



HAL
open science

Analyse de la durabilité systémique d'un réseau de création de valeurs forestier : étude de cas à l'échelle d'une communauté de communes dans le massif des Landes de Gascogne

Stéphane Esparon

► **To cite this version:**

Stéphane Esparon. Analyse de la durabilité systémique d'un réseau de création de valeurs forestier : étude de cas à l'échelle d'une communauté de communes dans le massif des Landes de Gascogne. Economies et finances. Université de Bordeaux, 2016. Français. NNT : 2016BORD0377 . tel-01532037

HAL Id: tel-01532037

<https://theses.hal.science/tel-01532037>

Submitted on 2 Jun 2017

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 GRADE DE
DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE ENTREPRISE, ÉCONOMIE, SOCIÉTÉ (ED42)
SPÉCIALITÉ SCIENCES ÉCONOMIQUES

**Analyse de la durabilité systémique d'un réseau
de création de valeurs forestier**

Étude de cas à l'échelle d'une communauté de communes
dans le massif des Landes de Gascogne

Par **Stéphane ESPARON**

Sous la direction de :
Jean-christophe PEREAU

Soutenue le 15 Décembre 2016

Membres du jury :

M. TERREAUX Jean-Philippe,
Directeur de recherche, IRSTEA

M. BEURAIN Christophe,
Professeur, Université de Limoges, *rapporteur*

Mme FIGUIERE Catherine,
Maître de conférences, HDR, Université Grenoble Alpes, *rapporteuse*

Mme FERRARI Sylvie,
Maître de conférences, HDR, Université de Bordeaux, *examinatrice*

M. PEREAU Jean-Christophe,
Professeur, Université de Bordeaux, *membre invité*

Titre : Analyse de la durabilité systémique d'un réseau de création de valeurs forestier élargi

Résumé : Les politiques publiques encouragent le déploiement de l'économie circulaire (EC). Parmi les champs de mise en œuvre qui constituent ce courant de pensée, l'écologie industrielle et territoriale (EIT) vise à améliorer les systèmes productifs en optimisant les boucles de matière. Or, des études ont montré que l'organisation des éléments d'un système influence les capacités holistes de ce système. L'objectif de cette thèse est d'explorer l'influence du développement des interconnexions entre entreprises dans un périmètre de proximité. Plus précisément, nous observons les mécanismes qui influent sur la durabilité systémique.

Le système forestier des Landes de Gascogne est un écosystème industriel propice à l'étude d'innovations organisationnelles et d'aménagement du territoire. Notre territoire expérimental est au cœur de ce massif forestier, de fait, nous avons cartographié les flux de matériau Bois, dans le but de construire la structure des collaborations entre activités. Via une analyse comparative avec deux autres structures issues de scénarios, nous observons des indicateurs d'analyse de réseau relatifs à la robustesse, la flexibilité et la stabilité.

La première contribution de la thèse est le réseau de création de valeurs élargi (RCVFE) comme cadre permettant d'observer l'ensemble des activités qui participent à la valorisation d'une ressource dans un territoire. La seconde contribution propose la communauté de communes comme périmètre adéquat pour comprendre la topologie des flux entre la ressource et la fin de vie des biens usagés.

Il est nécessaire de reproduire notre étude sur d'autres territoires ou sur des jeux données expérimentales afin de perfectionner notre méthode et nos résultats.

Mots-clefs : système, réseau d'acteurs forêt-bois, durabilité systémique, écologie industrielle et territoriale, économie circulaire, analyse de réseaux, communauté de communes, intercommunalité, métabolisme territorial, modélisation

Title : Systemic durability's analysis of a forest values network

Abstract : Public policies stimulate the deployment of circular economy (EC). Among the application tools, industrial and territorial ecology aims is to improve productive systems by optimizing materials loops. However, studies have shown that elements organizations of a system influences the holistic capabilities of this system.

The objective of this thesis is to exploring the influences of the network shapes of a companies set, on systemic durability of this set at local scale.

The forest system of « Les Landes de Gascogne » is an appropriate industrial ecosystem to analyse innovative organization shapes and regional networking. Our experimental territorial unit is surrounded by forest and gives support to many companies, therefore we mapped the material wood flow, in order to build the collaborations structure between companies. Using comparative analysis we observed some network indicators related to robustness, flexibility and stability.

The first contribution of this thesis is the extended created value network as a optimal framework to observe all activities involved in the value-creation of local resource. The second contribution is the proposition of the municipalities conurbation as adequate scales, to understand flux topology from local natural resources and the end-of-life goods.

It is necessary to reproduce our study on other territories or on experimental data sets to improve our methods and results.

Keywords : system, forest-wood network, systemic durability, industrial ecology, territorial ecology, circular economy, network analysis, municipalities conurbation, territorial metabolism, modelisation,

Laboratoire : Groupe de recherche en économie théorique et appliquée (GRETHA UMR CNRS 5113)

Université de bordeaux 16 avenue Léon Duguit CS-50057 33608 Pessac CEDEX

REMERCIEMENTS

La rédaction d'un manuscrit de thèse est la résultante d'un binôme que forment le doctorant et la thèse. Ces deux entités possèdent leurs propres dynamiques tout en étant fortement interdépendantes. Le doctorant alimente la thèse qui au fil des jours et des années, évolue d'idée en idée, jusqu'à devenir une véritable proposition structurée. En retour, la thèse permet au doctorant de développer ses connaissances, ses capacités et ses compétences.

Au cours de mes 4 années de travaux, j'ai dû faire face à des difficultés diverses et les solutions qui se sont offertes à moi provenaient des communautés qui s'étaient structurées autour de moi et de ma thèse. Je souhaite remercier tous les membres de ces communautés sans qui cette thèse et moi-même n'aurions pu être ce que nous sommes aujourd'hui.

Je tiens à remercier les membres du jury Sylvie Ferrari, Catherine Figuière, Jean-Christophe Beaurain et Jean-Philippe Terreaux de m'avoir fait l'honneur de leurs contributions.

Je tiens à remercier Jean-Christophe Perea de m'avoir aidé à structurer mon travail. À travers lui, je remercie l'ensemble des membres du GRETHA et de l'école doctorale Entreprises Economies et Société et de l'Université de Bordeaux.

Je remercie Olivier Laviolle et à travers lui, la communauté Bordeaux Sciences Agro, de m'avoir donné l'opportunité de concrétiser ce projet.

Je remercie mes collègues forestiers en particulier Christine Delisée, Jean Christophe Domec, Marie Charru et Jérôme Moreau d'avoir contribué aux conditions de travail propices à cette réussite.

Je remercie tout particulièrement et sincèrement Jean-Paul Guyon, l'initiateur de ce projet. Il a été successivement pour moi enseignant, collègue et codirecteur. Durant toutes ces années d'échanges, il n'a cessé d'éclairer mon parcours professionnel.

Enfin, je dois cette thèse au soutien de mes amis, de ma famille et surtout de toi Corinne.



Cette thèse a été réalisée au sein du laboratoire de recherche GRETHA (UMR CNRS 5113) et avec le soutien important de BORDEAUX SCIENCES AGRO.

Le système forestier aquitain montre une dynamique d'intégration des sciences humaines et sociales. La stabilité de cette dynamique implique trois axes de développement que sont la Recherche, l'Enseignement et le Transfert, car ce que la Recherche découvre aujourd'hui, les étudiants auront à le mettre en œuvre demain. C'est en accord avec cette logique que nous avons impliqué les étudiants de la plateforme de formation forêt-bois et la communauté de communes de Mimizan à ce projet de recherche.

Cette thèse a bénéficié des supports financiers de BORDEAUX SCIENCES AGRO

Le GRETHA, l'Université de Bordeaux et BORDEAUX SCIENCES AGRO n'entendent donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

RÉSUMÉ DES PRODUCTIONS

Articles en révision

ESPARON S. La communauté de communes comme système pilote pour l'étude d'un réseau de créations de valeurs forestier élargi. *Revue d'économie régionale et urbaine (RERU)*.

ESPARON S, PEREAU J-C. Le réseau de création de valeurs élargi un outil pour l'étude des relations entre système productif et territoire. *Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et territoires (FLUX)*.

Articles en préparation

ESPARON S. Les successions socioéconomiques sur l'espace du massif des Landes de Gascogne.

ESPARON S. Stratégie collaborative en R et D des acteurs du système forêt-bois. Exploitation de la base de données des projets labélisés par le pôle de compétitivité XYLOFUTUR.

Participations à des congrès

ESPARON S (2015, novembre) *Networks structure and systemic durability: applied to two scenarios of a territorial forest chain network*. International workshop présenté à Industrial ecology : innovations for a post-carbon society, Paris and worldwide via webcast

ESPARON S (2012) L'innovation organisationnelle, une solution pour l'éco-développement de la filière forestière Aquitaine. Présenté à Masters des Bois, Bordeaux

ESPARON S (2014) L'EPCI de Mimizan, une unité territoriale appropriée pour l'analyse de l'ancrage des acteurs forestiers. (p. 7). Présenté à Conférence interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale, Université technologique de Troyes (UTT)

ESPARON S, GUYON J-P (2012) Écodéveloppement du secteur forestier d'Aquitaine (ECOSEFOR). Présenté à Colloque de lancement du réseau Sciences Economiques, Humaines et Sociales appliquées à la forêt et la filière bois, Paris

Contributions académiques

ESPARON S (2012) *Vers une modélisation bioéconomique de la filière forestière d'Aquitaine* (Mémoire de fin d'études de Master [Research in applied economics]). Bordeaux : Université de Bordeaux IV

ESPARON S, JACOB O (2013) *Intégration d'un module transdisciplinaire (écologie industrielle) dans un enseignement spécialisé (foresterie)*. Retour d'expérience présenté aux rencontres de l'UVED, Bordeaux

Vulgarisation scientifique

ESPARON S (2014) *Modélisation bioéconomique de la chaîne de production forestière d'Aquitaine*. Présenté à Ma thèse en 180 secondes, Université de Bordeaux et webcast

Montage et encadrement de projets académiques dans le giron de la thèse

RESPONSABLE DE MODULE D'ENSEIGNEMENT :

L'écologie industrielle appliquée au secteur forêt-bois. Unité d'enseignement mixte TICE et présentiel, mise en œuvre sur la base de la ressource pédagogique de l'UVED « *écologie industrielle* ». 38h hTD.de 2009 à 2015. Intervenants en présentiel : S. BRULLOT, T. REYES, B. DURET, C. ADOUE, F. JULIEN SAINT-AMAND.

STAGE DE MASTER 2

JACOB O (2013) *Catalogue critique des données économiques sur la filière bois disponibles en Aquitaine* (Mémoire de Master). Bordeaux : Université de Bordeaux

PROJET PROFESSIONNALISANT¹

BEL L, GIROUX C (2015) *Analyse des flux de matériau bois et évaluation de la part de d'économie circulaire, sur la communauté de communes de mimizan* (projet professionnalisant No. 6). Bordeaux Sciences Agro

LAPALU J, BERAUD E, SAUVAGE L (2014) *Analyse du Réseau de Création de Valeurs forestière élargi de la CCM* (projet professionnalisant No. 6). Bordeaux Sciences Agro-Ecole Supérieure du Bois

MANKOV P, THOMAS M, VIGNA I (2013) *Recensement et cartographie des acteurs du « réseau de création de valeurs forestières élargi » de la Communauté de Communes de Mimizan.* (projet professionnalisant No. 5). Bordeaux Sciences Agro-Ecole Supérieure du Bois

HERVE V, ESCALET P, VILLERMET C (2012) *L'écologie industrielle pour évaluer la durabilité de la filière forestière en aquitaine* (projet professionnalisant No. 4). Bordeaux Sciences Agro

BOURDA S, PARSEIHIAN O, MAMAN J, VIVIEN Y (2011) *Détermination des flux de matières des entreprises de la communauté de communes de Mimizan et analyse préliminaire des risques d'une entreprise* (projet professionnalisant No. 3). Bordeaux Sciences Agro

ADRIEN S, FERRASSE P (2010) *Projet professionnel d'Ecologie Industrielle dans le cadre de la formation Logifor* (projet professionnalisant No. 2). Bordeaux Sciences Agro

COGNE J-M, ZABALA G (2009) *Projet ENT : Lancement d'un projet d'écologie industrielle au sein de la communauté de commune de Mimizan étendue – étude préliminaire à l'élaboration d'un outil de diagnostic de la filière Bois du pin des Landes de Gascogne* (projet professionnalisant No. 1). Bordeaux Sciences Agro

Organisation et animation de conférences de vulgarisation

FOURKAL D, ORLIANGES P (2015) *Parole aux entreprises : « Valorisation de biens en fin de vie, deux exemples au sein du secteur forêt-bois ».* Présenté à Conférences des Bois du pôle XYLOFUTUR, Bordeaux Sciences Agro

PENIN M, AMADE M (2015) *Pin maritime et circuit court : zoom sur les opportunités et les freins dans le secteur de la construction Bois.* Présenté à Conférences des Bois du pôle XYLOFUTUR, Bordeaux Sciences Agro

TYL B, PERRY N (2014) *Economie circulaire et filière Forêt-Bois.* Présenté à Conférences des Bois du pôle XYLOFUTUR, Bordeaux Sciences Agro

ADOUE C (2013) *Apports et Perspectives de l'Economie Circulaire à la Filière Forêt-Bois-Papier : de la Ressource aux Déchets.* Présenté à Conférences des bois du pôle XYLOFUTUR, Bordeaux Sciences Agro

ERKMAN S (2010) *L'écologie industrielle : avenir du système industriel.* Conférence à distance présentée à Conférences du mardi soir du pôle XYLOFUTUR, Enita de Bordeaux

¹ Projet commandité par un professionnel du système Forêt-Bois, correspondant à 100 heures de travail pour un groupe de 2 à 4 étudiants entre septembre et février.

LISTE DES PRINCIPALES ABRÉVIATIONS

APE : Activité principale exercée

CC : Communauté de communes

CCM : Communauté de Communes de Mimizan

CPF : Classification des produits française

DD : Développement durable

EC : Économie circulaire

EIT : Écologie industrielle et territoriale

NAF : Nomenclature d'activités française

NONP : Non-orienté non-pondéré

NOP : Non-orienté pondéré

ONP : Orienté non-pondéré

OP : Orienté pondéré

RCVE : Réseau de création de valeurs élargi

RCVFE : Réseau de création de valeurs forestier élargi

LEXIQUE SIMPLIFIÉ DES PRINCIPAUX TERMES

Centralité : classement des éléments d'un réseau en fonction d'un critère donné.

Exemple : centralité de degré : classement en fonction du nombre de relations ;
Centralité de proximité : classement des éléments en fonction de leur distance aux autres éléments.

Communauté : ensemble d'éléments d'un réseau interagissant davantage entre eux qu'avec les autres éléments.

Compartimentation : le fait qu'un réseau soit constitué de compartiments, communautés, modules, partition, groupes...

Connectance : rapport entre le nombre réel de liaisons trophiques qui existent entre les différentes espèces d'un réseau et le nombre théorique maximum. Notion principalement utilisée en analyse de réseau écologique, synonyme de la densité.

Degré : mesure du nombre de liens d'un élément.

Modularité : mesure pour la qualité d'un partitionnement des nœuds en communautés au sein d'un réseau.

Réseau : ensemble d'éléments reliés par des liens de même nature

Système : ensemble d'éléments reliés par des liens de natures diverses et variées.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : TYPOLOGIE DES MECANISMES DE DURABILITE SYSTEMIQUE	28
FIGURE 2 : SCHEMA DU MECANISME DE ROBUSTESSE	31
FIGURE 3 : SCHEMA DU MECANISME DE FLEXIBILITE	32
FIGURE 4 : SCHEMA DU MECANISME DE STABILITE D'UN RESEAU DE FLUX DE MATIERES	35
FIGURE 5 : LES PAYS DE LA FORET LANDAIS ET LES DIFFERENTS TYPES DE LANDES (SOURCE : L. PAPY)	49
FIGURE 6 : BERGERS-ECHASSIERS. (SOURCE : F. ARNAUDIN)	51
FIGURE 7 : PHOTOS D'ILLUSTRATION. « GEMMAGE DU PIN »	56
FIGURE 8:PHOTO D'ILLUSTRATION. TECHNIQUES DE GEMMAGE (PARDE, 1989).	57
FIGURE 9 : REPRESENTATION DES SUCCESSIONS ECONOMIQUES SUR L'ESPACE DU MASSIF DES LANDES DE GASCOGNE	62
FIGURE 10 : REPRESENTATION DU TERRITOIRE COMME UN SYSTEME (D'APRES (MOINE, 2006))	73
FIGURE 11 : TYPOLOGIE DES MECANISMES DE DURABILITE	96
FIGURE 12:ORGANIGRAMME DU RCVFE DE LA CCM	100
FIGURE 13 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU RCVFE	101
FIGURE 14 : PROCESSUS GENERIQUE DES ACTIVITES	103
FIGURE 15 : METABOLISME D'UN ETABLISSEMENT DE CODE 1610A	104
FIGURE 16 : EXEMPLE 1 DE CALCUL DE QR	119
FIGURE 17 : EXEMPLE 2 DE CALCUL DE QR	119
FIGURE 18 : FIGURE EXPLICATIVE DES COURBES	126
FIGURE 19 : REPRESENTATION DU RESEAU FERME	128
FIGURE 20 : REPRESENTATION DU RESEAU OUVERT	129
FIGURE 21 : COURBES DES MOYENNES DE CENTRALITE DE DEGRE PAR NIVEAU	132
FIGURE 22 : COMPARAISON DES COURBES DE CENTRALITE DE DEGRE	134
FIGURE 23 : COMPARAISON DES COURBES DE CENTRALITE DE DEGRE (ENTRANT)	134
FIGURE 24 : COMPARAISON DES COURBES DE CENTRALITE DE DEGRE (SORTANT)	135
FIGURE 25 : COMPARAISON DES COURBES D'INTERMEDIARITE	136
FIGURE 26 : COMPARAISON DES COURBES D'INTERMEDIARITE PONDERE	136
FIGURE 27 : EVOLUTION DES VALEURS RELATIVES DES FOURNITURES LE LONG DE LA CHAINE D'ACTIVITE	138
FIGURE 28 : IMPORTANCE DES ACTIVITES AU REGARD DE L'EFFICIENCE DES RESEAUX	141
FIGURE 29 : COMPARAISON DES RESEAUX AU REGARD DU CRITERE D'EFFICIENCE	142
FIGURE 30 : CASCADE DE RELATIONS « FOURNISSEUR-CLIENT »	143
FIGURE 31 : CENTRALITE DE PROXIMITE (FONDE SUR L'ANGLE ORIENTE PONDERE (NONP))	146
FIGURE 32 : CENTRALITE DE PROXIMITE (FONDE SUR L'ANGLE NON ORIENTE PONDERE (NOP))	146
FIGURE 33 : CONSTRUCTION DES METABOLISMES DES ENTREPRISES	158
FIGURE 34 : COMPARAISON DE LA CENTRALITE DE DEGRE DU RESEAU REEL	163
FIGURE 35 : COMPARAISON DE LA CENTRALITE DE DEGRE PONDERE DU RESEAU REEL	164
FIGURE 36 : COMPARAISON DE LA CENTRALITE D'INTERMEDIARITE DU RESEAU REEL (ONP)	165
FIGURE 37 : COMPARAISON DE LA CENTRALITE D'INTERMEDIARITE DU RESEAU REEL (OP)	166
FIGURE 38 : COMPARAISON DES COURBES DE VALEURS D'EFFICIENCE DU RESEAU REEL	169
FIGURE 39 : COMPARAISON DES VALEURS D'EFFICIENCE PAR ACTIVITE	170
FIGURE 40 : COMPARAISON DE LA CENTRALITE DE PROXIMITE DU RESEAU REEL (NONP)	172
FIGURE 41 : COMPARAISON DE LA CENTRALITE DE PROXIMITE DU RESEAU REEL (NOP)	173
FIGURE 42 : COMPARAISON DES VALEURS DE QR EN FONCTION DU NOMBRE DE COMMUNAUTES	175

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	15
A. LA NÉCESSAIRE ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION	16
B. DURABILITÉ SYSTÉMIQUE, ANALYSE DE RÉSEAUX ET SYSTÈMES ÉCONOMIQUES	22
C. LES COLLABORATIONS LOCALES, LEVIER DE DURABILITÉ DU SYSTÈME FORÊT-BOIS LANDAIS ?	36
D. OBJECTIF DE LA THÈSE ET PLAN DE TRAVAIL	40
DÉCOUVERTE DU SYSTÈME FORESTIER LANDAIS ET CARACTÉRISATION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE	45
CHAPITRE 1 : LES SYSTÈMES ÉCONOMIQUES DOMINANT SUR L'ESPACE DU TRIANGLE LANDAIS	47
A. INTRODUCTION	47
B. LES SYSTÈMES FORESTIERS DU MASSIF DES LANDES DE GASCOGNE	50
C. ANALYSE DES FACTEURS DE TRANSITIONS	64
D. CONCLUSION	68
CHAPITRE 2 : LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES COMME UN SYSTÈME PILOTE POUR L'ÉTUDE D'UN RÉSEAU DE CRÉATION DE VALEURS FORESTIER ÉLARGI	71
A. INTRODUCTION	71
B. LE CAHIER DES CHARGES DU « SYSTÈME PILOTE »	72
C. LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES, UN TERRITOIRE IDOÏNE	80
D. CONCLUSION	86
MODÉLISATION DU RÉSEAU DE CRÉATION DE VALEURS ÉLARGI À L'ÉCHELLE D'UNE COMMUNAUTÉ DE COMMUNES	91
CHAPITRE 3 : DURABILITÉ D'UN SYSTÈME « FERME » VERSUS DURABILITÉ D'UN SYSTÈME « OUVERT »	93
A. INTRODUCTION	93
B. LE RCVFE ÉTUDIÉ	97
C. MODÉLISATION ET MÉTHODE D'ANALYSE DES RÉSEAUX	102
D. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	125
E. CONCLUSION	152
CHAPITRE 4 : COMPARAISON D'UN CAS D'ÉTUDE AUX MODÈLES THÉORIQUES	156
A. INTRODUCTION	156
B. MATÉRIEL ET MÉTHODE	156
C. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	161
D. DISCUSSION ET CONCLUSION	176
CONCLUSION GÉNÉRALE	182
BIBLIOGRAPHIE	190
TABLE DES MATIÈRES	202
ANNEXES	206

INTRODUCTION GÉNÉRALE

« Explorer la durabilité des systèmes productifs »

« Suivez la nourriture et vous comprendrez la structure des communautés ».

Charles Sutherland Elton, 1927

A. LA NÉCESSAIRE ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

1. Du linéaire au circulaire, un moyen de durer

La révolution industrielle a véritablement façonné les relations entre les systèmes de production² et la biosphère. Avant la révolution industrielle, la biosphère avait, à travers l'agriculture, une place prépondérante. L'importance de l'agriculture comme facteur de production était inhérente à la création de valeurs. L'émergence des activités industrielles et tertiaires a rendu moins évident le lien de dépendance entre nos activités anthropiques et la biosphère.

Les modes de production issus de la phase de bouleversement industriel ont été essentiellement basés sur une approche linéaire des flux de matières (ERKMAN, 1998; FROSCH ET GALLOPOULOS, 1989). À l'époque, l'importante disponibilité des réserves n'encourageait guère à la recherche de méthodes de production plus efficaces. Ainsi, les producteurs industriels se contentaient d'extraire plus pour produire plus, pendant que les consommateurs se contentaient de consommer plus et de jeter plus. Ces modes de production et de consommation ont eu des répercussions négatives sur l'environnement. Les solutions du type « end of pipe³ » qui consistent à nettoyer les effluents en fin de processus industriel, avant de les évacuer dans l'environnement naturel se sont développées (ERKMAN, 1998). L'exemple souvent cité est celui des filtres à particule en bout de cheminée. Autrement dit, ces solutions traitent les polluants dans une logique linéaire, sans intention de limiter les facteurs générateurs de polluants.

Dans de nombreux secteurs d'activités, cette pratique de production linéaire montre des limites. En amont des systèmes de production, le prélèvement irraisonné induit des pénuries mondiales de ressources. C'est le cas pour des ressources non renouvelables, comme des énergies fossiles et des minerais, mais également celui de ressources dites renouvelables, comme plusieurs espèces de poissons (FAO, 2012) ou

² Le système de production est composé de l'ensemble des éléments (matériel et immatériel) contribuant à la production.

³ Approche « end of pipe » que l'on peut traduire en français par « fin de processus » qui consiste à agir de manière réparatrice, en aval, en traitant la pollution.

certain massifs forestiers (FAO, 2010). En aval de ces systèmes de production, les émissions non maîtrisées ont conduit à des pollutions de grande ampleur (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2013; OCDE, 2012). Ces dégradations touchent l'ensemble de la biosphère (sols, eaux, air, faune et flore). Force est de constater que ce ne sont pas des dysfonctionnements des modes de production qui ont abouti à ces conséquences dramatiques, mais bien le fonctionnement courant et intentionnel de ceux-ci (ERKMAN, 1998).

Ces systèmes de production linéaires subissent les répercussions de leur propre fonctionnement. D'un côté, la surexploitation a fortement diminué les stocks obligeant à la mise en place de quotas et à augmenter l'effort de prospection. De l'autre côté, les émissions de polluants sous toutes leurs formes engendrent des déséquilibres environnementaux (érosion de la biodiversité, dérèglement climatique). Ces conséquences contraignent les acteurs de ces systèmes de production à investir de plus en plus pour se prémunir des aléas climatiques.

Les systèmes de production basés sur une approche linéaire n'ont fait que déplacer des stocks en créant de l'entropie (CLOUD, 1977). Des réserves homogènes et « rangées » de matières premières exploitables sont devenues des stocks composites dispersés de déchets inexploités. Les conséquences majeures comme l'épuisement des stocks, les pluies acides, ou encore l'érosion de la biodiversité ont conduit à des prises de conscience à tous les niveaux de la société. Ces événements ont contribué à la prise de conscience que le système de production est source de phénomènes rétroactifs dans un ensemble plus intégratif et plus complexe. CARROUE (2014) définit ce système productif comme « l'ensemble des facteurs et des acteurs concourant à la production, à la circulation et à la consommation de richesses ».

2. L'Écologie industrielle et territoriale, un nouveau modèle de production

En France, la loi du 27 décembre 2012⁴ fait référence à la transition écologique. Cette dernière propose d'évoluer vers de nouveaux modèles de production qui s'appuient sur

« une utilisation rationnelle et efficace vis-à-vis de toutes les ressources, y compris la sollicitation des régulations naturelles (climat, écosystèmes), et de résilience face aux aléas climatiques pour les territoires, les procédés industriels et agricoles, les biens et les services ».

Cette loi préconise de déployer de nouvelles formes d'interconnexions d'entreprises sur un territoire, fondées sur les principes de l'économie circulaire (EC) (GELDRON, 2014). Cette dernière renvoie à 7 thèmes : l'écoconception, l'économie de fonctionnalité, le réemploi, la réutilisation, la réparation, le recyclage et l'écologie industrielle et territoriale (EIT). L'EC est affichée comme un modèle de pensée dans lequel l'EIT est une des stratégies de mise en œuvre, mais cette articulation suscite des réflexions (FIGUIERE ET CHEBBI, 2016; LE CLUB D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE DE L'AUBE, 2016).

L'EIT⁵ propose une vision holistique des activités de production. Ce champ pluridisciplinaire vise à optimiser l'organisation des flux sur un territoire, par le bouclage interentreprises à une échelle locale (ERKMAN, 1998; FROSCHE ET GALLOPOULOS, 1989). Dans la littérature, deux courants de pensée alimentent des fondements divergents de l'écologie industrielle (BRULLOT, 2009). Le premier interroge la modification du « paradigme social dominant » actuel des modes de production. Il considère que la mise en œuvre d'une nouvelle façon de produire est nécessairement soumise à une dimension sociale qui va au-delà de la dimension

⁴ LOI n° 2012-1460 du 27 décembre 2012 relative à la mise en œuvre du principe de participation du public défini à l'article 7 de la Charte de l'environnement

⁵ La notion anglophone de l'EI « *Industrial ecology* » s'intéresse aux activités humaines au sens large. L'appropriation francophone de la notion s'appuie sur deux corpus : l'écologie industrielle (sensible à l'optimisation des zones industrielles) et l'écologie territoriale (sensible à l'organisation des activités à l'échelle du territoire). Ces deux corpus sont étroitement liés, à l'image des collaborations du colloque interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale (COLEIT 2012, 2014). Dans notre travail, nous utiliserons le terme EIT de façon inclusive. Nous utilisons le terme « EI » lorsque la source l'utilise spécifiquement.

marchande (EHRENFELD ET GERTLER, 1997). Le second perçoit l'EI comme une science de la durabilité, basée essentiellement sur les flux de matières et d'énergies (ALLENBY, 2006; FROSC ET GALLOPOULOS, 1989). Le système industriel est pensé comme un écosystème qui évolue dans le temps, d'un état immature vers un état de maturité (ERKMAN, 2004). Cette vision technico-technique n'intègre pas de dimension humaine ou sociale (DAIN, 2010).

