisées, scientifiques et techniques et activités de services administratifs et de soutien (MN) et les industries (BE).

L'agriculture reste principalement un secteur consommateur, tout en gagnant de l'importance en tant que fournisseur. Cependant, son rôle de consommateur diminuerait assez fortement comme le montre son déplacement vers la gauche (indicateur backward décroissant).

De même, la construction, qui reste un consommateur clef, perd en importance, tout en augmentant son rôle de fournisseur. Cette évolution s'explique par l'accroissement de l'activité de ce secteur, causé notamment par le scénario de rénovations énergétiques des habitations envisagé par l'ADEME. La baisse du rôle d'acheteur pourrait illustrer de nouvelles techniques de construction, plus économes en matières premières.

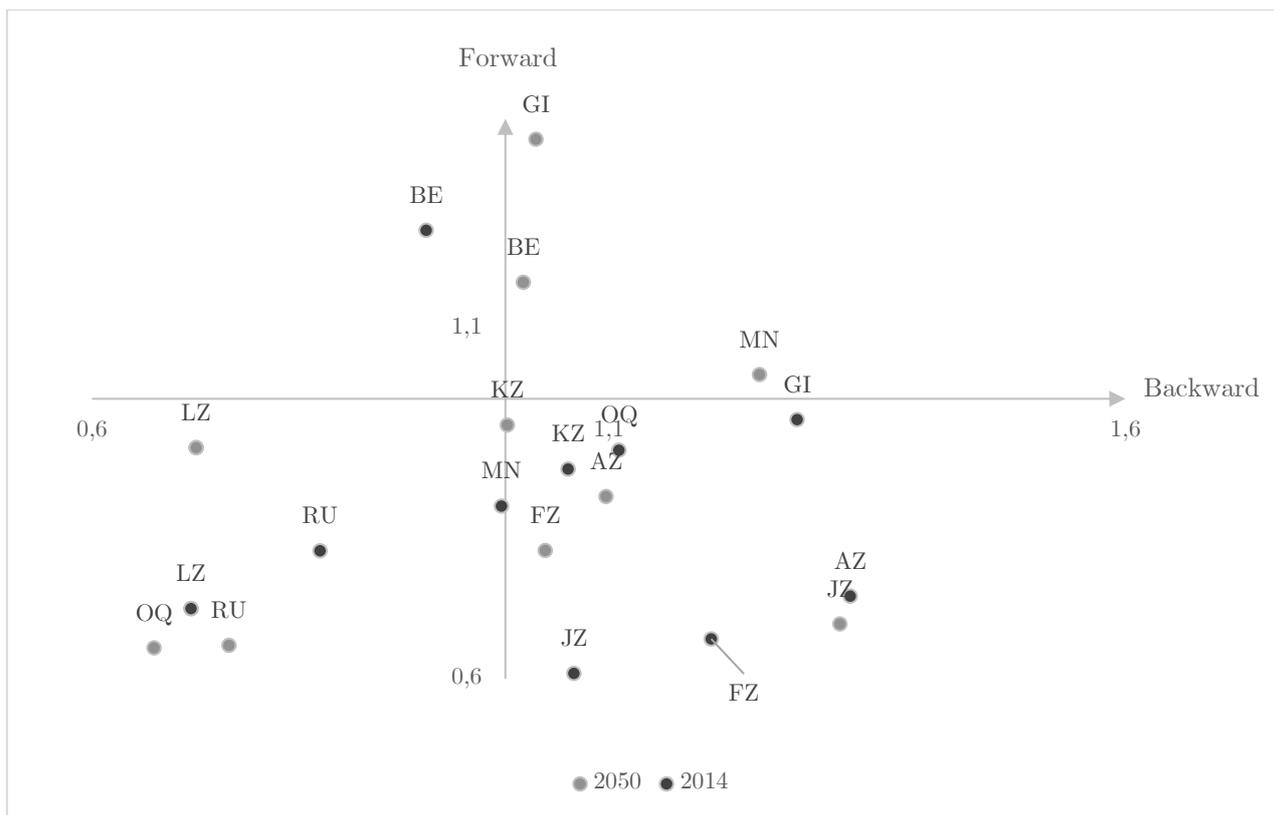


Figure 4-1 : Liaisons économiques brutes

Source : calculé par l'auteur

Les autres activités de services (RU) et les administrations publiques, l'enseignement et la santé humaines (OQ) se déplacent vers le bas et la gauche d'ici 2050, indiquant des indicateurs backward et forward tous deux décroissants. Ainsi, soit ces branches perdraient en importance dans la structure des échanges économiques, soit elles s'orienteraient plus vers la demande finale. Pour les administrations publiques (OQ), cela indiquerait éventuellement un État qui se désengagerait des activités économiques régionales.

Indicateurs nets

Les indicateurs nets montrent un portrait similaire à celui donné par les indicateurs bruts (figure 4-2). L'industrie est clairement dans ce cas un fournisseur clef, orienté vers les liens intermédiaires forward. Cependant, elle perdrait en importance à l'horizon 2050.

Les activités de finance et d'assurance (KZ) deviendraient une branche orientée vers la demande finale en 2050, indiquant que son rôle de secteur clef, détecté avec les indicateurs bruts, et principalement dû à ses relations intrabranches.

Les autres branches évolueraient d'une manière similaire, mais plus marquée qu'avec les indicateurs bruts.

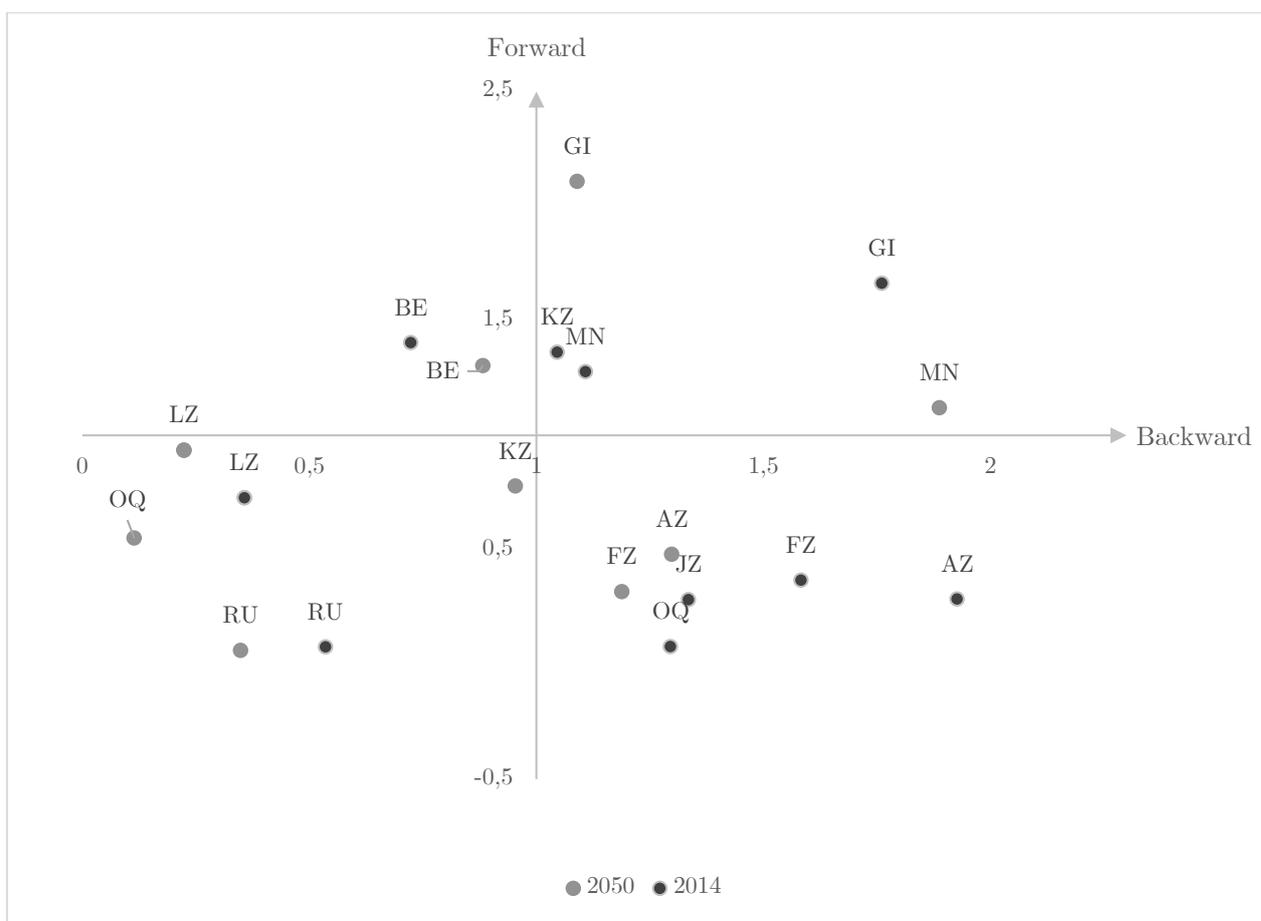


Figure 4-2 : Liaisons économiques nettes

Source : calculé par l'auteur

Les indicateurs économiques nets et bruts permettent de constater l'évolution des rôles des différents secteurs à l'horizon 2050. Ces évolutions ne montrent cependant pas de mutations majeures dans le rôle des différents secteurs au sein de l'économie régionale : les industries restent des fournisseurs, l'agriculture, la construction restent principalement des consommateurs, les secteurs clefs sont toujours le commerce, le transport et les activités spécialisées, scientifiques et techniques et activités de services administratifs et de soutien (MN).

Les industries sont dans le cas des indicateurs nets, des branches purement forward, c'est-à-dire fournisseuses. Cela permet de déduire, par comparaison avec les liaisons brutes que les flux intrabranche contribuent grandement au rôle de consommateur des industries. Ainsi, les industries consomment principalement leurs propres productions. Cependant, en 2050, leur rôle de consommateur net s'accroîtrait.

On constate pour la majorité des secteurs une baisse de l'indicateur backward entre 2014 et 2050, indiquant une perte en intensité des rôles de consommateurs. Cependant, les exceptions sont les

branches de la construction (FZ), l'industrie (BE) des activités spécialisées, scientifiques et techniques et activités de services administratifs et de soutien (MN) dont le rôle en tant que consommateur augmenterait significativement. Cela reflète ainsi l'évolution induite par le scénario neutralité carbone qui favoriserait ces trois secteurs, par les travaux engagés pour la transition énergétique et par la place plus importante des services spécialisés dans les études techniques.

3.2.2. Liaisons environnementales

Indicateurs bruts

Les relations environnementales mesurées par les indicateurs de liaison montrent d'importants changements dans les rôles des secteurs (figure 4-3). Le rôle de l'industrie en tant que distributeur d'eau augmenterait, tandis que son rôle de consommateur diminuerait. Cette évolution s'explique par l'importance fortement croissante des branches de distribution de l'eau, des industries chimiques et pharmaceutiques. Cette évolution suit le scénario bas carbone utilisé par l'ADEME.

L'une des évolutions les plus marquées est celle des administrations publiques (OQ) qui gagneraient fortement en importance en tant que consommatrice d'eau : cela impliquerait qu'en 2050, suivant notre scénario, les administrations publiques seraient d'importantes consommatrices indirectes d'eau. Le secteur des activités spécialisées, scientifiques et techniques et activités de services administratifs et de soutien suivrait cette tendance, mais d'une façon moins marquée.

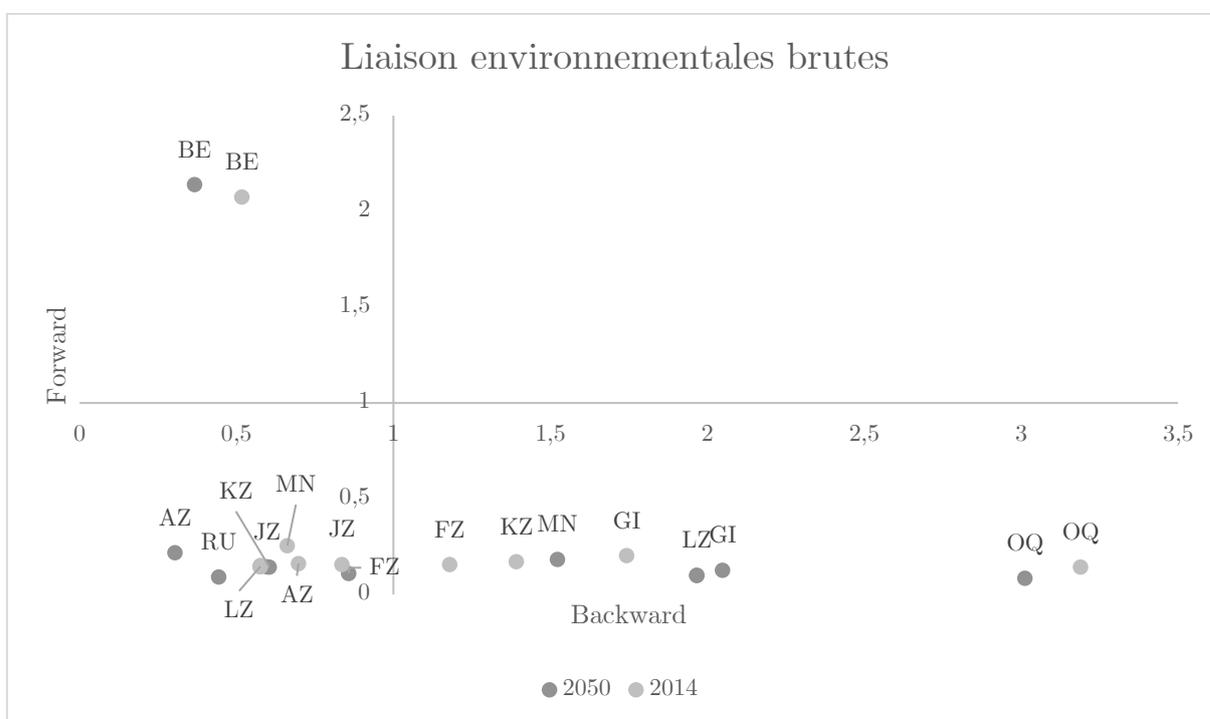


Figure 4-3 : Liaisons environnementales brutes

Inversement les services de commerce transport et hébergement, l'agriculture, la construction, les services financiers, les activités de communication, et les autres services (RU) diminuent leur rôle de consommateurs.

Indicateurs nets

Les indicateurs nets montrent que la majorité des secteurs diminuent leurs rôles de consommateur environnemental. Seules les administrations publiques, activités pour la santé humaine et l'éducation (OQ) et les activités spécialisées, scientifiques et techniques et activités de services administratifs et de soutien (MN) augmentent l'impact qu'elles reçoivent du reste de l'économie.

L'industrie augmente son rôle de distributeur d'eau auprès des autres branches. Cette évolution s'explique par l'activité accrue des services dans l'économie régionale. Ces derniers étant approvisionnés en eau par l'industrie, le rôle de distributeur de celle-ci deviendrait donc plus important.

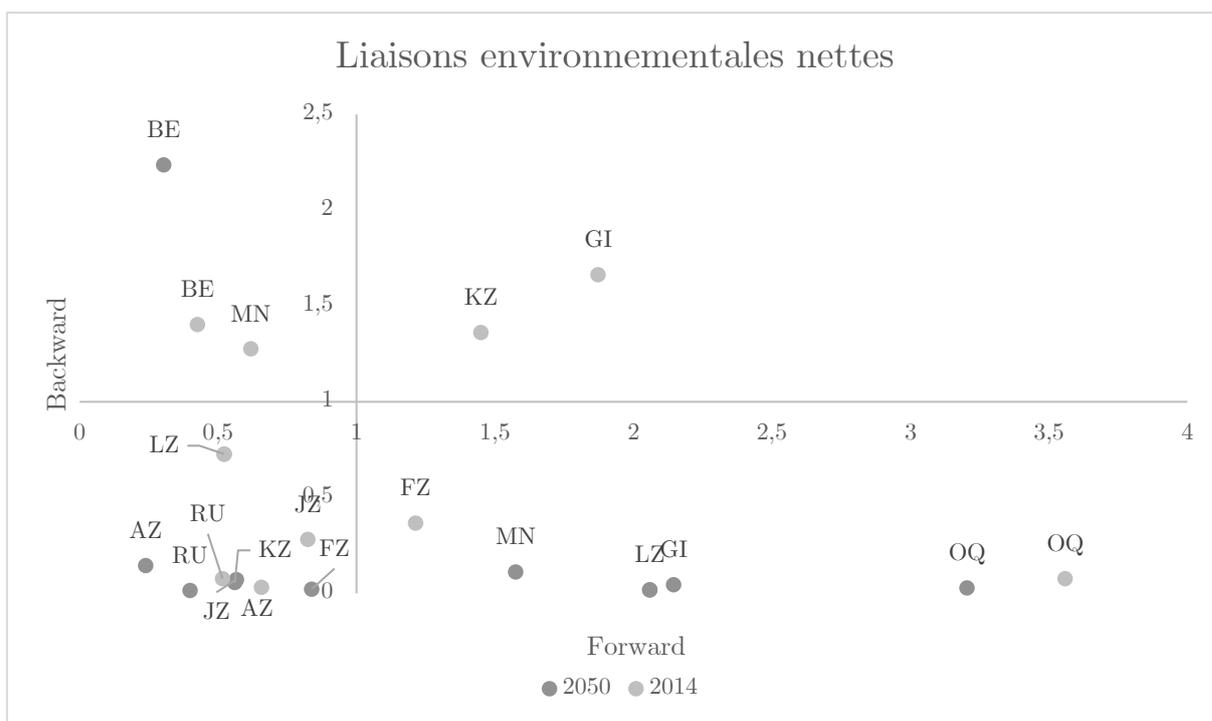


Figure 4-4 : Liaisons environnementales nettes

Source : calculé par l'auteur

L'analyse permet ici ainsi de détailler la répartition des ressources en eau au sein de l'économie régionale de 2050. Ainsi, à cet horizon, l'économie régionale aura évolué vers des activités de services, tout en conservant les rôles économiques des différents secteurs : de manière synthétique, les industries restent fournisseurs, et les services consommateurs.

Cependant, d'un point de vue des échanges d'impacts environnementaux, le portrait de 2050 présente des évolutions bien plus marquées. L'accroissement de l'activité des services entraîne une augmentation du rôle de fournisseur des industries, en particulier la distribution de l'eau, les industries chimiques et pharmaceutiques. Pour la majorité des services, la construction et l'agriculture, la consommation d'impact environnemental (consommation d'eau indirecte) décroît également, indiquant de meilleures performances environnementales ce qui correspond à la baisse de consommation d'eau globale estimée sur l'estuaire. Deux exceptions sont à noter : les services publics (OQ) et les activités de services spécialisés (MN). Les indicateurs indiquent alors que ces deux secteurs reçoivent des volumes d'eau incorporés croissants. Cependant, l'analyse de liaison ne permet pas de déterminer précisément le fournisseur de ce volume. L'analyse structurelle est alors mise à contribution pour expliquer ces exceptions, et de manière plus générale la mécanique des relations interbranches.

3.3 Analyse structurelle

L'analyse structurelle permet de mieux comprendre les relations interbranches et l'évolution des rôles des branches mesurées avec l'analyse de liaison. Elle dresse ainsi une carte des relations (économiques et environnementales) entre les branches.

La première évolution que l'on remarque entre les réseaux économiques et environnementaux de 2050 par rapport à 2014 et que la densité s'est élevée : en 2050, le réseau économique aurait 99 liens contre 86 relations en 2014. Le réseau des échanges environnementaux de 2050 contient 223 liens contre 206 en 2014. Les échanges interbranches importants (supérieurs à la moyenne) sont donc plus nombreux. Ce qui implique qu'en 2050, l'activité d'une branche aurait des effets plus étendus sur la région qu'actuellement, que ce soit d'un point de vue environnemental qu'économique.

3.3.1. Réseau économique

Les connexions restent cohérentes, et permettent d'identifier les groupes (ensembles de branches rassemblées autour d'activités similaires). Ces groupes sont assez similaires à ceux identifiés dans le réseau de 2014. Les liens décrivent ainsi des relations cohérentes avec la nature des activités des branches.

Mais un examen approfondi montre que la structure du réseau a évolué. La disposition du réseau est toujours faite de telle sorte que le graphe soit le plus plat possible (ayant le moins de liens se croisant) ; ainsi les branches les plus connectées seront situées au centre du graphe. Comparativement à 2014, les branches centrales sont désormais des branches de services (GZ, MA, NZ, JC, MB, HZ) et la construction (FZ). Les branches industrielles (CD, CE, AZ, BZ) qui étaient au centre du graphe en 2014, deviendraient périphériques en 2050.

Par rapport à 2014, vingt-trois relations importantes ont disparu (elles sont devenues inférieures au filtre numérique), tandis que trente-six nouvelles sont devenues importantes.

Les relations disparues concernent majoritairement les relations interindustrielles, ce qui correspond à la baisse de l'activité industrielle dans le BES supposée dans le scénario SNBC. La branche la plus affectée par cette évolution est la cokéfaction et le raffinage qui perd cinq relations (avec AZ, CE, puis les industries extractives qui perdent trois relations (AZ, CE, HZ) et n'en forment pas de nouvelles.

Les industries chimiques, qui font partie du cœur du cluster industriel régional actuel perdent trois relations (avec CC, CF, DZ), mais en forment trois nouvelles (FZ, JA, MB). Ces relations disparues montrent des liens moins forts entre ces activités. Ainsi, dans le cas des industries chimiques, la production dépendra peu de la demande des industries papetières, des industries pharmaceutiques, et de l'énergie, ce qui correspondrait à du papier, des produits pharmaceutiques et de l'énergie produits avec moins de produits chimiques. Cependant, la construction, l'édition et la recherche nécessiteraient plus de ces produits à l'horizon 2050.

Les activités pour la santé humaine (QA) également perdent six relations (avec IZ, JB, KZ, MB, MC, QB) sans en former de nouvelles. Ce constat implique, alors, que l'activité de la santé humaine dépendrait moins de la demande de ces branches. La perte de la relation entre la recherche et l'hébergement médico-social pourrait cependant être intrigante, ces branches étant usuellement complémentaires.

La formation de nouvelles relations apparaît principalement entre les services, et entre les services et l'industrie. La branche qui a créé le plus de relations est NZ (activités administratives de soutiens), suivent ensuite MA et HZ qui forment quatre nouvelles relations chacune. La majorité de ces relations se font à destination d'autres services et de la construction. Ainsi les services consommeront plus d'autres services (en particulier de services informatiques JC, de recherche MB) et d'activités de construction. L'analyse des relations de cette branche permet de comprendre l'évolution de son multiplicateur de consommation totale et du rôle croissant de cette branche en tant que consommatrice mesurée par l'analyse de liaison : la relation interbranche entre les industries pharmaceutiques (branche fournisseuse) et les activités pour la santé humaine (branche acheteuse) passerait de 757,3 millions d'euros en 2014 à 4887,7 millions en 2050. Cette augmentation significative de la relation entre ces deux branches justifie alors les évolutions observées quant au rôle de cette branche dans l'économie.

Des remarques similaires peuvent être faites pour les branches MA, dont les consommations intermédiaires augmentent d'en moyenne 249,1 %, et en particulier sa relation intrabranche (avec elle-même) passe de 507,2 millions d'euros en 2014 à 1770,4 en 2050. Pour la branche MB, l'augmentation des consommations intermédiaires est d'en moyenne 534,0 %, celles avec l'éducation (+2669,0 %), la

métallurgie (+1708,4 %), les industries chimiques (+1614 %) et pharmaceutiques (+1293,9 %). Ces constats permettent ainsi de comprendre dans le détail les valeurs des multiplicateurs de consommation d'eau et des indicateurs de liaisons.