Dans le cadre du deuxième courant de pensée, cette thèse se propose de comprendre comment circulent les flux de matière, d'eau et d'énergie au sein d'un territoire, à travers la mise en évidence des métabolismes industriels (ADOUE, 2007). Le premier projet de symbiose industrielle date de 2001. Dix ans plus tard, l'étude COMETHE⁶ permettait de comptabiliser 34 projets en activité. En 2014, l'OREE⁷ recensait 50 projets dont une majorité est portée par des territoires. L'augmentation du nombre de ces projets témoigne de l'intérêt grandissant des territoires pour cette thématique. L'intérêt est également perceptible du côté des communautés scientifiques à travers l'augmentation des publications dans des champs académiques variés.

Ces projets mettent tous en avant les bénéfices à court terme des symbioses industrielles (ADOUE, 2007; M. R. CHERTOW, 2007; EHRENFELD ET GERTLER, 1997; JACOBSEN, 2006; KORHONEN, 2001). Ces bénéfices impliquent une meilleure rentabilité économique et une diminution des pressions sur l'environnement du fait de l'optimisation et de la rationalisation des processus de production⁸.

La Nature comme exemple

L'écologie industrielle et territoriale applique les principes du biomimétisme aux activités économiques (BENYUS, 2008). Le biomimétisme fait le constat que durant

⁶ Conception d'Outils **METH**odologiques et d'évaluation pour l'Écologie Industrielle. COMETHE est lauréat de l'Appel à projets 2007 du Programme de Recherche Ecotechnologies et Développement Durable (PRECODD) lancé par l'Agence Nationale de la Recherche et Coordonnée par l'Orée.

⁷ **ORÉE** (*Organisation pour le Respect de l'Environnement dans l'Entreprise*) est une association multiacteurs créée en 1992 qui rassemble plus de 150 entreprises, collectivités territoriales, associations professionnelles et environnementales, organismes académiques et institutionnels pour développer une réflexion commune sur les meilleures pratiques environnementales et mettre en œuvre des outils pratiques pour une gestion intégrée de l'environnement à l'échelle des territoires.

⁸ Un système productif est fondé sur un ou des modèles de productions. Le système productif comprend des processus de productions, c'est-à-dire un enchaînement d'activités permettant d'aboutir à la production de biens ou de services.

des milliards d'années, l'ensemble du vivant a évolué pour devenir ce qu'il est aujourd'hui. Les écosystèmes tels qu'ils nous entourent sont donc très adaptés et performants. Les systèmes écologiques peuvent offrir des solutions aux problèmes auxquels font face nos activités humaines. Bien qu'anthropiques, elles restent soumises aux mêmes lois de la physique et doivent répondre aux mêmes problématiques (GEORGESCU-ROEGER, 1979).

L'application des connaissances issues des systèmes écologiques à nos activités humaines (cas des symbioses industrielles) a permis des bienfaits directs économiques et écologiques (W. S. ASHTON, 2009). Ces dernières peuvent également être bénéfiques à la durabilité de nos systèmes anthropiques. En effet, des travaux montrent que les systèmes écologiques ont d'importantes capacités à résister et à faire face aux perturbations extérieures (PETERSON, ALLEN, ET HOLLING, 1998; WALKER, HOLLING, CARPENTER, ET KINZIG, 2004). L'étude de ces capacités systémiques appliquées aux systèmes industriels est aujourd'hui relativement peu développée, mais depuis quelques années, ce corpus de recherche émerge, poussé par l'essor des outils d'analyses de réseaux sociaux.

Du système aux réseaux

L'objet système est communément décrit comme un ensemble d'éléments de natures diverses et variées, eux-mêmes interconnectés par des relations de natures multiples. La compréhension du fonctionnement d'un tel objet est complexe en raison de boucles de rétroactions souvent non perceptibles. Les phénomènes y sont rarement linéaires, souvent synergiques et parfois émergents. L'étude d'un système dans sa globalité est une tâche difficile. Parmi d'autres, trois cadres de pensée abordent l'étude de cet objet à travers des niveaux graduels d'intégration de la complexité.

Le premier est la *pensée complexe* telle qu'exposée par LE MOIGNE (1990) et MORIN (1990). Ce concept va au-delà du cadre scientifique auquel s'articule la réflexion éthique et politique (PENA-VEGA, 2011). Cette pensée vise à appréhender un objet au travers de l'ensemble des relations qu'il partage avec son environnement et cela sans distinction de champs⁹ (BOURDIEU, 1996).

⁹ Pierre Bourdieu définit la société comme une imbrication de champs : champs économique, politique, culturel, artistique, sportif, religieux.

Le deuxième est l'*approche système complexe* formulée par DONNADIEU ET KARSKY, (2002). Cette approche se place dans la continuité de la pensée complexe et est davantage une méthode scientifique destinée à la mise en pratique (BAGAOUI, 2006). Elle s'intéresse principalement aux phénomènes que les approches analytiques ont du mal à investir, comme les propriétés émergentes (PENA-VEGA, 2011).

Le troisième courant de pensée dévie quelque peu des fondements de la pensée complexe pour atteindre les objectifs de l'approche système complexe. Il s'agit de l'emploi du concept de réseau pour comprendre les systèmes complexes. Alors que la pensée complexe impose une vision décloisonnée des champs relatifs à l'objet observé, l'emploi de la notion de réseau cloisonne le système en sous-couches interdépendantes. Le système est alors perçu comme un ensemble de réseaux qui articulent les mêmes éléments au moyen de relations de nature différente. Découper un système en réseaux est contraire aux principes de la pensée complexe, mais présente l'avantage d'investiguer la compréhension des liens entre interactions, architectures et propriétés émergentes du réseau et donc par extension, permet la compréhension du système. L'approche est utilisée dans les recherches sur les systèmes complexes et notamment dans la compréhension des propriétés du cerveau (BULLMORE ET SPORNS, 2009; CHRISTENSEN ET ALBERT, 2007; GRILLI, ROGERS, ET ALLESINA, 2016; MAGEE, 2006; MITCHELL, 2006; TELESFORD, SIMPSON, BURDETTE, HAYASAKA, ET LAURIENTI, 2011). Cette thèse s'inscrit dans cette troisième approche.

Réseau mutualiste et métabolisme industriel, une même architecture

La logique qui consiste à comprendre un système à travers les réseaux qui le constitue est une méthode d'analyse couramment utilisée en écologie. Un écosystème est constitué d'êtres vivants (biocénose) et de leur milieu physico-chimique (biotope). Les êtres vivants interagissent entre eux et avec les éléments physico-chimiques, eux-mêmes en interrelation. La nature des relations entre ces êtres vivants permet l'articulation de divers réseaux plus ou moins superposés. Parmi eux, le réseau trophique (PIMM, 1979) et le réseau mutualiste (BASCOMPTE ET JORDANO, 2014) sont les plus étudiés. Le réseau trophique est la cartographie des interactions alimentaires entre les espèces constitutives du système. Ces relations se traduisent par des interactions gagnant-perdant de type proie-prédateur. Une population *A* se nourrit d'une population *B*, donc *B* induit un effet positif sur *A*, alors que *A* limite le

développement de la population *B*. Le réseau mutualiste est la cartographie des interactions à bénéfices réciproques entre espèces. C'est le cas de la relation plante-pollinisateur (DUAN, LI, LIU, MOREAU, ET CHRISTENSEN, 2009; FATH, SCHARLER, ULANOWICZ, ET HANNON, 2007; IVES ET CARDINALE, 2004; THEBAULT ET FONTAINE, 2010).

Par analogie, le système productif est également constitué d'une multitude de couches de réseaux d'acteurs interconnectés. Chaque acteur est à la fois fournisseur de celui qui est en aval et client de celui qui est en amont. Tous peuvent avoir des fournisseurs ou des clients en commun¹⁰. Ces acteurs sont organisés en filières interconnectées. Ces filières sont dépendantes des dynamiques des ressources naturelles, elles-mêmes dépendantes du milieu physico-chimique. Au sein de ce système, le métabolisme industriel est la cartographie des flux de matières et d'énergies qui transitent par chacun des acteurs (AYRES ET SIMONIS, 1994). Le métabolisme industriel met en évidence les interactions résultant du circuit de la matière au sein du système. Cependant, des liens relient également les acteurs du métabolisme industriel à travers le réseau d'information, le réseau routier ou encore le réseau électrique. L'étude isolée et/ou combinée de ces réseaux permet d'avancer dans la compréhension des propriétés qui émergent du système productif.

B. DURABILITÉ SYSTÉMIQUE, ANALYSE DE RÉSEAUX ET SYSTÈMES ÉCONOMIQUES

1. La durabilité et le développement durable

Le concept de développement durable (DD) a émergé dans un contexte de prise de conscience par les sociétés du caractère épuisable des ressources et des impacts négatifs¹¹ qu'engendrent les activités humaines sur l'environnement. En 1987, face à l'inadéquation entre les dynamiques de production et environnementale, la commission mondiale sur l'environnement et le développement¹² proposait le concept

¹⁰ Exemple dans le système forêt-bois, des planches issues d'un scieur peuvent alimenter le marché de l'ameublement ou de la construction. Également, les résidus d'un fabricant de meubles peuvent être achetés par un industriel dans le but de fabriquer des panneaux de particules.

¹¹ Pluies acides, trou dans la couche d'ozone, effet de serre, déforestation, catastrophe de Tchernobyl.

¹² Connu sous le nom de rapport Brundtland, du nom de la présidente de la commission.

de « Développement durable¹³ : un développement qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs¹⁴ ». Dans ce cadre, la durabilité fait référence à la nécessaire considération de 3 axes de réflexion (social, économique, environnemental). Le postulat est que si à tous les niveaux et échelles d'actions, les modèles économiques intègrent l'équité sociale et la prudence environnementale, alors le développement qui en résulte est propice à être durable. Dans une projection à long terme, cette définition met face à face deux notions majeures, celle du « besoin » et celle de la « capacité de l'environnement à se régénérer ». Cette mise en balance propose une notion d'équilibre à atteindre entre ce qui nous est nécessaire¹⁵ et ce que nous pouvons demander à l'environnement.

Le DD est perçu comme étant la préservation du capital naturel (J.-L. DUBOIS ET MAHIEU, 2002). Les notions de durabilité forte et faible sont associées à cette idée. La première fait l'hypothèse que le capital naturel (ressource naturelle) est complémentaire des autres capitaux et qu'il est non substituable (DALY, 1990). La seconde considère que le capital naturel peut être remplacé par le capital artificiel (richesse créée) (HARTWICK, 1977). Au-delà de ces positions divergentes, la question posée reste *in fine*, celle de la capacité à durer dans le temps des sociétés. Une fois cette position admise, la considération des 3 piliers d'observation du DD n'est qu'une voie possible pour atteindre une plus grande durabilité. Par ailleurs, trente années après la proposition de ce concept, aucune étude n'a montré qu'une gestion qui intègre les 3 axes du DD, de façon combinée ou séparée, augmente la capacité d'un système à durer dans le temps. En effet, un système qui n'applique pas la triple contrainte du DD peut ne pas être durable à long terme, mais rien ne prouve qu'un système qui les applique le soit pour autant. De ce point de vue, la durabilité dans le sens du DD est nécessaire, mais n'est pas nécessairement suffisante. C'est pourquoi la conception de la durabilité telle qu'employée dans ce manuscrit partage les intentions du DD, mais n'intègre pas *ipso facto* une réflexion basée sur la combinaison des axes économique, sociale et environnementale.

¹³ « *Sustainable development* ». Également souvent traduit par « développement soutenable »

¹⁴ « *development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs* »

¹⁵ Besoins des plus pauvres

Au sens strict la durabilité est issue du latin « durabilitas » [« duro » et « abilitas »]. Elle fait référence à « la qualité de ce qui est durable », mais le sens donné varie en fonction du champ dans lequel il est employé. Dans les champs de recherches des organisations ou des systèmes socioéconomiques, il n'est pas aisé de trouver des travaux relatifs à la durabilité qui soient déconnectés de la pensée relative au DD. Ces objets sont principalement étudiés au travers des combinaisons de critères sociaux, économiques et écologiques.

Néanmoins, au travers d'approches holistiques récentes, la durabilité est étudiée sous le terme de « durabilité systémique » (FAVREAU, 2014). Ce dernier est défini comme un ensemble de processus de changements holistes par lesquels un tissu d'éléments organisés se maintient dans le temps, s'adapte et évolue. Cette notion a été développée lors d'études de la durabilité de filières agricoles localisées (BASSENE, QUIEDEVILLE, CHABROL, LANÇON, ET MOUSTIER, 2014; FAVREAU, 2014). Elle se fonde sur l'idée que la durabilité est à la fois dynamique et fonction des constituants du système. Ainsi, la durabilité ne s'impose pas de façon exogène, mais elle est une propriété émergente de la structure du système. D'un point de vue sémantique, cette notion est fortement liée aux propriétés émergentes telles que la résilience, la flexibilité et l'adaptation, issues des travaux sur les systèmes socioécologiques durant les années 2000 (CARPENTER, WESTLEY, ET TURNER, 2005; WALKER *ET AL.*, 2004). La durabilité systémique fait intuitivement appel aux travaux relatifs à l'étude de la survivabilité¹⁶ « survivability » définie comme la capacité d'un système à maintenir des services essentiels en dépit de dysfonctionnement, comme des erreurs ou des intrusions (JHA, WING, LINGER, ET LONGSTAFF, 2000). Pour être capable de survivre, le système doit être capable de s'adapter à un environnement dynamique, de résister aux défaillances, être flexible et hautement réactif (THADAKAMAILA, RAGHAVAN, KUMARA, ET ALBERT, 2004). Ces capacités de survie dépendent des fonctionnalités des éléments du système, mais elles dépendent également de propriétés émergentes.

¹⁶ La survivabilité peut prêter à confusion avec la notion de viabilité. Notre acceptation de ces deux notions induit les positionnements suivants: la survivabilité fait référence au maintien des fonctions du système en dépit des changements d'environnements. La viabilité fait référence au maintien des fonctions du système dans un environnement donné. Nous ne faisons pas appel à la notion de viabilité dans ce manuscrit.

2. L'étude des propriétés émergentes des systèmes de production au travers de l'analyse de réseaux

Les propriétés émergentes sont « des phénomènes macroscopiques imprévisibles, voire inexplicables, qui prennent la forme de régularités statistiques, de structures relationnelles ou même d'entités originales » (WALLISER, 2006). Parmi les formes diverses de ces phénomènes, nous nous intéressons à celles qui émergent de la topologie, c'est-à-dire de la seule influence des attributs et de leurs interrelations.

Depuis quelques années l'étude des propriétés qui émergent de la topologie des systèmes de productions connaît un essor important grâce à l'analyse de réseaux (cf. encadré 1).

Encadré 1 :

L'analyse de réseaux est un outil d'étude des structures qui émergent de la combinaison des relations entre membres d'une population. Cet outil rejoint les intentions de l'approche systémique dans la mesure où il s'intéresse davantage aux propriétés relationnelles qu'à celles des acteurs.

L'analyse de réseaux est utilisée sur des types variés d'organisations et à des niveaux multiples (global, intermédiaire, local). À l'origine, elle étudie les actions collectives et les mouvements sociaux (CURTIS ET ZURCHER, 1973). Depuis, certains travaux sur le traitement analytique des données (WASSERMAN ET FAUST, 1994) et le développement de logiciel d'analyse font que l'analyse structurale de réseaux est de plus en plus utilisée pour l'étude des flux de matières (LEMERCIER, 2005).

L'article de SCHILLER, PENN ET BASSON (2014) présente un état de l'art des publications associant analyse de réseaux et écologie industrielle. Deux niveaux d'informations ressortent de ces travaux.

Premièrement, une multitude de logiques de constructions, de nature d'information et de métrique sont utilisées. Certains travaux ont observé la présence/absence d'informations entre firmes (W. S. ASHTON ET BAIN, 2012), les flux d'informations (PAQUIN ET HOWARD-GRENVILLE, 2013), les flux de déchets (W. ASHTON, 2008; M.

CHERTOW ET EHRENFELD, 2012) et les flux d'eau (ZHU ET RUTH, 2013). Certains travaux ont étudié la densité de relations entre activités industrielles (HARDY ET GRAEDEL, 2002; WRIGHT, COTE, DUFFY, ET BRAZNER, 2009) ou la diversité des firmes (KORHONEN ET SNÄKIN, 2005; TEMPLET, 2004). Enfin d'autres travaux ont employé des méthodes faisant appel à des réseaux contenant des éléments de deux natures (réseau biparti) (NEFFKE ET SVENSSON HENNING, 2008), à la place de méthode faisant appel à des réseaux dont les éléments sont d'une seule nature (réseau uniparti) (ZHU ET RUTH, 2013).

Deuxièmement, ces travaux mettent en évidence l'influence de la structure des relations entre les acteurs d'un réseau sur certaines propriétés émergentes comme la résilience et la robustesse. Bien que les liens de causalité entre structure et propriété ne soient pas entièrement élucidés, ces travaux ont permis de cibler quelques caractéristiques d'intérêt. La robustesse des réseaux est sensible à la disparition des firmes qui possèdent beaucoup de relations (CHOPRA ET KHANNA, 2014; ZHU ET RUTH, 2013). Un écosystème industriel est moins résistant et moins résilient lorsqu'il est soumis à des perturbations ciblées sur les firmes les plus connectées et d'autant plus si l'écosystème présente une forte interdépendance de flux physiques organisés (ZHU ET RUTH, 2013).

Ces derniers auteurs montrent que même si même si les termes changent, certains indicateurs sont équivalents (HARDY ET GRAEDEL, 2002; WRIGHT *ET AL.*, 2009). C'est le cas de la « connectance » en écologie, appelé « densité » en analyse de réseaux sociaux et « compactness » par ASHTON ET BAIN (2012) dans le cas d'écosystème industriel.

L'analyse des réseaux industriels aux moyens de la théorie des graphes et des outils de l'analyse de réseaux sociaux a ouvert un champ d'investigation important, mais reste néanmoins un corpus relativement jeune. La modélisation des relations entre entreprises se heurte aux difficultés techniques inhérentes aux outils d'analyse de réseaux. La nature des relations influence la sémantique de construction du graphe et donc les méthodes et algorithmes de calculs. L'interprétation du graphe s'avère par conséquent fortement tributaire de la nature des liens qui constituent le réseau. Par exemple, deux réseaux semblables, mais dont l'un présente des relations de nature à

être non orientées et l'autre de nature à être orientées ne font pas appel aux mêmes indicateurs de calcul. Leurs résultats peuvent être complètement divergents du fait de la logique d'interprétation des relations (SCHILLER *ET AL.*, 2014).

Au-delà des difficultés techniques et méthodologiques, certaines définitions de notions sur lesquelles se base la durabilité sont toujours en débat. La résilience et la robustesse font référence à la même idée (habilité d'un système ou d'un réseau à maintenir ses fonctions essentielles et/ou sa structure en réponse à des perturbations), mais elles manquent de définition opérationnelle (BRAND ET JAX, 2007). De fait, elles sont utilisées de façon interchangeable par certains auteurs. D'autres auteurs proposent une distinction en fonction de la durée de la perturbation (LEACH, SCOONES, ET STIRLING, 2010a) ou en fonction de l'origine de la perturbation (SORNETTE, 2006). En fait, les notions qui sous-tendent la durabilité sont encore discutées. Il est donc nécessaire de les expliciter en préalable à une étude qui porte sur le concept de durabilité.

3. Les mécanismes de la durabilité systémique

Le triple axiome du développement durable est un fondement théorique nécessaire à la possibilité de produire durablement, néanmoins il ne constitue pas un mécanisme créateur de durabilité.

Plusieurs travaux sur l'objet réseau ont abordé la question des mécanismes de survie dans des champs aussi variés que l'écologie (FOLKE *ET AL.*, 2010; HOLLING, 1973; IVES ET CARDINALE, 2004; LEVIN *ET AL.*, 1998; PETERSON *ET AL.*, 1998), l'analyse des réseaux (MOHAMMAD, HUTCHINSON, ET STERBENZ, 2006; STERBENZ *ET AL.*, 2010; THADAKAMAILA *ET AL.*, 2004), la socioécologie (DOMPTAIL, EASDALE, ET YUERLITA, 2013; FOLKE *ET AL.*, 2010; LEVIN *ET AL.*, 1998; WALKER *ET AL.*, 2004), les symbioses industrielles (CHOPRA ET KHANNA, 2014; LINGER, LIPSON, MCHUGH, MEAD, ET SLEDGE, 2002; ZHU ET RUTH, 2013), la logistique (CARVALHO, BARROSO, MACHADO, AZEVEDO, ET CRUZ-MACHADO, 2012; GADDE ET MATTSSON, 1987; LENORT ET WICHER, 2012) ou encore les filières agroalimentaires (BASSENE *ET AL.*, 2014).

Ces champs sont explorés à travers des disciplines qui rencontrent un intérêt grandissant, notamment grâce à l'évolution rapide des logiciels d'analyses. Nous

pouvons citer l'analyse des réseaux écologiques (« ecological network analysis »), l'analyse des réseaux sociaux (« social network analysis ») ou encore l'analyse des réseaux d'approvisionnement (« supply chain systems analysis »). Toutes ces disciplines trouvent leur fondement dans la théorie des graphes.

Sur la base des travaux cités, nous avons retenu 3 mécanismes de durabilité : la robustesse, la flexibilité et la stabilité. Ces mécanismes émergent de caractéristiques structurales du réseau. La Figure 1 résume l'articulation de ces mécanismes.

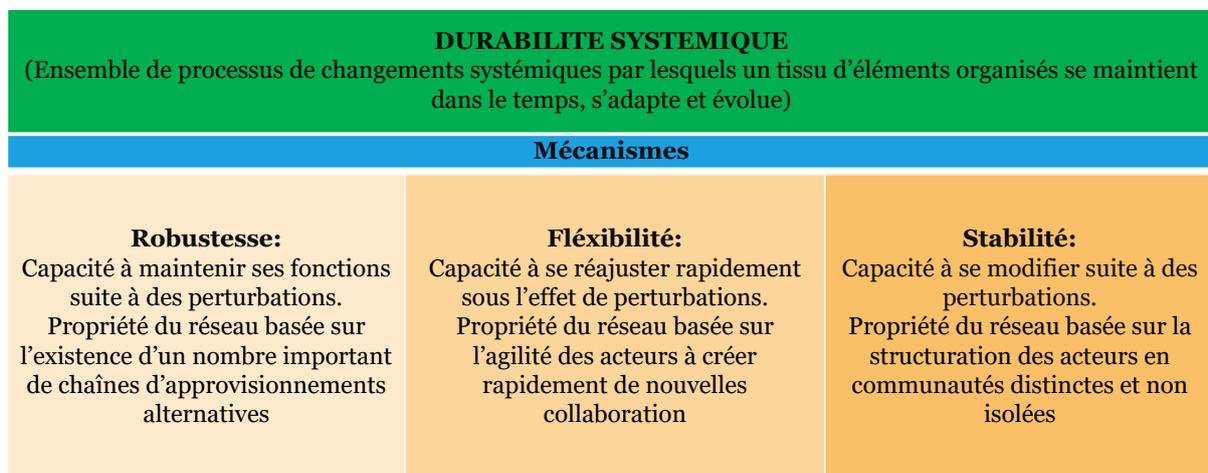


Figure 1 : Typologie des mécanismes de durabilité systémique

La robustesse (« Network robustness »)

Les travaux dans le champ de l'analyse de réseaux apportent une définition claire de la robustesse¹⁷.

« Un réseau robuste peut se maintenir après à la perte de certaines de ses structures ou fonctionnalités et maintenir ses connexions suite à des ruptures de nœuds, en raison d'attaques aléatoires ou ciblées¹⁸ » (THADAKAMAILA *ET AL.*, 2004).

La robustesse pose l'hypothèse qu'un réseau ne s'effondre pas suite à des attaques, dû au fait qu'il existe de nombreux chemins alternatifs entre acteurs en son sein. Thadakamaila et al. (2004) présentent la notion de *robustesse* comme l'un des 4 mécanismes de survivabilité (« survivability ») d'un réseau d'approvisionnement multiagents, avec la *réactivité* (« responsiveness »), la *flexibilité*¹⁹ (« flexibility ») et l'*adaptabilité* (« adaptability »). La *robustesse* est fonction du type de réseau (aléatoire, petit-monde, sans-échelle), des caractéristiques structurelles du réseau et du type d'attaque (ciblées, aléatoire) (BEYGELZIMER, GRINSTEIN, LINSKER, ET RISH, 2005).

La robustesse est corrélée au taux d'interaction au sein du réseau. « As a network becomes better connected so its robustness will in general increase » (KIM ET ANDERSON, 2013). Dans le cadre de travaux différents, la *robustesse* a été mesurée via l'observation de la taille de la composante la plus connexe (« largest connected component/ LCC ») (BASSENE *ET AL.*, 2014; BEYGELZIMER *ET AL.*, 2005; THADAKAMAILA *ET AL.*, 2004).

Dans le champ de l'analyse des réseaux écologiques, la robustesse est définie comme la mesure de la tolérance du réseau à l'extinction d'espèces (EVANS, POCOCK, ET

¹⁷ Le terme de robustesse est étudié lors de travaux sur les propriétés dynamiques de soutenabilité des systèmes socioéconomiques (SSE) (DOMPTAIL, EASDALE, ET YUERLITA, 2013; LEACH, SCOONES, ET STIRLING, 2010b). Néanmoins, ces travaux sont axés sur le management des SSE, à travers le développement d'outil d'aide à la décision. Leurs méthodologies intègrent des facteurs décisionnels extérieurs au réseau. Or, notre approche se focalise sur les propriétés du réseau qui émergent de ses caractéristiques structurelles.

¹⁸ « A robust network can sustain the loss of some of its structure or functionalities and maintain connectedness under node failures, whether the failure is random or is a targeted attack »

¹⁹ La notion de flexibilité telle qu'employée dans cette thèse est différente de celle étudiée par (THADAKAMAILA, RAGHAVAN, KUMARA, ET ALBERT, 2004)

MEMMOTT, 2013). La robustesse à la perte d'espèce dans les réseaux trophiques a été quantifiée comme la fraction des espèces qui doit être enlevée dans le but d'obtenir la perte d'au moins 50 % des espèces totales (DUNNE, WILLIAMS, ET MARTINEZ, 2002). Plusieurs paramètres topologiques influencent la robustesse. Cette dernière augmente avec la *connectance* (nombre de relations observées en rapport au nombre de relations possibles), mais semble déconnectée de la richesse en espèce (DUNNE ET AL., 2002). Les travaux sur les réseaux écologiques ont montré que les réseaux robustes sont plus résistants aux perturbations aléatoires qu'aux perturbations ciblées sur les espèces les plus connectées (DUNNE ET AL., 2002). Ces résultats sont en accord avec ceux de THADAKAMAILA ET AL. (2004). Ces derniers ont montré que le prélèvement des nœuds à forte connexion impacte davantage la robustesse d'un réseau d'approvisionnement.

La robustesse du réseau est relative au déséquilibre causé par la disparition d'un acteur. À l'inverse de la flexibilité ou de la stabilité, que nous verrons plus tard, un réseau robuste ne fait pas appel à des propriétés dynamiques. Ce mécanisme ne se base pas sur les capacités des acteurs du réseau à se réajuster, mais sur les caractéristiques topologiques (densité, degré) du réseau. Ces dernières résultent d'évènements antérieurs. De fait, nous qualifions la robustesse comme étant un mécanisme passif, fondé sur la topologie du réseau. La Figure 2 illustre le mécanisme de la robustesse.

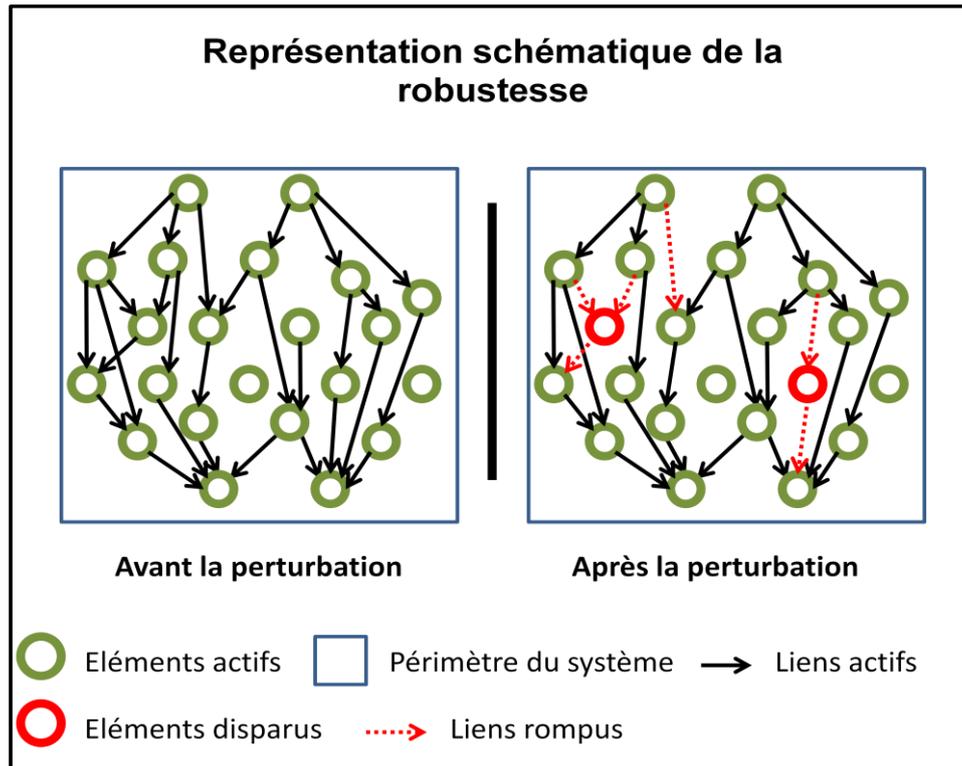


Figure 2 : Schéma du mécanisme de robustesse

Nous définissons la robustesse comme la capacité d'un système à maintenir ses fonctions suite à des perturbations. Elle est fonction de la multitude de chemins alternatifs, existants au sein du réseau et est mesurable en observant l'impact de prélèvements de chaque nœud sur la structure du réseau.