Ces évolutions dans les relations interbranches décrivent ainsi la transition d'une économie centrée sur l'industrie lourde vers une économie plus orientée vers les services, même si l'industrie joue toujours un rôle important de fournisseur. Les mesures de centralités confirment ces évolutions en mettant en valeur le rôle des services dans le réseau économique régional (annexe M).

3.3.2. Réseau environnemental

Le réseau des relations interbranches environnementales pour 2050 est composé de 223 liens, ce qui est cohérent avec le réseau environnemental de 2014, qui était lui aussi, plus dense que le réseau économique (206 relations). Ainsi, en 2050, les effets environnementaux d'un choc de demande se propageront de manière plus large que les effets économiques.

Les branches aux centres du réseau (les plus connectées) sont des branches de services (MA, IZ, GZ, QB, QA, HZ), c'est-à-dire les branches identifiées comme clef, ou consommatrices importantes par les indicateurs de liaison. Celles-ci apparaissent comme des branches émettrices de demande, c'est-à-dire que l'augmentation de leur demande finale affecte la consommation d'eau directe des autres branches. La branche de distribution de l'eau apparaît plus périphérique en 2050 qu'en 2014, ce qui s'explique surtout par un rôle accru de distributeur d'eau (branche réceptrice de demande), correspondant à l'accroissement de l'activité des services, eux-mêmes approvisionnés par le réseau de distribution.

De manière plus générale, les industries sont maintenant situées à la périphérie du graphe. Elles y sont réceptrices de demandes, ce qui correspond à leur rôle de fournisseuse d'impacts, mesuré précédemment avec l'analyse de liaison.

Le réseau environnemental de la figure 4-6 comprend un nombre élevé de liens qui le rend difficilement compréhensible « à l'œil nu ». C'est pourquoi l'utilisation des mesures de degrés et de centralité est favorisée dans ce cas (tableau 4-26).

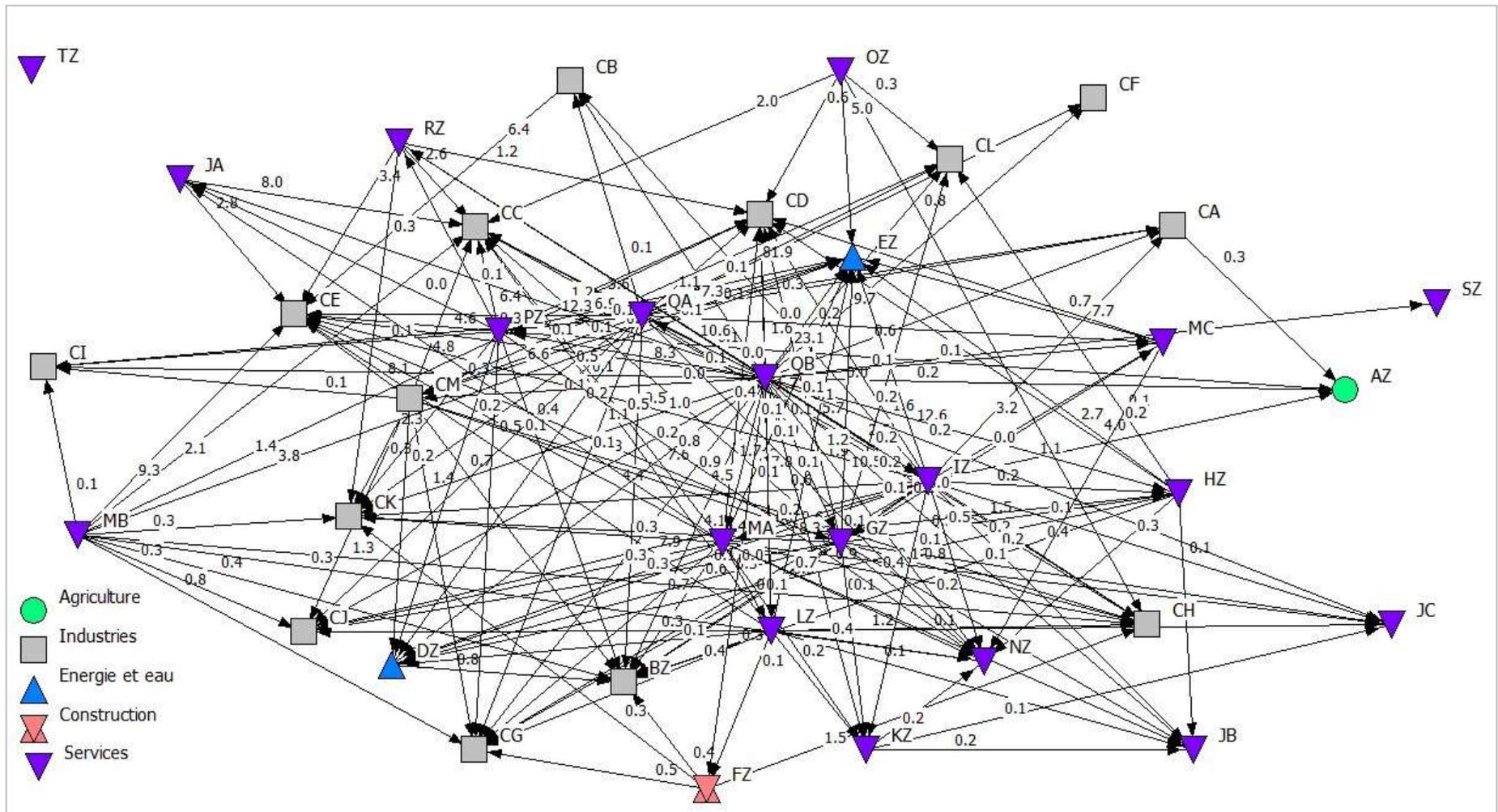


Figure 4-6 : Réseau environnemental 2050

Source : calculé par l'auteur

Les mesures de centralité montrent que les branches ayant les centralités les plus élevées sont désormais les branches de services, à la place des industries. Globalement, la perte de centralité des industries s'expliquerait par des degrés sortants plus faibles, voire nuls. C'est-à-dire que les industries adresseraient moins de demandes en eau au reste de l'économie. Celles-ci seraient alors quasiment exclusivement réceptrices de demande, donc fournisseuses d'eau incorporée, en accord avec les résultats de l'analyse de liaison environnementale. Les principales centralités sont résumées dans le tableau suivant (l'annexe M). Il est intéressant de constater que la branche de distribution (EZ) perd en importance dans le réseau comme en témoigne sa centralité faible (11,7, inférieure à la centralité moyenne du réseau de 12,5).

La branche ayant la centralité la plus élevée du réseau est désormais l'hébergement médico-social. Cette évolution est particulière, cette branche ne reçoit pas de demande en eau incorporée du reste de l'économie, par contre entre 2014 et 2050, ses demandes émises (liens sortants) auprès des autres branches passent de trois à trente-trois, ce qui en fait la branche la plus connectée au sein du réseau. Ces nombreux liens sortants correspondent à l'augmentation marquée des multiplicateurs de consommation d'eau totale ($mcet_i$) calculés précédemment.

Tableau 4-26 : Centralités environnementales

| Branche | Centralité | Degré | Degré entrant | Degré sortant |
|---------|------------|-------|---------------|---------------|
| QB | 169,2 | 33 | 0 | 33 |
| IZ | 48,3 | 23 | 1 | 22 |
| QA | 39,7 | 20 | 1 | 19 |
| GZ | 27,2 | 20 | 3 | 17 |
| MA | 22,8 | 19 | 2 | 17 |
| PZ | 21,2 | 16 | 2 | 14 |
| LZ | 17,4 | 16 | 2 | 14 |
| CC | 13,5 | 12 | 12 | 0 |
| CD | 12,6 | 12 | 12 | 0 |

Source : Calculé par l'auteur

L'une des évolutions remarquables est, en effet, celle de la branche de distribution d'eau dont l'importance dans le réseau environnemental diminue drastiquement. La branche EZ perd en effet dix liens forts entre 2014 et 2050, et n'en gagne que deux (elle n'apparaît donc pas dans le tableau 4-26). Cette perte de connexions s'explique par la consommation directe d'eau décroissante de nombreux services, qui diminuent ainsi leur demande en eau auprès du réseau de distribution. La branche EZ distribue donc moins d'eau, d'où cette connectivité moindre. Il faut également considérer les valeurs des relations interbranches, qui pour la branche EZ, sont significativement supérieures pour les connexions restantes à ce qu'elles étaient en 2014 : la moyenne des coefficients inverses de EZ (en ligne) était de 1,4

en 2014, elle serait de 3,7 en 2050. Ainsi, la consommation d'eau de la branche EZ est affectée par moins de branches, mais les relations sont plus fortes avec celles restantes. La baisse d'importance de EZ s'explique également par l'augmentation de la connectivité entre les autres branches notamment entre les services et les industries chimiques qui échangeraient ainsi plus d'eau incorporée.

Les branches n'ayant plus de liens forts avec EZ sont les industries manufacturières de production de matériel informatique et de biens d'équipements (CI, CK), la construction (FZ), les activités d'information, de communication et d'informatique (JA, JB, JC), les activités financières et d'assurance (KZ), les services administratifs et de soutien (NZ) et les activités récréatives (RZ). Ainsi, en 2050, l'augmentation de la demande finale de ces branches ne devrait plus engendrer d'effets majeurs sur la consommation d'eau du réseau de distribution.

Les deux nouvelles branches qui affecteraient la consommation d'eau du réseau seraient les autres activités scientifiques et techniques (MC) et les administrations publiques (OZ).

Autre point intéressant, la branche des activités pour la santé humaine (QA) a le multiplicateur de consommation d'eau totale qui augmente le plus entre 2014 et 2050. Cependant, même si son nombre de connexions augmente de six à vingt, c'est surtout l'intensité de ces liens qui augmente fortement, en particulier celui avec les industries pharmaceutiques, qui passerait de 6,9 à 81,9 (coefficient inverse de Leontief, sans unité), suite à l'augmentation de l'activité des deux branches. Ainsi, en 2050, pour l'augmentation d'un mètre cube supplémentaire de la consommation finale des activités pour la santé humaine, la consommation d'eau de la branche des industries pharmaceutiques devrait augmenter de 81,93 m³, au lieu de 6,93 m³ actuellement. L'évolution des relations de ces deux branches confirme et explique alors l'augmentation de l'indicateur de liaison backward observée pour le secteur des administrations publiques et des activités pour la santé humaine (OQ).

L'analyse structurelle permet ainsi de comprendre en détail les relations interbranches à la fois d'un point de vue économique et environnemental, ce qui permet de conforter les résultats de l'analyse de liaison et celle des multiplicateurs de consommation d'eau. Elle complète les deux méthodes précédentes en précisant les interactions entre les différentes activités humaines le long de l'estuaire.

Ici, il ressort que l'activité des services, en particulier les activités ayant des centralités élevées (activités pour la santé humaine, l'hébergement médico-social, le commerce, les activités de conseils scientifiques, techniques et juridiques, et l'hébergement et restauration) seraient indirectement les principaux consommateurs d'eau le long de l'estuaire.

Cette méthode permet ainsi d'étudier la propagation d'un choc de demande au sein de l'économie, en identifiant ainsi, les possibles effets d'entraînements sur la consommation d'eau totale de l'économie, suite à une augmentation de la demande finale d'une branche (qui pourrait avoir *a priori*

une faible consommation directe), ou inversement, les effets que pourraient avoir sur l'économie, la baisse des prélèvements d'eau.

3.4 Étude de sensibilité : effets d'une diminution des prélèvements sur la valeur ajoutée régionale

Dans cette section, nous supposons que la région doit faire face à une situation environnementale telle qu'elle occasionne une restriction des prélèvements le long du BES. Une telle situation pourrait être par exemple une situation de stress hydrique entraînant une diminution de la disponibilité de la ressource en eau dans la région. Il s'agit de déterminer l'impact qu'une restriction des prélèvements d'eau aurait sur le PIB régional.

Des chocs de prélèvement (baisse de 10 %) sont alors testés pour chaque branche. Les chocs de prélèvements sont introduits sur les prélèvements des branches p_i ce qui influe sur l'utilisation de l'eau $wd_i = p_i + s_i$ des branches. Cette dernière est utilisée, conjointement avec le coefficient d'utilisation directe pour déterminer la production possible $z_i = \frac{wd_i}{e_i^p}$ correspondante à ce volume d'eau. Cette production est ensuite introduite dans le modèle ES économique, permettant ainsi d'évaluer l'effet économique de ces baisses de prélèvements.

Nous supposons que l'économie régionale n'a pas le temps de s'adapter à ces chocs et donc que donc elles ne peuvent pas réduire leur consommation d'eau unitaire grâce au progrès technique : la baisse des prélèvements affecte alors directement leur capacité de production et donc la production régionale possible z_i , puis la valeur ajoutée.

Ces chocs permettent d'identifier les branches dont les prélèvements affectent le plus le PIB régional. La baisse des prélèvements pourrait correspondre à des périodes de sécheresse ou de rationnement de la ressource en eau. Les branches affectées par ces restrictions sont les branches qui prélèvent directement dans l'estuaire, c'est-à-dire l'agriculture, l'industrie et le réseau de distribution. Les services sont en grande partie approvisionnés par le réseau de distribution.

Deux cas sont testés :

Le premier suppose que l'économie régionale compense ces baisses de production par des importations supplémentaires qui viennent remplacer les productions manquantes. Les ressources régionales sont donc constantes, et la demande finale reste identique. Les importations internationales sont calculées de sorte que les consommations intermédiaires et la demande finale totale restent identiques à la situation BAU.

Le second cas suppose que l'économie régionale ne peut pas avoir recours à des importations supplémentaires pour compenser la diminution de la production induite par la baisse des prélèvements.

Les importations sont fixes. Ce cas entraînera donc également une baisse de la production finale à disposition des ménages et les exportations.

Dans le contexte de notre projection en 2050, les deux cas fournissent des résultats proches. Ils identifient les branches économiquement les plus sensibles à des restrictions d'eau, dans le contexte de notre projection de l'économie en 2050. Le premier constat, est qu'une restriction de 10 % des prélèvements d'eau aurait des effets économiques négatifs sur toute l'économie régionale dont le PIB pourrait reculer de 28 % dans le cas n° 2 (sans recours à des importations supplémentaires) à 40 % dans le cas n° 1 (compensation par des importations supplémentaires).

Les effets sont effectivement plus marqués dans le cas où l'économie peut compenser la perte de production par des importations. En effet, dans ce cas, les consommations intermédiaires restent constantes, contrairement au cas n°2 où elles diminuent. La différence entre production et consommation intermédiaire est donc plus forte dans le cas n°1. Dans ce cas, pour compenser la baisse de production à destination de la demande finale, l'économie importe plus, ce qui vient détériorer la balance commerciale, d'où une diminution de la valeur ajoutée. À cela s'ajoutent des importations intermédiaires supplémentaires pour permettre à l'économie de maintenir ses ressources disponibles, et venant encore détériorer la balance commerciale. La part des importations dans les ressources augmente ainsi fortement, et l'économie au lieu de se contracter, conserve ses ressources, en important pour compenser sa baisse de production finale et intermédiaire ce qui se donc fait au détriment de sa valeur ajoutée.

Dans le cas n°2, l'économie s'adapte à cette production plus faible : la demande finale diminue alors en conséquence, ainsi que les productions intermédiaires, et les importations. Il y a donc une contraction de l'économie régionale, la valeur ajoutée diminue donc de manière plus proportionnelle, il n'y a pas d'amplifications liée à un surplus d'importations, comme dans le cas n°1.

Le tableau 4-27 synthétise pour chaque cas les effets subis et engendrés par les grands secteurs économiques à la suite d'une baisse généralisée des prélèvements le long de l'estuaire, à l'horizon 2050.

Ces résultats permettent de mettre en évidence le rôle central que joue le réseau d'approvisionnement en eau dans l'économie. Une baisse des prélèvements uniquement de celui-ci, et donc de son approvisionnement au reste de l'économie, entraînerait une diminution du PIB régional comprise entre 21,5 milliards d'euros (cas 1) ou de 15,5 milliards (cas 2).

C'est la seule branche qui peut affecter toutes les autres branches de manière significative dans le cas d'une restriction d'eau. De manière plus générale, le rôle des branches distributrices de ressources environnementales (eau, énergie) ou collectrices d'émissions (réseau d'égout) est majeur dans une économie. Une défaillance de ces branches aurait ainsi des effets majeurs sur tout le reste d'une économie, en faisant, de fait, des branches stratégiques pour une économie.

Inversement les autres secteurs, et particulièrement les services subissent plus d'effet qu'elles n'en engendrent sur le reste de l'économie. Le tableau 4-27 rassemble les résultats par secteurs. Les effets subis sont les variations totales que subissent les secteurs suite à une baisse généralisée des prélèvements pour toute l'économie. Inversement, les effets engendrés sont les impacts sur le reste de l'économie d'une baisse des prélèvements d'un secteur.

Tableau 4-27 : Effets subits, Effets engendrés

| Cas 1 | | |
|-----------------------|---------------|------------------|
| En million d'euros | Effets subits | Effets engendrés |
| Agriculture | -346,4 | -258,8 |
| Industrie | -5496,4 | -2334,0 |
| Distribution de l'eau | -425,6 | -21476,2 |
| Construction | -2908,9 | -544,6 |
| Services | -16837,6 | -1401,3 |
| Total | -26014,9 | -26014,9 |
| Cas 2 | | |
| En million d'euros | Effets subits | Effets engendrés |
| Agriculture | -191,4 | -154,4 |
| Industrie | -3664,0 | -1142,6 |
| Distribution de l'eau | -140,8 | -15539,6 |
| Construction | -1789,6 | -381,9 |
| Services | -12342,4 | -909,8 |
| Total | -18128,3 | -18128,3 |

Source : calculé par l'auteur

De manière plus détaillée, les branches les plus affectées par cette baisse généralisée des prélèvements sont indifféremment des branches industrielles et de services. Cependant, le point commun est que les branches les plus affectées sont celles ayant les taux de valeur ajoutée les plus faibles. Ces branches auraient assez peu de « marge de manœuvre » environnementale, et qu'un faible choc environnemental sur les ressources en eau pourrait avoir des effets économiques conséquents.

Certaines branches verraient même leurs valeurs ajoutées devenir négatives : CD, BZ, MB, et RZ. Cela s'explique par le fait que le choc de prélèvement entraîne des baisses de leurs productions telles que celles-ci deviennent inférieures aux consommations intermédiaires (ce qui est théoriquement possible grâce aux importations) conduisant une valeur ajoutée négative. Ces branches n'auraient plus alors d'intérêt à produire dans ce contexte. Notons que la première valeur ajoutée négative apparaît (CD) à partir d'une diminution de 1% des prélèvements (dans les deux cas considérés). Cette branche ne dispose de quasiment aucune marge de manœuvre environnementale.

L'annexe N (détail par branche des variations liées à la baisse des prélèvements) illustre les effets de ces restrictions dans les deux cas présentés. La différence dans le classement des branches découle du rôle des importations dans l'activité de la branche.

L'agriculture haute normande serait, relativement aux autres branches, moyennement impactée par ces restrictions de prélèvements. Cela va à l'encontre de l'idée commune qui accompagne les événements de sécheresse, selon laquelle l'agriculture est très affectée par les limitations d'eau. Cette branche est effectivement fortement dépendante des prélèvements d'eau qui représentent le long du BES 67 % de sa consommation d'eau, cette branche est également souvent la première exposée à des restrictions d'eau, ce qui tendrait à augmenter sa vulnérabilité aux ressources en eau.

Cependant, ces résultats montrent que, dans le cas d'une restriction généralisée, l'agriculture résisterait mieux économiquement que nombre de branches industrielles et de services. Ce résultat qui peut sembler contre-intuitif s'expliquerait par le taux de valeur ajoutée de l'agriculture régionale (23 %) ; proche de la moyenne régionale (24 % en moyenne de l'économie) qui lui permet d'avoir de la marge de manœuvre économique en cas de baisse de la production, et surtout de sa faible consommation d'eau totale par rapport aux autres branches.

Les services sont affectés de manière particulière par les chocs de prélèvements. En effet ces activités ont des prélèvements marginaux, et ils sont majoritairement approvisionnés par le réseau de distribution. Les baisses de valeurs ajoutées observées proviennent de la baisse des prélèvements appliquée sur la branche EZ de distribution d'eau. Ainsi, les valeurs ajoutées des services sont affectées quasiment exclusivement par la baisse des prélèvements du réseau de distribution.

Le tableau 4-28 différencie les effets reçus par les secteurs selon qu'ils soient engendrés par la branche de distribution de l'eau ou par le reste de l'économie. Ainsi, les branches ayant une activité de prélèvement seront moins affectées que celles dépendant totalement du réseau pour réaliser leur production. L'agriculture et l'industrie sont donc ainsi partiellement protégées d'une défaillance d'approvisionnement contrairement aux services.

L'agriculture, étant son principal préleveur, ne serait pas majoritairement affectée par la baisse des prélèvements de EZ. Inversement la construction, les services et les industries qui dépendent de l'approvisionnement en eau du réseau seraient très fortement affectés par la baisse des prélèvements de EZ. Cela s'explique la baisse si importante de valeur ajoutée causée par une baisse de l'approvisionnement du réseau : cette baisse entraîne des diminutions majeures pour les services qui ont des taux de valeurs ajoutées élevés.

Une baisse des prélèvements (ou une défaillance d'approvisionnement) du réseau entraînerait une diminution de la valeur ajoutée de 11,3 milliards d'euros uniquement pour les services. L'agriculture, elle, ne perdrait « que » 54,5 millions d'euros.

Tableau 4-28 : Origines des effets sur la valeur ajoutée

| Cas 1 | Valeur | | Proportion | |
|-----------------------|----------|----------|------------|----------|
| | EZ | Économie | EZ | Économie |
| Agriculture | -105,1 | -241,3 | 30,3 % | 69,7 % |
| Industrie | -3105,7 | -2390,7 | 56,5 % | 43,5 % |
| Distribution de l'eau | -401,1 | -24,5 | 94,2 % | 5,8 % |
| Construction | -2487,7 | -421,2 | 85,5 % | 14,5 % |
| Services | -15376,6 | -1461,0 | 91,3 % | 8,7 % |

| Cas 2 | Valeurs | | Proportions | |
|-----------------------|----------|----------|-------------|----------|
| | EZ | Économie | EZ | Économie |
| Agriculture | -54,5 | -136,9 | 28,5 % | 71,5 % |
| Industrie | -2464,9 | -1199,1 | 67,3 % | 32,7 % |
| Distribution de l'eau | -116,3 | -24,5 | 82,6 % | 17,4 % |
| Construction | -1531,2 | -258,5 | 85,6 % | 14,4 % |
| Services | -11372,6 | -969,8 | 92,1 % | 7,9 % |

Source : Calculé par l'auteur

Il est intéressant de constater que l'industrie régionale a un comportement particulier vis-à-vis des ressources en eau. Ce secteur prélève plus qu'il n'est approvisionné, et donc l'impact de EZ sur l'industrie devrait être inférieur à celui du reste de l'économie. Cependant, la variation de valeur ajoutée de EZ sur l'industrie est supérieure à celle engendrée par le reste de l'économie. Il s'agit d'un effet engendré par les relations interbranches : la baisse d'activité des services entraînée par le choc sur EZ, affecte fortement toute l'économie, se traduisant par des baisses de productions conséquentes sur les services, qui sont répercutées sur la demande indirecte adressée aux industries.

L'effet indirect causé par la baisse de production des services serait donc supérieur à l'effet direct induit par la baisse des prélèvements des industries, ce qui expliquerait ce cas de figure particulier. Cela met également en avant la fragilité globale de l'économie régionale de l'estuaire face à une situation de stress hydrique, et met en avant le besoin de politiques de préservations.