La flexibilité (« Network Flexibility »)

La flexibilité du réseau se base sur l'agilité des acteurs (LENORT ET WICHER, 2012). L'agilité combine capacité d'ajustement et réactivité pour répondre à l'évolution du marché (BARZI, 2007). Plusieurs variables caractérisent cette notion. D'abord, SHEFFI (2004) l'associe à un facteur d'imprévisibilité des perturbations. Ensuite et en opposition à la notion de résilience qui se base sur les changements de l'environnement, l'agilité se focalise davantage sur les changements relatifs à l'offre et à la demande des acteurs du réseau (SHARIFI ET ZHANG, 1999). L'agilité est une stratégie de réponse à des perturbations à temporalité courte. Elle met en avant la notion de seuil, au-delà duquel les modifications peuvent devenir pérennes (BARZI, 2007).

Dans le cas de rupture de chaîne d'approvisionnement, la flexibilité permet la création rapide de nouvelles chaînes. La réactivité pose l'hypothèse que les actions doivent être faciles à mettre en place et donc peu coûteuses. Pour cela, les collaborateurs (fournisseurs ou clients) doivent déjà être présents dans le réseau des acteurs impactés, afin de diminuer le temps de recherche. Plus la distance qui sépare les acteurs dans un réseau est petite, plus ces acteurs sont susceptibles d'entrer en contact rapidement (BASSENE *ET AL.*, 2014). Un taux élevé de réponses rapides est favorable à la survie du réseau (THADAKAMAILA *ET AL.*, 2004)

Dans le cadre de ce mécanisme, les nouvelles collaborations ne doivent pas induire une modification de la nature des activités économiques²⁰ d'un acteur. Autrement dit, les acteurs produisent les mêmes outputs en terme de produits, connexes ou de déchets, mais en faisant appel à des collaborateurs différents.

Nous associons la flexibilité d'un réseau à la capacité des acteurs à créer sans délai de nouveaux chemins d'approvisionnements. Cette capacité se base sur l'effet de réseau et sur la proximité entre acteurs dans le réseau. La Figure 3 illustre ce mécanisme.

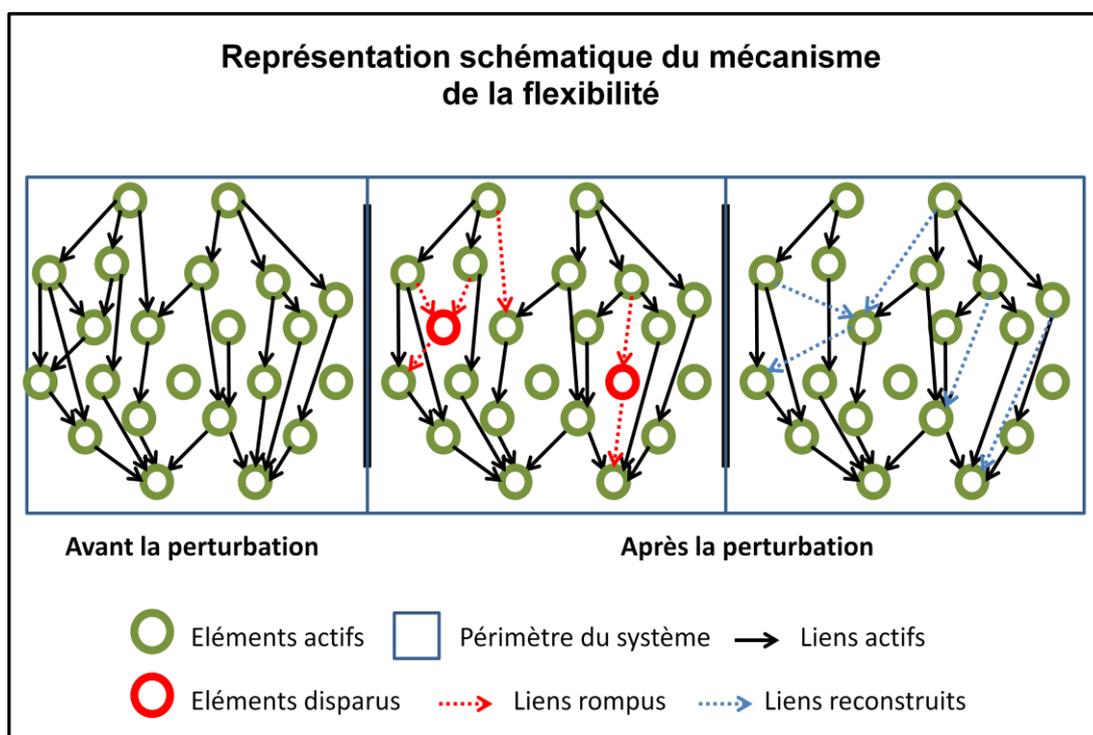


Figure 3 : Schéma du mécanisme de flexibilité

²⁰ La nature des activités économiques est fonction du processus qui conduit à la fabrication d'un produit ou la mise à disposition d'un service.

La stabilité (« Network stability »)

La stabilité recouvre des champs et des notions variées (IVES ET CARPENTER, 2007). La définition que nous adoptons ici s'inscrit comme un mécanisme favorisant la résilience (la facilité avec laquelle un système peut alterner entre différents états stables (HOLLING, 1973)).

Des travaux ont montré qu'un taux important d'interactions entre firmes au sein d'un réseau est défavorable à sa résilience (SCHLARB, 2001; STERR ET OTT, 2004). Ces résultats ont été corroborés par des études plus récentes montrant que la connectance et la diversité ont une influence directe défavorable sur la résilience des réseaux écologiques (THEBAULT ET FONTAINE, 2010; ZHU ET RUTH, 2013). Néanmoins, l'article de (THEBAULT ET FONTAINE, 2010) montre également que la connectance et la diversité ont aussi une influence positive indirecte sur la résilience, en favorisant la présence de modules (modularité) et l'existence de relations entre ces modules.

La modularité pour THEBAULT ET FONTAINE (2010) fait référence au degré de compartimentation du réseau. GUIMERA ET AL. (2010) expliquent que la compartimentation est l'existence de groupes d'espèces qui ont une plus grande probabilité d'interagir entre eux qu'avec d'autres espèces. Ils précisent qu'il en existe plusieurs notions proches telles que la « communauté » (« community structure ») (NEWMAN ET GIRVAN, 2004), le « module topologique » (« topological module ») (DANON, DIAZ-GUILERA, DUCH, ET ARENAS, 2005) ou encore le « groupe » (« group ») (ALLESINA ET PASCUAL, 2009). L'angle d'observation influence les approches de regroupement (GUIMERA ET AL., 2010). Ainsi, la vision basée sur la densité des interactions (« density view ») regroupe des espèces en fonction de la densité des liens, indépendamment du fait que ces liens soient entrants ou sortants. La vision basée sur les flux venant de l'amont (« entrant ») regroupe les acteurs qui partagent un nombre important de fournisseurs. La vision basée sur les flux vers l'aval (« sortant ») regroupe les espèces qui partagent un nombre important de clients.

L'idée de l'apport de la modularité est que les perturbations auraient tendance à se propager plus rapidement au sein d'un compartiment qu'entre compartiments (FORTUNA ET AL., 2010; MAY, 1972). Les modules jouent ainsi un rôle d'isolant des perturbations, ou du moins de ralentisseur de la propagation des perturbations dans

le réseau. De fait, les phénomènes qui ont tendance à accentuer la compartimentation ont pour effet de créer une fragmentation du réseau. À l’opposé, les phénomènes qui réduisent la compartimentation ont tendance à unifier le réseau et donc à le soumettre à des risques d’échelle globale (GUIMERA *ET AL.*, 2010; KRAUSE, FRANK, MASON, ULANOWICZ, ET TAYLOR, 2003; PIMM, 1979). La stabilité du réseau réside, en partie, dans l’équilibre entre ces deux antagonismes, la présence de communautés et l’existence de relations entre les communautés.

Il existe différentes formes de relations entre communautés. Une forme largement étudiée est l’emboîtement (FORTUNA *ET AL.*, 2010). Elle correspond au fait qu’un sous-groupe spécialiste²¹ partage des interactions avec des éléments qui constituent eux-mêmes un sous-groupe en interaction avec une population plus généraliste (BASCOMPTE, JORDANO, MELIAN, ET OLESEN, 2003). L’emboîtement relie les communautés à l’image de poupées gigognes. Dans le cas de réseau écologique, ce type de structure minimise les phénomènes de compétitions, augmente la coexistence (BASTOLLA *ET AL.*, 2009), rend les communautés plus résistantes face à des extinctions d’espèces (MEMMOTT, WASER, ET PRICE, 2004) et face à la perte d’habitat (FORTUNA *ET AL.*, 2010). Cette thèse se positionne dans un cas moins spécifique que l’emboîtement. Nous considérons les relations directes entre individus de communautés différentes.

La stabilité apparaît comme un mécanisme plus complexe à observer du fait qu’il résulte de l’équilibre entre des caractéristiques structurelles pouvant se révéler antagoniques. Les caractères qui favorisent la robustesse ou la flexibilité, à l’image de la connectance, peuvent au contraire défavoriser la stabilité du réseau (THEBAULT ET FONTAINE, 2010). De fait dans le cas de la stabilité, il nous semble pertinent d’utiliser des indicateurs plus intégrateurs, tels que la modularité et les relations entre les modules.

Nous nous fondons sur deux idées pour caractériser la stabilité. La première est qu’un réseau est d’autant plus stable qu’il contient des compartiments. La deuxième est que la stabilité d’un réseau est d’autant plus grande qu’il existe des relations entre ces

²¹ Spécialiste : population en mesure de prospecter dans une gamme très restreinte de possibilités (relation, condition environnementale, alimentaire). Généraliste : population en mesure de prospecter dans un grand nombre de possibilités.

communautés. Sachant que le degré des communautés est influencé par la diversité des acteurs et la connectance (THEBAULT ET FONTAINE, 2010).

À la différence de la flexibilité qui se base sur la multitude des fournisseurs (critère quantitatif), la stabilité prend en compte la diversité de fournisseurs (critère qualitatif). La Figure 4 montre que le flux de matière suit un processus de transformation, de la matière brute en amont (issue du milieu naturel) vers des matériaux de plus en plus transformés en l'aval. Si le biotope²² de la communauté A venait à changer au point de perturber la capacité de production des acteurs qui la constituent (A1, A2 et A3), alors C1 pourra néanmoins s'approvisionner auprès des entreprises de la communauté B.

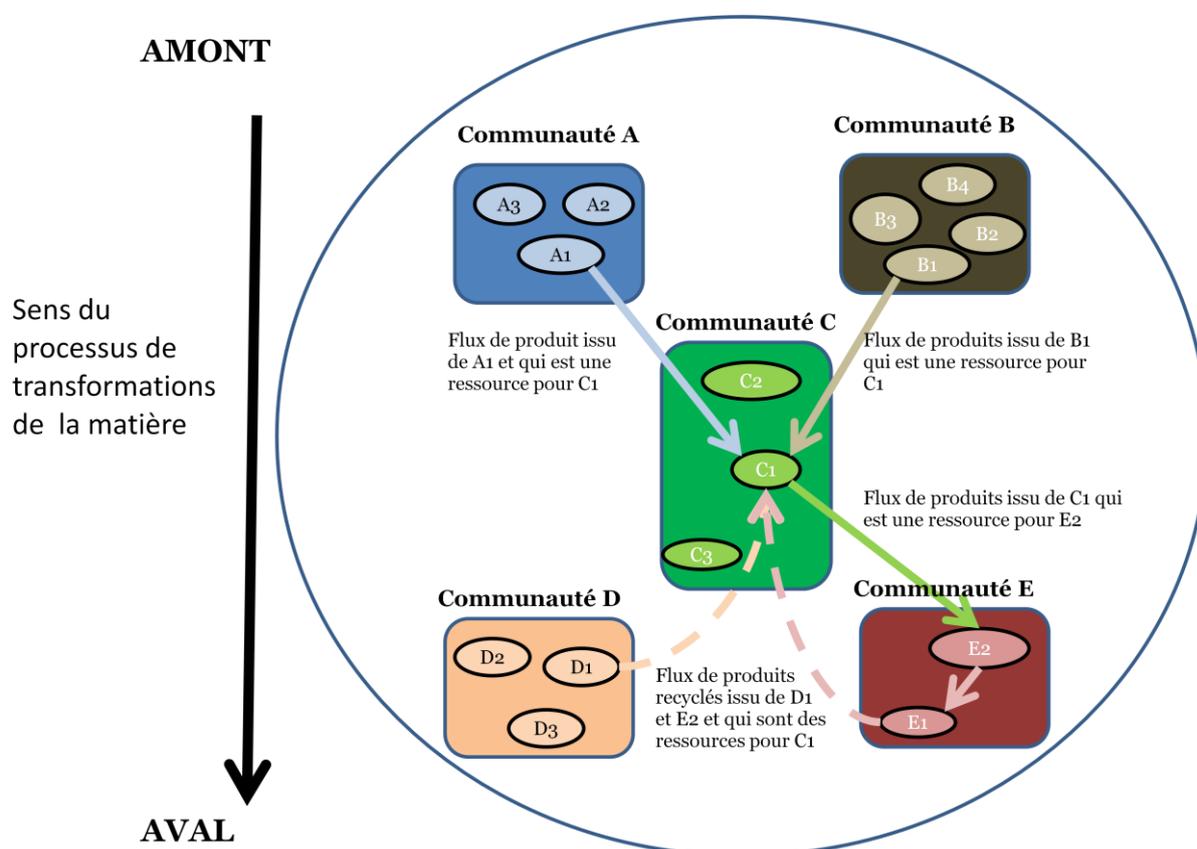


Figure 4 : Schéma du mécanisme de stabilité d'un réseau de flux de matières

Les acteurs qui produisent des matières recyclées n'évoluent pas dans le même environnement que les acteurs qui produisent des biens à partir de ressource vierge. La présence de bouclage de flux de matière issu du recyclage des biens usagés devrait

²² Ensemble des paramètres constituant les conditions favorables à l'existence de la communauté A.

apporter plus de stabilité. Sur la Figure 4, la capacité de C1 d'accepter des flux à rebours du sens de transformation de la matière (les flèches hachurées allant d'E1 et D1, vers C1), diminue sa sensibilité aux fluctuations de la matière première provenant de l'amont (A1 et B1). L'existence de chemins variés et multiples en son sein confère au réseau plus de stabilité.

En résumé, nous associons la stabilité d'un réseau à la structuration de ses acteurs en compartiments interconnectés. La compartimentation limite les risques de ruptures d'approvisionnements. La présence de relations réparties de façon homogène entre les compartiments permet d'éviter leurs isolements.

C. LES COLLABORATIONS LOCALES, LEVIER DE DURABILITÉ DU SYSTÈME FORET-BOIS LANDAIS ?

1. L'écologie industrielle par et pour la proximité

L'écologie industrielle prône le bouclage des flux de matières via des collaborations du type gagnant-gagnant. La mutualisation de moyens en amont des activités et la valorisation des sous-produits et des déchets issus de ces activités induisent nécessairement une modification de la structure globale du réseau économique. Par ailleurs, ces collaborations se font dans un périmètre de proximité. D'abord en raison de contraintes logistiques qui impliquent une proximité géographique entre collaborateurs. Mais également en raison des valeurs économiques faibles des sous-produits et des déchets qui contraignent à un périmètre de valorisation ne pouvant supporter le coût du transport. De fait, les bouclages de flux se font dans une réflexion au plus proche et dans un double intérêt économique et écologique.

La mise en œuvre de l'EIT implique une approche territoriale éclairée par une lecture fondée sur la proximité. D'un côté, les démarches d'EIT se nourrissent de toutes les formes de proximité (BOUBA-OLGA ET GROSSETTI, 2008 ; PECQUEUR ET ZIMMERMANN, 2004). Mieux les acteurs se connaissent, plus il est facile de créer une collaboration en eux. De l'autre côté, la mise en œuvre d'une démarche d'EIT entre voisins transforme leurs relations préexistantes. Les démarches d'EIT influencent le

territoire²³ à une échelle de proximité (BEURAIN ET BRULLOT, 2011). Il apparaît légitime de s'interroger sur la nature de cette influence, d'autant que les politiques publiques montrent un intérêt grandissant pour l'économie circulaire.

2. Le cas du système productif forêt-bois landais

Le système productif Forêt-Bois est constitué de plusieurs filières économiques interconnectées dont les trois prédominantes sont celles de l'énergie, de l'industrie et de la construction. Elles alimentent des marchés différents qui s'interfèrent par l'intermédiaire d'acteurs communs, créant un tissu économique complexe. Sur le territoire des Landes de Gascogne, ce système est fortement tributaire de la dynamique d'une ressource majoritaire : le pin maritime (*Pinus pinaster*). Par conséquent, ce territoire et son système forestier sont à l'intersection d'enjeux climatiques et économiques.

Ce territoire est soumis à des aléas climatiques de grandes ampleurs. Les scientifiques s'interrogent sur le fait que l'aléa tempête est une émanation directe du changement global. Certains avancent que la région Sud-ouest a toujours connu ce type d'évènement (LE TREUT, 2013). D'autres que ces évènements ne seront pas plus fréquents (PINTO *ET AL.*, 2007), mais plus violents (BENISTON *ET AL.*, 2007). De fait, il en résulte de grandes incertitudes sur l'évolution de ces phénomènes. Mais quoi qu'il en soit, le secteur forestier de ce territoire a véritablement été perturbé par les tempêtes survenues en 1999 et 2009.

Les tempêtes ont littéralement abattu les arbres, mettant à mal une grosse partie de la ressource exploitable. Celles de 1999, successivement Lauthar et Martin, ont causé des dégâts de l'ordre de 97 Mm³ de bois, soit l'équivalent de 3 années de récoltes forestières (IFN, 2003). La tempête Klaus en 2009 a dégradé 37.1 Mm³ soit 31 % du volume sur pied, l'équivalent de plus de 5 années de récoltes (IFN, 2009). À chaque fois, des attaques d'insectes ont fait suite aux tempêtes. Ces ravageurs xylophages²⁴

²³ Un territoire est un ensemble d'acteurs influençant une unité d'espace géographique au travers de filtres de représentations (MOINE, 2006).

²⁴ L'insecte en question est appelé scolyte, sténographe ou Ips pour « *Ips sexdentatus* ». C'est un insecte ravageur de l'ordre des coléoptères, et de la sous-famille des Scolytinae. Il s'attaque tout particulièrement aux pins sylvestres, pins maritimes et pins noirs.

ont consommé 5 à 9 % des volumes de chablis²⁵ en 1999, soit 2.4 Mm³ (CRPF, 2010) et 3.8 Mm³ en 2010 (FIBA, 2010).

Les tempêtes ont bouleversé les propriétaires privés, majoritaires sur le territoire et dans « fortement attachés à la valeur patrimoniale de leur forêt » (CHAMBRE D'AGRICULTURE DES LANDES, 2012). Seulement, 10 années après ce que certains médias avaient nommé en 1999 « la tempête du siècle », les propriétaires ont subi une deuxième tempête de grande ampleur. Cette succession remet en question le « modèle sylvicole landais » (CRPF, 2008) et fit douter de l'adéquation entre le modèle landais et l'évolution possible de l'environnement (ECOFOR, 2010). Des pistes de renforcement de la stabilité au vent des peuplements ont émergé (CRPF, 2009). À la suite des tempêtes, certains territoires ont sensiblement changé l'occupation des sols en faveur du photovoltaïque²⁶. D'autres ont vu dans la diminution des cycles de rotation des peuplements un moyen de diminuer les risques liés aux aléas climatiques. Moins longtemps les peuplements restent sur pied, moins les propriétaires s'exposent au risque de la perte d'un capital.

Les tempêtes ont choqué les usagers et les habitants. Ces derniers ont vu leur paysage sinistré. Ces événements ont réveillé les prises de conscience de l'évidente dépendance des activités humaines à la bonne santé de l'environnement naturel (en termes de stabilité et de milieu propice)²⁷.

Les tempêtes ont également secoué l'industrie en déséquilibrant les classes d'âge des peuplements²⁸. Ce secteur économique s'attend à une pénurie future de ressources (THIVOLLE-CAZAT *ET AL.*, 2013), malgré le développement d'une filière de stockage du bois dans des plateformes. Cette pénurie soulève des interrogations qui vont au-delà de la nécessité de trouver de nouveaux stocks dans un futur proche. La question qui

²⁵ Arbre renversé, déraciné ou cassé par suite d'un événement climatique.

²⁶ SEPANSO (2009), « Positionnement sur l'énergie Photovoltaïque » <http://www.sepanso.org/dossiers/climat/photovoltaïque.php>. Consulté le 2015-04-04; CESER (2013), « Les dynamiques territoriales en Aquitaine à l'horizon de 2025 », *Veille et prospective*, Conseil Economique, Social et Environnemental Régional d'Aquitaine.

²⁷ Propos recueilli lors d'une interview du Directeur du CRPF, durant le summer school 2014 de l'Européen Forest Institut (EFI) à Belin-Beliet. http://www.eficent.efi.int/portal/events/efi_winter_summer_school_2013/

²⁸ Le reboisement (en sylviculture de Pin maritime dans les Landes de Gascogne) se fait majoritairement par parcelle d'âge identique (dites équiennes). Le massif est donc constitué d'un patchwork de parcelles de classe d'âge. Les arbres matures du fait de leur taille et donc de leurs portances au vent, sont plus sensibles au déracinement. La disparition brutale de parcelles d'arbres matures nécessite d'attendre que les arbres plus jeunes arrivent à maturité d'exploitation.

se pose est celle de la capacité de ce secteur fragilisé à absorber un prochain choc et donc son inscription dans le long terme.

Après ces tempêtes, le secteur s'est reconstruit. Le massif a été reconstitué, relativement rapidement après 1999, plus rapidement encore après 2009. La filière a su développer des moyens de lutte contre les conséquences des chocs (créations d'aires de stockage, déploiement d'une politique d'exportation, déploiement de force ouvrière issue des territoires voisins et même d'Europe). Une amélioration du déploiement de certains moyens d'atténuations lors de la tempête Klaus de 2009 est indéniable (ECOFOR, 2010). Néanmoins, il est nécessaire de préciser que lors de ces événements la filière a bénéficié d'aides publiques. Ces aides appelées « plan chablis » ont été d'un montant de 900 millions d'euros en 1999 et 1 milliard d'euros en 2009 (NICOLAS, 2009). Elles ont indéniablement pesé dans le reboisement massif et rapide de la forêt (DROUINEAU, 2011). Mais ce reboisement généralisé n'exclut pas des craintes sur l'avenir à long terme du massif (DROUINEAU, 2011). Le système est actuellement très fragilisé. La pénurie élargit les périmètres d'approvisionnements des établissements. Elle modifie les stratégies de prospections et donc change la nature des relations entre concurrents. Ces facteurs ont déstabilisé l'équilibre d'avant tempêtes. En proie à des difficultés financières, des acteurs majeurs du massif ont dû subir des plans de relance²⁹. Enfin, après l'évènement de 2009, l'État a annoncé qu'il ne viendra plus en aide à la filière si une nouvelle catastrophe de ce genre survenait³⁰, conviant les acteurs privés à développer un modèle de management qui inclut la capacité d'absorber les futurs chocs. Tout ceci crée des incertitudes sur les actions et réactions à venir de ce secteur, lors du prochain évènement semblable.

L'interrogation qui pèse sur ce système forestier dans une réflexion à long terme est à étudier à la lumière de la jeunesse du massif. Le million d'hectares monospécifique en forme de triangle que nous observons aujourd'hui est âgé de moins de deux siècles. Historiquement, il existait déjà 300 000 hectares de forêt naturelle, mais c'est la loi

²⁹ L'Usine Nouvelle (2012), « L'inquiétude des salariés du groupe Gascogne monte en puissance », *usinouvelle.com*.

³⁰ Depuis la Loi de 2010 et l'ordonnance de 2012, l'article L.351-2 du Code Forestier stipule que « pour les tempêtes intervenant à compter du 1^{er} janvier 2017, les surfaces forestières considérées comme assurables contre le risque de tempête... ne peuvent plus faire l'objet d'une prise en charge de l'État en matière de nettoyage et reconstitution des peuplements forestiers ».

sur l'assainissement et la mise en valeur des Landes de 1857 qui a ordonné le boisement de 650 000 hectares de landes marécageuses. L'apparition du massif est donc purement et simplement issue d'une volonté humaine. Son maintien est fortement lié aux filières de valorisations actuelles et futures. Aujourd'hui, ce système forestier est majoritairement orienté vers l'industrie ligneuse. Celle-là même qui souffre d'une pénurie importante.

Cette conjoncture fait naître un climat propice à la mutation de ce système productif. D'une part, les chocs climatiques, les tensions sur la ressource et le contexte économique global créent un climat d'incertitude sur le fonctionnement actuel et à long terme. D'autre part, la remise en question de nos modes de production nous pousse à les faire évoluer. Enfin, le secteur forestier sur ce territoire porte les enjeux économiques, territoriaux, sociaux et environnementaux de demain (BONOTAUX, 2011). Il est nécessaire d'assurer la durabilité du système productif forestier de ce territoire.

D. OBJECTIF DE LA THÈSE ET PLAN DE TRAVAIL

L'objectif général de cette thèse est d'explorer l'influence de la structure des relations entre acteurs forestiers sur la durabilité systémique du réseau qu'ils constituent. Plus précisément, nous questionnons les conséquences d'un déploiement généralisé de l'écologie industrielle et territoriale (EIT) sur la capacité à durer dans le temps d'un réseau d'acteurs forestiers de l'espace landais.

Ce manuscrit en 2 parties et 4 chapitres, expose nos questions de recherche, nos résultats et nos contributions à ce sujet.

Partie 1 : Découverte du système socioéconomique forestier landais et caractérisation du territoire d'étude idoine

Premier Chapitre

Au regard de l'histoire, le massif forestier des landes de Gascogne est jeune. Il a été créé par la main de l'homme pour les besoins des sociétés de l'époque et les suivantes. Aujourd'hui, l'industrie qui entretient le massif se pose beaucoup de questions en raison des changements environnementaux et de l'évolution des besoins. Pour mieux

comprendre ces questions d'actualités, cette thèse a interrogé les grandes étapes de développement du massif forestier. A-t-il existé d'autres systèmes économiques dépendants de la ressource forestière sur l'espace délimité par le triangle landais ? L'histoire de la forêt landaise a largement été racontée par des auteurs connus et reconnus tels que LARROQUETTE (1924, 1936), PAPY (1946, 1979), PARDE (1957) ou encore SARGOS (1949, 1997). Sur la base d'une étude bibliographique, cette première partie se focalise sur les facteurs qui ont joué un rôle aux interfaces des 3 systèmes socioéconomiques dominants sur l'espace landais (agrosylvopastoral, résinier, ligno-forestier). Via notre lecture portant sur la période 1700-2009, 5 facteurs majeurs ressortent : la décision politique, le marché économique, le système législatif, les mouvements sociaux et les événements climatiques. La vision holistique de ces systèmes landais (espace, acteurs, activités) met en évidence son caractère dynamique et évolutif, voire évolutionniste. Par ailleurs, l'angle d'observation que propose cette thèse laisse penser qu'à d'ores et déjà émergé un système fondé sur la valorisation des produits issus de la chimie verte du pin maritime.

Second chapitre :

Le système forestier landais actuel est majoritairement fondé sur les acteurs qui valorisent la ressource ligneuse du massif (le système ligno-forestier). L'étude de ce dernier dans sa globalité est complexe. Il est donc nécessaire d'avoir recours à une unité d'étude expérimentale. Mais quelle est l'unité capable de mettre en évidence la topologie de système productif dans la perspective de démarches d'EIT ? Quelle est l'échelle administrative, écologique, socioéconomique pertinente ? Est-ce que les découpages (filiale, branche, secteur...) généralement utilisés lors des études socioéconomiques sont appropriés ? En recoupant toutes ces interrogations, nous aboutissons à une combinaison de deux propositions, l'une conceptuelle et l'autre méthodologique. Le concept de Réseau de création de valeurs forestier élargi (RCVFE) permet d'interroger l'influence de la topologie sur la durabilité systémique et la communauté de communes est l'échelle adéquate pour le déployer.