3.5 Préconisations

Dans le chapitre 4, notre projection montre une diminution de la consommation d'eau de l'économie de l'estuaire. Dans le même temps, le GIEC estime que les ressources en eau diminueraient. Il est cependant important de garder à l'esprit que les projections réalisées dans ce travail s'inscrivent dans un scénario de transition énergétique réussi.

Une Stratégie Nationale Bas Carbone déclinée régionalement serait compatible avec la baisse de la disponibilité des ressources en eau. Nous montrons également que dans le cadre de notre projection, les relations entre les branches, tant en termes de flux économiques qu'en termes de flux d'eau incorporée (utilisations indirectes), se renforceraient en nombre et en intensité, rendant l'économie davantage sensible à des chocs de demande en eau.

Les politiques publiques doivent donc prendre en compte cette nouvelle situation, et prévoir notamment des mesures d'adaptation, permettant de compenser, ou réduire les effets environnementaux sur l'économie.

En suivant la stratégie nationale bas carbone, l'estuaire de la Seine verrait la part des industries lourdes dans son activité diminuer, ce qui se traduirait, conjointement à une diminution (tendancielle) des utilisations de l'eau en général, à des pressions moins élevées sur le cours principal où sont principalement implantées ces industries. Il s'agit donc d'accompagner cette baisse de l'utilisation de l'eau, sans renoncer à la spécialisation industrielle de la région.

En effet, l'abandon de cette caractéristique industrielle conduirait à importer de l'eau indirectement (contenues dans les importations industrielles), auprès de régions peut-être relativement moins bien dotées en ressources en eau, ou moins efficaces dans son utilisation ; ce qui par effet de report pourrait créer ou intensifier des situations de stress hydrique dans d'autres régions.

Concernant les services, notre projection montre qu'ils occuperaient une place plus importante dans l'économie régionale. Cependant l'utilisation d'eau par les services devrait également diminuer jusqu'en 2050, ce qui entraînerait une baisse de la pression sur les ressources en eau des unités hydrographiques périphériques principalement mises à contribution pour l'approvisionnement en eau des centres urbains, et actuellement fortement affectés par la demande en eau. Il s'agit ici d'une bonne nouvelle.

Le constat doit cependant être nuancé étant donné que certaines parties de l'estuaire présentent déjà des risques quantitatifs, notamment les UH approvisionnant les grands centres urbains. Un développement des services pourrait alors avoir des conséquences négatives sur les ressources en eau.

Nous avons montré que ces réductions concerneraient d'abord les industries donc des UH très fortement dotées en eau (où sont implantées les industries lourdes), et donc relativement peu affectées par les prélèvements humains. Nous montrons également que les services diminuent leurs consommations

d'eau ce qui profiterait aux UH périphériques fortement affectées actuellement, ce qui se traduirait par une amélioration quantitative de la ressource en eau de ces UH. Notons, que si les industries, en particulier celles implantées le long du cours principal, ne risquent pas d'épuiser leurs ressources en eau, elles devront néanmoins faire face à des risques accrus d'inondations.

Pour approfondir l'analyse de l'état quantitatif potentiel de l'estuaire et compléter ces prévisions, nous proposons d'étudier des mesures d'adaptation aux trois grands effets du changement climatique. Ces trois grands effets majeurs et imbriqués impactant l'estuaire de la Seine sont les suivants (ils sont détaillés à la fin du chapitre 1).

- La hausse des températures +3,3 C°
- Le changement du régime des précipitations
- La montée du niveau de la mer (Hausse du niveau de la mer +60 cm d'ici 2100)

Ces trois effets principaux, le décalage vers le nord de climats plus chaud et moins pluvieux l'été, la diminution du caractère industriel de la région et la proximité avec l'agglomération parisienne pourraient contribuer à rendre la région de l'estuaire plus attractive, pouvant entraîner une hausse des activités de services notamment de tourisme.

L'augmentation du tourisme en fonction de la température est constatée par Atzori et al. (2018); Lise et Tol (2002). De plus, l'INSEE (Hélary et al., 2017) constate déjà une hausse de l'attractivité touristique de la région Normandie avec une hausse notable du nombre de nuitées de 6,6 % (6,1 % au niveau national).

Concernant l'attractivité productive (liée à l'emploi), l'INSEE (Bigot and Moisan, 2016) montre que les métropoles régionales contribuent à l'attractivité de la région : le taux de création d'emploi étant de 2 % à Rouen (1,6 % au niveau national). Toujours suivant cette étude, la métropole du Havre attire, elle, les actifs qualifiés. D'un point de vue de l'attractivité résidentielle (liée à l'emploi présentiel, et à l'installation de résidences), les côtes de la Manche sont également dynamiques, notamment dans les environs de Honfleur (sud de l'estuaire). Il est donc raisonnable d'imaginer que les gains d'attractivité du territoire de l'estuaire, constatés actuellement, puissent se prolonger dans le temps, voire s'accélérer.

En supposant que l'attractivité de la région entraîne une augmentation de l'implantation des services dans la région, nous faisons donc l'hypothèse d'une hausse de la demande finale et des exportations adressées aux services.

Il convient alors, malgré l'intérêt économique d'un tel développement, de prévoir des mesures d'adaptation au développement du tourisme pour préserver les unités hydrographiques les plus fragiles face à cette augmentation potentielle de la demande d'eau.

Cela pourrait se traduire par des investissements supplémentaires dans des unités de traitement de l'eau du cours principal pour apporter un surplus d'eau potable, voire de mettre à contribution les

sources d'eau grises. La branche EZ a ainsi un rôle crucial à jouer pour répartir et distribuer la ressource en eau.

Cette branche devrait également être mise à contribution face au risque lié au changement de régime des précipitations, associé au risque accru d'inondations. Trois branches en particulier devraient être mises à contribution : la construction, l'agriculture et la distribution et le traitement des eaux.

En effet, pour compenser le nouveau régime des précipitations, il serait envisageable de stocker le surplus d'eau hivernal pour le redistribuer l'été. Cela peut se traduire par la construction d'importantes infrastructures similaires aux lacs réservoirs de la Seine, mais à un coût relativement élevé, d'autant plus que la géologie de l'estuaire de la Seine ne se prête pas forcément à de tels ouvrages.

Il serait plus raisonnable d'envisager des systèmes de stockage de l'eau de plus petite taille, mais plus nombreux (bassins d'orage, noues...). La construction de ces ouvrages entraînerait ainsi une augmentation de l'activité de construction FZ, et la redistribution de ces ressources en eau stockées serait du ressort de la branche de distribution d'eau.

De plus, l'agriculture aurait un rôle important à jouer par la restauration de haies et autres couverts végétaux, d'une part, pour améliorer le phénomène d'infiltration des eaux de pluie vers les aquifères souterrains, et d'autre part pour réduire le ruissèlement (source d'appauvrissement des sols, d'accroissement du risque d'inondations et de transport de polluants dans les cours d'eau). Les coûts pour l'agriculture de telles mesures pourraient être compensés par des transferts d'une partie des dommages évités auprès des agriculteurs, au titre d'un service rendu. Une analyse coût-bénéfice serait alors à prévoir pour évaluer les montants de ces transferts.

Enfin, face au risque de montée des eaux qui menace le port du Havre et sa zone industrielle, seules des mesures de protection (digues, surélévation des bâtiments) semblent envisageables, sauf à étudier le coût du démantèlement de la zone. Des investissements massifs sont à prévoir. Ces derniers entraîneraient cependant des effets économiques positifs sur l'ensemble des branches.

À partir de ces axes potentiels de développement de l'activité régionale, trois scénarios peuvent être envisagés dans le cadre du TES 2050. Il s'agit de mesurer le point à partir duquel la consommation d'eau totale atteint celle mesurée actuellement : la valeur de référence est celle de 2014) 407 millions de m³. En d'autres termes : comment ne pas faire pire qu'actuellement ?

Le premier scénario suppose que la hausse de l'attractivité de la région et un repositionnement vers le secteur tertiaire, conduise à une hausse uniforme de la demande finale et des exportations de toutes les branches de services.

Le second scénario étudie ce qui se passerait suite à une hausse démographique causée par cette augmentation de l'attractivité. Nous supposons ici une augmentation de la demande finale proportionnelle à l'augmentation de la population.

Le troisième scénario évalue l'effet d'un investissement d'adaptation au changement climatique, qui se traduirait par une hausse de l'investissement, en tant que catégorie de demande finale, sur AZ, EZ et FZ. Il mesurerait alors la « marge de manœuvre environnementale » d'un investissement sur ces branches en vue d'une adaptation au changement climatique. En effet, en tant que constituant de la demande finale, l'investissement entraîne une hausse de la production, et donc de l'utilisation de l'eau. Un investissement trop important conduirait alors à une utilisation d'eau supérieure à la limite fixée dans cet exercice (407 millions de m³), en contradiction avec l'objectif initial de préservation de la ressource.

Pour le premier scénario, en supposant que l'attractivité de la région entraîne une augmentation de l'implantation des services dans la région, la demande finale et les exportations adressées aux services devraient augmenter.

Ainsi, en appliquant une variation identique à tous les services, et en utilisant le modèle ES 2050, la demande finale des services devrait augmenter de 66 % pour que la consommation d'eau de l'estuaire soit identique à celle de 2014 (407 millions de m³), par rapport au scénario initial obtenu à partir du SNBC. Cela représenterait une augmentation de 166 % de la demande finale par rapport à celle de 2014.

Sur 36 ans (entre 2014 et 2050) cette augmentation de 166 % se traduirait par un taux de croissance annuel moyen de la demande finale et des exportations des services de 1,4 %. Cela impliquerait que pour atteindre le niveau de demande finale requis pour que la consommation d'eau soit égale à celle de 2014, il faudrait que la demande finale des services augmente de 1,4 % par an en moyenne jusqu'en 2050.

D'un point de vue économique, cette hausse de la demande finale des services représenterait une hausse totale de 88 milliards d'euros par rapport au modèle de base de 2050. Cette hausse de la demande finale entraînerait une hausse de la production de 177,7 milliards d'euros, soit dans un rapport de deux.

Les principaux effets d'entraînements sur les utilisations totales d'eau se concentreraient sur les services, les industries lourdes (CB, CB, CD, CE, CF), les industries liées à l'informatique (CI, CJ), les autres industries (CM) et l'énergie (DZ). L'effet de la hausse des activités de services est donc loin d'être neutre, même sur les UH du cours principal utilisé par les industries.

Pour le deuxième scénario, reposant sur notre hypothèse de proportionnalité entre hausse de la demande finale et accroissement de la population, une augmentation de la demande finale de 32,5 % par

rapport au modèle de référence, suite à une augmentation la population dans des proportions identiques, augmenterait la consommation à un niveau égal en 2050 à celui qu'elle avait en 2014. La hausse des utilisations de l'eau serait alors principalement concentrée sur l'agroalimentaire (CA), l'énergie (DZ), les produits pétroliers (CD), et l'industrie pharmaceutique (CF), les services : l'enseignement (PZ), la santé (QA), les administrations publiques (OZ) et la recherche (MB).

Cette hausse de la demande finale se traduit par une augmentation de la demande finale de 8,3 milliards d'euros (par rapport à la production de 2014), ce qui représenterait une hausse de 140 % de cette production entre 2014 et 2050.

Cette augmentation également ramenée sur 36 ans correspondrait à un taux de variation démographique annuel moyen de 0,9 %. Ce taux est proche de celui projeté par l'INSEE (Léon, 2010) pour les régions les plus attractives, du sud et de l'ouest de la France entre 2007 et 2040, qui serait compris entre 0,6 % et 0,8 %, par prolongement des tendances observées.

En valeur, cette augmentation représente une hausse de la demande finale de 39,3 milliards d'euros par rapport à la situation de référence en 2050, et entraîne une hausse de la production de 80 milliards d'euros, dans un rapport de près de deux.

Ces facteurs conduiraient à l'augmentation de la consommation d'eau des services (notamment de la restauration et de l'hébergement ainsi que des activités récréatives), sur des unités hydrographiques fragiles quantitativement. Cela impliquerait alors, si les prélèvements totaux restaient identiques à ceux de 2014, que l'effet sur les ressources en eau de l'estuaire serait pire, dans l'hypothèse où l'approvisionnement en eau serait fait en suivant la répartition géographique actuelle. Les pressions supplémentaires sur les UH les plus fragiles quantitativement pourraient conduire à l'épuisement de ces dernières, notamment de leurs ressources en eau souterraine.

Dans le troisième scénario, les investissements d'adaptation au changement climatique ciblent trois branches : l'agriculture, la distribution/traitement de l'eau et la construction. L'investissement représente une hausse de la demande finale de 8 milliards d'euro, pour avoir une utilisation des ressources en eau identique à celui de 2014, soit un taux de croissance de cette demande finale de 1,3% par an en moyenne sur la période.

En dehors de ces dernières, l'augmentation de l'utilisation de l'eau qu'entraînerait ce scénario, se concentrerait sur les industries lourdes (BZ, CC, CD, CE, CG, CH), la fabrication de matériel et d'équipement (CJ, CK), l'énergie (DZ), ainsi que sur les services financiers (KZ), de conseil et d'étude (MA) et de soutien administratif.

D'un point de vue économique, cet investissement devrait être de 8 milliards d'euros, et entraînerait une hausse de la production de 19,2 milliards, soit dans un rapport de 2,39.

Économiquement, ce scénario apparaît donc efficace, tout en provoquant des effets bénéfiques sur les ressources en eau.

Cette différence d'efficacité s'explique par des différences dans les effets d'entraînement entre les différentes branches considérées. Les branches AZ, EZ et FZ ont les effets d'entraînements les plus élevés au sein de l'économie régionale, où chaque euro de demande finale supplémentaire peut générer une production supplémentaire dans l'économie de 2,4 euros (moyenne pour les trois branches). Pour les services, ce multiplicateur de demande finale est en moyenne de 1,9.

Il serait donc potentiellement plus intéressant de préférer l'investissement dans la préservation de l'estuaire au détriment de l'attractivité pour les services, surtout si l'on pouvait quantifier les effets positifs de tels investissements sur les ressources en eau, par exemple au moyen d'une analyse coût-bénéfice complémentaire. Cependant, il reste à savoir si cet investissement dans l'adaptation au changement climatique aurait des effets suffisants, ou s'il faut envisager de faire « pire », c'est-à-dire d'augmenter l'utilisation de l'eau par rapport à 2014, pour pouvoir faire « mieux » après.

Si les préconisations présentées ici reposent sur des investissements, parfois très importants, il est important de noter que le coût de l'inaction irait au-delà de l'aspect économique : à titre d'exemple, la submersion du port du Havre serait à elle seule une catastrophe pour l'estuaire, source de pollutions multiples et d'une échelle sans précédent (cette partie de l'estuaire abrite à elle seule, 16 sites Seveso, et deux grandes raffineries). Cependant, ces résultats montrent qu'il existe une « marge de manœuvre » environnementale qui permettrait de déployer des moyens d'adaptation au changement climatique.

4. Conclusion

Dans ce quatrième chapitre, une projection du modèle ES en 2050 a été proposée. Cet horizon correspond au cadre macroéconomique institutionnel et à celui utilisé par le GIEC. Le présent chapitre est donc la partie expérimentale de ce travail de thèse. Le modèle ES étendu à l'environnement est utilisé dans un contexte hypothétique pour réaliser une projection à long terme de la relation entre l'économie régionale et l'estuaire de la Seine. Cette projection permet ainsi d'anticiper les possibles enjeux économiques et environnementaux le long du BES.

Il ressort, que si l'économie régionale suit la stratégie nationale bas carbone, les pressions sur l'estuaire devraient sensiblement diminuer (la consommation d'eau directe totale devrait diminuer de 20,3 %), d'une part grâce à un repositionnement vers les activités de services de l'économie (transport, commerce, activités pour la santé humaine), et d'autre part par des performances environnementales améliorées, réduisant ainsi les consommations d'eau directes.

Ainsi la diminution de l'industrie lourde et l'augmentation des activités de services et de haute technologie rendraient l'économie plus dépendante de l'approvisionnement en eau par le réseau, et moins des extractions directes. Le réseau de distribution jouerait ainsi un rôle plus important dans l'économie régionale qu'à l'heure actuelle, une plus grande partie de la production (la part croissante des services) serait dépendante de EZ pour son approvisionnement en eau.

La baisse de consommation d'eau est généralisée à tous les secteurs (malgré des disparités entre les branches au sein des secteurs). Ainsi, en supposant une implantation des branches le long des Unités Hydrographiques (UH) du BES, la diminution de la consommation de l'industrie lourde (-22,9 %, soit 35,7 millions de m³ en moins) devrait réduire les pressions environnementales sur les UH du cours principal. La baisse des consommations des services et de la demande finale devrait engendrer une diminution des pressions sur les ressources en eau des UH périphériques, qui sont actuellement, les plus affectées quantitativement par les activités humaines.

L'agriculture en réduisant sa consommation d'eau (-28,3 %) diminuerait les pressions sur les UH côtières, Eure et Amont. Il a été également montré que la consommation d'eau de l'agriculture resterait faible même dans le cas d'une forte hausse des besoins en eau, en partie car la production agricole régionale est relativement faible. De plus, cette hausse n'impacterait que faiblement les consommations indirectes du reste de l'économie du fait du nombre réduit de connexions avec le reste de l'économie. Les activités de services seraient celles dont l'activité impacterait à terme le plus l'estuaire de la Seine, notamment le transport, au travers des demandes intermédiaires.

L'estuaire devrait donc subir moins de pressions anthropiques à l'horizon 2050 qu'à l'heure actuelle. Ces résultats sont valables dans le contexte du scénario SNBC, et reposent sur la projection en

2050 de la consommation à partir des données actuelles, qui conduit à une baisse généralisée des consommations des secteurs.

Cependant, dans le secteur des services, certaines branches importantes voient leurs consommations d'eau augmenter fortement du fait d'un accroissement de leur activité. Une évolution de ce contexte est donc à surveiller. Ainsi, dans le cas d'une diminution de la consommation d'eau globale de l'économie de l'estuaire, où les consommations industrielles et agricoles diminueraient toujours fortement tandis que celles des services augmenteraient, cela pourrait conduire à des résultats potentiellement paradoxaux.

Dans un tel cas de figure, l'étude de la consommation de l'économie pourrait amener à conclure que les pressions anthropiques diminuent. En supposant une implantation similaire des activités le long des sous-bassins, les prélèvements seraient moins élevés le long des unités hydrographiques (UH) du cours principal (diminution des consommations directes industrielles). Les prélèvements pourraient cependant s'accroître (suite à l'augmentation de la consommation des services) pour les UH périphériques actuellement les plus affectées quantitativement et sur lesquelles le réseau de distribution se fournit pour la distribution d'eau potable. Les situations de stress hydriques pourraient alors être plus nombreuses malgré cette baisse globale des prélèvements. C'est une éventualité à considérer pour de futurs travaux.

Il est intéressant de constater que la baisse des consommations finales suite à la restriction d'eau engendre des diminutions de valeur ajoutée moindres que si l'on suppose un maintien de la consommation finale. Cela s'explique par le fait que dans le premier cas, les importations diminuent proportionnellement à la production, et que dans le second cas, l'économie a recours à des importations supplémentaires pour compenser la baisse de production. Ce résultat semble ainsi indiquer qu'en cas de diminution de la production, induite par exemple par des limitations de consommation d'eau, il est préférable de diminuer la consommation finale plutôt que de la maintenir à son niveau initial pour limiter les pertes de valeurs ajoutées liées aux importations supplémentaires. Ce qui pourrait suggérer que la décroissance de la consommation finale amortit les effets négatifs sur la production, pouvant découler d'une modification environnementale par exemple.

Ces effets de baisse de production pourraient même être compensés par les apports de l'économie circulaire, qui favoriserait la production locale tout en diminuant le recours aux importations et à des consommations d'eau extérieures, et donc contribuerait à maintenir voire augmenter la valeur ajoutée régionale, tout en diminuant l'impact de l'économie de l'estuaire sur d'autres régions.

Ainsi, ce chapitre, s'il explore un futur possible de 2050, peut en fait être considéré comme un modèle de départ pour tester de nombreux scénarios climatiques et économiques sur le BES. Il s'agit donc d'un outil d'anticipation utile pour déterminer des politiques d'adaptation au changement climatique. Cependant, il se limite pour l'instant au scénario SNBC, qui est plutôt optimiste quant à l'évolution des activités humaines. Il serait ainsi intéressant d'enrichir ce modèle par une ou des versions

suivantes des trajectoires économiques et sociales différentes, permettant d'élargir les perspectives fournies par ce modèle.

Conclusion générale

Le changement climatique affectant les milieux et les ressources en eau, le besoin en modélisation pluridisciplinaire à l'échelle de bassin fluvial est croissant. L'enjeu est de pouvoir intégrer des aspects environnementaux dans les modèles économiques afin d'étudier la relation entre l'homme et son milieu.

Cependant, les échelles géographiques administratives utilisées en économie ne correspondent pas aux territoires délimités par les bassins fluviaux. Si dans la littérature il existe des modélisations économiques à l'échelle de bassins fluviaux, celles-ci sont spécifiques aux cas étudiés. Une méthode généralisable a ainsi été développée dans le chapitre 2. Celle-ci permet alors d'intégrer les utilisations de l'eau à un Tableau Entrées-Sorties régionalisé, constituant ainsi une comptabilité des flux d'eau à l'échelle d'un bassin fluvial. L'avantage de cette méthode est qu'elle peut fonctionner avec relativement peu de données : les TES nationaux, la valeur ajoutée régionale, et les populations. Elle ne nécessite pas de calculs annexes ni d'ajustements manuels.

Dans le chapitre 3, l'application de cette méthode au cas de l'estuaire de la Seine fournit des résultats convaincants. Ainsi le portrait de l'économie de l'estuaire de la Seine est-il ainsi conforme aux observations directes détaillées dans le chapitre 1, ce qui valide la modélisation présentée dans cette thèse. Ainsi, l'industrie lourde, en particulier le raffinage et l'industrie chimique, les transports et le commerce sont au cœur de l'activité régionale. Cependant, les TES régionalisés permettent également d'identifier des pôles d'activités secondaires liées à des spécialisations moins connues de la région telles que la production de matériaux non métalliques (verres, bétons et plastiques), et l'industrie pharmaceutique. Les TES régionalisés ont même permis d'identifier les flux de pétrole et de gaz bruts entrants dans la région, qui ne sont pas identifiables à partir de l'analyse de grandeurs régionales directement disponibles (valeur ajoutée, emploi).

D'un point de vue environnemental, nous montrons que la situation de l'estuaire s'améliore doucement, les rejets et les consommations diminuant pour la plupart des branches. Cette amélioration est notamment due à de meilleures performances environnementales généralisées pour tous les secteurs économiques. La prise en compte de la structure du réseau hydrographique permet de localiser précisément les points de tensions autour des ressources en eau. Le TES environnemental a également mis en avant le rôle majeur de la branche distributrice d'eau, élément central. Cette branche devrait faire l'attention d'études particulières, étant responsable de l'approvisionnement en eau des ménages et d'une partie non négligeable de l'économie. Une défaillance sur cette branche aurait ainsi des

conséquences économiques et humaines graves. L'un des résultats marquants de ce chapitre est de montrer que les effets d'un choc de demande auraient des effets environnementaux plus larges (affectant plus de branches) que les effets économiques.

Le chapitre 4 est consacré à l'expérimentation du modèle ES étendu aux ressources en eau dans le cadre d'une prospective en 2050. Celle-ci montre l'état de l'économie de l'estuaire suivant la trajectoire bas carbone. L'économie serait alors bien plus orientée vers les services, en particulier le transport, le commerce et la santé humaine et les industries de fabrication de transport. Les raffineries joueraient toujours un rôle important en tant que fournisseur intermédiaire, mais elles ne seraient plus la branche majeure de l'économie régionale. L'apport important de ce chapitre est de montrer que les échanges interbranches en 2050 seraient bien plus nombreux et intenses qu'en 2014, ainsi les effets d'un choc de demande se propageraient bien plus facilement au sein de cette économie future qu'à l'heure actuelle.

De manière similaire, cette connectivité accrue entre les branches ferait que les effets de chocs de demande affecteraient alors plus durement les activités économiques, malgré une baisse significative des pressions environnementales. Nous montrons également, que plus orientée vers les services, l'économie régionale serait plus dépendante du réseau de distribution pour ses consommations directes. Une apparente contradiction apparaît cependant, la branche de distribution d'eau perdrait en importance au sein du réseau environnemental. Cependant, cela se justifie par des liens interbranches beaucoup plus intenses entre les branches des activités pour la santé humaine (consommatrice indirecte d'eau) et les industries chimiques et pharmaceutiques (fournisseuses indirectes d'eau). L'importance croissante de ces trois branches dans les échanges interbranches expliquerait alors ce résultat contre-intuitif.

Une perspective sur l'état de l'estuaire à long terme peut être intéressante pour améliorer la gestion de l'eau et identifier les potentiels enjeux économiques. Cependant, le TES 2050 suit uniquement la SNBC, qui propose une vision un peu trop « optimiste ». Ce scénario repose en effet sur une économie décarbonée, et orientée vers des activités moins émettrices de rejets. Au niveau régional il existe des signes encourageants à croire à ce scénario : l'implantation d'une filiale de production d'hydrogène, plusieurs projets de centrales éoliennes en mer, et d'une usine de fabrication de ces éoliennes. Cependant au niveau national et international, le contexte apparaît peu favorable à une transition écologique dans un futur proche. Il serait donc intéressant d'enrichir cette modélisation par des scénarios socio-économiques pessimistes. En déclinant ce modèle en plusieurs versions, et en testant les effets des différents scénarios du changement climatique, il serait possible d'apporter des prévisions plus larges sur l'évolution de l'état de l'estuaire.

Le cas précis de l'estuaire de la Seine a été choisi pour sa compatibilité entre le découpage physique et administratif. Ainsi, si dans de nombreux cas, la géographie physique a influencé le découpage administratif, ce n'est pas toujours le cas. D'autant plus qu'un fleuve, élément central d'un bassin fluvial peut servir de frontière entre deux pays, compliquant ainsi la compatibilité entre découpage administratif

et physique. L'amélioration de ce modèle passerait ainsi par le développement de méthode permettant de s'affranchir de cette limite. Une méthode de pondération en fonction de la surface d'un territoire administratif couverte par un bassin fluvial, la population présente sur ce territoire et du nombre d'entreprises (pour intégrer l'activité économique) pourrait être envisagée.

Une autre amélioration à apporter, cette fois au cas d'étude, serait la modélisation du bassin fluvial de la Seine en entier, intégrant la région parisienne, le bassin de l'Yonne, de la Marne et les bocages normands. Un tel modèle requerrait de modéliser les relations interrégionales entre les différents sous-bassins, ce qui pourrait être réalisé grâce à un modèle à gravité. Zhang and Anadon (2014) utilisent cette méthode pour étudier les flux d'eau à l'échelle de la Chine entière.

La littérature sur la programmation linéaire serait ainsi à mettre à contribution pour étudier l'optimisation du modèle ES étendu à l'environnement. La détermination d'une « trajectoire optimale » de l'économie régionale pourrait alors être comparée avec les différents scénarios socio-économiques. Ce travail complémentaire pourrait ainsi permettre d'estimer où se situe cette trajectoire optimale par rapport aux scénarios pessimistes et optimistes. Enfin, en supposant la construction de TES régionaux supplémentaires, le modèle ES pourrait enfin être complété par sa transformation en un modèle dynamique.

Enfin, la robustesse de notre modèle pourrait être vérifiée au moyen par exemple d'une méthode de Monté Carlo. Il existe une littérature intéressante sur l'application d'une telle méthode aux modèles ES, et des méthodes spécifiques liées à ces applications (Bonfiglio and Chelli, 2008; Bullard and Sebald, 1988). L'application de ces méthodes à notre modèle se serait traduite par la production d'un chapitre supplémentaire ou une partie importante, ce qui aurait été chronophage, et ne nous aurais pas permis de terminer cette thèse en quatre ans.

De plus, l'analyse de sensibilité menée dans le chapitre 4, et l'analyse structurelle montrent que notre modèle a une cohérence interne : ses relations interbranches, notamment principales sont cohérentes en proportion et avec la nature des activités des branches.

Une analyse de la robustesse viendrait sans doute apporter des corrections supplémentaires à notre modèle, mais sans que cela ne modifie la cohérence des relations interbranches.

Pour conclure, malgré les limites inhérentes à la modélisation ES, la méthode de modélisation proposée dans ce travail de thèse est ainsi utile pour les décideurs, responsables de la gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin fluvial et les chercheurs. Cet outil d'aide à la décision permet ainsi une meilleure prise en compte des aspects environnementaux dans les politiques économiques et rend possible l'anticipation des effets économiques liés au changement climatique.

Annexes

Annexe A : Spécialisation

| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AZ | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| BZ | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| CA | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,1 |
| CB | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 |
| CC | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| CD | 6,4 | 7,4 | 6,8 | 10,8 | 15,6 | 16,3 | 16,3 | 13,1 | 20,7 | 13,5 | 18,1 |
| CE | 2,3 | 2,1 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,3 | 2,5 | 2,2 | 2,1 |
| CF | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 1,9 | 2,1 | 2,2 |
| CG | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,9 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,0 |
| CH | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 |
| CI | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| CJ | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,3 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| CK | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| CL | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,2 |
| CM | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| DZ | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| EZ | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| FZ | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| GZ | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| HZ | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| IZ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |
| JA | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| JB | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 |
| JC | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| KZ | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| LZ | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| MA | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| MB | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| MC | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| NZ | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| OZ | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,1 |
| PZ | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| QA | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| QB | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,0 |
| RZ | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 |
| SZ | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,6 |
| TZ | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 3,5 | 4,2 | 4,4 | 4,7 | 5,5 | 4,6 | 5,4 | 4,5 |

Annexe B : Nomenclature NAF 38

| Code NAF 38 | Intitulé | Code NA 10 |
|-------------|--|------------|
| AZ | Agriculture, sylviculture et pêche | A |
| BZ | Industries extractives | BE |
| CA | Fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac | BE |
| CB | Fabrication de textiles, industries de l'habillement, industrie du cuir et de la chaussure | BE |
| CC | Travail du bois, industries du papier et imprimerie | BE |
| CD | Cokéfaction et raffinage | BE |
| CE | Industrie chimique | BE |
| CF | Industrie pharmaceutique | BE |
| CG | Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique ainsi que d'autres produits minéraux non métalliques | BE |
| CH | Métallurgie et fabrication de produits métalliques à l'exception des machines et des équipements | BE |
| CI | Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques | BE |
| CJ | Fabrication d'équipements électriques | BE |
| CK | Fabrication de machines et équipements n.c.a. | BE |
| CL | Fabrication de matériels de transport | BE |
| CM | Autres industries manufacturières ; réparation et installation de machines et d'équipements | BE |
| DZ | Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné | BE |
| EZ | Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution | BE |
| FZ | Construction | FZ |
| GZ | Commerce ; réparation d'automobiles et de motocycles | GI |
| HZ | Transports et entreposage | GI |
| IZ | Hébergement et restauration | GI |
| JA | Édition, audiovisuel et diffusion | JZ |
| JB | Télécommunications | JZ |
| JC | Activités informatiques et services d'information | JZ |
| KZ | Activités financières et d'assurance | KZ |
| LZ | Activités immobilières | LZ |
| MA | Activités juridiques, comptables, de gestion, d'architecture, d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques | MN |
| MB | Recherche-développement scientifique | MN |
| MC | Autres activités spécialisées, scientifiques et techniques | MN |
| NZ | Activités de services administratifs et de soutien | MN |
| OZ | Administration publique | OQ |
| PZ | Enseignement | OQ |
| QA | Activités pour la santé humaine | OQ |
| QB | Hébergement médico-social et social et action sociale sans hébergement | OQ |
| RZ | Arts, spectacles et activités récréatives | RU |
| SZ | Autres activités de services | RU |
| TZ | Activités des ménages en tant qu'employeurs | RU |

Annexe C : Taux de valeur ajoutée

| En % | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AZ | 36,6 | 32,2 | 33,2 | 34 | 27,5 | 21,4 | 27,1 | 23,5 | 23,7 | 23,1 | 20,8 |
| BZ | 70,6 | 58,3 | 66,3 | 58,1 | 55 | 56,8 | 52,2 | 39,5 | 44,1 | 47,1 | 36 |
| CA | 33,3 | 30,8 | 31,8 | 31,3 | 29 | 28,6 | 25,7 | 23,6 | 23,5 | 24,1 | 28,4 |
| CB | 39,7 | 27,7 | 38,8 | 38,2 | 40,1 | 45 | 32,1 | 24,5 | 32,8 | 34,2 | 27,8 |
| CC | 34 | 30,8 | 31,5 | 31,7 | 30,4 | 32,6 | 26,1 | 25 | 27 | 26 | 27,1 |
| CD | 3,8 | 4,8 | 3,7 | 7 | 3,1 | 2,3 | 3,8 | 2,3 | 3 | 3 | 2,9 |
| CE | 22,7 | 19,4 | 20,8 | 22 | 16,4 | 15,6 | 15,8 | 11,1 | 12,8 | 15,1 | 13,2 |
| CF | 56,7 | 45,6 | 63,9 | 64,2 | 59,9 | 58 | 51,8 | 47,3 | 49,7 | 45 | 42,4 |
| CG | 35,9 | 30,2 | 35,1 | 33 | 30,7 | 32,5 | 30,2 | 25,4 | 27,3 | 28,9 | 29,7 |
| CH | 30,6 | 28,5 | 29,1 | 30 | 29,2 | 29,3 | 28,6 | 25,3 | 26,2 | 26,5 | 26,3 |
| CI | 48,6 | 38,2 | 49,6 | 47,6 | 49,4 | 52,3 | 33,5 | 33,5 | 36,2 | 38 | 36,7 |
| CJ | 49,1 | 40,5 | 43,7 | 42,6 | 41,8 | 43,2 | 33,6 | 30,4 | 32,9 | 32,9 | 35,1 |
| CK | 42,5 | 32,9 | 39,9 | 38,7 | 39 | 40,8 | 35,2 | 32,7 | 33,8 | 33,9 | 33,7 |
| CL | 24,9 | 17,3 | 23,9 | 22,5 | 24,6 | 24,6 | 16 | 16,2 | 17,3 | 16,3 | 16,8 |
| CM | 44,8 | 39,2 | 44,2 | 42,6 | 41,4 | 39,7 | 38,2 | 34,7 | 36,4 | 37,1 | 37,9 |
| DZ | 32,3 | 30,6 | 28,6 | 21,2 | 19,1 | 20,4 | 21,3 | 16,4 | 17,1 | 17,9 | 23,7 |
| EZ | 30,4 | 27,3 | 27,7 | 26,9 | 28,1 | 26,9 | 29 | 24,8 | 24 | 24,3 | 24,7 |
| FZ | 33,6 | 31,1 | 32,6 | 33,3 | 31,4 | 31,5 | 30,3 | 25,8 | 26,5 | 27,6 | 26,4 |
| GZ | 36,4 | 32,7 | 35,5 | 33,8 | 34,4 | 38,7 | 41,9 | 37,5 | 37,7 | 39 | 30,1 |
| HZ | 37,8 | 33,4 | 36,4 | 32,6 | 29,7 | 28,4 | 28,5 | 24,7 | 23,8 | 25,9 | 21,4 |
| IZ | 59,8 | 50,8 | 59,5 | 60,9 | 59,8 | 54,7 | 54,9 | 54,1 | 51,5 | 51,7 | 55,4 |
| JA | 43,7 | 38,7 | 43 | 24,6 | 32,9 | 31,7 | 25,8 | 24,7 | 24,2 | 25,4 | 24,6 |
| JB | 53,3 | 46,6 | 51,6 | 33,2 | 45,6 | 47,9 | 39 | 32,4 | 30,5 | 35,7 | 31,5 |
| JC | 55,2 | 47,3 | 53,7 | 38,9 | 30,9 | 30,5 | 29,5 | 26,1 | 25,6 | 28,3 | 27 |
| KZ | 43 | 30,9 | 42 | 39,5 | 39,5 | 36,8 | 45,4 | 46,2 | 43 | 43,9 | 43,3 |
| LZ | 83,5 | 83,1 | 85,6 | 86,9 | 88,4 | 84,1 | 84,3 | 83,6 | 82,8 | 82,8 | 83,4 |
| MA | 39,6 | 38,5 | 41,3 | 43,8 | 41,7 | 36 | 37,3 | 31,2 | 32 | 32,9 | 31,3 |
| MB | 42 | 24,8 | 43,6 | 42,5 | 39,7 | 38,3 | 28,8 | 28,6 | 23,5 | 21,3 | 18,5 |
| MC | 35,8 | 30 | 36,1 | 37,7 | 35,3 | 37 | 32,8 | 29,2 | 27 | 29,2 | 25,8 |
| NZ | 54,1 | 50,4 | 54,5 | 54 | 53,4 | 51 | 51,5 | 47,9 | 47,7 | 50,4 | 49,9 |
| OZ | 84,3 | 73,2 | 85 | 85,6 | 82,9 | 80,9 | 85,8 | 82 | 81,2 | 81,6 | 76,5 |
| PZ | 90,5 | 87,2 | 90,2 | 90 | 89,5 | 88,6 | 90,5 | 88,2 | 86,2 | 86,3 | 85,5 |
| QA | 80,6 | 25,5 | 80,1 | 83,3 | 81,5 | 82,9 | 81,1 | 75,8 | 66,7 | 62,8 | 66,1 |
| QB | 76,8 | 66,2 | 80,1 | 81,1 | 79,5 | 77,3 | 83,1 | 80 | 80,2 | 79,6 | 78,5 |
| RZ | 49,5 | 21,2 | 46,3 | 46,9 | 40,3 | 53,9 | 54,9 | 50 | 27 | 29 | 47,4 |
| SZ | 65,7 | 56,6 | 65,1 | 66,4 | 63,6 | 61,2 | 59,7 | 58,5 | 55,4 | 54,7 | 53,4 |
| TZ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Adapté des TES régionalisés

Annexe D : Consommations d'eau

| En millions de m ³ | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AZ | 3,0 | 3,8 | 4,9 | 5,6 | 2,9 | 3,1 | 2,2 |
| BZ | 0,8 | 2,2 | 2,6 | 2,7 | 2,9 | 6,9 | 5,9 |
| CA | 6,3 | 6,8 | 6,5 | 5,9 | 6,0 | 5,7 | 5,7 |
| CB | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| CC | 50,2 | 38,5 | 33,9 | 28,4 | 26,1 | 25,8 | 27,4 |
| CD | 95,1 | 96,3 | 91,8 | 90,5 | 66,5 | 46,9 | 49,7 |
| CE | 27,1 | 39,9 | 32,7 | 34,2 | 36,0 | 35,3 | 35,8 |
| CF | 14,4 | 12,4 | 12,7 | 11,0 | 13,3 | 14,3 | 17,8 |
| CG | 4,0 | 3,7 | 3,2 | 3,1 | 2,7 | 3,6 | 3,8 |
| CH | 8,3 | 6,9 | 7,1 | 6,9 | 7,1 | 8,5 | 6,2 |
| CI | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| CJ | 1,8 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| CK | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| CL | 2,0 | 1,6 | 2,3 | 2,0 | 1,9 | 2,1 | 1,6 |
| CM | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| DZ | 1,9 | 2,3 | 2,4 | 1,8 | 2,0 | 1,7 | 1,8 |
| EZ | 238,5 | 237,6 | 240,4 | 236,7 | 232,6 | 234,1 | 229,2 |
| • Dont demande finale des ménages | 93,9 | 92,2 | 95,0 | 95,9 | 92,8 | 93,3 | 90,1 |
| FZ | 2,5 | 2,5 | 2,8 | 2,8 | 2,7 | 3,0 | 2,6 |
| GZ | 3,9 | 3,6 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 3,3 |
| HZ | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 |
| IZ | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| JA | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| JB | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| JC | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,9 |
| KZ | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 |
| LZ | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,7 |
| MA | 2,5 | 2,9 | 4,4 | 2,4 | 2,4 | 1,9 | 2,4 |
| MB | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| MC | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 |
| NZ | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2,0 |
| OZ | 2,1 | 2,0 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | 1,8 |
| PZ | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| QA | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| QB | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| RZ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| SZ | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Annexe E : Coefficients de consommation directs

| e_t^D Litre/euro | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| AZ | 1,1 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 0,7 | 0,9 | 0,6 |
| BZ | 1,1 | 2,7 | 4,5 | 3,8 | 4,1 | 8,1 | 6,8 |
| CA | 1,4 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,1 |
| CB | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| CC | 20,9 | 17,7 | 11,7 | 9,4 | 9,2 | 8,8 | 8,8 |
| CD | 3,5 | 3,4 | 3,9 | 2,4 | 1,8 | 1,5 | 1,0 |
| CE | 4,1 | 6,1 | 3,7 | 3,1 | 3,4 | 3,8 | 3,7 |
| CF | 12,9 | 11,1 | 7,9 | 6,6 | 8,0 | 6,7 | 5,7 |
| CG | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| CH | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 0,9 |
| CI | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| CJ | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| CK | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| CL | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| CM | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| DZ | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| EZ | 40,8 | 42,4 | 40,5 | 41,8 | 33,3 | 38,6 | 33,0 |
| FZ | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| GZ | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| HZ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| IZ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| JA | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| JB | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| JC | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,6 |
| KZ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| LZ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| MA | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |
| MB | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| MC | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| NZ | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| OZ | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| PZ | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| QA | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| QB | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| RZ | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| SZ | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,6 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Source : Calculé par l'auteur à partir des TES régionalisé et des données de l'AESN

Annexe F : Création de valeur ajoutée par litre consommé

| Litre/euro | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AZ | 4,0 | 7,2 | 5,9 | 6,4 | 2,9 | 3,8 | 2,7 |
| BZ | 16,6 | 42,9 | 52,9 | 56,3 | 57,7 | 138,7 | 115,2 |
| CA | 5,8 | 6,3 | 5,9 | 5,6 | 5,6 | 5,2 | 4,8 |
| CB | 2,0 | 1,5 | 2,2 | 1,5 | 1,3 | 1,0 | 0,8 |
| CC | 93,8 | 74,7 | 61,2 | 51,9 | 46,9 | 46,5 | 50,8 |
| CD | 131,9 | 180,4 | 137,2 | 151,1 | 78,8 | 70,1 | 59,8 |
| CE | 33,8 | 52,0 | 36,1 | 40,9 | 40,6 | 39,0 | 39,4 |
| CF | 26,7 | 23,9 | 20,9 | 21,5 | 23,1 | 23,5 | 29,2 |
| CG | 3,5 | 3,3 | 2,5 | 2,6 | 2,1 | 2,8 | 2,9 |
| CH | 7,8 | 6,9 | 6,0 | 6,6 | 6,1 | 7,2 | 5,2 |
| CI | 0,3 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| CJ | 4,6 | 4,2 | 4,6 | 4,9 | 4,1 | 4,1 | 3,6 |
| CK | 0,4 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 0,7 |
| CL | 2,8 | 2,3 | 3,0 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,3 |
| CM | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| DZ | 3,6 | 4,2 | 3,5 | 3,2 | 3,1 | 2,4 | 2,4 |
| EZ | 438,4 | 443,4 | 385,5 | 431,0 | 381,4 | 375,3 | 341,6 |
| FZ | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 |
| GZ | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| HZ | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| IZ | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| JA | 2,4 | 1,0 | 1,2 | 0,9 | 1,0 | 1,4 | 1,9 |
| JB | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 1,0 | 0,7 | 0,9 |
| JC | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 3,1 |
| KZ | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| LZ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| MA | 1,8 | 2,3 | 3,5 | 2,0 | 1,9 | 1,5 | 2,0 |
| MB | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,9 |
| MC | 3,4 | 3,2 | 3,7 | 3,4 | 3,5 | 3,3 | 3,6 |
| NZ | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| OZ | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| PZ | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| QA | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| QB | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| RZ | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,5 |
| SZ | 1,2 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,4 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Annexe G : Multiplicateurs totaux et complétés

| <i>mcet_i</i> | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|
| AZ | 3,8 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 5,3 | 4,3 | 6,1 |
| BZ | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| CA | 2,3 | 2,3 | 2,8 | 2,8 | 2,6 | 2,9 | 2,5 |
| CB | 2,2 | 2,3 | 2,8 | 3,2 | 3,4 | 4,2 | 3,7 |
| CC | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,4 |
| CD | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 3,6 | 3,6 |
| CE | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,6 |
| CF | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,1 |
| CG | 3,5 | 3,7 | 5,0 | 4,9 | 5,4 | 4,5 | 3,8 |
| CH | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | 3,1 | 3,6 |
| CI | 5,6 | 7,6 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 7,8 | 5,5 |
| CJ | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,9 |
| CK | 8,1 | 8,7 | 6,6 | 8,1 | 7,9 | 7,4 | 6,3 |
| CL | 2,5 | 2,7 | 3,7 | 3,2 | 3,3 | 3,9 | 3,0 |
| CM | 8,9 | 9,9 | 10,3 | 8,1 | 8,1 | 11,5 | 12,2 |
| DZ | 4,1 | 5,2 | 6,4 | 7,1 | 7,0 | 12,5 | 8,6 |
| EZ | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 |
| FZ | 9,9 | 10,5 | 9,6 | 9,6 | 9,5 | 9,3 | 9,9 |
| GZ | 7,4 | 7,3 | 7,7 | 8,5 | 8,4 | 8,4 | 10,8 |
| HZ | 22,8 | 32,5 | 49,4 | 51,4 | 45,1 | 38,3 | 44,8 |
| IZ | 7,2 | 7,0 | 8,3 | 8,1 | 8,5 | 12,6 | 9,1 |
| JA | 7,4 | 15,7 | 15,1 | 16,5 | 13,8 | 9,1 | 7,9 |
| JB | 11,1 | 14,9 | 11,9 | 14,8 | 6,5 | 7,1 | 7,0 |
| JC | 7,4 | 7,6 | 7,9 | 7,9 | 7,1 | 4,1 | 3,9 |
| KZ | 11,5 | 12,5 | 11,3 | 10,6 | 10,0 | 11,0 | 13,6 |
| LZ | 3,4 | 3,9 | 3,8 | 4,2 | 3,7 | 9,7 | 4,4 |
| MA | 3,9 | 4,0 | 3,0 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,9 |
| MB | 5,3 | 8,0 | 7,9 | 11,7 | 8,5 | 19,4 | 4,1 |
| MC | 3,5 | 3,7 | 4,1 | 4,3 | 4,0 | 4,1 | 4,7 |
| NZ | 5,1 | 5,0 | 5,2 | 5,1 | 4,9 | 4,9 | 5,4 |
| OZ | 28,2 | 29,6 | 28,2 | 29,0 | 24,0 | 10,2 | 16,4 |
| PZ | 77,0 | 82,2 | 65,1 | 70,9 | 66,6 | 24,3 | 55,1 |
| QA | 56,7 | 57,9 | 56,4 | 107,2 | 59,3 | 25,4 | 50,8 |
| QB | 4,5 | 4,8 | 4,6 | 5,4 | 4,8 | 4,7 | 6,6 |
| RZ | 14,8 | 21,5 | 7,2 | 31,6 | 8,4 | 8,1 | 23,6 |
| SZ | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 2,3 | 2,3 | 2,7 | 2,5 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