Partie 2 : Modélisation du réseau de création de valeurs élargi à l'échelle d'une communauté de communes

Troisième chapitre

L'étude du RCVFE d'une communauté de communes du territoire landais permet d'explorer l'influence de sa topologie sur ses mécanismes de durabilité. Ce chapitre pose la question du choix de l'unité d'études, des modes de représentation et des indicateurs appropriés pour caractériser la robustesse, la flexibilité et la stabilité. L'analyse des travaux dans le corpus de l'analyse de réseau appliqué aux systèmes industriels et écologiques nous permet d'élaborer une méthode de représentation basée sur les flux de matière entre acteurs. Par manque de données chiffrées, nous avons eu recours à la construction de deux modèles génériques. L'un résulte de la mise en œuvre de collaborations entre acteurs dans un périmètre de proximité, c'est le réseau dit « FERME », l'autre représente un réseau dont les acteurs ne donnent pas la priorité aux collaborations locales, c'est le réseau dit « OUVERT ». La comparaison de ces situations antagonistes montre l'influence de la densité relationnelle sur les mécanismes de durabilité du réseau. Le degré de collaboration avec l'environnement extérieur influence l'importance relative des activités au sein des réseaux.

Quatrième chapitre

Ces deux réseaux nous ont servi de cadre d'analyse pour un troisième réseau construit à partir de la portion de données récoltées du terrain. Sur la base des mêmes indicateurs que lors du chapitre précédent nous évaluons les résultats du réseau dit « REEL », construit à partir de la portion de données récoltées du terrain. Bien que le réseau REEL présente des caractéristiques partagées avec les deux autres réseaux, ses capacités quant aux mécanismes de durabilité sont plus proches de celles du réseau FERME. Nous proposons d'aider à la mise en relation d'acteurs qui ne se sont jamais côtoyés alors même qu'ils sont voisins et au sein du même réseau de création de valeurs forestier.

La dernière section du manuscrit rappelle les principales contributions de la thèse et propose à la fois des pistes d'améliorations et des perspectives de travaux futurs.



Crédit : Guinaudeau, ENGREF-NANCY (Source : (PARDE, 1989))

Le pin des Landes

On ne voit en passant par les Landes désertes,
Vrai Sahara français, poudré de sable blanc,
Surgir de l'herbe sèche et des flaques d'eaux vertes
D'autre arbre que le pin avec sa plaie au flanc ;

Car, pour lui dérober ses larmes de résine,
L'homme, avare bourreau de la création,
Qui ne vit qu'aux dépens de ce qu'il assassine,
Dans son tronc douloureux ouvre un large sillon !

Sans regretter son sang qui coule goutte à goutte,
Le pin verse son baume et sa sève qui bout,
Et se tient toujours droit sur le bord de la route,
Comme un soldat blessé qui veut mourir debout.

Le poète est ainsi dans les Landes du monde ;
Lorsqu'il est sans blessure, il garde son trésor.
Il faut qu'il ait au cœur une entaille profonde
Pour épancher ses vers, divines larmes d'or !

Théophile Gautier (1811-1872), Espana

Partie 1 :

**DÉCOUVERTE DU SYSTÈME FORESTIER LANDAIS ET
CARACTÉRISATION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE**

CHAPITRE 1 : LES SYSTÈMES ÉCONOMIQUES DOMINANT SUR L'ESPACE DU TRIANGLE LANDAIS

A. INTRODUCTION

Le massif des Landes de Gascogne est l'un des 3 massifs forestiers d'Aquitaine avec les massifs périgourdin et pyrénéen. Il est à cheval sur 3 départements, les Landes (40), la Gironde (33) et le Lot-et-Garonne (24). À l'échelle nationale, ce massif dispose d'une forte valeur identitaire (ALDHUY ET PUYO, 2007; DRAAF ET DREAL, 2013; RIBEREAU-GAYON, 2001). Cette identité forte est due à l'étendue de son couvert forestier de 1 000 000 ha et au fait que ce massif soit constitué majoritairement d'une seule essence, le pin maritime (*Pinus Pinaster*). Les activités associées à cette forêt tiennent une place prépondérante dans l'économie locale et nationale. Le massif des Landes de Gascogne confère à l'Aquitaine sa place de première région boisée de France et première région productrice de bois (26.1 % de la récolte nationale). Le pin maritime représente 85 % de cette récolte et 88 % du volume de prélèvement national en pin maritime à destination du Bois d'œuvre provient de ce territoire (AGRESTE AQUITAINE, 2015).

La place de ce secteur forestier sur les marchés économiques est tributaire de l'existence de la ressource forestière. Or, ce massif n'a pas toujours existé, en tout cas, il n'a pas toujours eu la taille, la structure, les usages et les utilités que nous lui connaissons aujourd'hui. L'émergence de la forêt a fortement bouleversé le système social, le système économique et les relations entre eux deux. En outre, différents systèmes socioéconomiques se sont succédé. Chacun de ces systèmes est caractérisé par un cycle comprenant une phase d'émergence, d'apogée et de disparition.

Notre cadre de réflexion fait référence aux travaux de MOINE (2006) qui considère 3 sous-ensembles structurant le territoire : un espace géographique, les acteurs et les représentations qu'ont les acteurs de cet espace. La prise en compte simultanée de ces ensembles dans une perspective d'analyse de terrain est une tâche complexe. La compréhension de ces trois champs nécessite des disciplines académiques et des connaissances différentes (GUYON, ORAZIO, JAUSORO SANTA, DAVILA, ET CRUZ, 2003). Au moyen d'une étude bibliographique, nous nous focalisons sur la relation entre l'espace géographique et les acteurs, afin d'étudier les successions économiques du

« triangle landais » (Figure 5). Nous avons observé les changements d'activités économiques, car ils ne sont pas « indépendants de rapports sociaux plus larges, prenant une forme particulière, dans un contexte historique donné » (BOIDIN ET ZUINDEAU, 2006). Ainsi, toute chose égale par ailleurs, à représentation et à espace identique, les successions d'acteurs économiques relatent les successions de territoire. La période observée comprend les systèmes agrosylvopastoral, résinier et ligno-forestier ³¹, entre 1700 et 2009. Ces systèmes sont relativement ³² bien documentés, notamment dans la littérature ancienne. Parmi d'autres, les travaux de CHEVALIER (1925), LARROQUETTE (1924), 1936 (PARDE, 1989), SARGOS (1949, 1997) ont véritablement structuré et alimentés ce travail.

³¹ Système basé principalement sur la valorisation ligneuse du massif.

³² Même si la documentation semble bien fournie, elle est parfois difficile d'accès du fait de documents anciens et donc souvent archivés. Par ailleurs, lorsqu'elles sont accessibles, il n'est pas évidemment d'obtenir des données chiffrées et homogènes. Un travail de comparaison et d'harmonisation a été nécessaire. Étonnamment, les données relatives à la valorisation de la matière ligneuse ont été les plus difficiles à obtenir, notamment sur la période 1865-1947. Avec du recul, cela semble logique en raison de la faible valeur de cette source qui de fait n'impliquait pas un suivi chiffré rigoureux et homogène.

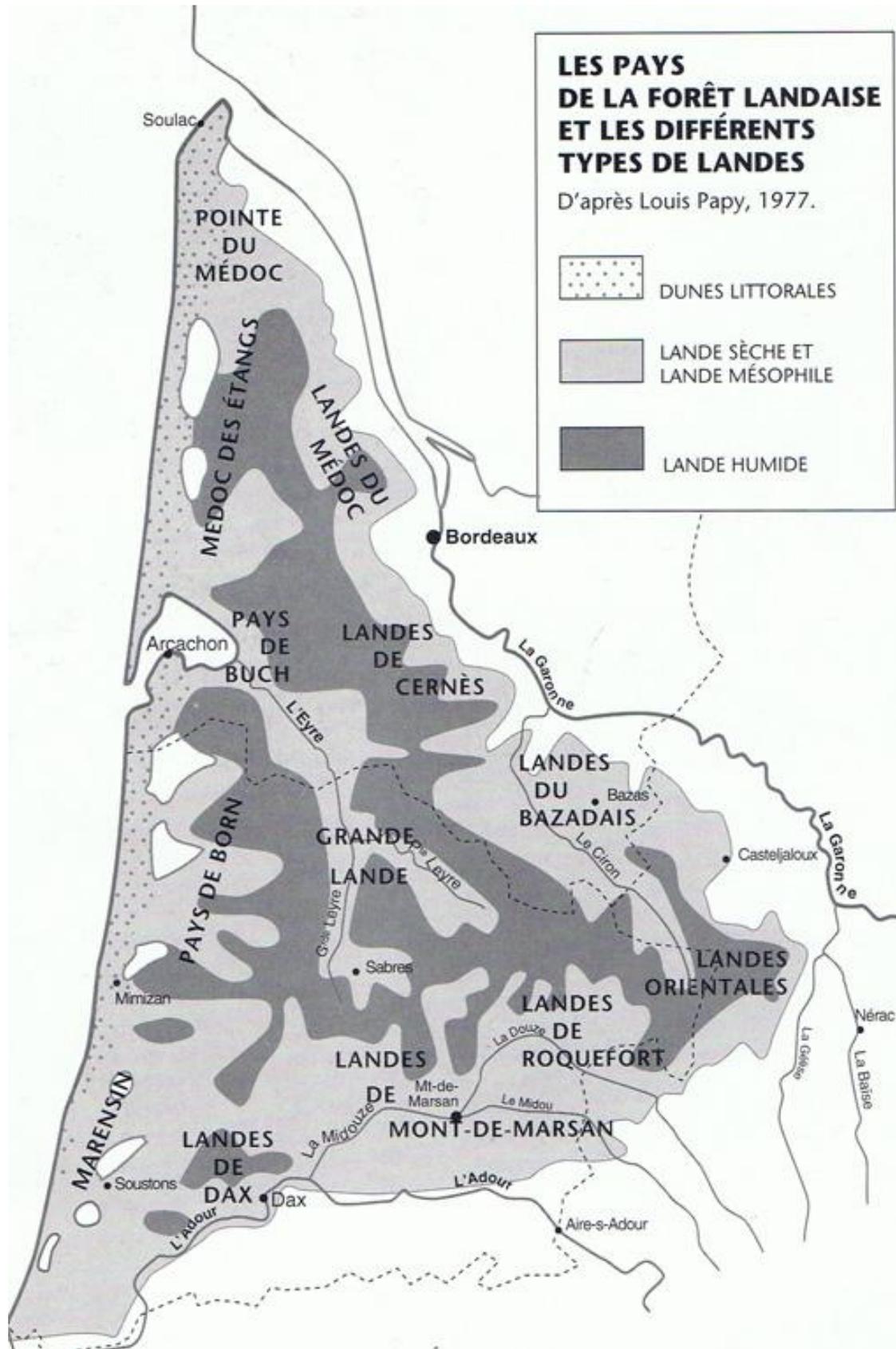


Figure 5 : Les pays de la forêt landais et les différents types de landes (Source : L. Papy)

Notre méthode de lecture a consisté à observer sur l'espace du triangle³³ landais représenté sur la Figure 5, les changements d'activités économiques dominantes issus de la ressource forestière. Notre ambition est ni de caractériser, ni d'analyser le fonctionnement de tous ces systèmes, mais d'identifier les périodes d'émergence et de disparition de chacun d'eux pour comprendre les critères qui ont influencé et/ou influence encore leur maintien dans le temps.

Après avoir retracé ces successions économiques, nous les avons représentés sur une frise chronologique au moyen d'indicateurs caractéristiques. Enfin, nous avons mis en évidence 5 facteurs qui, selon notre lecture, ont influencé ces changements d'ères.

B. LES SYSTÈMES FORESTIERS DU MASSIF DES LANDES DE GASCOGNE

1. Avant 1857 : le système agro-sylvo-pastoral

Prédominance d'un système extensif : l'agro-sylvo-pastoralisme

Au début du XVIIIe siècle, sur les 1 000 000 ha actuellement recouverts de Pin maritime, la lande rase marécageuse occupait 700 000 ha. La forêt y représentait 200 000 ha et 200 000 autres étaient dévolus à des cultures maigres (LARROQUETTE, 1924). La « vieille forêt » était implantée principalement le long des nombreuses ripisylves et sur le haut des dunes (appelées Montagne). Le couvert forestier était composé principalement de chêne pédonculé (*Quercus robur L.*), de chêne tauzin (*Quercus pyrenaica*) et de pin maritime. Mais de nombreuses autres essences arborées, arbustives et herbacées s'y mélangeaient.

³³ « Nous appelons Landes de Bordeaux le delta limité par l'océan, depuis la pointe de Grave jusqu'à Bayonne, et compris entre la rive droite de la douze, depuis Cazaubon jusqu'à Mont-de-Marsan ; de la Midouze, depuis Mont-de-Marsan jusqu'au Hourquet ; et de la l'Adour, depuis le Hourquet jusqu'à son embouchure dans la mer ; et la rive gauche de laGelize, depuis Eauze jusqu'à Lavardac ; de la Baïse, depuis Lavardac jusqu'à St. Léger ; et de la Gironde, depuis le Bec d'Ambés jusqu'à son embouchure dans la mer » (BILLAUDEL, 1826) ;

« il n'est pas région naturelle susceptible d'être mieux délimitée que celle des Landes de Gascogne. Son étendue correspond rigoureusement à celle du vaste manteau de sable, qui à l'ouest, sur le littoral, se dresse en dunes entre l'embouchure de la Gironde et celle de l'Adour pour s'étaler ensuite entre les deux fleuves et leurs affluents [...] »(Blayac, 1916) => dans (JOLIVET, AUGUSTO, TRICHET, ET ARROUAYS, 2007)



Figure 6 : Bergers-échassiers. (Source : F. Arnaudin)

À cette époque, domine un système agro-sylvo-pastoral de subsistance dont le cœur des activités repose sur l'élevage (LARROQUETTE, 1924). Les produits issus des bêtes rapportaient peu. En revanche, le fumier permettait un transfert permanent et continu de fertilisant entre les sols pâturés (la lande) et les sols cultivés (les champs). Ce fumier servait à la culture des céréales nécessaire à la fabrication du pain. Les principaux acteurs économiques de ce système sont le berger, le laboureur et le meunier. Néanmoins, les autres activités multiples et variées du territoire étaient basées sur une économie locale et enclavée faute de transport. Le bois n'avait peu ou prou de valeurs financières. En région bordelaise, quelques rares scieries fabriquaient des échalas, faissonnats, barres, soliveaux, chevrons³⁴, pieux, planches et charbon de bois (LARROQUETTE, 1924).

³⁴ **Échalas** : barreaux de bois fendus ; **Faissonnats** : Fagot composé de brindilles à l'intérieur et de gros morceaux à l'extérieur. **Soliveaux** : pièce de charpente placée horizontalement en appui sur les murs ou sur les poutres pour constituer le plancher d'une pièce. **Chevrons** : pièces de bois fixées sur les charpentes suivant la ligne de pente pour porter les supports horizontaux des matériaux de couverture

Le principal produit des forêts était la résine. Sa production semble aussi vieille que la vieille forêt. Déjà au IV^e siècle, la côte était connue pour ses produits issus de la résine de pin (LARROQUETTE, 1924) que sont la poix, la rousine, le bray, la tourmentine et l'encens³⁵ (LARROQUETTE, 1924 ; AUFAN ET THIERRY, 1990). Les zones de productions de résine étaient concentrées sur le littoral ou autour des cours d'eau de la lande. L'exportation se faisait via les ports de Bayonne et de Bordeaux grâce aux voies fluviales. Vers 1750, les méthodes de valorisation de la résine se développent, des expériences de distillation sont effectuées et la récolte s'intensifie. Par voie de conséquences, la prise de conscience de la valeur économique de la forêt est de plus en plus manifeste. L'augmentation du prix de la résine induit le gouvernement à encourager la culture du pin et à lutter contre ses ravageurs (incendie, pacage³⁶). À cette époque, les dunes de la côte atlantique sont en cours de boisement, mais à l'intérieur des terres, le paysage reste dominé par les marécages. Le territoire est perçu par les visiteurs comme une vaste étendue « malsaine et stérile » où les habitants sont « d'étranges créatures ». L'industrialisation de la résine devient alors un moteur de l'expansion de la surface forestière. C'est le début de la croissance de la surface forestière au détriment de la lande rase.

Émergence de la nouvelle forêt

Les populations côtières ont toujours su boiser les dunes pour lutter contre l'envahissement des sables (LARROQUETTE, 1924). Mais en 1780, d'importantes brèches dans la vieille forêt de protection, causées par des intempéries, menaçaient la vieille forêt plus à l'intérieur des terres. Après, plusieurs tentatives infructueuses³⁷, en 1786, Nicolas Brémontier s'empare de la question, car selon lui « la ville même de Bordeaux pourrait être ensevelie ». Brémontier fait débiter des travaux dès 1787 sur la dune du Pyla et la dune du Moulleau (BREMONTIER, 1833). Ces travaux se poursuivront sur l'ensemble de la bande dunaire et se termineront en 1865. Ainsi, en 78 années, 88 000 ha de nouvelles forêts ont émergé (GUINAUDEAU ET CASTAING, 1963).

³⁵ Pour plus d'information sur les produits résineux : Aufan R. et Thierry F. (1990), *Histoire des produits résineux landais*, Sté historique et archéologique d'Arcachon et du Pays de Buch.

³⁶ Action de faire paître le bétail sur des terrains en friche ou dans les forêts.

³⁷ Il y eut beaucoup de tentatives sans succès notable à la fixation des dunes. Néanmoins, ces essais ont probablement participé à l'amélioration de la méthode qu'utilisera Brémontier par la suite. (LARROQUETTE, 1924; SARGOS, 1949).

Le boisement de l'arrière-pays s'est fait après celui des dunes et pour des raisons différentes. Alors que le boisement des dunes s'est fait dans un objectif de sécurisation face aux menaces d'ensevelissements, celui des terres répond à des attentes économiques et politiques. À l'époque, ce territoire et ses habitants souffraient d'une image dégradante³⁸. Cette image est due à la conséquence de la stagnation des eaux et de la stérilité des sols (BILLAUDEL, 1826; LARROQUETTE, 1936). Avant la loi de 1857, plusieurs essais de valorisation des terres sont infructueux : Henri IV en 1599, le comte de Beaumont en 1759, la compagnie Moriencourt-Salignac en 1761, Daniel Nezer en 1766 ou encore Montauzier en 1774. Après ces nombreux échecs, Brémontier, Desbiey ou encore Chambrelent ont compris la nécessité d'égoutter le sol avant de tenter de le mettre en valeur. Comme l'atteste Chambrelent en 1887 :

« L'assainissement préalable n'était donc pas seulement une amélioration utile pour les Landes, c'était une condition indispensable de la mise en culture, et l'on peut dire, sans hésiter, que la cause principale qui avait fait échouer jusqu'ici tant d'entreprises dans ce pays, c'était de n'avoir pas reconnu cette indispensable nécessité d'assurer, avant tout essai de cultures, l'écoulement des eaux superficielles » (CHAMBRELENT, 1887).

Vers 1760, le gouvernement proposa diverses mesures pour assainir la région et créer de la richesse. La première, celle du 16 août 1761, accordait des exemptions d'impôts aux particuliers qui défricheraient les landes. La même année, la déclaration royale de Compiègne du 13 août 1766 et l'arrêt du conseil du 20 octobre reprendront cette mesure. En y ajoutant la concession de terres incultes. Néanmoins, uniquement les terres les plus pauvres seront défrichées. Ces dernières deviennent des prairies ou des terres arables. Mais la grande majorité du reste des terres n'est pas concernée. C'est la loi du 29 avril 1768 qui va véritablement activer la dynamique et lancer les plantations résineuses. Cette loi accorde aux habitants une exemption d'impôt sur 20 ans pour ceux qui défrichent et reboisent les landes. De façon à encourager la plantation de cet arbre qui produit de la résine qu'au bout de 15 à 20 ans. Selon Larroquette (1924), deux freins subsistent encore au développement concret d'un reboisement généralisé. Premièrement, l'existence de terrains communaux qui

³⁸ L'Écomusée de la Grande Lande à Marquèze expose une importante sélection d'ouvrages illustrant ces propos.

représente une grande partie de la superficie. Ces indivisions sont librement utilisées par les habitants pour leurs exploitations agricoles³⁹. Deuxièmement sur ces communaux se pratiquent le libre parcours et le pâturage. Ces derniers étant incompatibles à la constitution d'un massif forestier du fait des dégâts considérables que peuvent faire les troupeaux sur les semis (LARROQUETTE, 1924). Le deuxième frein étant soumis au premier, c'est la loi de 1857 qui fera véritablement sauter ces verrous.

La loi de juin 1857 fait suite au désir de Napoléon I, puis de Napoléon III de valoriser les terres « stériles » et « malsaines » du sud-ouest. Cette loi est en outre associée aux travaux de Mr François Jules Hilaire Chambrelent, ingénieur en chef des ponts et chaussées et directeur des services hydrauliques de la Gironde. C'est lui qui sut convaincre Napoléon III que la transformation des terres n'était possible que par leur assainissement. Cette loi sur l'assainissement et la mise en culture des Landes de Gascogne⁴⁰ s'appliquait à 300 000 ha de landes communales et 350 000 de terres appartenant à des privés. Elle va véritablement marquer un tournant sur l'occupation des sols. Les communes ne pouvant ou ne voulant pas effectuer les travaux vont aliéner une partie de leurs terres à des particuliers. Ce fait eut plusieurs conséquences. D'abord, l'augmentation importante de la superficie des terres privées. Dans les départements des Landes et de la Gironde, 180 000 ha vont être vendus. Ensuite, les terres communales dédiées au libre pâturage vont disparaître en faveur des peuplements forestiers. La loi de juin 1857 marque véritablement le début de l'ère de transition préforestière.

2. 1857-1920 : Prédominance du système résinier

Disparition du pastoralisme (1857-1965)

L'application massive et généralisée de la loi de 1857 a eu des conséquences sur les activités socioéconomiques du territoire. Notamment, la disparition du pastoralisme est souvent perçue comme une conséquence du développement de la forêt. En vérité, cette disparition était un pré requis nécessaire au développement de la forêt. Un acte de 1550 en faveur du libre parcours précisait qu'il était interdit de boiser les terres

³⁹ Un acte de 1550 favorable au libre parcours interdisait de planter dans les terres vacantes (LARROQUETTE, 1924)

⁴⁰ Mettre les 10 articles en annexes

vacantes. Or « l'exercice de cet usage était un obstacle au boisement et un danger pour les semis » (LARROQUETTE, 1924). Dès 1672, une série de mesures, le règlement d'Aguesseau et l'arrêt du Conseil d'État du 13 juin proposaient une restriction du libre pâturage. Ces mesures ont été sans résultats jusqu'à 1857. Avant cette date, l'augmentation de la valeur des terres boisées avait déjà amorcé la transition des landes à mouton vers des landes à résine. Mais la loi de 1857 a engendré la privatisation d'une grande partie des terres ce qui a fortement restreint le libre pâturage des troupeaux. Par la suite, le développement des peuplements a fait disparaître le milieu nécessaire aux troupeaux. Après la fin du reboisement, les décrets réglementant le parcours du bétail d'avril 1892 et 1897 ont permis de maintenir la progression de l'état forestier.

Industrialisation de la production de résine

Les années 1850 correspondent à une phase d'accélération de la production de gemme. Des facteurs multiples en sont à l'origine : l'augmentation des besoins de l'industrie (en bois, charbon et résine) (LERAT, 1983) ; l'augmentation de la surface boisée exploitable (LERAT, 1983) ; l'apparition de nouvelles méthodes de récoltes comme la méthode Hugues (CUZACQ, 1889), l'apparition de procédés de transformation chimique (LARROQUETTE, 1924; LERAT, 1983; SARGOS, 1997) ; le développement des moyens de transport (LARROQUETTE, 1924; LERAT, 1983; SARGOS, 1997) ; le développement des outils de production à l'image d'une usine de distillation perfectionnée livrée en 1850 (GUINAUDEAU, 1961) ; mais aussi la production de résine a été encouragée par la guerre de Sécession (1861-1865) qui a fait bondir le prix de la barrique de 66 francs en 1861 à parfois 300 francs en 1864. C'est la période la plus profitable pour l'industrie résinière des Landes de Gascogne. La loi de 1857 et le contexte économique favorable de la gemme ont fait miroiter des gains financiers importants ce qui contribua à la conversion des landes rases, en landes boisées. En 1920, la production de gemme⁴¹ atteint le record de 178 000 000 litres.

⁴¹ Gemme : terme équivalent à la résine. Produit résultant de la transformation que l'air fait subir au liquide que laissent exsuder les conifères (Larousse)



Édition des Galeries Modernes de Mont-de-Marsan

105. LANDES — Gemmage des Pins

Figure 7 : photos d'illustration. « Gemmage du pin »



En 1907 (à gauche), le gemmage à mort classique dans toute sa gloire. Photo THIOLLIER. ENGREF-Nancy.
En 1937 (à droite), le gemmage à vie modernisé. Photo X. Collection ENGREF-Nancy

Figure 8: Photo d'illustration. Techniques de gemmage (PARDE, 1989).

À gauche : gemmage à mort ; à droite, gemmage à vie.

3. À partir de 1920 : Mise en valeur de la production ligneuse

Disparition du système résinier

Dès 1900, des mouvements sociaux portés par les syndicats apparaissent en raison de fluctuations du cours de la gemme et des désaccords sur la répartition des revenus entre résiniers (le métayeur) et propriétaire. Ces mouvements vont s'intensifier et atteindre leur apogée en 1936, pour s'arrêter définitivement vers 1970. À la fin de cette période, le nombre de propriétaire-exploitant et de résiniers avait considérablement diminué. En 1960, le Service Régional d'Aménagement Forestier (SRAF⁴²) comptait 23 propriétaires-exploitants et 120 résiniers salariés, nombres réduits à 6 et 80 en 1970, puis à 2 et 31 en 1977.

⁴² Service régional d'aménagement forestier (SRAF), créé dans les années 1964-1966 et supprimé au moment de la création de la direction régionale de l'agriculture et de la forêt (DRAF), mais dont les attributions, les compétences et les archives ont été transférées au Service de la Forêt et du Bois (SERFOB) (source : site des Archives départementales du Doubs).

Par ailleurs, un décret de 1920, porte prohibition d'exportation sur l'essence de térébenthine (GALLICA, 1881), ce qui a laissé la place à une concurrence américaine, portugaise et espagnole (BUSSY, 1971). Enfin, l'essence de térébenthine, qui est le principal produit issu de la résine, est fortement concurrencée par l'arrivée sur le marché du White spirit, dérivé du pétrole. La production de résine de pin a officiellement disparu des landes de Gascogne depuis 1990.

Utilisation de la matière ligneuse

Le volume de bois exploité a connu une forte augmentation entre 1920 et aujourd'hui. L'extrait ci-dessous montre la ventilation en 1920 de la production ligneuse du plateau landais (Tableau 1).

Une évaluation faite en 1920 détaille comme suit la production ligneuse du plateau et du littoral landais :	
Bois de charpente, menuiserie, pavés.....	300 000 m ³
Planches pour parquets.....	250 000 —
Planches pour l'Espagne.....	150 000 —
Planches pour caisses d'emballage.....	215 000 —
Traverses de chemins de fer.....	210 000 —
Poteaux de mines bruts.....	750 000 —
Poteaux pelés.....	23 000 —
Poteaux télégraphiques.....	9 000 —
Bois de feu.....	364 000 —
Total.....	2 271 000 m³.

Tableau 1 : Production ligneuse du plateau et du littoral landais en 1920 (CHEVALIER, 1925)

En 1920, le volume des produits ligneux est de 2 271 000 m³. En 1936, ce chiffre monte à 3 750 000 m³ (PARDE, 1989). En 1971, 4 500 000 m³ de grumes⁴³ sont exploités (PINAUD, 1973). En 1974, l'article de (DEGOS, 1976) avance une récolte de 4 787 000 m³ pour toute l'Aquitaine, ce qui correspond sensiblement aux mêmes proportions pour ce qui concerne le massif des landes de Gascogne.

Derrière l'augmentation de la récolte se cachent des modifications de l'utilisation de la ressource ligneuse. La concurrence des autres pays (Suède, Norvège, Finlande,

⁴³ Arbres abattus, simplement ébranchés et laissés avec leurs écorces.

URSS) et régions forestières (Jura, Vosges) fait chuter la valeur du bois des Landes. Le massif landais souffre d'une faible capacité à exporter ses bois en raison de voies de transport peu développées. Ces concurrences induisent la chute des ventes de poteau de mine (principale utilisation du pin des landes) et des sciages. Dans la même période,

« Au lendemain de la guerre, la consommation de papier ayant augmenté, la France devenait de plus en plus tributaire de l'étranger, surtout des pays à change élevé : Canada, Suède, Norvège. Aussi, en 1922, la pâte de bois était-elle devenue 18 à 20 fois plus chère qu'en 1913, et cela pour une importation considérable (390.000 tonnes sur les 510.000 consommées). On estimait que les forêts françaises n'étaient pas à même de fournir les deux millions de mètres cubes de bois qui pouvaient faire face à la consommation annuelle. Il apparut donc intéressant de faire participer la forêt de Gasconne à cette production de pâte à papier, quelques tentatives ayant paru encourageantes » (RICHARD, 1934).

Ces conditions ont favorisé l'émergence de nouveaux acteurs de la valorisation de la fibre ligneuse à savoir les papetiers et les fabricants de panneaux. Ces industries ont offert de nouveaux débouchés aux bois locaux. Le schéma d'approvisionnement de ces industries permet une meilleure rétribution du propriétaire via la valorisation des éclaircies, des connexes de scieries (délignures, noyaux de déroulage) et des connexes de chantiers (copeaux forestiers).