| <i>mcec_i</i> | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| AZ | 37,9 | 27,6 | 17,0 | 15,1 | 52,2 | 35,1 | 64,0 |
| BZ | 37,9 | 6,7 | 3,0 | 2,7 | 2,3 | 1,4 | 1,3 |
| CA | 21,4 | 19,7 | 22,0 | 22,8 | 18,3 | 21,2 | 15,2 |
| CB | 123,0 | 183,0 | 161,6 | 500,8 | 278,1 | 505,0 | 836,1 |
| CC | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,6 |
| CD | 3,2 | 4,4 | 3,3 | 4,6 | 6,1 | 8,9 | 11,0 |
| CE | 3,0 | 2,3 | 3,1 | 3,2 | 2,4 | 2,3 | 2,1 |
| CF | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,4 | 1,3 | 1,7 | 1,3 |
| CG | 53,6 | 58,3 | 89,2 | 104,5 | 102,3 | 73,3 | 47,9 |
| CH | 30,1 | 39,6 | 41,6 | 41,4 | 32,3 | 38,3 | 49,7 |
| CI | 2714,1 | 5441,2 | 1336,4 | 2721,3 | 1380,7 | 2443,5 | 2135,4 |
| CJ | 14,1 | 16,7 | 22,5 | 23,0 | 20,0 | 34,6 | 24,5 |
| CK | 2191,9 | 2517,2 | 952,6 | 1959,3 | 1302,4 | 1054,5 | 758,8 |
| CL | 95,7 | 136,7 | 183,4 | 187,1 | 125,7 | 178,6 | 155,2 |
| CM | 1662,0 | 1818,3 | 1483,5 | 920,4 | 767,6 | 1391,1 | 1817,9 |
| DZ | 76,8 | 82,4 | 75,3 | 105,0 | 76,0 | 125,4 | 80,0 |
| EZ | 1,3 | 1,4 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,5 |
| FZ | 797,1 | 805,3 | 524,7 | 539,8 | 451,8 | 463,3 | 465,4 |
| GZ | 388,8 | 386,4 | 361,0 | 391,5 | 339,0 | 334,0 | 314,5 |
| HZ | 2106,7 | 4936,8 | 5986,7 | 6842,8 | 4729,0 | 2987,5 | 3198,2 |
| IZ | 911,6 | 716,2 | 780,2 | 774,2 | 713,8 | 1190,6 | 652,7 |
| JA | 387,5 | 1905,2 | 1093,7 | 1381,7 | 981,5 | 512,9 | 278,1 |
| JB | 3353,4 | 6019,1 | 1807,0 | 2253,1 | 370,7 | 603,9 | 374,6 |
| JC | 607,8 | 675,2 | 420,1 | 490,2 | 340,1 | 195,2 | 77,3 |
| KZ | 3143,8 | 2975,8 | 2327,4 | 2166,3 | 1754,0 | 2503,8 | 1685,2 |
| LZ | 570,1 | 669,1 | 524,2 | 571,2 | 439,2 | 1374,9 | 579,0 |
| MA | 144,0 | 133,3 | 44,2 | 158,0 | 134,2 | 180,8 | 124,0 |
| MB | 1014,2 | 2294,3 | 1729,9 | 2770,0 | 1650,3 | 4564,7 | 305,9 |
| MC | 86,6 | 100,9 | 85,9 | 100,1 | 80,0 | 92,6 | 87,5 |
| NZ | 353,5 | 338,6 | 273,5 | 272,5 | 226,7 | 229,7 | 246,1 |
| OZ | 3839,1 | 3532,3 | 3892,3 | 3078,9 | 3151,7 | 656,4 | 1074,3 |
| PZ | 27182,2 | 26544,2 | 17436,9 | 13354,6 | 19825,8 | 3083,8 | 9266,0 |
| QA | 119611,4 | 111148,7 | 120277,0 | 114220,6 | 120588,5 | 27080,4 | 32644,7 |
| QB | 399,5 | 402,0 | 414,4 | 412,7 | 399,0 | 390,1 | 445,0 |
| RZ | 18976,5 | 22285,0 | 8528,9 | 7640,6 | 7731,2 | 2855,9 | 2697,3 |
| SZ | 49,7 | 45,7 | 43,7 | 33,1 | 29,5 | 50,2 | 26,9 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Annexe H : Mesures de centralité 2014

Réseau économique

| | Centralité | Degré | Degré entrant | Degré sortant |
|----|------------|-------|------------------|------------------|
| AZ | 42,1 | 5 | 1 | 5 |
| BZ | 34,1 | 7 | 7 | 0 |
| CA | 8,6 | 2 | 2 | 1 |
| CB | 0,0 | 0 | 0 | 0 |
| CC | 0,0 | 1 | 1 | 0 |
| CD | 202,2 | 12 | 11 | 1 |
| CE | 62,9 | 5 | 3 | 2 |
| CF | 8,0 | 3 | 3 | 0 |
| CG | 35,9 | 2 | 1 | 1 |
| CH | 39,7 | 4 | 4 | 0 |
| CI | 0,0 | 0 | 0 | 0 |
| CJ | 32,0 | 2 | 2 | 0 |
| CK | 39,7 | 4 | 3 | 1 |
| CL | 0,0 | 1 | 1 | 0 |
| CM | 0,0 | 2 | 0 | 2 |
| DZ | 0,0 | 2 | 0 | 2 |
| EZ | 122,9 | 6 | 0 | 6 |
| FZ | 68,4 | 4 | 0 | 4 |
| GZ | 14,8 | 6 | 3 | 4 |
| HZ | 3,2 | 5 | 3 | 3 |
| IZ | 14,0 | 3 | 0 | 3 |
| JA | 32,0 | 2 | 0 | 2 |
| JB | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| JC | 2,9 | 4 | 0 | 4 |
| KZ | 38,5 | 3 | 1 | 2 |
| LZ | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| MA | 2,1 | 3 | 1 | 2 |
| MB | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| MC | 27,2 | 4 | 0 | 4 |
| NZ | 69,7 | 7 | 7 | 0 |
| OZ | 59,7 | 4 | 0 | 4 |
| PZ | 77,0 | 6 | 0 | 6 |
| QA | 106,6 | 8 | 7 | 1 |
| QB | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| RZ | 39,9 | 4 | 4 | 0 |
| SZ | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| TZ | 0,0 | 0 | 0 | 0 |

Réseau des échanges d'eau

| | Centralité | Degré | Degré entrant | Degré sortant |
|----|------------|-------|---------------|---------------|
| AZ | 0,5 | 4,0 | 4,0 | 0,0 |
| BZ | 9,4 | 11,0 | 11,0 | 0,0 |
| CA | 0,5 | 4,0 | 3,0 | 1,0 |
| CB | 0,3 | 3,0 | 2,0 | 1,0 |
| CC | 17,4 | 12,0 | 12,0 | 0,0 |
| CD | 11,9 | 11,0 | 11,0 | 0,0 |
| CE | 13,1 | 11,0 | 11,0 | 0,0 |
| CF | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 |
| CG | 7,9 | 10,0 | 10,0 | 0,0 |
| CH | 9,9 | 9,0 | 9,0 | 0,0 |
| CI | 1,4 | 5,0 | 5,0 | 0,0 |
| CJ | 5,3 | 8,0 | 8,0 | 0,0 |
| CK | 9,4 | 10,0 | 10,0 | 0,0 |
| CL | 3,7 | 6,0 | 6,0 | 0,0 |
| CM | 15,1 | 14,0 | 1,0 | 13,0 |
| DZ | 5,5 | 10,0 | 9,0 | 1,0 |
| EZ | 10,7 | 11,0 | 11,0 | 0,0 |
| FZ | 1,7 | 6,0 | 1,0 | 5,0 |
| GZ | 32,3 | 20,0 | 2,0 | 18,0 |
| HZ | 11,3 | 14,0 | 4,0 | 10,0 |
| IZ | 113,6 | 25,0 | 0,0 | 25,0 |
| JA | 1,2 | 6,0 | 3,0 | 3,0 |
| JB | 0,2 | 6,0 | 6,0 | 0,0 |
| JC | 0,1 | 5,0 | 5,0 | 0,0 |
| KZ | 4,9 | 10,0 | 5,0 | 5,0 |
| LZ | 24,1 | 16,0 | 2,0 | 14,0 |
| MA | 25,9 | 19,0 | 2,0 | 17,0 |
| MB | 9,7 | 11,0 | 0,0 | 11,0 |
| MC | 0,8 | 6,0 | 3,0 | 3,0 |
| NZ | 14,2 | 12,0 | 12,0 | 0,0 |
| OZ | 2,2 | 6,0 | 0,0 | 6,0 |
| PZ | 30,7 | 16,0 | 1,0 | 15,0 |
| QA | 81,1 | 20,0 | 0,0 | 20,0 |
| QB | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| RZ | 5,2 | 7,0 | 2,0 | 5,0 |
| SZ | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 0,0 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Annexe I : Projection du TES national

La construction du TES régional pour 2050 se fait par une régionalisation du TES 2050 national projeté à partir du cadre macroéconomique présenté dans la sous-section suivante. Il est construit en utilisant les principales relations entre les grandeurs qui le constituent.

Le TES peut être considéré comme composé de deux parties : le tableau des emplois intermédiaires associé au compte de résultat, et le tableau de la demande finale :

L'ensemble TEI/compte de résultat contient la valeur ajoutée, la production par branche et les consommations intermédiaires.

Dans le bloc de la demande finale se trouvent la consommation des ménages, la FBC, les exportations et les ressources en produits.

Cette division en deux ensembles permet d'introduire les deux grandeurs clefs dont découle le calcul des autres grandeurs du TES : ce sont la valeur ajoutée et la demande finale. Ces dernières peuvent être calculées à partir de données exogènes au modèle, c'est-à-dire à partir des prévisions institutionnelles de croissance pour la VA pour le premier bloc et démographiques pour la demande finale pour le second. Tous les calculs sont effectués à partir des données exprimées en volume.

Étape 1 : construction du premier bloc

L'objectif central de cette étape est de retrouver le Tableau des emplois intermédiaires (TEI), pièce centrale du modèle ES. Pour cela, la méthode RAS présentée par (Stone, 1961) est utilisée. Pour pouvoir mobiliser cette dernière, il faut cependant disposer des sommes en ligne et en colonne du TEI ; c'est-à-dire des consommations intermédiaires et des emplois intermédiaires nationaux.

Valeur ajoutée

La première grandeur clef permettant la construction de ce bloc est la valeur ajoutée. La somme de la valeur ajoutée totale et des droits de douane constitue le PIB. Dans le chapitre 1, il est montré que ces droits de douane constituent une proportion constante (10 %) du PIB en volume. En supposant que cette proportion reste constante sur la période 2014-2050, la valeur ajoutée en volume représente donc la proportion inverse du PIB (90 %) sur cette même période.

Cette hypothèse de conservation de proportion permet alors de considérer que la valeur ajoutée totale nationale en volume suit les mêmes évolutions que les prévisions de croissance du PIB avancées par l'Ageing report 2018.

À partir des données fournies par l'ADEME : la valeur ajoutée totale en volume 2010 et les prévisions de croissance du PIB de l'Ageing report 2018, la VA nationale totale en volume pour 2050 devrait donc suivre l'évolution déterminée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Évolution de la Valeur ajoutée en volume

| | 2010 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2050 |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Taux de croissance appliqué | | 1,7 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | 1,9 |
| VA volume | 1634,4 | 2129,3 | 2305,2 | 2534,7 | 2804,4 | 3139,7 |

Source : Ageing Report 2018 et calculs de l'auteur

Ainsi en 2050, la valeur ajoutée française devrait être de 3140 milliards d'euros contre 1634 en 2010, soit une hausse de 92 % en 40 ans. Cette projection de la valeur ajoutée intègre ainsi les prévisions de croissances institutionnelles.

Structure de la valeur ajoutée :

La détermination de la structure sectorielle est cruciale pour intégrer cette projection de valeur ajoutée totale dans un TES. L'ADEME a fourni des TES prévisionnels pour les années 2010-2025-2030 et 2035. Ces derniers sont largement exploités dans ce chapitre pour déterminer les structures sectorielles des grandeurs principales du TES 2050.

Cependant, ces données sont organisées suivant la nomenclature NAF 118, issue de la NAF rev 1, tandis que notre TES est organisé en NAF 38, issu de la NAF rev2.

Il est donc impératif d'établir la correspondance entre ces deux nomenclatures pour pouvoir exploiter les TES de l'ADEME dans notre TES.

Cette correspondance entre NAF 118 et NAF 38 est faite en reprenant le principe de la méthode des coefficients sectoriels habituellement utilisée par Eurostat et préconisée pour mener à bien des opérations de désagrégation.

L'hypothèse qui sous-tend cette méthode est que les branches contenues dans un même secteur sont suffisamment proches pour que l'on suppose qu'elles suivent des évolutions similaires. Ainsi les variations des 24 secteurs de la base de données de l'ADEME (NAF 118) sont appliquées aux branches (NAF 38) correspondantes de notre TES. Si un secteur (NAF118) couvre plusieurs branches, alors la variation du secteur NAF 118 est appliquée à toutes les branches en NAF 38 qui le compose.

L'année de référence utilisée par l'ADEME est l'année 2010, c'est donc la répartition régionale de cette année qui sera utilisée comme année de référence pour évaluer la structure de la valeur ajoutée en 2050.

Le tableau 2 donne la clef de conversion entre nomenclatures. Cette correspondance permet ainsi de combiner les deux types de données.

Tableau 2 : Correspondance entre secteurs NAF 118 et branches NAF 38

| Secteurs ADEME en NAF 118 | Branches NAF 38 |
|--|---|
| Agriculture, forestry and fishing | AZ |
| Manufacture of food products and beverages | CA |
| Motor vehicles, trailers and semi-trailers | CL |
| Glass and glass products | CG |
| Ceramic products and building materials | CG |
| Articles of paper and paperboard | CC |
| Inorganic basic chemicals | CE |
| Organic basic chemicals | CE |
| Plastics products | CG |
| Basic iron and steel and of ferro-alloys | CH |
| Non-ferrous metals | CH |
| Other industrial products | CF-CK-CM-CI-BZ-EZ-CJ |
| Buildings and Civil engineering | FZ |
| Rail transport (Passenger and Freight) | HZ |
| Passenger transport by road | HZ |
| Freight transport by road and transport via pipeline | HZ |
| Water transport | HZ |
| Air transport | HZ |
| Business services | GZ-KZ-LA-NZ-JA-JB-JC-MB-IZ- RZ-SZ-PZ-MA-MC |
| Public services | MB-QA-QB-SZ-OZ-PZ |
| Coal and lignite | BZ |
| Oil | CD |
| Electricity | DZ |
| Natural gas | DZ |

Source : adapté des tables de correspondances entre NAF rév1 et NAF rev2 fournies par l'INSEE

Cette table permet ainsi d'associer chaque branche du TES à la nomenclature NAF 118. Des précisions sont à apporter au sujet de ces correspondances.

La distinction est faite entre service public et services marchands dans la nomenclature NAF 118. Dans la NAF 38, elle est faite normalement au niveau intrabranche. Cette différence de nomenclature conduit certaines branches NAF 38 à être présentes à la fois en tant que service public et service marchand, comme, les branches éducation (PZ), recherche (MB) dont les activités peuvent être en effet, privées ou publiques. Pour faire face à cette difficulté, la règle de décision suivante a été appliquée :

Lorsque la branche est principalement tournée vers des activités marchandes, la variation des services marchands est appliquée. Cette dernière concerne ainsi le commerce, les activités financières, la

communication, les services de conseil, l'immobilier, et le tourisme : GZ, IZ, KZ, JA, JB, JC, LZ, MA, MC, NZ, RZ.

Lorsque la branche est principalement orientée vers des activités non marchandes, la variation des services publics est appliquée. Les branches concernées sont les activités pour la santé humaine et les administrations publiques QA, QB, et OZ.

Lorsque les branches peuvent être à la fois publiques et privées, le taux de variation des services en général (services marchands plus services non marchands) est appliqué. Les branches concernées par cette variation sont l'éducation et la recherche : PZ et MB.

Un autre point doit être pris en compte : certaines branches recouvrent plusieurs secteurs de la NAF 118. Dans le cas de ces branches, le taux de variation appliqué est la moyenne des variations des secteurs qu'elles recouvrent. Les branches dans ce cas sont CG : qui recouvre la production de verre, de céramiques, de plastiques et de matériaux de construction, la branche CE : chimie organique et chimie inorganique, CH : métallurgie de métaux ferreux et production de métaux non ferreux, et la branche CH : transport de passagers, transport routier, transport par air, par bateau et par pipeline.

Ce passage entre nomenclatures se traduit, dans la notation ainsi : lorsqu'il est fait référence à une grandeur exprimée dans la nomenclature NA38 utilisée tout au long de ce travail, le terme i désignant une branche reste inchangé. Lorsqu'une grandeur est exprimée dans le cadre de la nomenclature NAF 118, le terme $i(n118)$ est utilisé pour faire référence à une branche de cette nomenclature.

Les TES de l'ADEME fournissent ce découpage structurel pour les années 2010-2025-2030-2035. S'appuyant sur ces données, il est supposé que la structure entre 2035 et 2050 évolue d'une manière similaire à celle projetée sur la période 2030-2035 (la plus proche de l'année cible).

La structure de la valeur ajoutée en 2050 est donc projetée ainsi :

Le taux de variation annuel moyen par branche entre 2030 et 2035 de la valeur ajoutée par branche (en proportion de la VA totale) est calculé. Ce taux est ensuite appliqué à l'année 2035 sur une période de 16 ans permettant d'avoir ainsi une projection de la structure en proportion pour 2050 correspondant à cette évolution moyenne :

La variation entre la structure en 2050 et 2010 est ensuite calculée par branche (en N118) fournissant ainsi la variation de qui sera appliquée alors au TES en N38 de 2010 (année commune) suivant la clef de correspondance (tableau 3).

Tableau 3 : Structure de la valeur ajoutée

| Branche NA 38 | Structure 2010 | Branche NAF 118 correspondante | Variation 2050/2010 | Structure 2050 | Structure ajustée |
|---------------|----------------|--|---------------------|----------------|-------------------|
| AZ | 1,8 % | Agriculture, forestry and fishing | -18,9% | 1,5% | 1,3% |
| BZ | 0,1% | Mining of coal and lignite | 0,0% | 0,1% | 0,1% |
| CA | 2,2% | Manufacture of food products and beverages | 9,1% | 2,4% | 2,1% |
| CB | 0,3% | Other industrial products | -1,4% | 0,3% | 0,2% |
| CC | 0,6% | Articles of paper and paperboard | -7,4% | 0,6% | 0,5% |
| CD | 0,1% | Oil | -93,1% | 0,0% | 0,0% |
| CE | 0,8 % | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | 22,2% | 1,0% | 0,8% |
| CF | 0,7% | Other industrial products | -1,4% | 0,7% | 0,6% |
| CG | 1,0% | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | 35,0% | 1,3% | 1,1% |
| CH | 1,4% | Basic iron and steel and of ferro-alloys+Non-ferrous metals | -25,8% | 1,1% | 0,9% |
| CI | 0,6 % | Other industrial products | -1,4% | 0,6% | 0,5% |
| CJ | 0,4% | Other industrial products | -1,4% | 0,4% | 0,3% |
| CK | 0,6% | Other industrial products | -1,4% | 0,6% | 0,5% |
| CL | 1,2% | Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 47,6% | 1,8% | 1,6% |
| CM | 1,5% | Other industrial products | -1,4% | 1,5% | 1,3% |
| DZ | 1,4% | Electricity+Natural gas | -20,4% | 1,1% | 1,0% |
| EZ | 0,7 % | Other industrial products | -1,4% | 0,7% | 0,6% |
| FZ | 6,1% | Buildings and Civil engineering | -7,1% | 5,6% | 4,9% |
| GZ | 10,4% | Business services | 5,3% | 11,0% | 9,6% |
| HZ | 4,8% | Transports | 282,2 % | 18,2 % | 15,9 % |
| IZ | 2,7 % | Business services | 5,3% | 2,9% | 2,5% |
| JA | 1,2% | Business services | 5,3% | 1,3% | 1,1% |
| JB | 1,7% | Business services | 5,3% | 1,7% | 1,5% |
| JC | 2,3% | Business services | 5,3% | 2,4% | 2,1% |
| KZ | 4,5 % | Business services | 5,3% | 4,8% | 4,2% |
| LZ | 12,8 % | Business services | 5,3% | 13,5% | 11,8% |
| MA | 4,8% | Business services | 5,3% | 5,1% | 4,4% |
| MB | 1,7% | Services | 2,3% | 1,7% | 1,5% |
| MC | 0,8% | Business services | 5,3% | 0,8% | 0,7% |
| NZ | 5,4% | Business services | 5,3% | 5,6% | 4,9% |
| OZ | 8,2% | Public services | -6,8% | 7,6% | 6,6% |
| PZ | 5,4% | Services | 2,3% | 5,6% | 4,8% |
| QA | 5,8% | Public services | -6,8% | 5,4% | 4,7% |
| QB | 3,2% | Public services | -6,8% | 2,9% | 2,6% |
| RZ | 1,3% | Business services | 5,3% | 1,4% | 1,2% |
| SZ | 1,5 % | Services | 2,3 % | 1,6 % | 1,4 % |
| TZ | 0,2 % | Business services | 5,3 % | 0,2 % | 0,2 % |
| Total | 100,0 % | | | 114,7 % | 100,0 % |

Source : TES ADEME ; TES 2010 INSEE comptes nationaux ; calculs de l'auteur

L'application de ces variations à la structure de la valeur ajoutée de 2010 permet ainsi d'obtenir une projection de la structure de 2050 en NA 38 intégrant les projections de l'ADEME. La structure initialement obtenue doit être ajustée, du fait de la correspondance imparfaite des nomenclatures qui nécessite de passer par l'utilisation de variations moyennes. Cela aboutit alors à une structure en proportion supérieure à 100 %. La structure ajustée correspond donc au passage en base 100 de la structure obtenue. Cette méthode de répartition structurelle est ensuite réutilisée pour toutes les grandeurs nécessitant un passage de la NAF 118 vers la NAF 38.

Cette structure est alors utilisée pour répartir la valeur ajoutée totale obtenue grâce aux prévisions de croissance de l'Ageing report. Les valeurs ajoutées nationales par branche en 2050 sont rassemblées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Valeurs ajoutées nationales 2050

| Branche | VA 2050 | VA 2010 (TES INSEE) | Variation 2050/2010 |
|---------|----------|------------------------|---------------------|
| AZ | 39591,9 | 32092,2 | 23,4 % |
| BZ | 3493,2 | 2297,4 | 52,0 % |
| CA | 64807,8 | 39079,3 | 65,8 % |
| CB | 6953,3 | 4636,4 | 50,0 % |
| CC | 15522,0 | 11023,1 | 40,8 % |
| CD | 167,4 | 1593,1 | -89,5 % |
| CE | 25972,1 | 13980,5 | 85,8 % |
| CF | 17794,3 | 11865,1 | 50,0 % |
| CG | 35806,8 | 17447,7 | 105,2 % |
| CH | 28720,4 | 25462,1 | 12,8 % |
| CI | 16817,4 | 11213,7 | 50,0 % |
| CJ | 9739,4 | 6494,2 | 50,0 % |
| CK | 16865,5 | 11245,8 | 50,0 % |
| CL | 48688,1 | 21693,4 | 124,4 % |
| CM | 40320,1 | 26885,2 | 50,0 % |
| DZ | 30897,1 | 25524,6 | 21,0% |
| EZ | 20003,9 | 13338,5 | 50,0 % |
| FZ | 154292,6 | 109246,9 | 41,2 % |
| GZ | 299791,9 | 187338,2 | 60,0 % |
| HZ | 497981,8 | 85686,1 | 481,2 % |
| IZ | 78999,5 | 49366,3 | 60,0 % |
| JA | 35143,2 | 21960,8 | 60,0 % |
| JB | 47586,2 | 29736,3 | 60,0 % |
| JC | 66125,2 | 41321,2 | 60,0% |
| KZ | 130895,8 | 81796,0 | 60,0 % |
| LZ | 368835,2 | 230482,9 | 60,0 % |
| MA | 138666,1 | 86651,6 | 60,0 % |
| MB | 46944,4 | 30179,9 | 55,5 % |
| MC | 23129,2 | 14453,3 | 60,0 % |
| NZ | 154309,3 | 96427,0 | 60,0% |
| OZ | 208563,1 | 147173,0 | 41,7 % |
| PZ | 151980,4 | 97706,0 | 55,5 % |
| QA | 147578,3 | 104139,0 | 41,7 % |
| QB | 80328,4 | 56683,9 | 41,7% |
| RZ | 37629,1 | 23514,2 | 60,0 % |
| SZ | 42398,0 | 27257,0 | 55,5 % |
| TZ | 6385,1 | 3990,0 | 60,0 % |

Sources : Calculé par l'auteur à partir des données de l'ADEME

Les valeurs ajoutées nationales $VA_i(2050)$ ainsi calculées sont alors utilisées pour déterminer la production nationale des branches (lecture en colonne du TES).

Production des branches :

La production des branches représente l'activité totale des branches dans l'économie, c'est-à-dire la somme entre les consommations intermédiaires et la valeur ajoutée. Cependant, les premières sont encore inconnues.

Il est donc proposé dans cette section d'utiliser le taux de valeur ajoutée par branche pour déterminer la production, puis les consommations intermédiaires. L'obtention de ces dernières permettra alors de procéder à la méthode d'ajustement RAS qui servira à retrouver le TEI.

Le taux de valeur ajoutée en 2050 est projeté de manière similaire à l'étape précédente, il est supposé que le taux de valeur ajoutée évolue de manière uniforme entre 2030 et 2050. Ainsi, la variation annuelle moyenne peut-être déterminée à partir des taux de valeur ajoutée de 2030 et 2035.

Ces variations sont ensuite appliquées aux taux de valeur ajoutée de 2010 mesurés à partir du TES national 2010 fourni par l'INSEE, suivant la clef de passage de N118 à NA38, de la même façon qu'avec la valeur ajoutée (tableau 5).

Tableau 5 : Productions 2050

| NAF 38 | Taux de VA 2010 | Correspondance NAF 118 | Variation appliquée | Taux de VA 2050 | Production 2050 |
|--------|-----------------|--|---------------------|-----------------|-----------------|
| AZ | 40,7 % | Agriculture, forestry and fishing | 12,0% | 45,6% | 86785,5 |
| BZ | 42,7% | Mining of coal and lignite | 0,0% | 42,7% | 8175,7 |
| CA | 27,7% | Manufacture of food products and beverages | 9,2% | 30,2% | 214460,4 |
| CB | 29,3% | Other industrial products | 6,0% | 31,0% | 22404,1 |
| CC | 29,3% | Articles of paper and paperboard | 12,7% | 33,0% | 47055,2 |
| CD | 3,4% | Oil | -52,4% | 1,6% | 10307,2 |
| CE | 23,1 % | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | 98,9% | 45,8% | 56660 |
| CF | 46,4% | Other industrial products | 6,0% | 49,2% | 36184,5 |
| CG | 33,7% | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | 4,4% | 35,2% | 101716,8 |
| CH | 30,4% | Basic iron and steel and of ferro-alloys+Non-ferrous metals | 5,8% | 32,2% | 89294,9 |
| CI | 43,4 % | Other industrial products | 6,0% | 46,1% | 36516,9 |
| CJ | 30,5% | Other industrial products | 6,0% | 32,4% | 30101,2 |
| CK | 33,6% | Other industrial products | 6,0% | 35,6% | 47375,3 |
| CL | 21,0% | Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 30,0% | 27,4% | 178011,8 |
| CM | 42,6% | Other industrial products | 6,0% | 45,2% | 89268,3 |
| DZ | 25,0% | Electricity+Natural gas | 170,6% | 67,6% | 45726,9 |
| EZ | 36,8 % | Other industrial products | 6,0% | 39,0% | 51256,4 |
| FZ | 41,2% | Buildings and Civil engineering | -9,7% | 37,2% | 414327,1 |
| GZ | 51,3% | Business services | 2,2% | 52,4% | 572425,3 |
| HZ | 48,8% | Transports | 8,0 % | 52,7 % | 944438,1 |
| IZ | 54,2 % | Business services | 2,2% | 55,4% | 142593,1 |
| JA | 44,2% | Business services | 2,2% | 45,2% | 77819,2 |
| JB | 44,8% | Business services | 2,2% | 45,8% | 103941,2 |
| JC | 62,2% | Business services | 2,2% | 63,5% | 104096,3 |
| KZ | 40,8 % | Business services | 2,2% | 41,7% | 314157,9 |
| LZ | 81,8 % | Business services | 2,2% | 83,6% | 441360,4 |
| MA | 46,6% | Business services | 2,2% | 47,6% | 291380,6 |
| MB | 54,7% | Services | 2,1% | 55,9% | 84007,1 |
| MC | 50,0% | Business services | 2,2% | 51,1% | 45252,1 |
| NZ | 58,8% | Business services | 2,2% | 60,1% | 256850,5 |
| OZ | 73,5% | Public services | 2,1% | 75,0% | 277941,1 |
| PZ | 82,5% | Services | 2,1% | 84,2% | 180484,5 |
| QA | 75,6% | Public services | 2,1% | 77,2% | 191097,6 |
| QB | 82,7% | Public services | 2,1% | 84,4% | 95130,3 |
| RZ | 52,7 % | Business services | 2,2% | 53,8% | 69895,2 |
| SZ | 66,2 % | Services | 2,1 % | 67,6 % | 62743,3 |
| TZ | 100,0 % | Business services | 0,0 % | 100,0 % | 6385,1 |

Sources : ADEME et TES de l'INSEE

Ainsi, les taux de valeurs ajoutées par branches NA38 sont projetés.

La production par branche nationale $Z^B(2050)_i$ (somme en colonne) est alors calculée en utilisant ces derniers et la valeur ajoutée projetée à l'étape précédente :

$$Z_i^B(2050) = \frac{VA_i(2050)}{txVA_i(2050)}$$

En suivant les consommations intermédiaires en volume sont calculées en utilisant la relation du TES entre production, valeur ajoutée et consommations intermédiaires :

$$CI_i(2050) = Z_i^B(2050) - VA_i(2050)$$

Production en produit $Z_i(2050)$:

La production en produit correspond à la lecture en ligne du TES et permet, avec les importations de retrouver les ressources R_i .

$$Z_i + M_i = R_i$$

Cependant, retrouver ces dernières n'est pas possible directement à partir de l'application d'un taux de variation moyen annuel. En effet, la projection de la production en produit par ce moyen ne garantit pas l'égalité entre productions en produits et production des branches, ce qui rendrait la RAS inapplicable.

C'est pourquoi la matrice de production est exploitée pour déterminer la production en produit Z_i . Celle-ci indique, en ligne la répartition en des productions en produit et en colonne la repartions des productions par branche.

La matrice de production utilisée est celle de 2015, fournie par l'INSEE avec le TES symétrique en prix de base, qui est la plus récente disponible en nomenclature NA38.

C'est pourquoi la matrice de 2015 exprimée en proportion a été réutilisée. Cela suppose ainsi que la structure des productions primaires et secondaires (productions de produits i effectuées par des branches différentes) est similaire entre 2015 et 2050, ce qui est conforme à l'hypothèse du scénario SNBC qui ne suppose pas de rupture technologique sur cette période. Cette matrice garantit ainsi l'égalité entre production totale par branche et en produit.

Les importations :

Le second composant des ressources (total en ligne du TES national) est les importations. L'hypothèse pour les importations est que le commerce mondial reste stable sur la période étudiée. Ainsi les importations nationales sont calculées de la même façon que dans les étapes précédentes, en calculant le taux de variation annuel moyen par branche (en N118) pour les années 2030-2035 des TES de l'ADEME, puis en utilisant ces derniers pour déterminer les importations totales de 2050.

Tableaux 6 : Importations

| Branche NA 38 (2010) | Importations 2010 (TES, INSEE) | Correspondance NAF 118 | Taux de variation appliqué (1) | Structure 2050 | Structure ajustée | Importations 2050 |
|----------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| AZ | 0,3 % | Agriculture, forestry and fishing | 32,9% | 0,4% | 2,0% | 18729,9 |
| BZ | 1,1% | Mining of coal and lignite | 0,0% | 1,1% | 5,9% | 55999,3 |
| CA | 0,8% | Manufacture of food products and beverages | 96,8% | 1,5% | 8,2% | 77577,5 |
| CB | 0,7% | Other industrial products | 0,0% | 0,7% | 3,8% | 35973,0 |
| CC | 0,3% | Articles of paper and paperboard | 52,9% | 0,5% | 2,6% | 24786,8 |
| CD | 0,5% | Oil | 0,0% | 0,5% | 2,9% | 27695,2 |
| CE | 0,9 % | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | 83,7% | 1,7% | 9,5% | 89415,2 |
| CF | 0,5% | Other industrial products | 0,0% | 0,5% | 2,9% | 27007,2 |
| CG | 0,5% | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | 52,6% | 0,8% | 4,3% | 40887,1 |
| CH | 0,8% | Basic iron and steel and of ferro- alloys+Non-ferrous metals | 131,0% | 2,0% | 10,7% | 101490,1 |
| CI | 1,1 % | Other industrial products | 0,0% | 1,1% | 5,9% | 55262,8 |
| CJ | 0,5% | Other industrial products | 0,0% | 0,5% | 2,7% | 25407,8 |
| CK | 0,8% | Other industrial products | 0,0% | 0,8% | 4,5% | 42470,2 |
| CL | 1,5% | Motor vehicles, trailers and semi- trailers | 137,7% | 3,6% | 20,0% | 189357,3 |
| CM | 0,5% | Other industrial products | 0,0% | 0,5% | 2,8% | 26445,6 |
| DZ | 0,0% | Electricity+Natural gas | 0,0% | 0,0% | 0,2% | 1385,0 |
| EZ | 0,0 % | Other industrial products | 0,0% | 0,0% | 0,2% | 2180,2 |
| FZ | 0,0% | Buildings and Civil engineering | 163,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0 |
| GZ | 0,2% | Business services | 5,0% | 0,2% | 0,9% | 8410,4 |
| HZ | 0,6% | Transports | -43,6 % | 0,3 % | 1,8 % | 17071,1 |
| IZ | 0,0 % | Business services | 5,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0 |
| JA | 0,1% | Business services | 5,0% | 0,1% | 0,7% | 6407,0 |
| JB | 0,1% | Business services | 5,0% | 0,1% | 0,4% | 3461,5 |
| JC | 0,1% | Business services | 5,0% | 0,1% | 0,4% | 3945,2 |
| KZ | 0,1 % | Business services | 5,0% | 0,1% | 0,6% | 5719,5 |
| LZ | 0,0 % | Business services | 5,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0 |
| MA | 0,4% | Business services | 5,0% | 0,4% | 2,2% | 20382,8 |
| MB | 0,1% | services | 0,0% | 0,1% | 0,5% | 5130,1 |
| MC | 0,1% | Business services | 5,0% | 0,1% | 0,5% | 4324,5 |
| NZ | 0,5% | Business services | 5,0% | 0,5% | 2,7% | 25626,6 |
| OZ | 0,0% | Public services | -60,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0 |
| PZ | 0,0% | Services | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0 |
| QA | 0,0% | Public services | -60,4% | 0,0% | 0,0% | 135,8 |
| QB | 0,0% | Public services | -60,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0 |
| RZ | 0,0 % | Business services | 5,0% | 0,0% | 0,1% | 674,1 |
| SZ | 0,0 % | Services | 0,0 % | 0,0 % | 0,2 % | 1548,3 |
| TZ | 0,0 % | Business services | 5,0 % | 0,0 % | 0,0 % | 0,0 |

$$\sum_{i(n118)} M_i(2050) = \sum_{i(n118)} (1 + txM_{i(n118)})^{16} * M_{i(n118)}(2035)$$

Les importations totales de 2050 projetées devraient donc atteindre 944,9 milliards d'euros en 2050 en volume, contre 520,6 milliards en 2010 (année de référence).

Ensuite, de la même manière qu'avec la valeur ajoutée et la production, la variation entre les importations en n118 de 2010 et 2050 est calculée puis appliquée, aux importations issues du TES 2010 (tableau 6).

À l'issue de ce calcul, les importations en NA 38 pour l'année 2050 sont ainsi déterminées. Les ressources 2050 sont calculées en suivant en additionnant ces importations avec les productions en produits déterminées dans l'étape précédente :

$$R_i(2050) = Z_i(2050) + M_i(2050)$$

Les ressources sont ensuite utilisées pour déterminer les emplois intermédiaires, deuxième entrée nécessaire à l'application.

Les emplois intermédiaires :

Cette grandeur correspond à la somme des lignes du TEI. Le taux d'emploi intermédiaire $EI_{i(n118)}$ est calculée pour les TES 2030 et 2035 fournis par l'ADEME :

$$txEI_{i(n118)} = \frac{EI_{i(n118)}}{R_{i(n118)}}$$

La variation annuelle moyenne entre 2030 et 2035 est ainsi calculée, et utilisée pour déterminer le taux d'emploi intermédiaire de 2050.

Les variations entre les $txEI_{i(n118)}$ de 2010 et de 2050 sont ensuite calculés puis appliqués à la structure du $txEI_i$ du TES 2010 en NA38 suivant la clef de répartition permettant d'obtenir les $txEI_i(2050)$. Les emplois intermédiaires sont alors calculés à partir de ces derniers et des ressources calculées précédemment :

$$EI_i(2050) = txEI_i(2050) * R_i(2050)$$

Le tableau 7 détaille alors la structure des emplois intermédiaires.

Tableau 7 : Emplois intermédiaires

| | Taux de EI 2010 | Branche NAF 118 correspondante | Taux de variation appliqué | Taux de EI 2050 | EI 2050 |
|----|--------------------|---|----------------------------------|-----------------------|----------|
| AZ | 62,8 % | Agriculture, forestry and fishing | 19,8% | 75,2% | 73800,0 |
| BZ | 99,2% | Mining of coal and lignite | 0,0% | 99,2% | 63643,6 |
| CA | 33,7% | Manufacture of food products and beverages | -4,7% | 32,2% | 98123,9 |
| CB | 31,9% | Other industrial products | -7,8% | 29,4% | 17200,1 |
| CC | 78,9% | Articles of paper and paperboard | -4,8% | 75,2% | 55457,8 |
| CD | 48,9% | Oil | -11,0% | 43,6% | 15344,7 |
| CE | 57,0 % | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | -5,3% | 54,0% | 82703,4 |
| CF | 19,0% | Other industrial products | -7,8% | 17,5% | 11066,6 |
| CG | 74,6% | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | 0,4% | 74,9% | 109145,4 |
| CH | 71,1% | Basic iron and steel and of ferro-alloys+Non-ferrous metals | -2,7% | 69,2% | 134428,4 |
| CI | 39,2 % | Other industrial products | -7,8% | 36,1% | 33227,2 |
| CJ | 46,0% | Other industrial products | -7,8% | 42,4% | 23607,2 |
| CK | 42,3% | Other industrial products | -7,8% | 39,0% | 35102,0 |
| CL | 20,0% | Motor vehicles, trailers and semi-trailers | -1,6% | 19,6% | 71897,7 |
| CM | 40,1% | Other industrial products | -7,8% | 36,9% | 43057,4 |
| DZ | 69,9% | Electricity+Natural gas | 4,3% | 72,9% | 48922,2 |
| EZ | 67,6 % | Other industrial products | -7,8% | 62,3% | 42997,9 |
| FZ | 22,4% | Buildings and Civil engineering | 6,0% | 23,7% | 98254,5 |
| GZ | 31,7% | Business services | -4,3% | 30,3% | 176746,1 |
| HZ | 59,8% | Transports | -12,9 % | 52,1 % | 503637,3 |
| IZ | 27,1 % | Business services | -4,3% | 25,9% | 37503,3 |
| JA | 41,8% | Business services | -4,3% | 40,0% | 34579,5 |
| JB | 54,7% | Business services | -4,3% | 52,4% | 56464,3 |
| JC | 37,9% | Business services | -4,3% | 36,3% | 39540,0 |
| KZ | 69,2 % | Business services | -4,3% | 66,2% | 212767,8 |
| LZ | 22,6 % | Business services | -4,3% | 21,7% | 97455,7 |
| MA | 75,0% | Business services | -4,3% | 71,7% | 229365,1 |
| MB | 2,4% | services | 13,9% | 2,8% | 2401,7 |
| MC | 83,0% | Business services | -4,3% | 79,4% | 41068,4 |
| NZ | 84,0% | Business services | -4,3% | 80,4% | 233126,1 |
| OZ | 0,0% | Public services | 32,2% | 0,0% | 0,0 |
| PZ | 10,9% | services | 13,9% | 12,4% | 22271,1 |
| QA | 2,2% | Public services | 32,2% | 2,9% | 5546,8 |
| QB | 0,0% | Public services | 32,2% | 0,0% | 0,0 |
| RZ | 14,5% | Business services | -4,3% | 13,9% | 9601,1 |
| SZ | 25,3 % | services | 13,9 % | 28,9 % | 18123,7 |
| TZ | 0,0 % | Business services | -4,3% | 0,0% | 0,0 |

Sources :

Tableau des Entrées Intermédiaires :

Disposant maintenant des consommations et des emplois intermédiaires de 2050, la méthode RAS peut être appliquée. Le TEI de 2014 est alors modifié grâce à cette méthode permettant ainsi d'obtenir le TEI 2050, ce qui conclut la construction du premier bloc du TES 2050.

Étape 2, construction de la demande finale.

La demande finale nationale est obtenue en reprenant les évolutions démographiques issues de l'Ageing report 2018 et de la consommation finale des ménages issue des TES de l'ADEME.

L'Ageing Report 2018 fournit la population nationale pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050 et l'ADEME, la consommation finale des ménages totale en volume pour les années 2025, 2030 et 2035. Il est alors supposé que la consommation finale a évolué de manière constante entre 2030 et 2050, ce qui permet d'utiliser le taux de variation annuel moyen calculé entre 2030 et 2035 pour prolonger la série jusqu'en 2050.

Les populations de 2025 et de 2035 sont calculées en supposant un taux de croissance démographique constant entre 2020 et 2030, et entre 2030 et 2040.

La consommation par habitant de 2050 est calculée en supposant une évolution constante entre 2030 et 2050. Le taux moyen de variation est calculé à partir des années 2030 et 2035 (1.5 %), et appliqué jusqu'en 2050.

Tableau 8 : Consommation finale

| | 2016 | 2025 | 2030 | 2035 | 2050 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Prévision de population (millions) | 66,8 | 69,4 | 70,7 | 71,9 | 74,4 |
| Consommation par habitant (euro par hab) | 17063,6 | 20971,3 | 22585,2 | 24636,1 | 26873,2 |
| Consommation finale des ménages (en milliard) | 1139,8 | 1454,4 | 1596,8 | 1770,1 | 1999,4 |

Sources : Ageing Report et TES ADEME

La structure de la demande finale des ménages est déterminée de la même façon que pour les autres grandeurs : à partir des TES de l'ADEME.

L'hypothèse est que la structure de la demande finale suit une évolution constante entre 2030 et 2050. Le taux de variation annuel moyen par branche N118 calculé entre 2030 et 2035 est donc appliqué jusqu'en 2050, permettant ainsi de déterminer la structure de la demande finale pour cette année cible.

La variation entre 2010 et 2050 est ensuite calculée puis appliquée à la demande finale de 2010 en NA38 (toujours grâce à la clef de passage) pour obtenir la demande finale des ménages en NA 38 pour l'année 2050.

Tableau 9 : Structure de la demande finale

| Branche | Demande finale 2010 | Correspondance NAF 118 | Taux de variation | Structure 2050 | Structure ajustée 2050 |
|---------|---------------------|--|-------------------|----------------|------------------------|
| AZ | 2,4 % | Agriculture, forestry and fishing | -44,0% | 1,3% | 1,3% |
| BZ | 0,0% | Mining of coal and lignite | -93,7% | 0,0% | 0,0% |
| CA | 10,9% | Manufacture of food products and beverages | 8,6% | 11,8% | 11,4% |
| CB | 2,6% | Other industrial products | 6,8% | 2,8% | 2,7% |
| CC | 0,5% | Articles of paper and paperboard | 11,5% | 0,6% | 0,6% |
| CD | 2,8% | Oil | -45,3% | 1,5% | 1,5% |
| CE | 1,6 % | Inorganic basic chemicals+Organic basic chemicals | 1,7% | 1,6% | 1,6% |
| CF | 0,6% | Other industrial products | 6,8% | 0,7% | 0,7% |
| CG | 0,8% | Ceramic products and building materials+Glass and glass products+Plastics products | 7,9% | 0,9% | 0,8% |
| CH | 0,4% | Basic iron and steel and of ferro-alloys+Non-ferrous metals | 24,5% | 0,5% | 0,5% |
| CI | 1,3 % | Other industrial products | 6,8% | 1,4% | 1,4% |
| CJ | 0,8% | Other industrial products | 6,8% | 0,9% | 0,9% |
| CK | 0,1% | Other industrial products | 6,8% | 0,1% | 0,1% |
| CL | 4,4% | Motor vehicles, trailers and semi-trailers | 32,4% | 5,8% | 5,6% |
| CM | 2,6% | Other industrial products | 6,8% | 2,8% | 2,7% |
| DZ | 3,2% | Electricity+Natural gas | -56,3% | 1,4% | 1,4% |
| EZ | 1,2 % | Other industrial products | 6,8% | 1,3% | 1,2% |
| FZ | 1,5% | Buildings and Civil engineering | -30,6% | 1,1% | 1,0% |
| GZ | 8,9% | Business services | 8,2% | 9,6% | 9,3% |
| HZ | 4,2% | Transports | 1,7 % | 4,3 % | 4,1 % |
| IZ | 6,9 % | Business services | 8,2% | 7,4% | 7,2% |
| JA | 1,7% | Business services | 8,2% | 1,8% | 1,8% |
| JB | 2,3% | Business services | 8,2% | 2,4% | 2,4% |
| JC | 0,2% | Business services | 8,2% | 0,2% | 0,2% |
| KZ | 5,2 % | Business services | 8,2% | 5,6% | 5,4% |
| LZ | 20,8 % | Business services | 8,2% | 22,6% | 21,8% |
| MA | 0,8% | Business services | 8,2% | 0,9% | 0,9% |
| MB | 0,0% | services | 8,2% | 0,0% | 0,0% |
| MC | 0,4% | Business services | 8,2% | 0,4% | 0,4% |
| NZ | 1,0% | Business services | 8,2% | 1,0% | 1,0% |
| OZ | 0,1% | Public services | 9,2% | 0,1% | 0,1% |
| PZ | 1,2% | services | 8,2% | 1,3% | 1,3% |
| QA | 2,7% | Public services | 9,2% | 3,0% | 2,9% |
| QB | 2,2% | Public services | 9,2% | 2,4% | 2,3% |
| RZ | 1,8 % | Business services | 8,2 % | 1,9 % | 1,9 % |
| SZ | 1,7 % | services | 8,2 % | 1,8 % | 1,7 % |
| TZ | 0,3 % | Business services | 8,2 % | 0,3 % | 0,3 % |

Source : adapté des TES de l'ADEME

Les dépenses du gouvernement sont calculées par rapport au nombre de fonctionnaires. Ce nombre est lui-même obtenu en supposant que la proportion de fonctionnaires dans la population reste constante, reposant sur l'hypothèse d'un maintien de la fonction publique.