Les premières papeteries dédiées à la ressource en pin maritime ont émergé en 1924. En 1934, RICHARD en liste six⁴⁴ « nées de la forêt [landaise] pour exploiter une partie de son bois ». Le bois de papeterie prit rapidement une part importante au sein des bois d'industries⁴⁵, jusqu'à atteindre 88.5 % du volume national en ce qui concerne le pin maritime. Aujourd'hui, sont encore en fonction 2 papeteries au cœur du massif

⁴⁴ (1) La papeterie de Beautiran (Gironde) de la société Le Kraft français. Ouverte en 1924 et fermée en 1933. (2) La papeterie de Mimizan (Landes) de la société des Papeteries de Gascogne. Ouverte en 1925, active depuis 1927. (3) La papeterie de Biganos, près de Fature (Gironde), de la société La Cellulose du Pin. Active depuis 1925. (4) La papeterie de Rocquefort (Landes) de la société Les Papeteries Landaises. Ouverte en 1929 et fermée en 1932. (5) La papeterie de Montfourat (Gironde) de la société Papeterie de Monfourat. Ouverte depuis 1834⁴⁴. En 1922, rachetée par André et Bernard Navarre, elle devient la plus grande papeterie de Gironde. Elle n'est plus en activité depuis 1969. (6) La papeterie de Bègles (Gironde) de la société Cenpa. Ouverte depuis 1929. Rachetée par le groupe Lafargue Plâtres et toujours en activité.

⁴⁵ Le bois d'industrie comprend : le bois de trituration (bois de papeterie, panneaux), les poteaux de mine, les travers de chemin de fer, les poteaux télégraphiques

(*Gascoigne Paper* à Mimizan, *Smurfit Kappa cellulose du pin* à Biganos), et 1 papeterie en périphérie (*fibre excellence* à St-Gaudens). La production annuelle de l'ensemble de ces trois papeteries était de l'ordre de 800 000 tonnes de pâte par an pour une consommation de bois de l'ordre de 1 million de m³.

La première usine de fabrication de panneaux dans les landes date de 1926. En 1976, PINAUD (1973) référence 6 usines pour une consommation globale de 200 000 m³ de bois landais. Aujourd'hui, 4 usines sont en activités au cœur du massif et 2 en périphéries, pour un volume total de production d'au moins 520 000 m³. À ces 6 établissements se rajoutent 2 usines de panneaux de contreplaqués qui produisent autour de 50 000 m³ de panneaux (FCBA, 2015).

L'activité de bois d'œuvre reste néanmoins la principale consommatrice de grumes.

4. Depuis 1980 : Émergence de la chimie verte ?

Depuis les années 1980, certains industriels du territoire se sont orientés vers la valorisation des composés chimiques de la ressource forestière sous forme de celluloses de spécialités, de dérivés terpéniques, d'extraits végétaux ou d'huiles essentielles. Ce champ de valorisation de la ressource est connu sous le terme de « chimie verte ». Ce dernier est un sujet à la fois historique et d'actualité sur ce territoire. En effet, l'industrie de la résine fait partir du giron de la chimie verte et la valorisation des bioressources connaît un engouement fort à l'échelle régionale et nationale. Parmi les projets menés à l'échelle nationale, plusieurs sont portés par des acteurs présents sur le massif des landes (GUEUDET, 2015).

Trois établissements structurent cette dynamique : la DRT, Biolandes et Tembec. La DRT (Dérivés Résiniques et Terpéniques) est présente sur le territoire depuis 1932. Elle est spécialisée dans la valorisation de la colophane et de l'essence de térébenthine extraites de la résine du pin. Aujourd'hui, la DRT alimente une vingtaine de secteurs industriels tels que la parfumerie et les compléments alimentaires. Elle fait d'importants investissements, ce qui est le signe de sa bonne santé financière (DREAL, 2013).

Biolandes est une entreprise familiale landaise qui date de 1980. Elle dispose de 9 sites de production répartis dans 7 pays, à partir desquels elle produit des huiles

essentielles à destination du marché de la parfumerie. Depuis 2014, Biolandes et la DRT, entre autres, se sont associés pour reprendre le groupe Gascogne. Ce dernier, premier producteur mondial de papier kraft naturel frictionné et leader européen dans le domaine du complexe d'emballage et de protection, cumulait une dette de 100 millions d'euros et évoquait le dépôt de bilan en 2012.

Enfin, la papeterie de Tembec à Tartas implanté en 1941 a produit de la fibre à 100 % jusqu'en 1994. À partir de cette date, sous l'impulsion de ses dirigeants l'usine a muté de la production de pâte de papier à la production de biopolymère. Si bien que depuis septembre 2011, cette bioraffinerie ne produit plus aucune pâte et est leader mondial des producteurs de cellulose pour les marchés d'éthers cellulosiques et de nitrocelluloses et au troisième rang mondial pour les marchés des lignosulfonates⁴⁶.

Le soutien économique et stratégique d'un acteur dominant de la valorisation ligneuse par des acteurs de la valorisation chimique et la mutation d'une papeterie en une bioraffinerie, ne sont pas des indicateurs suffisant pour certifier la prédominance future d'un système fondé sur la chimie verte. Néanmoins, ces signes montrent bien la dynamique d'une voie nouvelle de valorisation de la ressource forestière du territoire. Ces acteurs industriels sont en train de modifier leur identité industrielle en devenant peu à peu des acteurs multiproduits, qui s'inscrivent progressivement dans le paradigme des bioraffineries (MORA ET BANOS, 2014; NIEDDU, GARNIER, ET BLIARD, 2010).

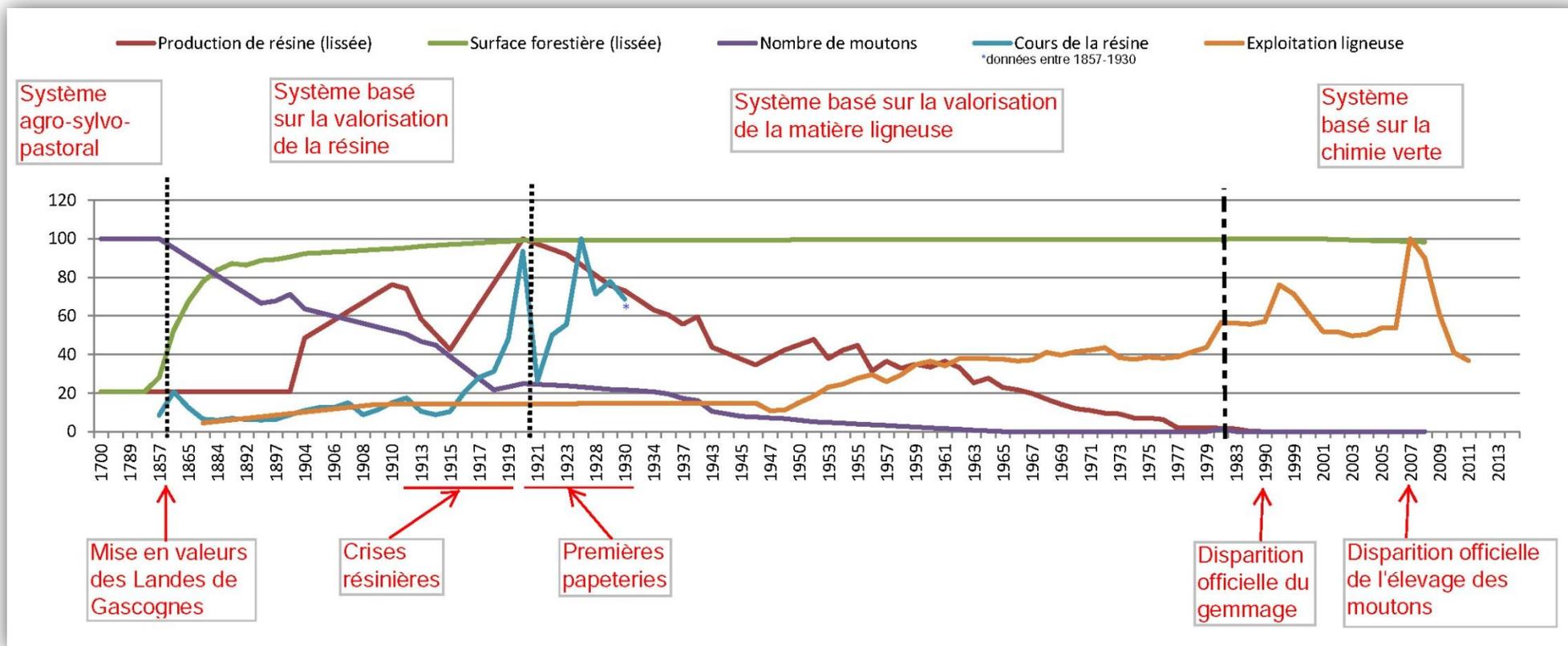
5. Représentation schématique des successions économiques

Sur la Figure 9 ci-dessous, nous avons représenté l'évolution de certains d'indicateurs caractéristique des systèmes socioéconomiques prédominants.

⁴⁶ MICHAUD C (2014) Tembec Tartas, une bioraffinerie au cœur de l'Aquitaine. Conférences des bois du pôle de compétitivité Xylofutur

Figure 9 : Représentation des successions économiques sur l'espace du massif des Landes de Gascogne

Pour chaque courbe, la valeur de 100 % correspond à la donnée maximale observée pour la période d'étude (1700-2009). Les autres points des courbes sont affichés au prorata de cette valeur maximale. Cette méthode nous permet d'observer la période pour laquelle chaque indicateur a été à son optimum.



Ce graphique expose l'évolution de productions caractéristiques des systèmes économiques. À savoir :

- Pour le système agrosylvopastoral : le nombre de têtes de mouton.
- Pour le système résinier : la production de résine et le cours de la résine
- Pour le système ligno-forestier ⁴⁷ : la surface forestière et l'exploitation ligneuse.

Ce graphique met en évidence les 3 successions économiques dominantes :

✓ (1700-1850) l'élevage de moutons en lande rase : Cette période correspond à la prédominance du système agro-sylvo-pastoral. Le nombre de moutons est à son maximum, plus d'un million de têtes. La lande rase domine sur 700 000 ha. Néanmoins, avec plus de 200 000 ha, la vieille forêt y tient déjà un rôle central. Notamment, pour les produits issus de la résine, le bois de feu et le bois de construction qu'elle offre aux usages principalement locaux.

✓ (1850-1920) l'industrie résinière basée sur un massif forestier en croissance : cette période est caractérisée par l'augmentation brutale de la surface forestière entre 1850 et 1890, et une progression plus douce entre 1890 et 1920. Dans le même temps, le nombre de têtes de mouton diminue fortement pour atteindre 20 % de sa situation de 1700. À partir de 1900, l'exploitation de la résine explose pour atteindre un pic de production en 1920 et un pic du prix de la résine vers 1925.

✓ (1920-2009) l'industrie ligneuse sur un massif forestier constitué : cette phase est caractérisée par la stabilisation de la surface forestière à une valeur semblable à celle connue aujourd'hui (environ 1 000 000 ha). La production de résine chute de façon régulière pour disparaître complètement vers 1990. Le nombre de moutons landais continue de chuter pour complètement disparaître vers 1965. L'exploitation ligneuse, qui par ailleurs a toujours existé, se développe et devient l'industrie dominante. Les principaux produits ligneux sont les poteaux de mines, les traverses de chemin de fer, les poteaux télégraphiques, les sciages (charpentes et planches) et le bois à destination des papeteries.

⁴⁷ Système basé principalement sur la valorisation ligneuse du massif.

C. ANALYSE DES FACTEURS DE TRANSITIONS

L'étude de la cette succession de systèmes met en évidence 5 facteurs qui ont joué un rôle dans les phases de transitions des systèmes.

1. Les décisions politiques sont des initiateurs du changement

L'émergence du massif des landes de Gascogne est avant tout due à une décision politique de vouloir s'approprier cet espace. Napoléon III déclarait lors d'un discours à Bordeaux :

« L'empereur, mon oncle, voulait cultiver les Landes et y creuser un canal pour opérer la jonction de la Garonne et de l'Adour. Le temps lui manqua pour réaliser ce grand et utile projet. Je veux le reprendre et je désire qu'il soit établi dans les Landes une canalisation susceptible de favoriser les cultures et l'assainissement du pays » (LARROQUETTE, 1924).

Cette « réussite » s'est faite durant la présidence de Napoléon III, mais avant lui, Henri IV, Napoléon I^{er} et d'autres avaient essayé. Les avis sont divergents sur les raisons qui ont fait émerger le désir de valoriser les terres marécageuses. Certains avancent l'altruisme des décideurs à vouloir sortir une population d'un mode de vie insalubre, d'autres le désir de colonisation d'un territoire sans maître ou d'autres encore la promesse d'une création de richesses. En tout état de cause la décision politique, d'autant qu'elle provenait des plus hautes instances administratives, a permis la mise à disposition d'hommes (Brémontier, Chambrelent) et de moyens.

Claude Courau, ancien gemmeur et écrivain⁴⁸, avance également que la disparition des résiniers au profit des papetiers, est due à une décision politique.

« Il paraît en effet évident aujourd'hui que l'État a eu nettement la volonté de donner une "vocation" papetière à la forêt de Gascogne, notamment au profit des entreprises Saint-Gobain et des Papeteries de Gascogne. Les gros propriétaires privés se sont d'ailleurs très vite engouffrés dans la brèche, car il est également très clair qu'ils voulaient se débarrasser du gemmage et des gemmeurs depuis très longtemps » (COURAU, 2000).

⁴⁸ COURAU C, COURAU R (1995) *Le gemmage en forêt de Gascogne*. Gradignan, France : Princi Negre; COURAU C (2014) *La relance du gemmage en forêt de Gascogne*. Cressé, France : Éd. des régionalismes, impr. 2014

Nul doute que la forêt n'aurait pas émergé aussi rapidement et sur une aussi large étendue, si ce projet n'était pas souhaité et porté par l'État. Force est de constater qu'avant la réussite de Napoléon III, toutes les précédentes tentatives avaient échoué. Cela montre bien que lorsqu'elles étaient isolées les solutions techniques et les décisions politiques ont été suffisantes pour aboutir au résultat souhaité.

2. Le marché économique est un moteur du changement

Les perspectives de retombées économiques ont probablement joué un rôle important dans les orientations politiques. En tout cas, le marché économique a joué un rôle dominant dans le basculement d'un système à l'autre.

Concernant l'émergence du couvert forestier, l'augmentation de la valeur des produits résineux a joué un rôle moteur. Ce phénomène a amorcé dès 1750, la progression de la superficie forestière au détriment de la lande rase, qui devenait en comparaison moins rentable. Ainsi, la progression de la surface forestière s'est faite lentement mais sûrement entre 1750 et 1857.

L'industrie ligneuse s'est développée au moment où l'industrie de la résine commençait à s'essouffler. En effet, le cours de la résine s'était effondré vers 1920, suite à l'augmentation de la concurrence internationale (Amérique, Espagne, Portugal) et à l'arrivée sur le marché de produits concurrents de l'essence de térébenthine⁴⁹. En parallèle, au lendemain de la Première Guerre mondiale, la consommation de papier avait fortement augmenté, si bien que le prix de la pâte à papier était devenu 18 à 20 fois plus cher qu'en 1913. Une grande partie de la pâte était issue des forêts canadienne, suédoise et norvégienne (RICHARD, 1934). À ce moment, les regards se sont tournés vers la forêt de Gascogne pour répondre à cette demande, car le stock de bois était important et sa valeur faible.

3. Le système législatif est le levier du changement

Le système législatif est véritablement le facteur qui a joué le rôle de bascule d'un système à un autre. La loi de 1857 a été décisive dans l'émergence du massif forestier et par la même de l'industrie résinière. L'application de cette loi, et des textes

⁴⁹ Produit principal de la résine de pin

précédents ont permis d'un côté, la limitation des freins au développement forestier (libre pâturage, terre communale) et de l'autre, la mise en place de moyens incitatifs (aides financières, exonération fiscale). En 1865, l'ensemble des travaux d'assainissement était achevé. En 1920, la surface forestière avait atteint la taille que nous lui connaissons aujourd'hui, soit 1 000 000 ha. Cette loi a donc permis l'afforestation de 700 000 ha en 63 années.

Le constat est le même concernant la disparition de l'industrie de la résine. Dès 1915, un décret interdit l'exportation de l'essence⁵⁰. Cette mesure se justifiait par les besoins de la défense nationale au risque d'alimenter l'armée allemande. Cette interdiction d'exportation causa « un grave préjudice à l'industrie du sud-ouest » (LARROQUETTE, 1924). La baisse des cours qui en résultait a été aggravée par l'arrêté du 20 octobre 1920 qui a rendu prohibée l'exportation de l'essence de térébenthine (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE, 1920). Alors que la moitié de la production était habituellement destinée à l'exportation.

4. Les mouvements sociaux ont retardé le basculement d'un système au suivant

Parmi les facteurs d'influences, les mouvements sociaux ont joué le rôle de retardant. Les pasteurs landais n'étaient pas favorables au développement de la surface forestière, car ce déploiement se faisait au détriment de leurs activités. Dès lors, des mouvements de protestation ont éclaté. Ils s'exprimaient entre autres par des incendies (TRAIMOND, 1980). Ainsi en 1870, 40 000 ha de jeunes semis ont brûlé, induisant des lois qui interdisent l'usage du feu dans les landes. La progression forestière a donc été ralentie, néanmoins elle n'a jamais été stoppée.

Les 30 000 à 40 000 gemmeurs ont également protesté vivement entre 1906 et 1940. À l'issue des mouvements en 1970, il ne reste qu'un millier de gemmeurs. Ces deniers obtiennent une partie des droits sociaux des salariés. Mais durant cette période, la conversion vers le système papetier était amorcée. Des papeteries étaient sorties de terre, si bien que lorsque le calme était revenu les besoins en main-d'œuvre n'étaient plus dans l'industrie résinière, mais dans l'industrie papetière.

⁵⁰ Sauf exception en faveur de l'Angleterre et des Dominions (LARROQUETTE, 1924)

5. Les aléas climatiques sont des intensificateurs de la gestion technique du système en cours

Depuis sa constitution, le massif a été perturbé par plusieurs phénomènes biotiques et abiotiques, incendies (intentionnel ou non), gelées, tempêtes, insectes et champignons. À chaque fois, le système qui a subi ces chocs s'est reconstitué, en se renforçant par la même occasion. En ce sens, les phénomènes biotiques et abiotiques ont à chaque fois eu pour conséquence de consolider le système en cours.

Lors du déploiement du couvert forestier durant les mouvements de grèves des pasteurs landais, le feu était utilisé comme outil de contestation (TRAIMOND, 1980). De nombreux hectares de semis ont été détruits. Les semis détruits ont été reboisés. D'autres événements incendiaires sont recensés, faisant chacun entre 10 000 et 50 000 ha de dégât. Les plus marquants sont encore ceux des années 1940 (1947 et 1949). Ces derniers ont détruit 400 000 ha et firent 83 victimes. Tous les peuplements détruits ont été reconstitués entre autres à partir de graine d'origine ibérique (DORE ET VAROQUAUX, 2006). L'organisation DFCI (défense des forêts contre les incendies) a émergé de la nécessité de faire face aux feux de forêt. Le décret du 25 avril 1945 l'a rendu obligatoire. Aujourd'hui, la DFCI assure les missions de préventions et de la mise en valeur du territoire. Les corps départementaux des sapeurs-pompiers forestiers (décret du 25 mai 1947) sont en charge de la lutte active et de la surveillance du massif.

En 1956, 1963, 1985 et 1986, le territoire a également subi des épisodes de froids importants qui ont mis à mal les peuplements. La température sous abri a atteint -22 degrés Celsius en 1985 (LE TACON, BONNEAU, GELPE, BOISSEAU, ET BARADAT, 1994). Dans les jours qui ont suivi, de nombreux pins maritime ont montré des signes de dépérissement. Le bilan après recensement a montré qu'un total de 150 000 ha de pin a été détruit ou sévèrement impacté sur ces 3 périodes. En grande majorité, il s'agissait des pins de provenance ibérique utilisés pour les reboisements suite aux incendies de 1940. Les hectares de pin gelés ont été reconstitués, mais les acteurs du territoire ont exclu l'utilisation de matériel forestier de reproduction d'origine ibérique. Aidé par la loi de 1971 relative à l'amélioration de la qualité génétique qui

permet la différenciation génétique des provenances française et ibérique (ARBEZ, 1986)⁵¹.

Plus récemment, les tempêtes ont impacté le massif landais. Passé le constat des dégâts et des pertes économiques, ces événements « *ont induit la mécanisation des moyens de récolte. Il y a eu des investissements dans des machines et des plateformes de stockage* », souligne le président de la fédération nationale des syndicats de forestiers privés (Fransylva)⁵². En effet, le nombre de machines dans les peuplements résineux est passé de 300 peu avant 1999, à presque 500 en 2002 (LAURIER, 2010 ; FORET PRIVEE FRANÇAISE, 2015). Dans le même temps, les cycles de rotation des peuplements ont été diminués dans le but de limiter les risques liés à l'aléa Tempête. Les solutions développées lors de la tempête de 1999 ont été améliorées lors de celles de 2009 (ECOFOR, 2010). En outre, un certain nombre des aires de stockages utilisées en 1999 et réemployées en 2009 vont dorénavant être maintenues pour répondre dans le contexte hors tempêtes aux besoins d'industriels locaux⁵³. Les solutions déployées à la suite des tempêtes (aires de stockage, aides au reboisement) ont permis la stabilisation du secteur forestier et un retour du couvert boisé. Le système en place s'est reconstruit avec l'objectif d'être moins sensible face à l'aléa subi. À chaque fois, les phénomènes climatiques ont accéléré les tendances sans jamais les inverser.

D. CONCLUSION

Nous avons vu que 5 facteurs majeurs ont influencé le basculement d'un système économique à l'autre, chacun induisant des effets différents, voire antagonistes. La décision politique est créatrice de mouvement. Le marché économique, à travers le jeu de l'offre et de la demande est moteur de la conversion. Le système législatif peut être un outil efficace, notamment dans sa rapidité de mise en œuvre. Les mouvements sociaux ont joué un rôle de retardateur dans l'application des décisions

⁵¹ Depuis le 30 novembre 2005, une décision de la Commission autorise la France à interdire la commercialisation à l'utilisateur final, à des fins d'ensemencement ou de plantation dans certaines régions française, des matériels de reproduction du *Pinus pinaster* Ait. originaires de la péninsule ibérique, dont l'utilisation n'est pas adaptée à ces territoires, en application de la directive 1999/105/CE du Conseil.

⁵² GRASLAND E (2014, décembre 29) Forêts : le lourd héritage des tempêtes. *Les echos*.

⁵³ VIEBAN S, BOURMAUD N (2015) Alliance infos. Groupe ALLIANCE Forêt Bois.

émises par les politiques. Les catastrophes naturelles ont eu pour effet d'intensifier les systèmes en cours.

L'espace du massif des Landes de Gascogne a porté différents systèmes économiques au cours du temps. Notre focus sur la période de 1700 à 2012 a permis de mettre en évidence 3 systèmes qui ont prédominé, dont l'actuel qui a émergé vers l'an 1920. Cela fait donc moins d'un siècle que ce massif est géré dans l'objectif de valoriser essentiellement la matière ligneuse. Au regard des enjeux économiques et sociaux et les incertitudes qui se posent sur ce système, les questions qui interrogent son maintien dans le temps sont légitimes.

« Il se faut entr'aider, c'est la loi de nature »

Jean de La Fontaine,
Maître des eaux et forêts

CHAPITRE 2 : LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES COMME UN SYSTÈME PILOTE POUR L'ÉTUDE D'UN RÉSEAU DE CRÉATION DE VALEURS FORESTIER ÉLARGI

A. INTRODUCTION

Le chapitre précédent a mis en évidence une succession de systèmes socioéconomique sur l'espace du triangle landais. Le système dominant actuel fondé sur la valorisation de la ressource ligneuse a émergé autour de 1920. Sur ces 96 années d'existence, il a subi une multitude de chocs (incendies, attaques d'insecte, gelée), néanmoins les dernières tempêtes de 1999 et 2009 ont fortement affecté la ressource forestière. Par la même occasion elles ont poussé les acteurs industriels à s'interroger sur le devenir du système. Ainsi, au-delà de la nécessité à court terme, de trouver des solutions pour pallier les conséquences des tempêtes, ces événements interrogent les capacités de ce système dans son ensemble, à se maintenir dans le temps.

Plusieurs travaux dans le champ de l'analyse de la durabilité systémique ont mis en évidence des propriétés émergentes propices à améliorer la capacité des systèmes à durer dans le temps. Ces propriétés découlent de la structure des interactions entre les éléments constitutifs du système. Or l'écologie industrielle et territoriale (EIT) présente l'avantage d'améliorer l'efficacité des processus industriels en restructurant les relations entre activités industrielles à une échelle locale. De fait, nous nous interrogeons sur l'implication du déploiement de ce type de restructuration dans le cas du système forestier. Et notamment, quelles seraient les implications sur la capacité à durer dans le temps du système landais ?

Répondre à cette question nécessite un cadre d'observation, un système pilote, en adéquation avec les idées fondatrices de l'EIT. Ce chapitre vise à caractériser et déterminer ce système pilote idoine à l'étude des relations entre les acteurs d'un système productif dans le cas du massif forestier dans les landes de Gascogne. Nous interrogeons la taille et le périmètre de ce système afin qu'il puisse contenir une structure organisationnelle dotée de la capacité à durer. Le présent chapitre définit les attributs du système expérimental adéquat sur la base du corpus bibliographique de l'EIT. Cette étape est un préalable à l'étude des moyens et des méthodes à mettre

en œuvre dans une étude pratique de cas. L'enjeu étant de pouvoir proposer des solutions de développement durable du secteur forêt-bois landais, dans un contexte de perturbations répétées.

Dans une première partie, nous définissons le cahier des charges du système pilote, son contenu et les critères d'écologie industrielle auxquels ce système doit être sensible. Dans une seconde partie, nous évaluons divers découpages administratifs, écologiques et socioéconomiques déjà utilisés dans la littérature. Enfin, nous synthétisons la contribution méthodologique et théorique de ce chapitre.

B. LE CAHIER DES CHARGES DU « SYSTÈME PILOTE »

1. Le système pilote doit disposer de capacité de gestion et d'analyse

Nos travaux font référence à ceux de ASHTON ET BAIN (2012) et CERCEAU ET AL. (2014) sur l'importance de l'aspect social des démarches d'EIT. La dimension territoriale y tient une place prépondérante. D'abord, en raison du lien évident qui associe les relations sociales au territoire tel que le suggère MOINE en 2006 et que nous développerons dans le paragraphe suivant. Ensuite, du fait de notre objet d'étude qui est un réseau d'acteurs « territorialisé, délimité géographiquement et fortement ancré » (LEVY ET BELIS-BERGOIGNAN, 2011). L'article de MERMET et TREYER (2001) relatif à la ressource en eau, traite de la recherche d'une « unité territoriale (UT) pertinente pour analyser et gérer à long terme les questions d'équilibre entre ressource et demande ». Notre objectif est de dupliquer cette approche en définissant une unité de gestion homogène qui permette une intégrité fonctionnelle de notre objet d'étude, le matériau Bois. Nous définissons 3 objectifs auxquels doit pouvoir répondre cette UT. D'abord, elle doit permettre de rendre compte à la fois de la structure de la ressource et de la demande qui se pose sur cette ressource. Cela permet l'observation d'un bilan comptable entre l'offre et la demande. Ensuite, elle doit permettre l'émergence d'une communauté de gestion à tous les stades de la vie de la ressource. Enfin, l'UT doit être l'échelle qui intègre un ensemble d'enjeux de gestion de la ressource et tous les acteurs dont les décisions ont un impact sur les enjeux communs de la gestion. L'unité de gestion doit se construire dans l'objectif de permettre à la fois l'analyse et la gestion, par tous les acteurs, de tout le cycle de vie d'une ressource.

Les travaux de MOINE (2006) apportent la deuxième partie de cette spécification (Figure 10). Le territoire est représenté sous forme d'un système constitué de 3 sous-systèmes : un espace géographique, un sous-système contenant les acteurs et un sous-système de représentations que se font ces acteurs de l'espace géographique. Ces représentations jouent le rôle de filtre (individuel, idéologique et sociétal) qui influence les acteurs (images) dans leurs prises de décision (actions). En résultent des boucles de rétroactions qui confèrent au territoire un caractère spatio-temporel. Le système « acteur » dans toutes ses composantes (sociale, économique, administrative et politique) fait intégralement partie du territoire.