La formation brute de capital fixe (FBCF) est calculée en fonction de la part de l'investissement dans la production. Cette proportion est supposée évoluer de manière constante entre 2030 et 2050. Le taux de variation annuel moyen de cette proportion entre 2030 et 2035 est donc utilisé pour retrouver le taux d'investissement dans la production en 2050. En appliquant ce taux à la production de 2050, la fbcf est alors retrouvée pour cette année. La variation des stocks est projetée de la même manière. L'addition de ces deux dernières grandeurs permet alors de retrouver la FBC.

La projection de ces grandeurs permet de construire le second bloc : les emplois finaux, puis l'assemblage de ces deux blocs amène à la construction du TES 2050 national complet intégrant les prévisions de croissance de l'Ageing report, les prévisions de l'ADEME (scénario neutralité Carbone) et les prévisions démographiques.

Annexe J : Grandeurs du TES 2050 en volume

| Millions d'euros | Valeur Ajoutée | Production | Demande finale | Exportations | Importations | Ressources |
|------------------|----------------|------------|----------------|--------------|--------------|------------|
| AZ | 798,5 | 3463,7 | 1638,5 | 1120,0 | 1839,7 | 5303,4 |
| BZ | 4,3 | 90,4 | 0,1 | 0,0 | 5145,4 | 5235,8 |
| CA | 1431,1 | 6268,5 | 7238,4 | 1103,2 | 7763,8 | 14032,3 |
| CB | 153,7 | 1190,7 | 2674,1 | 0,0 | 4057,5 | 5248,2 |
| CC | 610,3 | 3218,1 | 466,8 | 510,0 | 4566,2 | 7784,3 |
| CD | 55,0 | 5873,3 | 1081,9 | 2621,4 | 10518,4 | 16391,7 |
| CE | 1314,8 | 5166,0 | 1434,9 | 1289,0 | 7865,5 | 13031,6 |
| CF | 714,5 | 1491,5 | 1712,2 | 1098,7 | 7281,7 | 8773,3 |
| CG | 2081,7 | 8643,2 | 744,5 | 956,6 | 6384,2 | 15027,4 |
| CH | 1044,9 | 5916,0 | 819,8 | 365,3 | 9551,3 | 15467,3 |
| CI | 198,7 | 911,8 | 1818,5 | 303,9 | 6492,3 | 7404,1 |
| CJ | 401,6 | 1604,6 | 1085,9 | 690,4 | 3166,5 | 4771,0 |
| CK | 488,1 | 1595,2 | 905,7 | 859,5 | 4128,7 | 5723,9 |
| CL | 1345,5 | 7945,3 | 5756,4 | 4465,4 | 9245,7 | 17191,1 |
| CM | 1052,7 | 3513,1 | 3170,1 | 1020,7 | 5676,3 | 9189,4 |
| DZ | 660,8 | 1536,3 | 747,8 | 44,7 | 1132,7 | 2669,0 |
| EZ | 731,1 | 4256,3 | 685,0 | 1194,3 | 1115,7 | 5372,0 |
| FZ | 3411,1 | 29088,6 | 11728,1 | 14529,3 | 2827,3 | 31915,9 |
| GZ | 4755,8 | 21201,5 | 7032,0 | 13233,0 | 5306,2 | 26507,6 |
| HZ | 13218,5 | 31546,9 | 2710,7 | 14245,3 | 5857,6 | 37404,5 |
| IZ | 1197,2 | 3201,4 | 4454,6 | 0,0 | 3331,9 | 6533,3 |
| JA | 219,9 | 2191,3 | 1381,5 | 1138,0 | 1653,1 | 3844,5 |
| JB | 307,4 | 1557,0 | 1285,7 | 414,1 | 1421,8 | 2978,8 |
| JC | 367,8 | 3518,9 | 1076,7 | 2767,6 | 1593,7 | 5112,6 |
| KZ | 1728,4 | 4833,8 | 2935,2 | 818,2 | 4138,4 | 8972,2 |
| LZ | 6699,7 | 11741,5 | 16286,4 | 0,0 | 10479,9 | 22221,5 |
| MA | 1577,8 | 8080,1 | 1455,8 | 4130,8 | 7353,5 | 15433,6 |
| MB | 82,4 | 1166,6 | 2149,8 | 0,0 | 1008,0 | 2174,6 |
| MC | 219,5 | 1751,8 | 227,9 | 1194,5 | 1672,2 | 3424,0 |
| NZ | 3422,7 | 9236,4 | 720,2 | 2776,3 | 9312,1 | 18548,5 |
| OZ | 4318,9 | 25415,7 | 45535,0 | 0,0 | 20119,3 | 45535,0 |
| PZ | 2840,4 | 14363,4 | 24500,7 | 0,0 | 15357,3 | 29720,7 |
| QA | 2354,9 | 16854,9 | 30409,3 | 0,0 | 16112,8 | 32967,6 |
| QB | 3435,0 | 6311,0 | 7661,8 | 232,8 | 1583,6 | 7894,6 |
| RZ | 294,5 | 3791,7 | 6703,7 | 0,0 | 5005,0 | 8796,6 |
| SZ | 628,5 | 1612,5 | 1766,0 | 0,0 | 891,6 | 2504,1 |
| TZ | 606,0 | 606,0 | 232,9 | 428,8 | 55,8 | 661,8 |

Annexe K : Résultats des régressions sur la consommation d'eau
unitaire directe

| | Exponentielle | | | | Puissance | | | |
|--------------|---------------|-----------|-----------|----------------------|-------------|-----------|-----------|----------------------|
| | Coefficient | Constante | R2 ajusté | Significativité t | Coefficient | Constante | R2 ajusté | Significativité t |
| AZ | -0,34 | -6,44 | 0,18 | 0,19 | -0,14 | -6,29 | 0,44 | 0,06 |
| BZ | 0,92 | -6,69 | 0,87 | 0,00 | 0,27 | -6,66 | 0,74 | 0,01 |
| CA | -0,18 | -6,50 | 0,73 | 0,01 | -0,06 | -6,49 | 0,75 | 0,01 |
| CB | -0,68 | -7,56 | 0,77 | 0,01 | -0,22 | -7,52 | 0,79 | 0,01 |
| CC | -0,47 | -3,87 | 0,82 | 0,00 | -0,13 | -3,90 | 0,64 | 0,02 |
| CD | -0,55 | -5,39 | 0,65 | 0,02 | -0,19 | -5,28 | 0,86 | 0,00 |
| CE | -0,12 | -5,38 | -0,02 | 0,39 | -0,03 | -5,39 | -0,07 | 0,46 |
| CF | -0,25 | -4,43 | 0,31 | 0,11 | -0,06 | -4,49 | 0,08 | 0,27 |
| CG | -0,25 | -7,16 | 0,36 | 0,09 | -0,06 | -7,21 | 0,17 | 0,20 |
| CH | -0,18 | -6,54 | 0,68 | 0,01 | -0,05 | -6,55 | 0,58 | 0,03 |
| CI | 0,04 | -9,75 | -0,19 | 0,83 | 0,01 | -9,74 | -0,19 | 0,86 |
| CJ | -0,35 | -6,75 | 0,80 | 0,00 | -0,10 | -6,77 | 0,40 | 0,02 |
| CK | 0,14 | -9,45 | -0,01 | 0,38 | 0,05 | -9,49 | 0,06 | 0,29 |
| CL | -0,28 | -7,52 | 0,87 | 0,00 | -0,08 | -7,53 | 0,72 | 0,01 |
| CM | -0,15 | -8,79 | 0,21 | 0,17 | -0,06 | -8,74 | 0,39 | 0,08 |
| DZ | -0,02 | -7,36 | 0,55 | 0,04 | -0,07 | -7,34 | 0,64 | 0,02 |
| EZ | -0,17 | -2,98 | 0,70 | 0,01 | -0,06 | -2,96 | 0,80 | 0,00 |
| (industriel) | | | | | | | | |
| FZ | -0,05 | -8,31 | 0,07 | 0,28 | -0,02 | -8,29 | 0,19 | 0,18 |
| GZ | -0,17 | -8,12 | 0,68 | 0,01 | -0,05 | -8,11 | 0,70 | 0,01 |
| HZ | -0,32 | -9,21 | 0,67 | 0,02 | -0,08 | -9,25 | 0,42 | 0,07 |
| IZ | -0,19 | -8,61 | 0,56 | 0,03 | -0,07 | -8,57 | 0,73 | 0,00 |
| JA | -0,32 | -7,85 | 0,12 | 0,24 | -0,05 | -8,02 | -0,11 | 0,55 |
| JB | 0,52 | -9,75 | 0,44 | 0,06 | 0,19 | -9,86 | 0,62 | 0,02 |
| JC | 0,30 | -8,54 | 0,19 | 0,18 | 0,01 | -8,66 | 0,43 | 0,07 |
| KZ | -0,16 | -9,32 | 0,63 | 0,02 | -0,05 | -9,31 | 0,60 | 0,03 |
| LZ | -0,13 | -8,87 | 0,52 | 0,04 | -0,05 | -8,83 | 0,79 | 0,01 |
| MA | -0,22 | -7,38 | 0,10 | 0,25 | -0,09 | -7,30 | 0,26 | 0,14 |
| MB | -0,29 | -8,57 | 0,06 | 0,29 | -0,06 | -8,68 | -0,09 | 0,51 |
| MC | -0,17 | -7,12 | 0,87 | 0,00 | -0,05 | -7,10 | 0,93 | 0,00 |
| NZ | -0,05 | -8,08 | 0,21 | 0,17 | -0,02 | -8,06 | 0,40 | 0,08 |
| OZ | -0,06 | -8,89 | -0,18 | 0,76 | 0,00 | -8,94 | -0,20 | 0,95 |
| PZ | -0,11 | -9,88 | -0,11 | 0,56 | -0,02 | -9,92 | -0,16 | 0,70 |
| QA | -0,09 | -10,67 | -0,13 | 0,61 | -0,01 | -10,73 | -0,19 | 0,84 |
| QB | -0,23 | -8,35 | 0,65 | 0,02 | -0,08 | -8,33 | 0,71 | 0,01 |
| RZ | 0,16 | -10,10 | -0,05 | 0,44 | 0,08 | -10,21 | 0,12 | 0,24 |
| SZ | -0,12 | -7,27 | 0,32 | 0,11 | -0,04 | -7,26 | 0,35 | 0,10 |
| TZ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Annexe L : Multiplicateurs de consommation 2050

| Branche | <i>mcet_i</i> | | <i>mcec_i</i> | |
|---------|-------------------------|------|-------------------------|---------|
| | 2014 | 2050 | 2014 | 2050 |
| AZ | 6,1 | 4,5 | 64,0 | 58,9 |
| BZ | 1,0 | 1,0 | 1,3 | 1,0 |
| CA | 2,5 | 6,1 | 15,2 | 219,9 |
| CB | 3,7 | 5,5 | 836,1 | 741,5 |
| CC | 1,4 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| CD | 3,6 | 1,5 | 11,0 | 7,6 |
| CE | 1,6 | 1,6 | 2,1 | 1,5 |
| CF | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,1 |
| CG | 3,8 | 4,5 | 47,9 | 66,2 |
| CH | 3,6 | 2,6 | 49,7 | 9,1 |
| CI | 5,5 | 5,9 | 2135,4 | 76,9 |
| CJ | 1,9 | 3,5 | 24,5 | 24,9 |
| CK | 6,3 | 2,2 | 758,8 | 4,7 |
| CL | 3,0 | 5,4 | 155,2 | 82,5 |
| CM | 12,2 | 41,0 | 1817,9 | 9597,5 |
| DZ | 8,6 | 2,9 | 80,0 | 53,5 |
| EZ | 1,5 | 1,7 | 1,5 | 1,6 |
| FZ | 9,9 | 9,4 | 465,4 | 788,6 |
| GZ | 10,8 | 32,8 | 314,5 | 8064,6 |
| HZ | 44,8 | 12,5 | 3198,2 | 3226,2 |
| IZ | 9,1 | 30,8 | 652,7 | 30024,4 |
| JA | 7,9 | 26,5 | 278,1 | 841,7 |
| JB | 7,0 | 3,6 | 374,6 | 34,7 |
| JC | 3,9 | 6,9 | 77,3 | 133,6 |
| KZ | 13,6 | 10,8 | 1685,2 | 1230,5 |
| LZ | 4,4 | 9,4 | 579,0 | 10406,8 |
| MA | 4,9 | 75,1 | 124,0 | 20133,9 |
| MB | 4,1 | 19,4 | 305,9 | 2397,8 |
| MC | 4,7 | 31,1 | 87,5 | 1818,4 |
| NZ | 5,4 | 7,3 | 246,1 | 241,0 |
| OZ | 16,4 | 2,2 | 1074,3 | 1135,1 |
| PZ | 55,1 | 2,7 | 9266,0 | 5261,8 |
| QA | 50,8 | 10,8 | 32644,7 | 85874,0 |
| QB | 6,6 | 2,4 | 445,0 | 690,9 |
| RZ | 23,6 | 4,2 | 2697,3 | 683,6 |
| SZ | 2,5 | 3,9 | 26,9 | 219,6 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Annexe M : Sensibilité à la consommation d'eau directe des consommations totales

| | <i>mcet_i</i> | | | <i>mcec_i</i> | |
|----|-------------------------|-----|----|-------------------------|-----|
| | theta | mu | | theta | mu |
| AZ | 0,2 | 1,0 | AZ | 0,0 | 1,1 |
| BZ | 3,1 | 0,0 | BZ | 5,2 | 0,0 |
| CA | 0,1 | 1,2 | CA | 0,0 | 1,2 |
| CB | 0,0 | 1,2 | CB | 0,0 | 1,2 |
| CC | 4,0 | 0,3 | CC | 3,2 | 0,3 |
| CD | 1,1 | 0,6 | CD | 0,2 | 1,0 |
| CE | 7,3 | 0,1 | CE | 4,8 | 0,2 |
| CF | 0,8 | 0,2 | CF | 2,6 | 0,0 |
| CG | 0,9 | 1,0 | CG | 0,0 | 1,2 |
| CH | 1,7 | 0,7 | CH | 0,3 | 1,0 |
| CI | 0,0 | 1,3 | CI | 0,0 | 1,2 |
| CJ | 0,1 | 1,0 | CJ | 0,0 | 1,1 |
| CK | 0,3 | 0,7 | CK | 0,1 | 0,9 |
| CL | 0,0 | 1,1 | CL | 0,0 | 1,2 |
| CM | 0,0 | 1,4 | CM | 0,0 | 1,2 |
| DZ | 0,3 | 0,9 | DZ | 0,0 | 1,1 |
| EZ | 15,3 | 0,0 | EZ | 19,5 | 0,0 |
| FZ | 0,0 | 1,2 | FZ | 0,0 | 1,2 |
| GZ | 0,0 | 1,4 | GZ | 0,0 | 1,2 |
| HZ | 0,1 | 1,3 | HZ | 0,0 | 1,2 |
| IZ | 0,0 | 1,4 | IZ | 0,0 | 1,2 |
| JA | 0,0 | 1,4 | JA | 0,0 | 1,2 |
| JB | 0,1 | 1,0 | JB | 0,0 | 1,1 |
| JC | 0,0 | 1,2 | JC | 0,0 | 1,2 |
| KZ | 0,0 | 1,3 | KZ | 0,0 | 1,2 |
| LZ | 0,0 | 1,3 | LZ | 0,0 | 1,2 |
| MA | 0,0 | 1,4 | MA | 0,0 | 1,2 |
| MB | 0,0 | 1,3 | MB | 0,0 | 1,2 |
| MC | 0,0 | 1,4 | MC | 0,0 | 1,2 |
| NZ | 0,3 | 1,2 | NZ | 0,0 | 1,2 |
| OZ | 0,0 | 0,7 | OZ | 0,0 | 1,2 |
| PZ | 0,0 | 0,9 | PZ | 0,0 | 1,2 |
| QA | 0,0 | 1,2 | QA | 0,0 | 1,2 |
| QB | 0,0 | 1,3 | QB | 0,0 | 1,2 |
| RZ | 0,0 | 1,1 | RZ | 0,0 | 1,2 |
| SZ | 0,0 | 1,0 | SZ | 0,0 | 1,2 |
| TZ | 0,0 | 0,0 | TZ | 0,0 | 0,0 |

Annexe N : Mesures de centralité et de degré 2050

| Réseau économique | | | | |
|-------------------|------------|-------|---------------|---------------|
| Branche | Centralité | Degré | Degré entrant | Degré sortant |
| AZ | 49,7 | 3 | 3 | 1 |
| BZ | 33,0 | 2 | 0 | 2 |
| CA | 68,8 | 3 | 1 | 3 |
| CB | 0,0 | 0 | 0 | 0 |
| CC | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| CD | 100,0 | 7 | 1 | 6 |
| CE | 49,4 | 5 | 0 | 5 |
| CF | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| CG | 33,9 | 5 | 1 | 4 |
| CH | 49,5 | 6 | 0 | 6 |
| CI | 3,0 | 2 | 0 | 2 |
| CJ | 15,8 | 3 | 1 | 2 |
| CK | 0,0 | 2 | 1 | 1 |
| CL | 7,8 | 3 | 2 | 1 |
| CM | 32,8 | 3 | 1 | 2 |
| DZ | 0,0 | 1 | 1 | 0 |
| EZ | 3,1 | 2 | 2 | 0 |
| FZ | 82,0 | 8 | 8 | 0 |
| GZ | 80,9 | 7 | 5 | 2 |
| HZ | 44,2 | 6 | 1 | 5 |
| IZ | 33,0 | 2 | 1 | 1 |
| JA | 33,9 | 3 | 3 | 0 |
| JB | 6,8 | 3 | 3 | 0 |
| JC | 36,5 | 5 | 5 | 0 |
| KZ | 4,5 | 2 | 1 | 1 |
| LZ | 2,3 | 2 | 1 | 1 |
| MA | 35,1 | 5 | 1 | 4 |
| MB | 55,4 | 5 | 5 | 0 |
| MC | 7,6 | 3 | 3 | 0 |
| NZ | 161,9 | 10 | 0 | 10 |
| OZ | 7,5 | 2 | 2 | 0 |
| PZ | 76,4 | 3 | 2 | 1 |
| QA | 41,4 | 3 | 3 | 0 |
| QB | 0,0 | 1 | 1 | 0 |
| RZ | 15,9 | 2 | 2 | 0 |
| SZ | 0,0 | 1 | 1 | 0 |
| TZ | 0,0 | 0 | 0 | 0 |

Réseau environnemental

| Branche | Centralité | Degré | Degré entrant | Degré sortant |
|---------|------------|-------|---------------|---------------|
| AZ | 0,1 | 4 | 0 | 4 |
| BZ | 6,9 | 12 | 0 | 12 |
| CA | 0,5 | 5 | 1 | 4 |
| CB | 0,1 | 4 | 1 | 3 |
| CC | 13,5 | 12 | 0 | 12 |
| CD | 12,6 | 12 | 0 | 12 |
| CE | 9,8 | 12 | 0 | 12 |
| CF | 0,0 | 2 | 0 | 2 |
| CG | 4,2 | 10 | 0 | 10 |
| CH | 9,4 | 10 | 0 | 10 |
| CI | 0,9 | 5 | 0 | 5 |
| CJ | 2,1 | 8 | 0 | 8 |
| CK | 5,1 | 10 | 0 | 10 |
| CL | 3,5 | 6 | 0 | 6 |
| CM | 9,9 | 14 | 12 | 2 |
| DZ | 1,9 | 10 | 1 | 9 |
| EZ | 11,7 | 12 | 0 | 12 |
| FZ | 1,1 | 6 | 4 | 2 |
| GZ | 27,2 | 20 | 17 | 3 |
| HZ | 4,5 | 11 | 7 | 4 |
| IZ | 48,3 | 23 | 22 | 1 |
| JA | 0,2 | 5 | 2 | 3 |
| JB | 0,5 | 7 | 0 | 7 |
| JC | 0,2 | 6 | 0 | 6 |
| KZ | 0,7 | 8 | 3 | 5 |
| LZ | 17,4 | 16 | 14 | 2 |
| MA | 22,8 | 19 | 17 | 2 |
| MB | 8,3 | 11 | 11 | 0 |
| MC | 0,5 | 7 | 3 | 4 |
| NZ | 6,5 | 11 | 0 | 11 |
| OZ | 1,5 | 5 | 5 | 0 |
| PZ | 21,2 | 16 | 14 | 2 |
| QA | 39,7 | 20 | 19 | 1 |
| QB | 169,2 | 33 | 33 | 0 |
| RZ | 0,8 | 7 | 4 | 3 |
| SZ | 0,0 | 1 | 0 | 1 |
| TZ | 0,0 | 0 | 0 | 0 |

Annexe O : Sensitivité économique à une baisse contrainte de
prélèvements.

| | Cas1 | | | | Cas 2 | | | | |
|-------|-------------|----------|------------------|----------|---------------|-----------|------------------|-----------|----------|
| | Effet subit | | Effets engendrés | | Effets subits | | Effets engendrés | | |
| | En % | Valeur | En % | Valeur | En % | Valeur | En % | En valeur | |
| AZ | -43,4 % | -346,4 | -0,40 % | -258,8 | AZ | -24,0 % | -191,4 | -0,2 % | -154,4 |
| BZ | -212,0 % | -9,0 | 0,00 % | -0,3 | BZ | -204,7 % | -8,7 | 0,0 % | 0,0 |
| CA | -43,8 % | -626,8 | -0,89 % | -574,7 | CA | -27,0 % | -386,5 | -0,6 % | -379,4 |
| CB | -77,5 % | -119,1 | -0,03 % | -20,7 | CB | -75,0 % | -115,2 | 0,0 % | -19,8 |
| CC | -52,7 % | -321,8 | -0,25 % | -164,9 | CC | -27,3 % | -166,5 | 0,0 % | -18,1 |
| CD | -1068,5 % | -587,3 | -0,09 % | -60,6 | CD | -1039,6 % | -571,4 | -0,1 % | -47,0 |
| CE | -39,3 % | -516,6 | -0,32 % | -204,4 | CE | -27,9 % | -366,3 | -0,1 % | -59,5 |
| CF | -20,9 % | -149,2 | -0,26 % | -165,5 | CF | -13,9 % | -99,3 | -0,2 % | -116,1 |
| CG | -41,5 % | -864,3 | -0,35 % | -229,1 | CG | -26,7 % | -555,1 | 0,0 % | -20,8 |
| CH | -56,6 % | -591,6 | -0,07 % | -46,5 | CH | -40,6 % | -424,0 | 0,0 % | -10,1 |
| CI | -45,9 % | -91,2 | 0,00 % | 0,0 | CI | -36,7 % | -72,9 | 0,0 % | 0,0 |
| CJ | -40,0 % | -160,5 | -0,12 % | -76,0 | CJ | -27,9 % | -112,1 | -0,1 % | -33,4 |
| CK | -32,7 % | -159,5 | -0,03 % | -21,7 | CK | -19,4 % | -94,6 | 0,0 % | -9,3 |
| CL | -59,1 % | -794,5 | -1,00 % | -647,3 | CL | -25,4 % | -342,2 | -0,5 % | -350,9 |
| CM | -33,4 % | -351,3 | -0,12 % | -77,6 | CM | -21,6 % | -227,0 | -0,1 % | -51,8 |
| DZ | -23,2% | -153,6 | -0,07% | -44,8 | DZ | -18,5% | -122,1 | 0,0% | -26,4 |
| EZ | -58,2 % | -425,6 | -33,16 % | -21476,2 | EZ | -19,3 % | -140,9 | -24,0 % | -15539,6 |
| FZ | -85,3 % | -2908,9 | -0,84 % | -544,6 | FZ | -52,5 % | -1789,6 | -0,6 % | -381,9 |
| GZ | -44,6 % | -2120,1 | -1,10 % | -714,1 | GZ | -18,4 % | -873,6 | -0,7 % | -425,0 |
| HZ | -23,9 % | -3154,7 | -0,39 % | -252,7 | HZ | -14,5 % | -1914,6 | -0,2 % | -142,1 |
| IZ | -26,7 % | -320,1 | 0,00 % | -2,4 | IZ | -22,2 % | -265,6 | 0,0 % | 0,0 |
| JA | -99,6 % | -219,1 | 0,00 % | 0,0 | JA | -29,4 % | -64,6 | 0,0 % | 0,0 |
| JB | -50,7 % | -155,7 | 0,00 % | 0,0 | JB | -24,7 % | -75,8 | 0,0 % | 0,0 |
| JC | -95,7% | -351,9 | 0,00% | 0,0 | JC | -23,0% | -84,5 | 0,0% | 0,0 |
| KZ | -28,0 % | -483,4 | 0,00 % | 0,0 | KZ | -17,9 % | -309,2 | 0,0 % | 0,0 |
| LZ | -17,5 % | -1174,2 | 0,00 % | 0,0 | LZ | -16,6 % | -1109,4 | 0,0 % | 0,0 |
| MA | -51,2 % | -808,0 | -0,18 % | -114,9 | MA | -19,0 % | -299,7 | -0,1 % | -56,8 |
| MB | -141,6 % | -116,7 | -0,04 % | -24,4 | MB | -95,7 % | -78,8 | 0,0 % | -18,4 |
| MC | -79,8 % | -175,2 | 0,00 % | 0,0 | MC | -18,6 % | -40,9 | 0,0 % | 0,0 |
| NZ | -27,0% | -923,6 | 0,00% | 0,0 | NZ | -14,1% | -481,7 | 0,0% | 0,0 |
| OZ | -58,8% | -2541,6 | 0,00% | 0,0 | OZ | -58,5% | -2527,1 | 0,0% | 0,0 |
| PZ | -50,6% | -1436,3 | -0,06% | -36,8 | PZ | -50,3% | -1428,1 | -0,1% | -36,6 |
| QA | -71,6% | -1685,5 | 0,00% | 0,0 | QA | -71,2% | -1675,6 | 0,0% | 0,0 |
| QB | -18,4% | -631,1 | 0,00% | 0,0 | QB | -17,7% | -608,4 | 0,0% | 0,0 |
| RZ | -128,7% | -379,2 | -0,19% | -122,9 | RZ | -126,4% | -372,2 | -0,2% | -120,7 |
| SZ | -25,7 % | -161,3 | -0,21 % | -133,1 | SZ | -21,3 % | -134,1 | -0,2 % | -110,2 |
| TZ | 0,0 % | 0,0 | 0,00 % | 0,0 | TZ | 0,0 % | 0,0 | 0,0 % | 0,0 |
| Total | -40,2% | -26014,9 | -40,16% | -26014,9 | Total | -28,0% | -18130,3 | -28,0% | -18130,3 |

Les effets directs décrivent la totalité des impacts économiques reçus par une branche lors d'une baisse généralisée des prélèvements. Les effets engendrés sont les impacts économiques totaux sur le reste de l'économie de la baisse des prélèvements d'une seule branche.