Nous nous appuyons sur ces deux travaux pour proposer une première condition à laquelle doit satisfaire notre système pilote : *ce système doit être capable de proposer des solutions adaptées et actionnables dans le temps. Ces solutions doivent être émises à partir d'analyses de données spécifiques à une problématique commune à toutes ses composantes.*

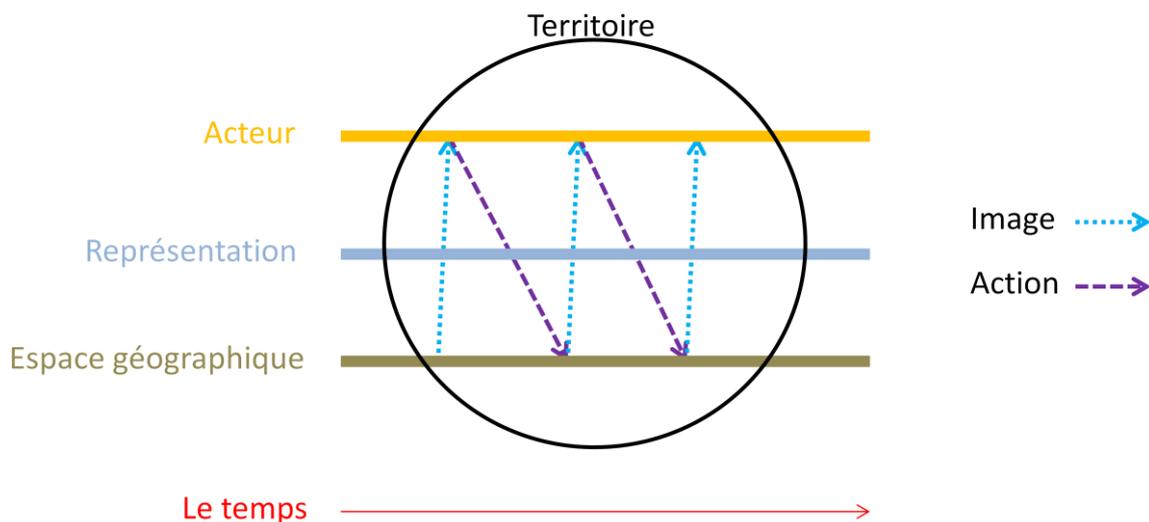


Figure 10 : Représentation du territoire comme un système (d'après (MOINE, 2006))

2. Le système pilote doit contenir le réseau de création de valeurs forestier « élargi »

Après avoir défini le cahier des charges de ce que doit être capable de faire le système pilote, nous abordons maintenant la nature de son contenu, elle-même fortement liée à l'approche que nous employons.

L'une des idées que sous-tend l'EIT est le nécessaire passage d'une approche linéaire à une approche circulaire. Or, les méthodes d'analyse majoritaires aujourd'hui s'appuient sur des découpages linéaires et cloisonnés (secteur, branche, filière, chaîne de valeur...). Ces découpages cloisonnés limitent nécessairement la portée des études, car ils n'appréhendent pas les phénomènes qui émergent aux interfaces des objets d'études. Un second caractère structurant des démarches d'EIT réside dans l'importance donnée à la matière (FISCHER-KOWALSKI, 2002). L'EI a émergé du constat que la matière première déstockée du milieu naturel se retrouve *in fine* stockée en partie sous forme de déchet⁵⁴ non assimilable par ce milieu naturel (CLOUD, 1977; FROSCHE ET GALLOPOULOS, 1989). Les trajets des matières entre ces deux extrémités tracent des vecteurs qui mettent en évidence les chaînes de processus (AYRES ET SIMONIS, 1994). L'observation de ces vecteurs montre deux points. Premièrement, le caractère réticulaire des flux de matière au cours des processus socioéconomiques nous interroge sur la capacité des cadres d'analyses linéaires à capter ce qui se passe aux croisements des processus linéaires. Deuxièmement, la matière se déplace au-delà du système productif, pour atteindre le consommateur et aussi les acteurs territoriaux chargés du traitement de la matière usagée.

Il existe des cadres d'analyses à partir desquels découlent des méthodes qui retranscrivent cette transversalité de processus, mais sans réussir à être entièrement satisfaisant.

Le secteur (ensemble d'entreprises qui ont la même activité principale au regard de la nomenclature d'activité économique considérée) et la branche (unités de production qui fabriquent des produits appartenant au même item de la nomenclature d'activité économique considérée) découpent le système productif horizontalement. Secteur et

⁵⁴ Article 1 de la loi du 15 juillet 1975, modifiée par la loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 : « Est un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit... que son détenteur destine à l'abandon ».

branche mesurent l'activité au moyen de l'activité principale exercée (APE) qui est déterminée en fonction de la ventilation des différentes activités de l'entreprise (CARMEE, 2009). Ces approches mésoéconomiques présentent l'avantage de privilégier les relations existantes entre les composantes du système productif plutôt que les performances des firmes. Néanmoins, le découpage par le secteur et la branche ne permet pas de mettre en évidence les relations verticales entre les acteurs le long du processus de production (CARMEE, 2009). Elles ne peuvent être pertinentes pour suivre un flux de matière physique qui transite entre les deux extrémités amont et aval d'un système productif.

La filière découpe le système productif verticalement en une succession de maillons de l'amont vers l'aval. Il existe plusieurs définitions de la notion de filière (BAZIRE ET GADANT, 1991; BUSSY, 1983; MARGERIE, 1976; MONFORT, 1983; TERREAUX ET JEANDUPEUX, 1996). Toutes ces définitions s'accordent sur 3 critères (BAS *ET AL.*, 2013; CARMEE, 2009; MORVAN, 1991). D'abord, la filière est une succession d'opérations de transformation dissociables. Ensuite, elle est faite d'échanges commerciaux et financiers qui s'établissent entre tous les stades de transformation et qui constituent un espace de relation. Enfin, elle est un ensemble d'actions économiques et de décisions qui assurent l'articulation des opérations pour mettre en valeur les moyens de production utilisés. L'approche par la filière donne une grande importance à la structure organisationnelle des acteurs (FONTAN, 2006). La filière présente l'avantage d'intégrer l'ensemble des maillons producteurs (de biens ou de services), qui relie la matière première au produit fini (BARREAU ET MOULINE, 1995). Elle permet de suivre le flux de matière et les valeurs économiques qui y sont associées et elle offre une représentation dynamique de la chaîne de production (CARMEE, 2009). Néanmoins, les bornes du concept de filière ne font pas toujours consensus, notamment « on exclut souvent d'une filière, la construction de biens d'équipements et le secteur de distribution des produits finis » (TERREAUX ET JEANDUPEUX, 1996). L'analyse d'une filière ne suffit pas à intégrer toutes les interactions d'un système productif. Elle ne donne qu'une représentation partielle de l'ensemble des relations de causes à effets et donc qu'une vision analytique d'un système plus global (DIEMER ET LABRUNE, 2007).

En outre, le cadre de la notion de filière s'arrête au produit final, au « consommateur cible » dans un marché économique. Le consommateur devient ainsi la « destination » dans un processus fini (BURCEA, 2011). Si bien qu'une fois la cible atteinte, les processus qui suivent relèvent d'une autre filière. Ainsi, les filières de production d'un bien sont perçues comme distinctes des filières de traitement après usage de ce bien. Scinder les processus de production en filière présente l'avantage indéniable de circonscrire un périmètre et donc d'augmenter l'acuité d'analyse. Néanmoins, cela a pour inconvénient d'occulter les relations fonctionnelles qui vont au-delà du périmètre de la filière étudiée. De fait, une approche basée sur un découpage en filière exclut des acteurs qu'il serait pertinent d'intégrer pour une analyse fonctionnelle du système productif. Prenons pour illustration les « rencontres régionales pour l'avenir de l'agroalimentaire et du bois »⁵⁵ qui se sont tenues en 2012. L'objectif de cette démarche était de faire émerger des propositions d'actions concrètes et opérationnelles sur des problématiques structurelles et de concurrence internationale. Ces rencontres se focalisaient sur 2 points : la valorisation de la production et la valorisation durable de la compétitivité internationale. L'analyse des listes de participants montre qu'aucune structure spécialisée dans la valorisation des déchets n'était présente lors de ces réunions. Or, ces structures traitent un volume important de déchets issus du système productif forestier. L'amélioration de l'exploitation de ce gisement peut alimenter les filières énergétiques et potentiellement atténuer les conflits d'usages qui se posent sur les connexes de scieries⁵⁶.

L'approche par la chaîne de valeur est également une méthode d'analyse. Elle a été pensée dans le cadre d'analyses microéconomiques, afin de mettre en évidence les activités créatrices de valeur (PORTER, 1999). L'application de cette réflexion à un réseau de firmes interconnectées a fait place à la notion de système de valeurs (SV) pour rendre compte de l'imbrication des chaînes de valeurs (DESREUMAUX, LECOCQ, ET WARNIER, 2009). Aujourd'hui, le sens donné à la chaîne de valeurs (CV) est beaucoup

⁵⁵ Le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt et le Ministère du Redressement Productif, en partenariat avec l'Association des Régions de France, ont lancé en septembre 2012, la démarche des rencontres régionales pour l'avenir de l'agroalimentaire et du bois. Ces rencontres avaient pour ambition de réunir l'ensemble des acteurs économiques par région afin de formuler des propositions qui devaient être intégrées à la prospective de la « loi d'avenir »⁵⁵ d'août 2013 (MAAF, 2013).

⁵⁶ DRAAF, DREAL, ADEME. « Développement du bois énergie en Aquitaine » Note stratégique de la cellulose biomasse. 2011.

plus proche de celle du système de valeurs de PORTER (BAS *ET AL.*, 2013). Les caractéristiques de la CV sont très proches de celle de la filière (BAS *ET AL.*, 2013). La CV décrit la trame complète des activités entre la conception et le consommateur final. En revanche, la CV intègre le traitement final après usage⁵⁷ (Kaplinsky et Morris, 2001). Ce découpage présente l'avantage d'intégrer le cycle de vie complet d'un produit. Néanmoins, comme pour l'Analyse de Cycle de Vie, le découpage en CV se focalise sur un produit unique (BAS *ET AL.*, 2013; KAPLINSKY ET MORRIS, 2001). La chaîne de valeur n'est pas utilisée dans l'étude du système productif dans son ensemble.

Le réseau de création de valeurs (RCV) est utilisé pour l'étude de l'optimisation de système productif (ELLEUCH, LEHOUX, LEBEL, ET LEMIEUX, 2012). Il est défini comme un groupe complexe d'entités qui ont diverses interrelations et qui travaillent ensemble à la création de valeurs économiques (LEHOUX, MARIER, D'AMOURS, OUELLET, ET BEAULIEU, 2012). Ce réseau englobe toutes les activités liées au flux de la transformation des biens, de la matière première au consommateur final. Par définition, le RCV intègre les entreprises et leurs produits, entre l'approvisionnement et la distribution sur les marchés. Il donne une représentation large et englobante des interactions entre acteurs d'un système productif spécifique. Néanmoins, le RCV ne s'intéresse pas aux acteurs de la collecte, du traitement et de valorisation des flux de biens usagés. Comme pour la filière, il cible des consommateurs finaux et ne prend pas nécessairement en considération les flux de matières issus du traitement des biens usagés.

Le système productif local (SPL) découle des travaux relatifs aux districts industriels développés par ALFRED MARSCHALL à partir de 1890. Le cortège des recherches académiques qui ont fait émerger cette notion fait échos aux champs d'études de l'EIT à savoir le champ des activités industrielles et celui de la disposition spatiale des activités sur le territoire (TORRE ET ZIMMERMANN, 2015). Selon COURLET (2002), trois facteurs caractérisent les SPL : une concentration importante d'entreprises sur un même territoire, un système productif local qui est le produit des avantages

⁵⁷ « The value chain describes the full range of activities which are required to bring a product or service from conception, through the different phases of production (involving a combination of physical transformation and the input of various producer services), delivery to final consumers, and final disposal after use »(KAPLINSKY ET MORRIS, 2001)

réciproques et enfin, une articulation forte entre le patrimoine socioculturel et la sphère économique. Le « SPL est actionné par une logique territoriale qui contrairement à la logique fonctionnelle, a besoin du territoire pour fonctionner » (COURLET, 2002). Ce cadre d'études comble les lacunes que présentent ceux linéaires et segmentés. À la fois, au regard des interactions multiples entre les entreprises qui dessine une structure réticulaire propice à l'observation de phénomène synergique⁵⁸. Enfin, parce que par nature le SPL implique les relations de dépendance au territoire qui sous-tendent les réflexions de l'EIT.

Au regard des inconvénients que présentent les approches précédentes et dans la logique du système productif local, nous proposons une démarche intégratrice des chaînes d'activités économiques. Cette approche combine les chaînes « ressource-produit fini » et « déchet-traitement en fin de vie » dans une logique de continuité. Nous avons nommé cette vision en double filière (amont-consommateur et consommateur-aval) : réseau de création de valeurs élargi (RCVE)⁵⁹. Le RCVE combine les caractéristiques du RCV, et va au-delà de la consommation du produit fini. Il intègre la collecte des déchets, le traitement, la valorisation, l'incinération et le stockage. Ces missions sont généralement dévolues aux collectivités territoriales. L'approche par le RCVE est de fait liée à une vision territoriale. Cette approche permet de focaliser davantage sur la finalité des interactions entre les acteurs que sur leur fonctionnement interne. Elle offre une vision des interactions entre tous les acteurs de toutes les filières relatives au matériau bois, dans une démarche dont le lien au territoire est prépondérant. Ce périmètre permet de garder en vue le parcours de la matière. Ainsi, il permet de révéler des possibilités d'amélioration de circuit court, d'analyser l'importance à une échelle donnée de l'utilisation d'une ressource localisée.

Ainsi, nous proposons une deuxième condition à laquelle doit satisfaire le système pilote : *le système doit contenir l'ensemble des flux de fournitures à base de matériau bois circulant en un territoire circonscrit et l'ensemble des acteurs du réseau de création de valeurs qui y sont associés. Ce système étant défini, tout ce qui est en dehors de ce périmètre constitue son « environnement ».*

⁵⁸ En référence à la verticalité des relations Fournisseur-Client qui existent dans la notion de filière.

⁵⁹ La dénomination du RCVE appliqué au secteur forestier est : Réseau de Création de Valeurs Forestier Élargi (RCVFE)

3. Le système pilote doit être en adéquation avec les principes structurant de l'écologie industrielle et territoriale

Notre étude est basée sur les principes employés dans la discipline de l'EIT. Les actions qui découlent de ces principes définissent par défaut le périmètre du système adéquat. De fait, nous répondrons aux questions : quelles sont les actions qui caractérisent l'EIT ? Quels sont les critères qui favorisent la réussite des démarches d'EIT ?

L'écologie industrielle est un concept pluridisciplinaire qui a pour objectif de remettre en adéquation la dynamique des activités industrielles et la dynamique de l'environnement naturel. De nombreuses publications donnent les critères qui caractérisent ce type de projet. ERKMAN (1998) a spécifié 4 critères sur lesquels s'appuie l'EI pour synchroniser le système industriel et son écosystème : valoriser les déchets, boucler les cycles en minimisant les rejets, dématérialiser les produits et procéder à la décarbonisation de l'énergie. Un moyen pour activer ces leviers est la création de synergies. Ces synergies peuvent être de mutualisation (association entre acteurs économiques permettant de rationaliser les coûts) ou de substitution (remplacement d'une ressource par une autre issue des activités d'un acteur voisin). KORHONEN (2001) a quant à lui défini 4 critères à appliquer au système industriel par analogie aux écosystèmes : le bouclage des flux de déchets, la diversité des acteurs, la coopération et la proximité. En plus de ces critères de base qui définissent l'EI, des critères favorisant le succès d'une démarche ont été formulés. ERKMAN (1998) définit les critères suivants : le niveau de confiance des intervenants, la proximité géographique des industriels, la « petite » taille du réseau industriel, les différences et les complémentarités du panache industriel, l'adaptation du système qui permet de changer facilement les procédés pour utiliser des déchets comme ressources et un plan stratégique pensé dès le développement de la zone industrielle. DIEMER (2012) définit également des critères de réussite en fonction d'une analyse des symbioses industrielles en activité : avoir une problématique commune, accepter de coopérer et donc avoir confiance, la proximité géographique, la proximité institutionnelle et la diversité des acteurs. Enfin, ROBERTS (2004) définit 4 points importants pour la réussite de projets de symbioses industrielles : définir un leader qui croit en la synergie, définir un plan stratégique efficace, mais malléable, intégrer un maximum de partenaire le plus tôt possible dans le projet et enfin, avoir le support et

l'implication directe de l'état dans le projet. En séparant d'un côté, les critères de base que nous pouvons considérer comme fondamentaux et de l'autre, les critères favorisant la réussite, nous obtenons le *Tableau 1* ci-dessous.

Sur la base du cahier des charges et des critères à prendre en compte dans le périmètre de l'unité territoriale, la section suivante montre comment la communauté de communes combine ces différents éléments.

Critères de base de l'EI	Critères de succès des projets d'EIT
<ul style="list-style-type: none"> • Valoriser les déchets • Boucler les cycles en minimisant les rejets • Dématérialiser les produits • Procéder à la décarbonisation de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • La proximité sous toutes ses formes • Le niveau de confiance entre acteurs • La communication autour du projet • La planification du projet • La diversité des acteurs • La mise en place de synergies • L'organisation spontanée des acteurs • Présence d'un leader de projet • Le niveau de participation de l'État

Tableau 2 : Critères de base et de succès des projets d'EIT

C. LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES, UN TERRITOIRE IDOÏNE

Le cahier des charges défini précédemment nous permet d'évaluer une palette d'unités utilisées dans les domaines économique, écologique et socioéconomique. Notre analyse s'est faite en appui sur le tableau 2. Nous nous sommes interrogés sur les apports et inconvénients de chaque unité (à gauche) au regard des critères du cahier des charges du système pilote, des fondements de base de l'EI et des critères favorables au succès de ces démarches (à droite).

La communauté de communes est un territoire adéquat, car il combine plusieurs caractéristiques. Il est à la fois un territoire de compromis entre vision des acteurs du système productif et des acteurs du traitement des déchets. Il est également un territoire doté de compétence législative. Enfin, la communauté de communes est un lieu d'action.

Unités couramment utilisées		Cahier des charges de l'unité	
Unités administratives	Nationale	Permet de rendre compte du stock (Production/exploitation)	Cahier des charges du système pilote
	Régionale	Permet de rendre compte de la demande (consommation du bien final)	
	Départementale	Permet l'émergence d'une communauté d'analyse et de gestion	
	Communale	Échelle qui intègre l'ensemble des acteurs impactant	
	Intercommunale	Valorisation des déchets	Fondement de base de l'EI
Unités écologiques	Sylvoécocorégion	Boucler les cycles en minimisant les rejets	
	Grands massifs forestiers	Dématérialiser les produits	
Unités socioéconomiques	Aire d'influence de pôle de services intermédiaires	Procéder à la décarbonisation de l'énergie	Critères de réussite de l'EI
	Bassin de vie	La proximité (contextuelle/géographique/institutionnelle) entre acteurs	
	Bassin d'activité	Le niveau de confiance entre acteurs	
	Filière	Communication	
	Secteur	Planification des projets	
	Entreprise	Diversité d'acteurs	
		Synergie (substitution, mutualisation)	
		Organisation spontanée	
		Participation importante de l'état	

Tableau 3 : Évaluation des unités au regard du cahier des charges

1. La communauté de communes est un territoire de compromis

Les découpages écologiques (sylvoécocorégion, grande région écologique forestière) utilisés par l'IGN⁶⁰ sur les problématiques forestières induisent la présence de proximité en raison de l'homogénéité du découpage. Mais, ce type de structure n'intègre pas nécessairement des activités économiques et ne dispose ni de capacité d'analyse ni de gestion administrative propre.

Les découpages socioéconomiques (aire d'influence de pôle de services intermédiaires, bassin de vie, bassin d'activité, filière élargie, secteur entreprise) préconisés dans les études de l'INSEE permettent de disposer de moyens d'analyse des activités économiques. Elles regroupent des acteurs autour de pôle d'activités semblables ou complémentaires. Cela induit un potentiel synergétique et une combinaison de plusieurs formes de proximité. Néanmoins, les limites géographiques de ce type de découpage sont très modulables et recouvrent en général plusieurs entités administratives. Ce qui complexifie le ciblage d'une autorité gestionnaire.

Les découpages administratifs (national, régional, départementale, communale, intercommunale) disposent de limite géographique et de niveau de compétence législative explicite. De plus, ils permettent la superposition des découpages écologiques et socioéconomiques vus précédemment. Les échelles nationales, régionales, départementales renferment un maximum d'acteurs, tous secteurs d'activités confondus. Ce sont les échelles les plus proches de l'administration centrale. Néanmoins, elles favorisent moins les formes de proximité, le degré de confiance et la présence d'un leader consensuel. L'échelle communale dispose d'un fort potentiel sur ces derniers critères, mais elle perd en termes de potentiel de diversité d'acteurs. En revanche, les intercommunalités présentent l'avantage d'augmenter le périmètre géographique tout en restant un territoire de proximité. En effet, les communes qui se regroupent délèguent certaines de leurs compétences à l'intercommunalité.

⁶⁰ Institut national de l'information géographique et forestière

Le cas particulier des intercommunalités qui se situent dans des territoires spécialisés est d'autant plus intéressant, car elles associent une culture commune à une forte concentration d'acteurs d'un même secteur d'activité.

2. La communauté de communes est un établissement public compétent⁶¹

Comme tout établissement public, la CC est régie par des principes. Selon le principe de spécialité fonctionnelle, la CC est soumise à des champs de compétences clairement énumérées. Elles ne peuvent intervenir que dans les domaines de compétences qui lui ont été délégués par les communes. Les communes qui s'associent en EPCI à fiscalité propre⁶², c'est le cas de la CC, doivent déléguer des compétences « obligatoires » et peuvent déléguer des compétences « optionnelles ». Enfin, la CC peut décider d'acquérir des compétences « facultatives » (Tableau 4). Selon le principe de spécialité territoriale, la CC est compétente uniquement sur le périmètre des communes membres (Article L. 5210-4 du CGC⁶³). Enfin en application du principe d'exclusivité la CC est seule à pouvoir agir sur les domaines de compétences qui lui ont été confiées. Néanmoins, elle peut décider de transférer certaines de ses compétences, si elle estime qu'une autre entité est en meilleure capacité d'y répondre. Dans ce cas, la CC fait appel aux principes de subsidiarité (vers une entité d'échelon supérieur) ou de suppléance (vers une entité d'échelon inférieur).

⁶¹ Depuis sa création, la commune n'a cessé d'acquérir davantage de liberté et d'autonomie au travers une délégation de pouvoir de l'état (LE LIDEC, 2007; LE SAOUT, 2013). Considérées comme un handicap du fait de leurs petites tailles, elles obtiennent la possibilité de s'associer afin de rassembler des moyens plus importants pour l'application de l'action publique municipale. Ce fut la première forme législative de coopération intercommunale. La communauté de communes est l'un des 6 types d'établissements publics de coopération intercommunale.

⁶² Les règles sont différentes pour les EPCI sans fiscalité propre

⁶³ CGCT : Code Général des Collectivités Territoriales

Obligatoires	Optionnelles	Facultatives (Exemple)
Aménagement de l'espace : schéma de cohérence territoriale et schéma de secteur, zones d'aménagement concerté d'intérêt communautaire	Élimination et valorisation des déchets des ménages et déchets assimilés	Protection et mise en valeur de l'environnement comprenant la distribution et traitement des eaux, la gestion de la ressource « eau de mer » ainsi que les cours d'eau et les lacs
Développement économique : aménagement, entretien et gestion de zones d'activité industrielle, commerciale, tertiaire, artisanale ou touristique qui sont d'intérêt communautaire ; actions de développement économique d'intérêt communautaire	Politique du logement social d'intérêt communautaire et action, par des opérations d'intérêt communautaire, en faveur du logement des personnes défavorisées	Formation - Technologies de l'Information et la Communication - Aménagement numérique et communications électroniques.
	Création, ou aménagement et entretien de voirie d'intérêt communautaire	Enseignement musical
	En matière de développement et d'aménagement sportif de l'espace communautaire : construction, aménagement, entretien et gestion des équipements sportifs d'intérêt communautaire.	Zones de développement d'énergies renouvelables

Tableau 4 : Compétences de la communauté de communes.

Nous observons des points de jonction entre les compétences de la CC et les critères de l'EIT (tableau1). D'abord, les deux blocs de compétences obligatoires offrent déjà la possibilité à la CC d'agir sur les 4 critères de base de l'EIT, avec plus ou moins d'amplitude. La valorisation des déchets, le bouclage des matières, la dématérialisation des produits et la décarbonisation nécessitent l'étude de schéma de cohérence territoriale et d'aménagement des zones d'activités. Ces champs étant obligatoires, la communauté de communes devra les déployer. La planification et la mise en œuvre de démarche d'EIT sont donc légitimement des compétences des communautés de communes. À plus forte raison au regard de l'évolution de l'EPCI d'une « structure de gestion » en une « structure de projet » qui lui confère des capacités de planification et d'anticipation (GUERANGER, 2008).

Ensuite, la CC a la possibilité de compléter son portefeuille de compétences parmi une liste de compétences optionnelles et une autre facultative. Parmi celles-ci, les compétences « élimination et valorisation des déchets », « zones d'énergie renouvelable » et « aménagement numérique », sont directement liées aux critères de base l'EIT.

La communauté de communes est donc par nature la collectivité capable de déployer des projets dans le champ de l'EIT. De plus, elle a la capacité de décider d'assumer des responsabilités supplémentaires en ce sens.

3. La communauté de communes est un territoire de proximité

« Les établissements publics de coopération intercommunale sont des regroupements de communes ayant pour objet l'élaboration de projets communs de développement au sein de périmètres de solidarité »⁶⁴. La constitution de cette dernière nécessite des conditions socioéconomiques qui associent : proximité, intérêts communs résultants d'une problématique commune, objectif commun et désir de s'associer.

En effet, la proximité est une condition nécessaire à la constitution et à la gouvernance locale (BERTRAND ET MOQUAY, 2004). Cette notion est aussi prépondérante dans les recherches sur le champ de l'EIT. DIEMER (2012) définit la proximité comme étant un critère de réussite important sous toutes ses formes. De la singularité écologique⁶⁵ du massif des Landes de Gascogne découle une multitude de proximités. La grande majorité des acteurs économiques forestiers de ce territoire sont tributaires de la dynamique d'une seule essence, le pin maritime. Cela crée une proximité socioéconomique de ressources matérielles (BOUBA-OLGA ET GROSSETTI, 2008). Cette ressource matérielle commune associée à l'existence d'une proximité géographique induit un deuxième niveau de proximité qui est une proximité socioéconomique contextualisée (ANGEON ET CARON, 2009). Cette proximité s'exprime ici par le fait de devoir faire face aux mêmes contraintes environnementales ou climatiques. Les tempêtes de 1999 et de 2009 dans la région ou encore les attaques d'insectes xylophages du pin en sont de bonnes illustrations⁶⁶. La spécialisation de la gestion forestière à l'échelle du massif forestier et la standardisation importante des itinéraires sylvicoles induisent une proximité socioéconomique de ressources cognitives (BOUBA-OLGA ET GROSSETTI, 2008). Cette dernière est induite par l'usage généralisé d'une sylviculture fortement standardisée. À travers l'utilisation et la transmission de ces méthodes, ces acteurs entretiennent

⁶⁴ Définition INSEE, 2014 : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/etab-pub-cooper-intercom.htm>. Consulté le 18/08/2014.

⁶⁵ Le massif des Landes de Gascogne est constitué de 1 million d'hectares d'une seule essence, le Pin maritime.

⁶⁶ Les tempêtes ont mis en évidence la faible résistance au vent du pin maritime. Beaucoup d'études ont suivi ces événements pour tenter d'améliorer l'ancrage racinaire, soit par modification des travaux du sol, soit par modification de l'essence forestière. Également, les attaques d'insectes xylophages qui ont suivi les tempêtes ont posé la question de la vulnérabilité de cette ressource en rapport à sa monospécificité.

un savoir-faire spécifique au territoire (TREMBLAY, FONTAN, KLEIN, ET ROUSSEAU, 2003). Nous pouvons également faire état de la présence d'une proximité institutionnelle (PECQUEUR ET ZIMMERMANN, 2004b) ou proximité socioéconomique de coordination de médiation (BOUBA-OLGA ET GROSSETTI, 2008). Les acteurs du territoire sont régis et interagissent avec les mêmes institutions, qu'elles soient d'envergure nationale avec des antennes régionalisées (Office Nationale des Forêts, le Centre Régional de la propriété forestière, Institut National de la Recherche Agronomique, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture) ou qu'elles soient d'envergure régionale (Alliance Forêt Bois, la Fédération des Industries du Bois d'Aquitaine). De ce territoire ont émergé des codes spécifiques et de nouvelles institutions, tel un pôle de compétitivité dédié aux produits et matériaux des forêts cultivés.

La diversité est un critère de réussite cité par plusieurs auteurs dans la littérature (DIEMER, 2012; ERKMAN, 1998). Le regroupement de communes en une communauté offre l'avantage d'élargir le périmètre géographique et de ce fait offre un potentiel de diversité d'acteur plus important sans réduire le niveau de compétence législatif de la communauté. Cela permet d'augmenter significativement la richesse totale et la richesse spécifique en entreprises des filières forêt-produits bois-déchets bois.

D. CONCLUSION

La contribution méthodologique de ce chapitre porte sur la caractérisation de la communauté de communes comme une échelle pertinente pour observer à la fois les relations au sein d'un système productif et entre le système productif et les services de la collectivité chargés du traitement des biens issus du système productif. Même si cette échelle territoriale présente des lacunes en terme de diversité, elle est un bon compromis au regard des autres échelons sur le critère de la proximité et de l'action locale. L'association de plusieurs unités communales en une seule communauté présente l'avantage d'augmenter la taille du territoire d'action, sans perte de compétence de la communauté. L'association des principes d'exclusivité et de spécialité qui s'appliquent à la communauté de communes spécifie son champ de compétences, la rend seule responsable et délimite son périmètre d'action géographique. La communauté de communes exerce ses compétences de plein droit

en lieu et place des communes, ce qui rend légitimes ses prises de décision. Nous avons vu que plusieurs blocs de compétences partagent des objectifs communs aux démarches d'écologie industrielle et territoriale. Une CC qui dispose des blocs « élimination et valorisation des déchets ménagers et assimilés », « actions de développement économique » « aménagement de l'espace » et « protection et la mise en valeur de l'environnement », a la capacité d'accompagner les 4 critères de base de l'EIT. Néanmoins, tous les blocs ne sont pas obligatoires. Le choix effectué par la CC lors de la constitution de son statut impactera sa capacité à déployer pleinement des démarches d'EIT. Également, la CC peut décider de transférer une partie de ses compétences à un autre établissement public s'il le considère comme mieux qualifié. Ce qui peut créer l'inconvénient de décentraliser les lieux de prise de décision.

Par ailleurs à travers le réseau de création de valeurs élargi, ce chapitre propose un cadre d'étude offrant une vision systémique du flux de matériau au sein d'un système productif. Le matériau évolue, change d'état, de nom et de statut, mais il demeure l'objet d'une relation entre un fournisseur et un client. En ce sens, le RCVE est complémentaire aux approches plus classiques, car il donne à s'intéresser davantage aux interconnexions qu'à la nature des fournitures ou des entreprises du réseau. L'étude de ces relations économiques informe sur les entreprises (préférences, fournisseurs, clients), mais également sur le réseau dans la globalité.

L'analyse des rapports d'activités⁶⁷ de la communauté de communes de Mimizan (CCM) situé dans le département des Landes montre qu'elle rassemble plusieurs de ces critères. Elle présente de multiples formes de proximité, une diversité d'acteurs et la capacité à planifier des projets structurants. Elle a mis en place 4 types de projets structurants sur son territoire. (1) Un schéma de cohérence territoriale (SCOT) qui a pour objectif d'anticiper les besoins des différentes politiques sectorielles afin de coordonner leur développement. (2) Un projet de territoire à énergie positive pour la croissance verte (TePCV) qui a pour objectif de développer localement la production des énergies renouvelables tout en réduisant les consommations. (3) La CCM a mis en place plusieurs Zones d'Activités dans des secteurs très variés (artisanat, BTP, énergies renouvelables, transports et services, recyclage et valorisation des matières,

⁶⁷ Le rapport d'activité de 2008 à 2011 et le rapport d'activité de 2012

loisirs aéronautiques, forage d'eau de source). (4) Elle a également développé un espace de télétravail permettant à la fois la mutualisation de moyen et une dématérialisation des services. L'existence de ces projets atteste de la capacité à planifier, à mutualiser des moyens dans des champs disciplinaires identiques aux démarches d'EIT. Dans les faits, les actions qu'elle a déjà menées sont des preuves d'un niveau minimum de confiance entre acteurs, d'une capacité à communiquer autour d'un projet, d'une organisation spontanée et la présence d'un leader d'intention. La CCM est capable de collecter des données relatives à ses secteurs d'activités à travers sa cellule chargée du développement économique. Elle peut donc proposer des solutions spécifiques et possède les aptitudes légales pour instruire et actionner les mécanismes de mise en place de solutions sur son territoire. De plus, cette collectivité est à la fois riche en activité de toute la filière forestière et très active dans l'animation de cette filière.

Nous avons effectué une étude de cas sur la communauté de communes de Mimizan. L'étude de la structure relationnelle du réseau de création de valeurs forestier de cette communauté permet de mettre en évidence la topologie des relations de ce réseau. Les caractéristiques structurelles de ces relations, telles que la densité, la longueur des chaînes, la présence de groupes apportent des informations quant aux mécanismes de robustesse, de flexibilité et de stabilité du réseau de création de valeurs de ce territoire.

Interface

Durant la première partie, nous avons explicité le concept du réseau de création de valeurs élargi. Ce cadre d'étude permet l'observation des flux de matières le long d'un réseau de processus industriels, sans partitionner le cycle de vie de la matière. Nous avons également mis en évidence les atouts de la communauté de communes comme unité expérimentale pertinente pour l'étude de l'influence des démarches d'écologie industrielle sur les propriétés systémiques d'un ensemble d'acteurs.

Dans la seconde partie, nous avons déployé une mise en œuvre empirique du concept de RCVE à l'échelle du secteur forêt-bois de la communauté de communes de Mimizan (CCM). Cette collectivité est à la fois fortement dotée en activités du secteur forêt-bois et également très active dans ce secteur.

Initialement notre objectif était de modéliser tous les flux de fournitures bois entre les acteurs forestiers de ce territoire. Nous avons effectué des enquêtes de terrain pour récolter les données. Néanmoins, les informations obtenues n'étaient pas suffisantes en quantité et en homogénéité. Nous nous sommes réorientés vers la construction de deux réseaux fictifs afin de les utiliser comme cadre d'analyse.

Le chapitre 3 est consacré à la construction et l'analyse des modèles fictifs.

Le chapitre 4 est consacré à la construction d'un troisième modèle fondé sur les données issues des enquêtes. Nous comparons les résultats de ce dernier aux deux autres.

Partie 2

**MODÉLISATION DU RÉSEAU DE CRÉATION DE
VALEURS ÉLARGI À L'ÉCHELLE D'UNE COMMUNAUTÉ DE
COMMUNES**

« Imiter la nature, hâter son œuvre, telle est la maxime fondamentale des forestiers »

Louis Parade

CHAPITRE 3 : DURABILITÉ D'UN SYSTÈME « FERME » VERSUS DURABILITÉ D'UN SYSTÈME « OUVERT »

A. INTRODUCTION

Les politiques publiques encouragent la mise en œuvre des démarches d'économie circulaire (EC). Parmi les 7 piliers disciplinaires que compte l'EC, l'écologie industrielle et territoriale (EIT) s'intéresse à l'amélioration de l'efficacité des processus industriels (GELDRON, 2014). L'EIT contribue à une restructuration du système productif, à savoir l'ensemble des facteurs et acteurs nouant entre eux des relations diverses et variées concourant à la production, à la circulation et à la consommation de richesses (CARROUE, 2014). Concrètement, l'EIT préconise le bouclage systématique des flux de matière de façon à créer des synergies à une échelle locale, propice à la rentabilité économique et à la préservation des ressources naturelles. De fait, cela induit les acteurs du système productif à réinvestir le champ de la proximité et de la collaboration locale.

Ce mouvement de relocalisation s'oppose à celui d'ouverture qui avait été induit par l'ère de l'industrialisation. Cela soulève de nouvelles questions sur la façon dont les collectivités locales doivent concevoir leur rôle d'architecte territorial. S'impose aux collectivités territoriales, la question des effets structurels qu'engendre une modification généralisée des circuits d'approvisionnement ? Ou encore la question des relations réticulaires⁶⁸ entre les activités de production et celles de traitement des déchets ? Enfin, quelles places tiennent l'importation et l'exportation, autrement dit l'environnement socioéconomique, sur un tissu d'activité économique fondé sur les circuits courts ?

Dans ce chapitre, nous construisons un cadre d'analyse qui fait appel à deux modèles théoriques induits par des scénarios contrastés. L'un des modèles résulte d'une politique favorable aux relations locales, l'autre modèle résulte d'une politique qui ne donne pas priorité aux relations locales. Pour ce faire, nous sommes amenés à spécifier les éléments et outils de modélisation.

⁶⁸ Qui relève d'un effet de réseau.

D'abord, nous définissons les mécanismes de durabilité qui émergent des topologies. Ensuite, nous caractérisons les constituants et pourtours de notre objet d'étude, qui est réseau de création de valeurs élargi appliqué aux activités forestières d'une communauté des communes. Enfin, nous explicitons les principes d'analyse de réseau et les indicateurs qui en découlent. Ces derniers sont nécessaires à l'observation des mécanismes de durabilité.

Notre démarche contribue aux champs de recherche sur l'intérêt pour le long terme des démarches d'EIT et l'architecture des collaborations inter-collectivités. L'étude des réseaux d'entreprises renseigne également sur les relations qu'entretiennent les communes qui portent ces réseaux. L'étude des réseaux d'entreprises est un moyen d'observer des relations entre villes. « Les réseaux d'entreprises [...] sont considérés comme un système spatial en tant que tel interagissant avec le système urbain et territorial sur lequel il s'appuie, se développe et agit » (ROZENBLAT, 1997). Cela paraît d'autant plus vrai dans le cas des territoires spécialisés, car leur densité en entreprises d'un même secteur induit un équilibre entre entreprises concurrentes et/ou complémentaires.

1. Deux scénarios contrastés : « FERME » et « OUVERT »

L'EIT vise à optimiser les processus des activités anthropiques. L'un des leviers que propose ce concept est la mise en place de synergies. Ces dernières peuvent être de substitution ou de mutualisation. Le premier type de synergie consiste en une collaboration entre entreprises capable de s'inter-échanger des facteurs de production. Par exemple, l'activité de l'entreprise X induit la production de déchets sous forme de copeaux de bois, qu'elle exporte. Son voisin l'entreprise Z importe des copeaux de bois. L'entreprise Z peut substituer les copeaux importés, par ceux de X. Cette collaboration permet la valorisation de sous-produits ou de déchets de production dans une logique de proximité. Le second type de synergie consiste en une mutualisation de moyens entre entreprises, en raison de besoins communs. Par exemple, X et Z sont voisins et importent chacun les mêmes références de rondins de bois. Ils peuvent mutualiser une partie de cette chaîne d'approvisionnement. Dans les deux cas, ces synergies permettent une amélioration des processus, mais impliquent

en premier lieu la présence de communications, d'échanges d'informations entre acteurs économiques dans un périmètre de proximité.

Le scénario FERME est pensé dans l'idée de mettre en exergue des relations synergiques à l'échelle du périmètre de la communauté de communes de Mimizan. Ce scénario représente un système de bouclage systématique des flux de fournitures. Les flux qui entrent et sortent d'une entreprise proviennent et alimentent prioritairement les autres entreprises de la communauté. Les entreprises au sein de la communauté échangent avec celles de l'extérieur uniquement lorsque cela est nécessaire. C'est-à-dire uniquement si les entreprises du périmètre étudié ne peuvent subvenir à leurs propres besoins.

Le scénario OUVERT, sans être le strict opposé, ne donne aucune priorité aux relations de proximité. Chaque entreprise s'approvisionne et fournit à la fois des entreprises de la communauté et des entreprises extérieures. Ce scénario est plus proche de la réalité. Chaque acteur économique est libre d'établir des relations économiques en fonction des possibilités qui se présentent à lui.

2. Rappel des mécanismes de durabilité systémique

Nous étudions les mécanismes de durabilité qui ont été définis dans le chapitre B.3 page 27 et qui sont rappelés dans la Figure 11 ci-dessous :

DURABILITE
(La capacité à durer dans le temps)

Mécanismes de survie du réseau

Robustesse:
Capacité à maintenir ses fonctions suite à des perturbations

Flexibilité:
Capacité à se réajuster rapidement sous l'effet de perturbations

Stabilité:
Capacité à se modifier suite à des perturbations

Caractéristiques structurales

Se base sur l'existence d'un nombre important de chaînes d'approvisionnements alternatives

Se base sur l'agilité des acteurs à créer rapidement de nouvelles collaborations

Se base sur la structuration des acteurs en communautés distinctes et non isolées

Figure 11 : Typologie des mécanismes de durabilité

B. LE RCVFE ÉTUDIÉ

Nous formulons le réseau de création de valeurs forestier élargi (RCVFE), comme l'application du concept de réseau de création de valeurs élargi (RCVE) aux activités économiques du secteur forêt-bois. (cf.B.2, page 74)

1. Le périmètre du RCVFE

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que la communauté de communes de Mimizan (CCM) est une collectivité territoriale pertinente pour notre étude (cf. page 68). Nous utilisons l'architecture de ce territoire comme base structurelle de nos modèles fictifs.

Cette collectivité souhaite encourager à la fois la production à partir de ressources locales, mais également la consommation à l'échelle locale de cette production. Lauréate d'un appel à projets territoire à énergie positive pour la croissance verte (TEPCV), la CCM s'est interrogée sur l'impact de l'application généralisée de circuits courts à l'échelle de son territoire, au cœur du massif forestier des Landes de Gascogne. Elle regroupe 6 communes (Aureilhan, Bias, Mézos, Mimizan, Pontenx-les-forges, Saint-Paul en Born) dont les piliers économiques sont la filière forêt-Bois et le tourisme. La forêt y couvre 70 % du territoire et ce secteur économique concentre 25 % des emplois. Ce territoire spécialisé porte une grande variété des activités du secteur forestier. Dans la perspective du projet TEPCV, visant à valoriser les ressources renouvelables locales et les énergies renouvelables, la CCM a naturellement ciblé son secteur forestier comme la source d'un fort potentiel d'efficacité énergétique.

Il y a deux avantages au fait de choisir un territoire spécifique comme matrice de l'architecture de nos modèles. D'abord, bien que cela nous éloigne d'une certaine perfection théorique intégrant l'ensemble des activités forestières présentes dans la classification de la NAF, le réseau de création de valeurs de ce territoire a le mérite d'exister et d'être opérationnel. Ensuite, le chapitre suivant fait appel aux résultats d'enquêtes issus de ce même territoire. De fait, le canevas d'interprétation est directement en adéquation avec le cas d'étude. Ainsi, les propositions issues de nos travaux sont directement profitables à ce territoire.

2. Les éléments du RCVFE

Les modèles théoriques sont fondés sur la structure du RCVFE de la CCM. Pour construire ce dernier, nous avons dû recenser les activités forestières et formaliser leurs interrelations.

Pour lister les types activités forestières, nous avons effectué une recherche par code d'activité principale exercée (APE) référencée dans la nomenclature d'activité française (NAF)⁶⁹. Plusieurs bases de données ont été croisées : DIANE⁷⁰, les sites internet d'information sur les entreprises⁷¹ et la base de données de la cellule développement économique de la CCM. Cette dernière source d'information a permis d'exclure de notre liste les APE en cessations ou qui ont quitté le périmètre de la CCM.

Nous avons recensé 81 APE relatives au secteur forêt bois sur les 732 que comporte la NAF, tous secteurs d'activités confondus. Parmi ces 81 APE, nous avons exclu les activités généralistes, car leurs processus d'activité intègrent un volume très faible de matériau bois (exemple : le commerce de gros non spécialisé [46.90Z]). Nous avons exclu les activités qui ne manipulent pas directement le matériau Bois (exemple : le commerce de gros de matériel agricole [46.61Z]). Nous avons exclu les prestataires de services qui ne modifient pas l'état du matériau (exemple : l'activité de transport

⁶⁹ La NAF a été élaborée en 2008 en vue de faciliter l'organisation de l'information économique et sociale du système productif français. Elle permet à l'INSEE d'attribuer un code à chaque établissement en fonction de l'activité principale qu'il exerce. Chaque établissement possède donc un seul code APE (activité principale exercée). Nous avons recherché l'ensemble des APE associées à la production, à la distribution, à la consommation et au traitement des matériaux, produits et sous-produit du bois. Les codes sont organisés en arborescence : sections->division->groupe->classe->sous-classe. Le code APE correspond à la sous-classe, la ramification la plus détaillée.

⁷⁰ Nous avons interrogé la base de données DIANE du Bureau Van Dijk⁷⁰. Cette base contient une information détaillée sur l'ensemble des entreprises françaises qui publient leurs comptes annuels auprès des greffes des tribunaux de commerce. L'information relative aux comptes et bilans des entreprises est disponible sur une période de dix ans. La fréquence de mise à jour est quotidienne ou hebdomadaire selon le type de données. La base couvre 1.3 million d'entreprises sur les 3.14 millions d'entreprises du territoire français. Cette source d'information permet de couvrir une part importante des entreprises présentes sur le territoire. Néanmoins, selon plusieurs sources (Stolowy, s. d. ; C. Kerdellant,) une part des entreprises françaises ne déposeraient pas leurs comptes. Dans un article de l'express⁷⁰ relatif au choc de simplification, il est fait mention de 40 % d'entreprises dans ce cas, avec une part plus importante pour les petites entreprises, d'où l'importance de recouper plusieurs sources de recensements.

⁷¹ Nous avons également utilisé des sites Internet proposant des informations sur les entreprises françaises. Les principaux sites utilisés ont été « Les pages jaunes », « Manago », « Verif » et « Société ». Les sites Verif, Manago (du groupe Altare) et Société (du Groupe Illiad) interrogent les mêmes sources à savoir, le Registre du Commerce et des Sociétés (RCS), le Bulletin officiel des annonces civiles et commerciales (BODACC) et le Répertoire SIRENE⁷¹ de l'INSEE.

[51.21Z]). Par souci de simplification des modèles, nous avons exclu les activités de papeterie (exemple : l'imprimerie de journaux [18.11Z]). Nous avons exclu les activités relatives aux produits chimiques issus du Bois (exemple : la fabrication d'huiles essentielles [20.53Z]). La liste complète des activités exclues est présentée en annexe 1, Annexe 1 : Tableau 28 à la page 202.

Suite à ce travail, la liste des 81 est ramenée à 41 APE (disponible à l'annexe 2, tableau 29 à la page 202). Parmi ces dernières, 17 sont présentes dans le périmètre de la CCM (Tableau 5).

Production, fabrication, commerce, mise œuvre, collecte et traitement des déchets
Sylviculture (02.10Z)
Exploitation forestière (02.20Z)
Sciage et rabotage du bois, hors imprégnation (16.10A)
Fabrication de parquets assemblés (16.22Z)
Fabrication d'objets divers en bois ; fabrication d'objets en liège, vannerie et sparterie (16.29Z)
Fabrication de papier et de carton (17.12Z)
Fabrication d'emballages en papier (17.21C)
Fabrication de meubles de cuisine (31.02Z)
Fabrication d'autres meubles et industries connexes de l'ameublement (31.09B)
Construction de maisons individuelles (41.20A)
Travaux de menuiserie bois et PVC (43.32A)
Travaux de charpente (43.91A)
Commerce de gros (commerce interentreprises) de bois et de matériaux de construction (46.73A)
Hypermarchés (47.11F)
Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en grandes surfaces (400 m ² et plus) (47.52B)
Collecte des déchets non dangereux (38.11Z)
Récupération de déchets triés (38.32Z)

Tableau 5 : Liste des 17 codes APE représentés sur le territoire d'études

Ces 17 activités sont réparties selon 7 secteurs qui structurent le RCVFE de l'amont vers l'aval du cycle de vie de la matière. Tout ce qui est extérieur à cette organisation en 7 secteurs constitue l'environnement du RCVFE. Le détail des activités et des secteurs sont référencés dans l'annexe 3 page 204.

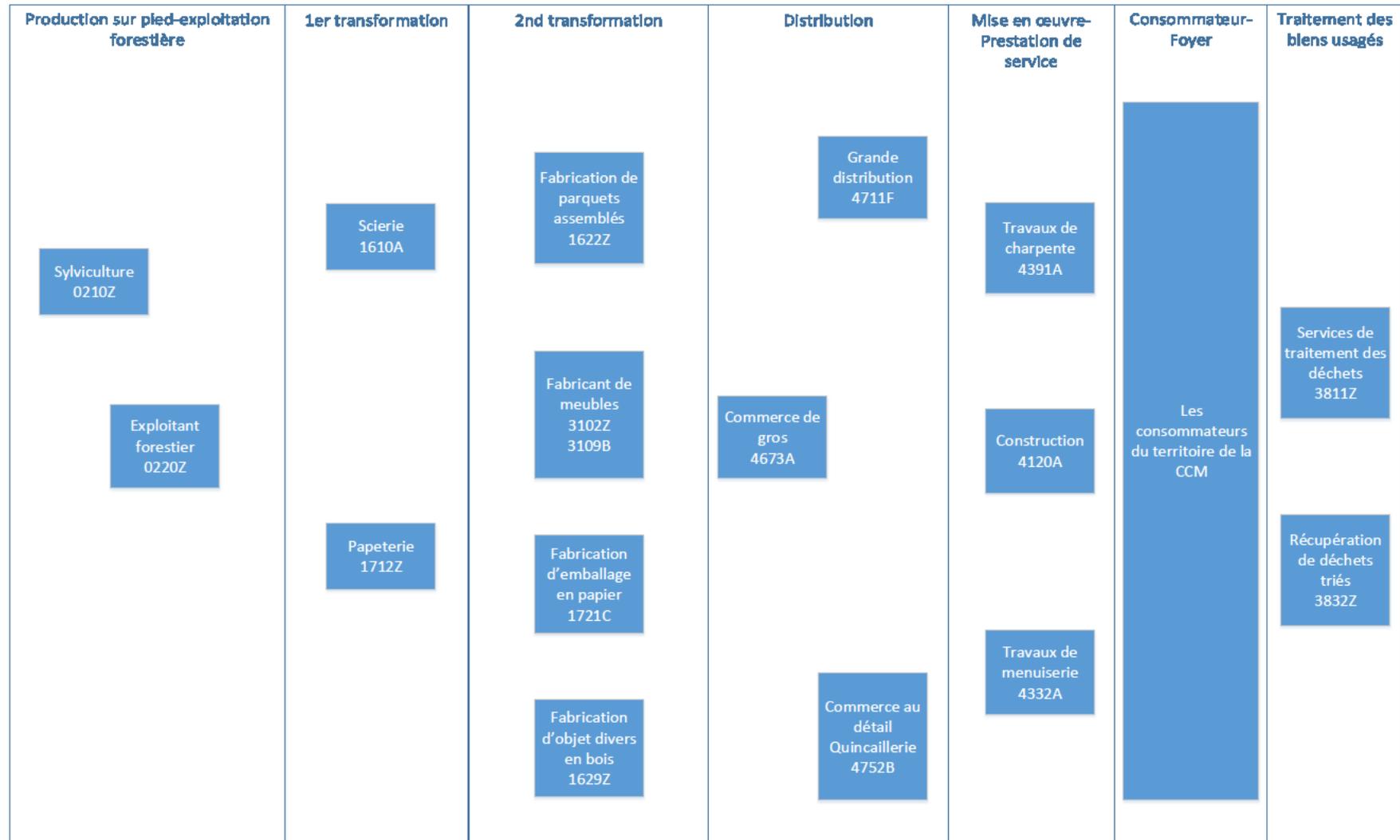
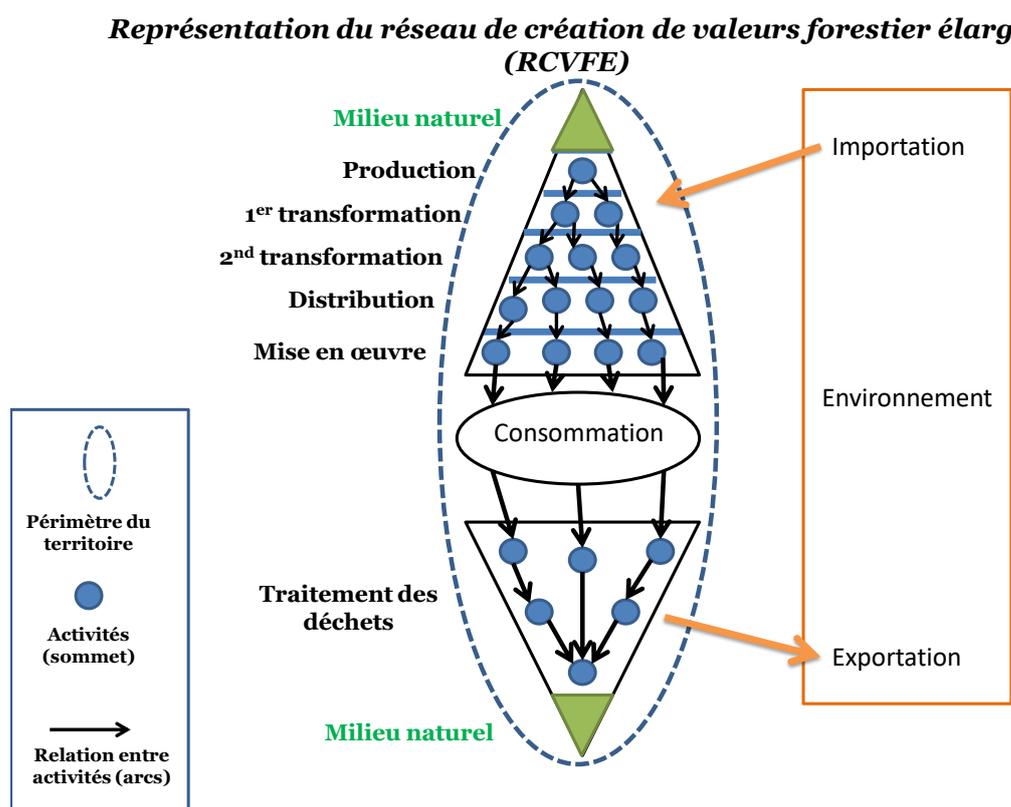


Figure 12: Organigramme du RCVFE de la CCM



3. Les relations entre les éléments du RCVFE

Au sein des modèles fictifs, les interrelations entre ces activités sont basées sur les fournitures qu'elles s'échangent. Nous avons construit une typologie simplifiée des principaux produits, co-produits et déchets forestiers liés aux APE présentes dans la CCM. Cette typologie est construite sur la base de la classification des produits français (CPF)⁷². Les différentes catégories sont regroupées dans le Tableau 6 ci-dessous.

⁷² Nous avons utilisé la version mises à jour en juillet 2008 avec les notes explicatives définitives de la CPF rév. 2. Cette version fait suite à la CPF rév. 1 datant de 2003. Durant notre étude, une nouvelle édition a été produite (CPF rév. 2.1, 2015). Cette dernière n'a pas été prise en compte.

Catégorie simplifiée des produits	types
Arbre sur pied	Produits
Bois rond (ou Grume)	
Bois de chauffage	
Bois scié	
Bois profilé	
Panneau	
Parquet assemblé	
Menuiserie	
Objet divers en bois	
Papier	
Sac à base de papier	
Pâte à papier	
Meuble de cuisine	
Meuble	
Maison en bois	
Charpente	
Connexe de chantier forestier	Connexes/ coproduits
Connexe de Bois scié à l'état vert	
Connexe d'activité de bois sec non traité	
Connexe d'activité de bois sec traité	
Déchets de bois traités non triés	Déchets
Déchets de bois non traités non triés	
Déchets divers bois et sous-produits du bois non trié	
Déchets de papiers et cartons	
Déchets de papiers et cartons triés	
Déchets de bois traités triés	
Déchets de bois non traités triés	
Déchets de bois traités sous forme de matière première	
Déchets de bois non traités sous forme de matière première	
Déchets de papier et carton sous forme de matière première	

Tableau 6 : Typologie simplifiée des produits forestiers. (Un tableau plus complet est disponible à l'annexe 4 cf. Annexe 3 : **Tableau 30**, page 214)

C. MODÉLISATION ET MÉTHODE D'ANALYSE DES RÉSEAUX

1. Principes de modélisation

a. Méthode de construction Input/output

Les modèles fictifs ont été générés sur la base des APE présentes sur la CCM, mais à partir d'hypothèses de construction induite par les scénarios. Le but étant que ces deux modèles illustrent des situations contrastées.

Nous avons considéré que toutes les activités ont la même structure fonctionnelle. Chacune d'elles accepte en entrée (input) des matières premières nécessaires à leur processus de production et chacune émet en sortie (output) des produits, des coproduits et des déchets (Figure 14).

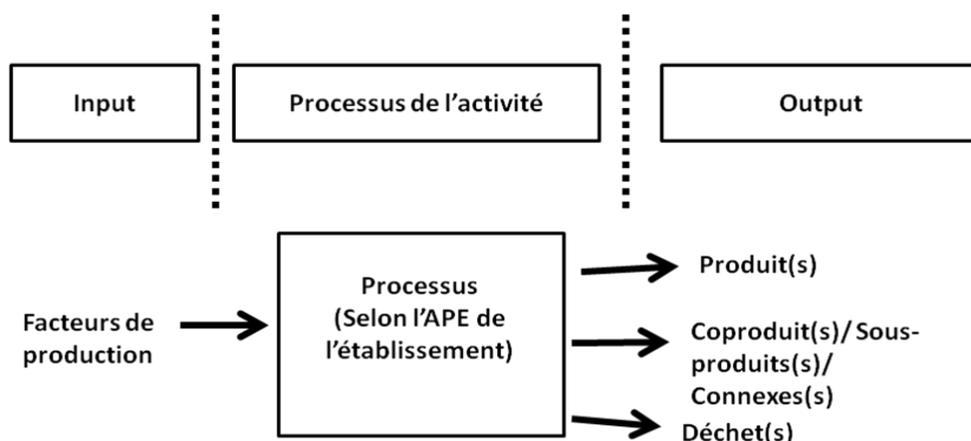


Figure 14 : Processus générique des activités

Les facteurs de productions sont les ressources matérielles nécessaires au processus de production. Ils peuvent être d'origine variée et multiple. Pour rappel, nous ne considérons ici que le bois et ses dérivés. Par manque d'information, nous avons dû exclure tous les autres types de facteurs de production (physique, immatériel ou humain).