Ainsi, si les prélèvements baissent de manière généralisée sur l'estuaire de la Seine, l'agriculture verrait sa valeur ajoutée diminuer de 43,4 % dans le cas 1 et de 24,0 % dans le cas 2. Inversement, si les prélèvements agricoles devaient diminuer de 10 %, la perte de production engendrerait une baisse de la valeur ajoutée régionale totale de 0,4 % dans le cas 1 et 0,2 % dans le deuxième cas.

Les branches pour lesquelles les effets engendrés sont nuls correspondent aux branches qui ne prélèvent pas d'eau. Celles-ci ne sont donc pas affectées par une baisse des prélèvements. Par contre, elles sont très sensibles aux contraintes exercées sur la branche de distribution d'eau.

Bibliographie

Actualisation du scénario énergie-climat ADEME 2035-2050.

AESN, and BIPE (2005). Elaboration de scénarios d'évolution des besoins en eau à comparer à la disponibilité en eaux superficielles du bassin Seine-Normandie.

AESN, and DIREN Normandie (2004). Démarche prospective à l'horizon 2025 sur l'estuaire de la Seine.

Agence de l'eau Seine Normandie (2016). Programme de mesures du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers Normands 2016-2021.

Agreste (2015). Atlas agricole et rural-Normandie.

Allan, J.A. (1994). Overall perspectives on countries and regions. Rogers, P. and Lydon, P. *Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 65–100.

Allan, J.A. (1997). "Virtual water": a long term solution for water short Middle Eastern economies? (School of Oriental and African Studies, University of London London).

Allan, J.A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Ground Water* 36, 545–547.

Ambec, S., and Ehlers, L. (2008). Sharing a river among satiable agents. *Games and Economic Behavior* 64, 35–50.

Atzori, R., Fyall, A., and Miller, G. (2018). Tourist responses to climate change: Potential impacts and adaptation in Florida's coastal destinations. *Tourism Management* 69, 12–22.

Baghasa, H. (2008). European System Related to Good Agricultural Practice. 9.

Barles, S. (2007). Urban metabolism and river systems: an historical perspective. Paris and the Seine, 1790-1970. *Hydrology Earth System Sciences* 11, 1757–1769.

Beaumais, O., and Laroutis, D. (2007). In search of natural resource-based economies: the case of the Seine estuary (France). *Hydrobiologia* 588, 3–11.

Bellet, M., Lallich, S., and Vincent, M. (1990). Noyaux, filières et complexes industriels dans le système productif. *Revue économique* 41, 481–500.

Bigot, E., and Moisan, M. (2016). Attractivité productive ou attractivité résidentielle : à chaque territoire ses atouts - Insee Analyses Normandie - 7.

Bouba-Olga, O., and Grossetti, M. (2008). Socio-économie de proximité. *Revue d'Economie Regionale Urbaine* octobre, 311–328.

- Caiado, J. (2007). Forecasting water consumption in Spain using univariate time series models. 10.
- Caiado, J. (2010). Performance of Combined Double Seasonal Univariate Time Series Models for Forecasting Water Demand. *J. Hydrol. Eng.* 15, 215–222.
- Callonnec, G., Landa, G., Maillet, P., and Reynes, F. (2013a). L'évaluation macroéconomique des visions énergétiques 2030-2050 de l'ADEME. 36.
- Callonnec, G., Landa Rivera, G., Malliet, P., Reynes, F., and Tamsamani, Y. (2013b). A full description of the Three-ME model: Multi-sector Macroeconomic Model for the Evaluation of Environmental and Energy policy.
- Campbell, J. (1972). Growth Pole Theory, Digraph Analysis and Interindustry Relationships*. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie* 63, 79–87.
- Campbell, J. (1974). Selected Aspects of the Interindustry Structure of the State of Washington, 1967. *Economic Geography* 50, 35–46.
- Campbell, J. (1975). Application of graph theoretic analysis to interindustry relationships: The example of Washington state. *Regional Science and Urban Economics* 5, 91–106.
- Catin, M., and Nicolini, V. (2005). Les effets multiplicateurs des dépenses militaires de la DCN. Toulon sur l'économie varoise. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* octobre, 451.
- Cella, G. (1984). The Input-Output Measurement of Interindustry Linkages*. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 46, 73–84.
- Chenery, H.B., and Watanabe, T. (1958). International Comparisons of the Structure of Production. *Econometrica* 26, 487–521.
- Climate-Data.org Climat Bordeaux: Température moyenne Bordeaux, diagramme climatique pour Bordeaux - Climate-Data.org.
- Cordier, M. (2011). Ecosystème estuarien et système économique régional: faisabilité d'une intégration par modélisation input-output: application au cas de l'habitat halieutique dans l'estuaire de la Seine (Versailles-St Quentin en Yvelines).
- Cordier, M., Pérez Agúndez, J.A., O'Connor, M., Rochette, S., and Hecq, W. (2011). Quantification of interdependencies between economic systems and ecosystem services: An input-output model applied to the Seine estuary. *Ecological Economics* 70, 1660–1671.
- Decaluwé, B., Patry, A., and Savard, L. (1998). Quand l'eau n'est plus un don du ciel: un MEGC appliqué au Maroc. *Revue d'économie du développement* 6, 149–187.
- Dietzenbacher, E., and Velázquez, E. (2007). Analysing Andalusian Virtual Water Trade in an Input-Output Framework. *Regional Studies* 41, 185–196.
- Duarte, R., Sánchez-Chóliz, J., and Bielsa, J. (2002). Water use in the Spanish economy: an input-output approach. *Ecological Economics* 43, 71–85.

Ducharne, A., Sylvain Théry, Pascal Viennot, Ledoux, E., Eric Gomez, and Michel Déqué (2003). Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.

Ducharne, A., Baubion, C., Beaudoin, N., Benoit, M., Billen, G., Brisson, N., Garnier, J., Kieken, H., Lebonvallet, S., Ledoux, E., et al. (2007). Long term prospective of the Seine River system: Confronting climatic and direct anthropogenic changes. *Science of The Total Environment* 375, 292–311.

European Commission, DG for Economic and Financial Affairs, and Economic Policy Committee of the European Communities (2015). The 2015 ageing report: economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013-2060) (Luxembourg: EUR-OP).

European Commission, Directorate-General for Economic and Financial Affairs, and Economic Policy Committee of the European Communities (2017). The 2018 ageing report: underlying assumptions and projection methodologies.

Fisson, C., Leboulenger, F., Lecarpentier, T., Moussard, S., and Geraud, R. (2014). L'estuaire de la Seine : état de santé et évolution.

Flegg, A.T., and Tohmo, T. (2013a). A Comment on Tobias Kronenberg's "Construction of Regional Input-Output Tables Using Nonsurvey Methods: The Role of Cross-Hauling." *International Regional Science Review* 36, 235–257.

Flegg, A.T., and Tohmo, T. (2013b). Regional Input–Output Tables and the FLQ Formula: A Case Study of Finland. *Regional Studies* 47, 703–721.

Flegg, A.T., and Webber, C.D. (1997). On the Appropriate Use of Location Quotients in Generating Regional Input-Output Tables: Reply. *Regional Studies* 31, 795–805.

Flegg, A.T., and Webber, C.D. (2000). Regional Size, Regional Specialization and the FLQ Formula. *Regional Studies* 34, 563–569.

Flegg, A.T., Webber, C.D., and Elliott, M.V. (1995). On the Appropriate Use of Location Quotients in Generating Regional Input–Output Tables. *Regional Studies* 29, 547–561.

Foure, J., Bénassy-Quéré, A., and Fontagne, L. (2012). The Great Shift: Macroeconomic Projections for the World Economy at the 2050 Horizon (Rochester, NY: Social Science Research Network).

Freytag, A., and Fricke, S. (2017). Sectoral linkages of financial services as channels of economic development—An input–output analysis of the Nigerian and Kenyan economies. *Review of Development Finance*.

Fujita, M., Krugman, P.R., and Venables, A. (1999). *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade* (MIT Press).

Garnier, C. (2018). Le projet de plateforme industrielle dédiée à l'éolien en mer de Siemens Gamesa au Havre avance - *Quotidien des Usines*. Usine Nouvelle.

- Garnier, M. (2017). Bienvenue dans un monde de brut! Etudes Normandes.
- Ghosh, A. (1958). Input-Output Approach in an Allocation System. *Economica* 25, 58–64.
- GIP Seine-Aval (2010). Contextes climatique, morphologique & hydro-sédimentaire: Effets prévisibles du changement climatique dans l'estuaire de la Seine.
- Giupponi, C., Mysiak, J., Fassio, A., and Cogan, V. (2004). MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. *Mathematics and Computers in Simulation* 64, 13–24.
- Guan, D., and Hubacek, K. (2007). Assessment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecological Economics* 61, 159–170.
- Hambÿe, C. (2012). Modèles, Multiplicateurs, Linkages. 57.
- Havik, K., Morrow, K.M., Orlandi, F., Planas, C., Raciborski, R., Röger, W., Rossi, A., Thum-Thysen, A., and Vandermeulen, V. (2014). The Production Function Methodology for Calculating Potential Growth Rates & Output Gaps. 120.
- Heinz, I., Pulido-Velazquez, M., Lund, J.R., and Andreu, J. (2007). Hydro-economic Modeling in River Basin Management: Implications and Applications for the European Water Framework Directive. *Water Resources Management* 21, 1103–1125.
- Hélary, L., Poupet, C., and INSEE (2017). Saison touristique 2017 - Insee Flash Normandie - 49.
- Hewings, G.J.D., and Jensen, R.C. (1987). Chapter 8 Regional, interregional and multiregional input-output analysis. B.-H. of R. and U. Economics, ed. (Elsevier), pp. 295–355.
- Hewings, G.J.D., Sonis, M., and Jensen, R.C. (1988). Fields of Influence of Technological Change in Input-Output Models. *Papers in Regional Science* 64, 25–36.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M. (2012). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard* (Routledge).
- Holub, H.W., and Schnabl, H. (1985). Qualitative input-output analysis and structural information. *Economic Modelling* 2, 67–73.
- INPM INPN - Listes des sites Natura 2000.
- INSEE (2014). Population active et emploi entre 2006 et 2011 en Haute-Normandie : Les effets de la crise durement ressentis dans certaines aires urbaines - Insee Analyses Haute-Normandie - 01.
- INSEE (2015a). En Normandie, la croissance de la population active pourrait s'interrompre - Insee Flash Basse-Normandie - 27.
- INSEE (2015b). Nomenclature d'activité Française - NAF rév.2.

- INSEE (2016a). La Normandie, première région française pour la part de l'industrie dans le PIB - Insee Analyses Normandie - 14.
- INSEE (2016b). Bilan démographique 2015 : En Normandie, toujours moins de naissances et plus de décès - Insee Analyses Normandie - 15.
- INSEE (2016c). 270 300 agents publics en Normandie - Insee Analyses Normandie - 9.
- INSEE (2016d). Les emplois de plus en plus qualifiés en Normandie - Insee Analyses Normandie - 40.
- INSEE (2016e). Projections de population 2013-2070 pour la France : méthode et principaux résultats - Documents de travail - F1606 | Insee.
- INSEE (2016f). La filière viande en Normandie, une part importante de l'agriculture régionale et de nombreux emplois dans les territoires ruraux - Insee Analyses Normandie - 3.
- INSEE (2017a). Portrait de la Normandie - Insee Dossier Normandie - 7.
- INSEE (2017b). Bilan démographique 2016 en Normandie : la baisse de la fécondité s'accélère - Insee Analyses Normandie - 31.
- INSEE (2017c). Malgré la baisse de l'emploi, la Normandie maintient son caractère industriel - Insee Analyses Normandie - 23.
- INSEE (2017d). La population normande à l'horizon 2050 - Un vieillissement accéléré dans un contexte de croissance faible - Insee Analyses Normandie - 33.
- INSEE (2017e). D'ici 2050, la population augmenterait dans toutes les régions de métropole - Insee Première - 1652.
- INSEE (2018a). Bilan démographique 2017 : la population normande stoppe sa progression - Insee Analyses Normandie - 50.
- INSEE (2018b). Un vieillissement démographique plus rapide en Normandie - Insee Analyses Normandie - 49.
- INSEE, Braibant, M., and Arthaut, R. (2006). La confection d'un TES symétrique pour Eurostat et d'un tableau de contenu en importation.
- INSEE, Koubi, M., and Marrakchi, A. (2017). Projections de la population active à l'horizon 2070 - Documents de travail - F1702 | Insee.
- INSEE, Analyses Normandie - 9 (2016). 270 300 agents publics en Normandie - Insee Analyses Normandie - 9.
- INSEE Résultats (2016). Séries longues sur l'emploi en France métropolitaine - 1989-2014 – L'emploi départemental et sectoriel en 2014 | Insee.
- Isard, W. (1953). Regional Commodity Balances and Interregional Commodity Flows. *The American Economic Review* 43, 167–180.

- Israilevich, P.R., Hewings, G.J.D., Schindler, G.R., and Mahidhara, R. (1996). The Choice of an Input-Output Table Embedded in Regional Econometric Input-Output Models. *Papers in Regional Science* 75, 103–119.
- Israilevich, P.R., Hewings, G.J.D., Sonis, M., and Schindler, G.R. (1997). Forecasting Structural Change With a Regional Econometric Input-Output Model. *Journal of Regional Science* 37, 565–590.
- Jacono, D. (2017). Poids des activités assimilées domestiques (APAD).
- Kazmierczak, L., Laignel, B., and Charrier, F. (2019). La ressource en eau et le risque inondation dans la Métropole rouennaise: constat et analyse prospectives dans le contexte de changement climatique.
- Koller, W., and Luptacik, M. (2007). Measuring the Economic Importance of an Industry: An Application to the Austrian Agricultural Sector. 27.
- Kowalewski, J. (2015). Regionalization of National Input–Output Tables: Empirical Evidence on the Use of the FLQ Formula. *Regional Studies* 49, 240–250.
- Kronenberg, T. (2009). Construction of Regional Input-Output Tables Using Nonsurvey Methods: The Role of Cross-Hauling. *International Regional Science Review* 32, 40–64.
- Krugman, P.R. (1991). *Geography and Trade* (MIT Press).
- Laignel, B., and Nouaceur, Z. (2018). Evolution du climat à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie.
- Lamigeon, V. (2017). La France, championne des ventes d'armes. Challenges.
- Laroutis, D. (2006). Les activités industrielles liées à l'estuaire de la Seine et leurs impacts environnementaux: analyse coûts-bénéfices pour une gestion prospective intégrée. thesis. Rouen.
- Léon, O. (2010). La population des régions en 2040 - Insee Première - 1326.
- Leontief, W. (1970). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *The Review of Economics and Statistics* 52, 262.
- Leontief, W.W. (1936). Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. *The Review of Economics and Statistics* 18, 105.
- Lin, C. (2009). Hybrid input–output analysis of wastewater treatment and environmental impacts: A case study for the Tokyo Metropolis. *Ecological Economics* 68, 2096–2105.
- Lise, W., and Tol, R.S.J. (2002). Impact of Climate on Tourist Demand. *Climatic Change* 55, 429–449.
- Loubier, S., Campardon, M., and Morardet, S. (2013). L'irrigation diminue-t-elle en France? Premiers enseignements du recensement agricole de 2010. *Sciences Eaux and Territoires: La Revue Du IRSTEA* 12–19.

- Macleod, C.J.A., Scholefield, D., and Haygarth, P.M. (2007). Integration for sustainable catchment management. *Science of The Total Environment* 373, 591–602.
- Miller, R.E., and Blair, P.D. (2009a). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* (Cambridge University Press).
- Miller, R.E., and Blair, P.D. (2009b). *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions* (Cambridge University Press).
- Mohamed, M.M., and Al-Mualla, A.A. (2010). Water demand forecasting in Umm Al-Quwain using the constant rate model. *Desalination* 259, 161–168.
- Mutschmann, J., Stimmelmayer, F., Fritsch, P., Hoch, W., Merkl, G., Ottinger, F., Rautenber, J., Weiz, M., and Wricke, B. (2002). *Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung* (Springer Vieweg).
- Nigatu, G., and Dinar, A. (2011). Modeling efficiency, equity and externality in the Eastern Nile River basin. Water Science Policy Center. University of California, Riverside. See: [Http://Wspc.Ucr.Edu/Working_papers/WSPC_WP_02_0611_Modeling% 20Nile. Pdf](http://Wspc.Ucr.Edu/Working_papers/WSPC_WP_02_0611_Modeling%20Nile.Pdf).
- Papacharalampou, C., McManus, M., Newnes, L.B., and Green, D. (2017). Catchment metabolism: Integrating natural capital in the asset management portfolio of the water sector. *Journal of Cleaner Production* 142, 1994–2005.
- Proops, J.L. (1984). Energy intensities, input-output analysis and economic development (University of Keele, Department of Economics).
- Proops, J.L. (1988). Energy intensities, input-output analysis and economic development. Ciaschini, M.(1988) 201–215.
- Rasmussen, P.N. (1956). *Studies in inter-sectoral relations* (E. Harck).
- Reynès, F. (2016). Les options retenues et les évolutions possibles dans ThreeME. 45.
- Ringler, C. (2001). Optimal water allocation in the Mekong River basin (ZEF Discussion Papers on Development Policy).
- Rosegrant, M.W., Ringler, C., McKinney, D.C., Cai, X., Keller, A., and Donoso, G. (2000). Integrated economic-hydrologic water modeling at the basin scale: The Maipo River basin. *Agricultural Economics* 24, 33–46.
- Sánchez-Chóliz, J., and Duarte, R. (2003). Analysing pollution by way of vertically integrated coefficients, with an application to the water sector in Aragon. *Cambridge Journal of Economics* 27, 433–448.
- Schaldach, R., Koch, J., Aus der Beek, T., Kynast, E., and Flörke, M. (2012). Current and future irrigation water requirements in pan-Europe: An integrated analysis of socio-economic and climate scenarios. *Global and Planetary Change* 94–95, 33–45.
- Schultz, S. (1977). Approaches to identifying key sectors empirically by means of input-output analysis. *The Journal of Development Studies* 14, 77–96.

- SOeS, Moreau, S., and Carrière, C. (2017). Emissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre “Naméa-Air.”
- Stone, R. (1961). Input-output and national accounts (Organisation for European Economic Co-operation).
- Titze, M., Brachert, M., and Kubis, A. (2011). The Identification of Regional Industrial Clusters Using Qualitative Input–Output Analysis (QIOA). *Regional Studies* 45, 89–102.
- UFIP Actualités - UFIP.
- Vallée, B. (2018). Représentations et attitudes des populations locales vis-à-vis du changement climatique.
- Velázquez, E. (2006a). An input–output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia. *Ecological Economics* 56, 226–240.
- Velázquez, E. (2006b). An input–output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia. *Ecological Economics* 56, 226–240.
- Velázquez, E. (2007). Water trade in Andalusia. Virtual water: An alternative way to manage water use. *Ecological Economics* 63, 201–208.
- Velázquez, E., Madrid, C., and Beltrán, M.J. (2011). Rethinking the Concepts of Virtual Water and Water Footprint in Relation to the Production–Consumption Binomial and the Water–Energy Nexus. *Water Resour Manage* 25, 743–761.
- Wang, X., Huang, K., Yu, Y., Hu, T., and Xu, Y. (2016). An input–output structural decomposition analysis of changes in sectoral water footprint in China. *Ecological Indicators* 69, 26–34.
- Wang, Y., Lai, N., Mao, G., Zuo, J., Crittenden, J., Jin, Y., and Moreno-Cruz, J. (2017). Air pollutant emissions from economic sectors in China: A linkage analysis. *Ecological Indicators* 77, 250–260.
- Zhai, Y., Wang, J., Teng, Y., and Zuo, R. (2012). Water demand forecasting of Beijing using the Time Series Forecasting Method. *J. Geogr. Sci.* 22, 919–932.
- Zhang, C., and Anadon, L.D. (2014). A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China. *Ecological Economics* 100, 159–172.
- Zhao, X., Yang, H., Yang, Z., Chen, B., and Qin, Y. (2010). Applying the Input-Output Method to Account for Water Footprint and Virtual Water Trade in the Haihe River Basin in China. *Environmental Science & Technology* 44, 9150–9156.
- Zhou, S.L., McMahon, T.A., Walton, A., and Lewis, J. (2000). Forecasting daily urban water demand: a case study of Melbourne. *Journal of Hydrology* 236, 153–164.
- United Nations (2012). System of environmental-economic accounting for water: Seea-water (New York: United Nations).