- Les produits sont les résultats attendus et souhaités de l'activité (FRANCEAGRIMER, 2015).
- Les coproduits sont les résultats secondaires et attendus du processus. Leur valorisation économique est totale et ils disposent d'un marché adossé à une cotation.
- Les sous-produits sont des résultats secondaires. Leur valorisation est partielle, spécifique ou locale. La valorisation économique reste de faible valeur ajoutée et est soumise aux aléas économiques. Les produits connexes du bois⁷³ sont des sous-produits (ADEME ET FCBA, 2008). Dans notre étude, nous utiliserons les termes « coproduits » ou « connexes » pour désigner indifféremment un coproduit, un sous-produit ou un produit connexe.
- Les déchets sont les matières dont le producteur cherche, avant tout, à éliminer (mise en décharge, incinération, retour au sol...).

⁷³ écorces, sciures, copeaux, plaquettes et broyats, dosses, délignures, chutes de tronçonnage, chutes de production de merrains, chutes de placage, mises au rond des bois déroulés et noyaux de déroulage, chutes d'usinage de panneaux à base de bois, chutes de fabrication de parquets, menuiseries, éléments de charpentes, etc.

La Figure 15 illustre un établissement référencé par le code APE « 1610A » (Sciage et rabotage du bois, hors imprégnation). Cette activité accepte en flux entrant (input) des « bois ronds ». À partir de cette matière première, l'établissement produit du « bois scié » et du « bois profilés ». Cette activité génère des connexes de scieries sous forme de « morceau de bois à l'état vert » et des « sciures de bois ».

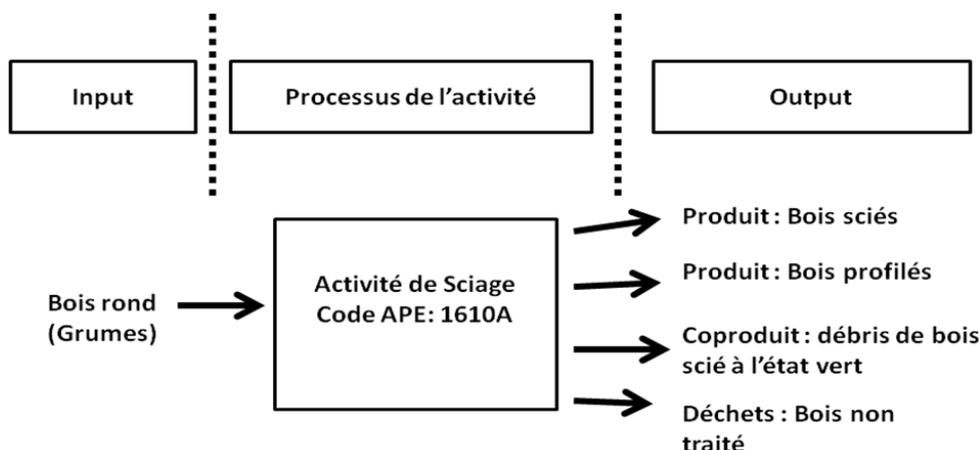


Figure 15 : Métabolisme d'un établissement de code 1610A

(Sciage et rabotage du bois, hors imprégnation)

b. Implication des deux scénarios sur la construction des modèles

Pour aboutir à un réseau complet, nous avons interconnecté les différents codes APE entre eux sur la base des besoins en facteur de production de leur processus. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur deux scénarios de construction.

Le scénario « FERME » se base sur l'idée que les acteurs privilégient une matière première qui provient de fournisseurs qui sont au sein de la CCM. Ce scénario repose sur une politique de circuits courts utilisant les ressources locales. Le second « OUVERT » se fonde sur l'idée que chaque acteur interagit avec tous les autres acteurs compatibles, sans aucune priorité aux activités locales.

Ces deux scénarios induisent des logiques différentes d'articulation des APE.

Scénario FERME : Priorité aux relations internes à la CCM

Nous avons voulu représenter une modalité fondée sur un fort ancrage territorial des interactions. Nous nous sommes basés sur les critères de construction suivants :

– Si un acteur a besoin d'un bien qui est produit localement, alors cet acteur traite directement avec le producteur de ce bien, il ne passe pas par un intermédiaire (grossiste, détaillant).

– Le grossiste n'importe que les fournitures qui ne sont pas produites sur le territoire.

– Les acteurs qui ont besoin d'une fourniture non produite sur le territoire se fournissent qu'auprès du grossiste du territoire.

Scénario OUVERT : Aucune priorité aux relations internes à la CCM

Pour ce modèle, nous avons voulu représenter un système complètement ouvert à l'extérieur, qui ne priorise pas les relations locales. Nous nous sommes basés sur les critères de construction suivants :

– Tout acteur peut se fournir auprès de tout autre, en interne et en externe.

– Nous considérons que le système est complet, c'est-à-dire que toutes les relations réalisables sont effectives.

Ce dernier critère facilite la construction du modèle. Il nous permet de ne pas avoir à arbitrer le nombre de relations que peut avoir chaque activité.

c. Analyse de réseau et angles de lecture des réseaux

Le vocabulaire de l'analyse de réseaux se base sur le formalisme de la théorie des graphes (SAGLIETTO, 2006). Ce dernier trouve sa source dans les sciences informatiques et mathématiques. Un graphe (G) étant défini comme contenant deux ensembles (V) et (E) où V est un ensemble non vide et E un ensemble de couples d'éléments de V . Dans ce graphe, les éléments sont appelés « sommets » ou « nœuds » et le lien qui les associe par paires est nommé « arêtes » ou « arcs ». Le réseau est un graphe dont les nœuds et les relations présentent des caractéristiques quantitatives ou qualitatives (BEAUGUITTE, 2010). Ainsi, l'analyse de réseaux est un outil qui analyse la topologie des graphes à travers l'exploration et la visualisation de données.

Un graphe peut être « non-orienté », c'est-à-dire que l'existence de la paire de nœuds (x, y) contenue dans G , implique l'existence de la paire (y, x) . Sur les schémas, cette relation est représentée par un segment, nommé « arête », entre les nœuds x et y . À l'opposé un graphe peut être « orienté », c'est-à-dire que l'existence d'une paire de nœuds (x, y) contenue dans G , n'implique pas l'existence de la paire (y, x) . Cette relation est représentée par une flèche nommée « arc », allant du nœud x vers le nœud y . C'est cette modalité que nous utiliserons dans cette thèse.

Un graphe peut être « valué » ou « non-valué », c'est-à-dire qu'une valeur peut être attribuée ou non, à chaque lien. Dans cette thèse, nous utiliserons les deux modalités. Par manque d'information quantitative, la pondération est faite en fonction du nombre de types de fourniture et non en fonction de la quantité de fourniture.

Pour chacun des réseaux FERME et OUVERT, il existe 4 angles de lecture que nous utilisons en fonction des indicateurs et des critères étudiés. Ces angles varient en fonction de l'utilisation, ou non, de l'orientation et du poids des relations. Lorsque nous interrogeons la structure logistique du réseau, nous utilisons les angles « orientés » (pondéré ou non pondéré), car le flux de matière se déplace d'une activité à une autre. Lorsque nous interrogeons la structure informationnelle du réseau, nous utilisons les angles de lecture « non orientés » (pondéré ou non pondéré), car la transmission d'informations se fait dans les deux sens entre deux activités.

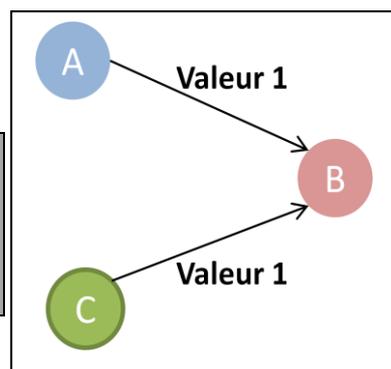
	Orienté (O)	Non orienté (NO)
Non pondéré (NP)	ONP	NONP
Pondéré (P)	OP	NOP

Tableau 7 : Tableau des angles de lecture des réseaux

L'angle « orienté non pondéré » (ONP) permet de construire une structure logistique constituée à partir des échanges de fournitures entre acteurs. ONP est orienté, car les relations correspondent à un transfert directionnel de fournitures (facteur de production, produit, coproduit, déchet) d'un acteur vers un autre. Cet angle de lecture permet d'étudier la structure logistique des deux réseaux. À savoir, la présence ou l'absence de collaboration entre acteurs.

· **Encadré : 2**

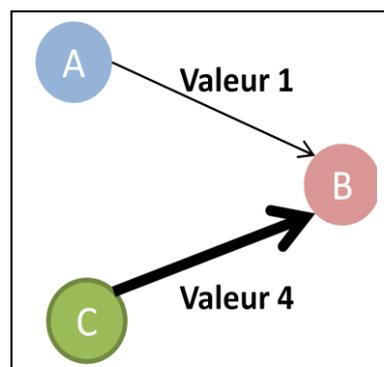
- Exemple de relations sous l'angle ONP :
- L'acteur (B) reçoit du sciage provenant de l'acteur (A) ;
- Le flux est orienté de « A -> B » et de valeur égale à « 1 » ;
- L'acteur (B) reçoit du sciage et des déchets de l'acteur (C) ;
- Le flux est orienté de « C -> B » de valeur « 1 ».



L'angle orienté pondéré (OP) aboutit à une structure logistique constituée à partir des échanges de fournitures entre acteurs. OP est dit orienté, car ses relations correspondent à un transfert directionnel de fournitures d'un acteur vers un autre. OP est dit pondéré, car le poids de ses relations est fonction du nombre de types de fournitures échangées. Cet angle de lecture permet d'étudier les affinités de collaborations au sein de la structure logistique. Cette information permet, entre autres d'affiner la recherche de communautés au sein du réseau ;

· **Encadré : 3**

- Exemple de relations sous l'angle OP :
- L'acteur (B) reçoit du sciage provenant de l'acteur (A) ;
- Le flux est orienté de « A -> B » et de valeur égale à « 1 ».
- L'acteur (B) reçoit des planches simples, plus des planches profilées, plus des coproduits et des déchets provenant de l'acteur (C).
- Le flux est orienté de « C -> B » et de valeur égale à « 4 ».
- L'acteur (B) présente plus d'affinité avec l'acteur (C) qu'avec l'acteur (A) du fait qu'il reçoit davantage de fournitures du premier.

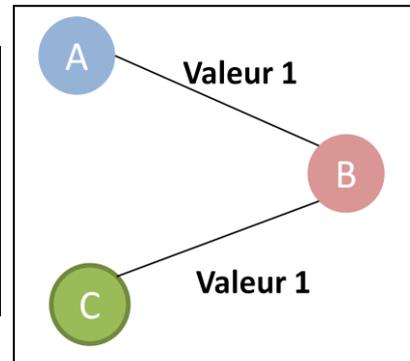


Au travers ces deux approches basées sur des relations orientées, nous considérons les relations sur la base d'un échange de flux logistiques. Or en amont d'un transfert de fournitures, il y a nécessairement un transfert d'information à double sens (bidirectionnel). Les acteurs A et B échangent sur leurs besoins et leurs stocks disponibles. Ils se mettent d'accord sur une quantité et sur un prix. Suite à cet accord, un transfert de fournitures est effectué entre eux deux. De fait, nous pouvons en déduire deux autres angles de lecture.

Le premier est l'angle non orienté non pondéré (NONP) qui aboutit à une structure informationnelle ne prenant pas en compte le nombre de fournitures échangées. Cet angle de lecture permet d'étudier la propagation de l'information, qui est un pré requis à la mise en place de la relation logistique.

Encadré : 4

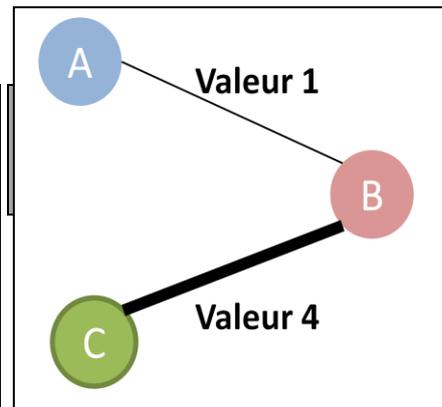
- Exemple de relations sous l'angle NONP :
- L'acteur (B) reçoit du sciage provenant de l'acteur (A) ;
- De fait, il existe un accord entre A et B ;
- Il existe une relation « A-B » et de valeur égale à « 1 ».
- L'acteur (B) reçoit des planches simples, plus des planches profilées, plus des coproduits et des déchets provenant de l'acteur (C) ;
- De fait, il existe un accord entre B et C ; Il existe une relation « B-C » et de valeur égale à « 1 ».



En considérant que plus les acteurs échangent de fournitures, plus ils ont dû échanger d'informations, nous pouvons aborder une lecture sous l'angle non orienté pondéré (NOP). NOP aboutit à une structure informationnelle non orientée du fait que l'information est nécessairement bidirectionnelle. À sein de NOP, les relations sont fonction du nombre de fournitures échangé entre acteurs. Cet angle de lecture permet d'exprimer une potentialité d'échange d'informations entre acteurs d'une paire.

Encadré : 5

- Exemple de relations sous l'angle NOP :
- L'acteur (B) reçoit du sciage provenant de l'acteur (A) ;
- De fait, il existe un accord entre A et B ;
- Il existe une relation « A-B » et de valeur égale à « 1 ».
- L'acteur (B) reçoit des planches simples, plus des planches profilées, plus des coproduits et des déchets provenant de l'acteur (C) ;
- De fait, il existe des accords entre B et C ;
- Il existe une relation « B-C » et de valeur égale à « 4 ».



2. Analyses structurales

a. Indicateurs structuraux

Pour étudier la structure des réseaux que nous obtenons suite aux modélisations, nous nous appuyons sur des indicateurs globaux. Ces indicateurs permettent de décrire les réseaux dans leur globalité (Tableau 8) :

Indicateurs	Interprétation
Nombre de nœuds (corresponds au nombre d'APE)	Informe sur la taille du réseau.
Nombre d'arcs (de relations orientées)	Informe sur le degré de connectivité ⁷⁴ du réseau
Longueur moyenne du chemin entre deux sommets (sans considérer la valeur des relations)	Informe sur la longueur des chaînes de processus
Affinité moyenne entre les nœuds (prise en compte de la valeur des relations)	Informe sur le degré de proximité relationnelle qu'ont les acteurs les uns des autres
Taille du plus long chemin entre deux nœuds (sans considérer la valeur des relations)	Informe sur la compacité du réseau
Moyenne du nombre d'arcs par sommet	Informe sur le degré d'activité global du réseau
Moyenne du nombre de fournitures différentes par sommet	Informe sur la diversité des fournitures qui transitent par les acteurs du réseau
Nombre de chemin le plus court (distance géodésique)	Informe sur le degré de connectivité du réseau

Tableau 8 : Tableau des indicateurs d'analyse structurale

b. Indicateurs de centralité

Après avoir décrit les réseaux dans leur ensemble, nous observerons le positionnement de chaque nœud par rapport aux autres aux regards d'indicateurs spécifiques (Tableau 9).

Indicateur	Définition	Interprétation
Centralité de degré (FREEMAN, 1979)	Classement des sommets en fonction du nombre d'arcs entrants ou sortants.	Plus la centralité de degré d'une activité est élevée, plus l'activité est dynamique dans son réseau
Centralité de proximité ⁷⁵ (FREEMAN, 1979)	Classement des sommets en fonction de la distance géodésique qui les sépare des autres sommets.	Plus une activité affiche une centralité de proximité importante, plus les chemins à partir d'elle sont courts pour atteindre les autres activités
Centralité d'intermédiation (Brandes, 2001 ; Freeman, 1979)	Classement des sommets en fonction de leur fréquence à être sur les plus courts chemins du réseau.	Plus une activité affiche une centralité d'intermédiation importante, plus celle-ci est nécessaire aux autres activités du réseau.

Tableau 9 : Indicateurs d'analyse d'importance relative des activités du réseau

⁷⁴ La connectivité décrit la multiplicité des liaisons assurées dans le système par le réseau. Ces liaisons formalisent non seulement les relations directes, mais également les relations alternatives induites par le jeu des connexions indirectes (GLEYZE, 2001).

⁷⁵ Cet indicateur est utilisé pour l'analyse de durabilité. Il est développé dans la partie b.

3. Analyse de la durabilité systémique

Dans cette partie nous définissons les indicateurs employés pour observer les mécanismes de durabilité.

a. Indicateurs de robustesse

Robustesse : capacité d'un réseau à maintenir ses fonctions en dépit de rupture de certains de ses liens ou nœuds.

Nous utilisons les angles Orienté Pondéré et Orienté non-pondéré.

i. Les composantes fortement connexes

Le premier indicateur de la robustesse est la taille de la composante la plus large, dans laquelle un chemin existe entre n'importe quelles paires de nœuds de cette composante. Cet indicateur se base sur l'hypothèse que plus cette composante est large, plus il existe de voies alternatives entre les nœuds et donc moins la rupture de quelques liens impactera le fonctionnement de l'ensemble (THADAKAMAILA *ET AL.*, 2004).

Une composante fortement connexe est un chemin dans lequel chacun des nœuds est accessible depuis tout autre nœud du chemin en suivant le sens d'orientation défini (TARJAN, 1972). Si tous les nœuds du réseau constituent une composante unique alors le réseau est connexe (« *connected* »). Si chaque nœud du réseau est accessible par tout autre élément via un chemin direct alors le réseau est fortement connexe (« *strongly connected* »). Les réseaux fortement connexes sont fortement résistants aux perturbations aléatoires, mais très sensibles aux perturbations ciblées (BEYGELZIMER *ET AL.*, 2005; THADAKAMAILA *ET AL.*, 2004). En effet, plus ce chemin est large, plus il existe de voies alternatives entre les acteurs qui composent le réseau. Mais il existe également plus de liens d'interdépendance entre eux (ZHU ET RUTH, 2013).

Il existe plusieurs algorithmes de détermination des composantes connexes d'un graph. Ces derniers sont fonction de la définition donnée au terme « connexe » et ces définitions sont plus ou moins restrictives.

- Fortement connexe [Strong]: un nœud v_1 est connecté à v_2 s'il existe un chemin orienté de v_1 vers v_2 et un chemin orienté v_2 vers v_1
- Connexe par récursivité [Recursive]: v_1 est connecté à v_2 s'il existe une séquence de nœuds v_a, \dots, v_z tel que $v_1, v_a, \dots, v_z, v_2$ et $v_2, v_z, \dots, v_a, v_1$ sont des chemins orientés
- Connexe par unilatéralité [Unilateral]: v_1 est connecté à v_2 s'il existe un chemin orienté de v_1 vers v_2 ou un chemin orienté de v_2 vers v_1

Un flux orienté de matière v_1 vers v_2 n'implique pas le flux réciproque v_2 vers v_1 . Par conséquent, les algorithmes les plus appropriés portent sur les paramètres « fortement connexe » et « récursif ». Nous comparons les résultats obtenus via ces 3 algorithmes.

ii. L'efficacité du réseau (E(G))

Tous les acteurs n'ont pas la même importance dans le réseau. La disparition de certains acteurs peut ne pas avoir d'impact alors que la disparition d'autres acteurs peut avoir des conséquences graves. L'efficacité du réseau (« Network efficiency ») permet d'évaluer la robustesse du réseau en observant l'influence du prélèvement d'un nœud (CRUCITTI, LATORA, MARCHIORI, ET RAPISARDA, 2003). La comparaison de la valeur du réseau complet (E(G)) à ce même réseau auquel est extrait le nœud g (E(G-g)) permet d'évaluer l'importance de ce nœud.

D'un côté, cette analyse montre l'importance d'un nœud sur l'équilibre du réseau. De l'autre, elle montre la résistance du réseau au regard des risques de rupture qui se posent sur ses éléments (CHOPRA ET KHANNA, 2014).

L'efficacité du réseau⁷⁶ est donnée par la formule suivante (CHOPRA ET KHANNA, 2014) :

$$E(G) = \frac{\sum_{i \neq j \in G} d_{ij}}{\eta_w}$$

$$I(g) = \frac{\Delta E}{E} = \frac{E(G) - E(G - g)}{E(G)}$$

Avec,

E(G) : Mesure de l'efficacité du réseau

I(g) : Importance du nœud « g » dans le réseau « G », fondé sur le fait d'enlever le nœud « g » du réseau.

⁷⁶ La même formule est applicable au réseau sans poids (KRÖGER ET ZIO, 2011) p76-80

d_{ij} : Le poids du lien qui relie le nœud « i » au nœud « j ».

η_w : Nombre de paires de nœuds connecté

b. Indicateurs de flexibilité

La flexibilité du réseau est associée à la capacité des acteurs en son sein à créer facilement de nouveaux chemins d'approvisionnements.

Nous utilisons les angles non-orienté pondéré (NOP) et non-orienté non-pondéré (NONP).

i. La densité du réseau (D)

La notion de densité (D) correspond au rapport entre le nombre de relations et le nombre de relations théoriques maximales du réseau. Dans le cas d'un réseau non orienté, la relation d'un nœud A vers un nœud B, implique la relation réciproque de B vers A. De fait, nous écrivons la forme de densité comme suit :

$$D = \frac{N_p}{\left(\frac{N_n * (N_n - 1)}{2}\right)}$$

Avec,

D , la densité du réseau

N_p , le nombre de paires de nœuds connectés

N_n , le nombre de nœuds du réseau

Plus le réseau est dense et plus l'information est susceptible de se diffuser de façon homogène et uniforme au sein du réseau. Cet indicateur nous informe sur le potentiel des acteurs à bénéficier d'un carnet riche de contacts.

ii. La centralité de proximité et d'affinité

La vitesse de création d'un lien nouveau entre acteurs est fonction de la distance et de l'intensité de collaboration.

- La centralité de proximité (C_p) exprime le fait qu'un acteur est proche de tous les autres, nous l'utilisons dans le cas du réseau NONP. Elle classe les nœuds de la plus petite distance à la plus longue en se basant sur la matrice des distances géodésiques. Le calcul est le suivant :

$$C_p(i) = \frac{1}{\sum d(j, i)}$$

Avec,

$Cp(i)$ = La valeur de proximité du nœud i

$d(j, i)$ = la distance entre les deux nœuds j et i .

- La centralité d'affinité exprime l'intensité de collaborations d'un acteur avec les autres, nous l'utilisons dans le cas du réseau NOP. Elle classe les nœuds de la valeur d'affinité la plus forte à la moins forte en se basant sur la matrice des distances pondérées. Le calcul est le suivant ⁷⁷ :

$$Cp_w(i) = \frac{1}{\sum d_w(j, i)}$$

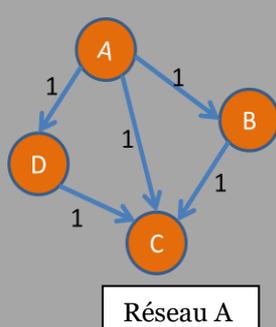
Avec,

$Cp_w(i)$ = La valeur d'affinité du nœud i

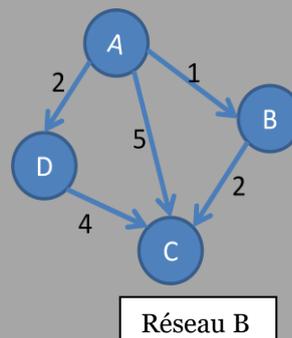
$d_w(j, i)$ = la distance pondérée entre les deux nœuds j et i .

Encadré : 6

Exemple pour la compréhension de l'influence du poids comme valeur d'affinité



Réseau A



Réseau B

La majorité des outils d'analyse de réseaux utilisent la pondération comme une valeur de distance or, notre étude utilise la pondération comme une valeur d'affinité.

- Réseau A (sans poids) :

Si on ne considère pas les poids des relations le chemin le plus court entre le nœud A et C est une relation directe qui vaut 1. Les plus longs chemins entre A et C sont ADC et ABC et valent 2.

- Réseau B (le poids représente une distance) :

Le chemin le plus court entre le nœud A et C est ABC qui vaut 3. Le chemin le plus long est ADC qui vaut 6.

- Réseau B (le poids représente une affinité) :

C'est cette troisième méthode que nous utilisons pour les réseaux pondérés (OP et NOP) selon un algorithme qui normalise les relations du réseau par le poids moyen ($AC = 5 / (14 / 5) = 5 / 2.8 = 1.79$) avant d'inverser cette valeur ($AC = 1 / 1.79 = 0.56$). Si on compare cette valeur à celle de ABC ($d(AB) : 1 /$

⁷⁷ Dans le cas de graphe non fortement connexe, il est également possible d'utiliser la somme des distances réciproques, au lieu de l'inverse de la somme des distances.

$1/14/5 = 1/1/2.8 = 2.8$; $d(BE): 1/2/14/5 = 1/2/2.8 = 1/0.71 = 1.4$; $d(ABE) = d(AB) + d(BE) = 2.8 + 1.4 = 4.2$.

Le chemin le plus court entre le nœud A et C est AC qui vaut 0.56. Le chemin le plus long est ADC et il vaut 4.2.

c. Indicateurs de stabilité

La stabilité d'un réseau est fonction de la compartimentation des sources d'approvisionnements de ses acteurs.

i. La présence de communautés (Q)

Du fait qu'il existe plusieurs définitions de la communauté, il existe également plusieurs méthodes d'évaluations (LEICHT ET NEWMAN, 2008; PONS ET LATAPY, 2004). (EUSEBIO, LEVY, ET FLOCH, 2015) rangent ces méthodes comme suit : les méthodes classiques basées sur la bissection de graphes ou la construction de dendrogrammes, les méthodes divisives basées sur la centralité d'intermédiation ou d'information, les méthodes agglomératives fondées sur la modularité, enfin les méthodes de la marche aléatoire et des verres de spin.

La méthode la plus largement employée dans la littérature fait appel à une fonction de qualité, la modularité (Q) (NEWMAN ET GIRVAN, 2004). Elle est également utilisée comme indicateur de comparaison des autres méthodes. La modularité prend ses valeurs entre -1 et 1 dont 0 correspond à un graphe aléatoire. Le principe de maximisation de la modularité est initialement appliqué au réseau non orienté, mais a été généralisé au réseau orienté (LEICHT ET NEWMAN, 2008). La formule est la suivante :

$$Q = \frac{1}{L} \sum_{ij} \left[A_{ij} - \frac{k_i^{entrant} k_j^{sortant}}{L} \right] \delta_{mi,mj}$$

Avec,

Q : La modularité d'un réseau orienté

A : La matrice d'adjacence du réseau ; avec $A_{ij} = 1$ s'il existe un lien entre i et j ou $A_{ij} = 0$

mi : Le compartiment du nœud i

mj : Le compartiment du nœud j

$k_i^{entrant}$ et $k_j^{sortant}$: Respectivement le nombre de liens entrants et sortants de i .

L : Le nombre total de liens dans le réseau

δ : est le delta de Kronecker ($\delta_{a,b} = 1$ si $a = b$ sinon $\delta_{a,b} = 0$)

Bien qu'elle soit la plus utilisée, l'approche par la modularité présente quelques biais et ne peut pas être appliquée directement à tout type de réseau (DE MONTGOLFIER, SOTO, ET VIENNOT, 2012; FORTUNATO ET BARTHELEMY, 2007; GUIMERA, SALES-PARDO, ET AMARAL, 2007). Le fait qu'elle ait été développée dans le cas de graphe non-orienté, limite la qualité des résultats dans le cas de graphe orienté. Dans le cas de l'application de la modularité à un réseau orienté, une modification de la matrice d'adjacence est préconisée (CRAMPES ET PLANTIE, 2013; GUIMERA *ET AL.*, 2007; LEICHT ET NEWMAN, 2008; NICOSIA, MANGIONI, CARCHIOLO, ET MALGERI, 2009). Crampes et Plantié (2013) proposent de convertir le graphe uniparti⁷⁸, en un graphe biparti⁷⁹, et ensuite de reconvertir ce dernier en un graphe uniparti étendu. La recherche de communauté se faisant sur le graphe uniparti étendu. Guimerà et al (2007) proposent de considérer un graphe uniparti orienté comme un graphe biparti et de procéder à la recherche des communautés sur ce dernier. Ces méthodes présentent l'avantage de construire les communautés en fonction des spécificités des relations entrantes et sortantes, mais elles aboutissent à la proposition de communautés chevauchantes et non à des communautés partitionnées. Les communautés partitionnées sont parfaitement distinctes, alors que les chevauchantes possèdent des nœuds en communs.

En pratique ces méthodes par modification de matrice suivent la démarche suivante. Un graphe uniparti orienté peut être converti en un graphe biparti dans lequel chaque nœud i est représenté par deux nœuds : un nœud-fournisseur A_i et un nœud-client B_i . Un lien direct dans le graphe uniparti orienté de i vers j sera représenté dans le graphe biparti par un lien orienté de A_i vers B_j . À partir de cette construction, la logique des travaux de Guimerà et al (2007) est de regrouper les nœuds source qui ont des nœuds destinataires communs au moyen d'algorithme spécifique au réseau biparti. Alors que Crampes et Plantié (2013) procèdent à la construction d'une matrice bloc A »⁸⁰ sur laquelle ils appliquent des algorithmes de recherche issus de l'analyse de graphe uniparti.

⁷⁸ Un graphe uniparti est constitué d'éléments d'une seule nature (exemple : un ensemble d'acteurs à la fois fournisseur et client)

⁷⁹ Un graphe biparti est constitué d'éléments de deux natures. (Exemple : un ensemble d'acteurs fournisseurs et un autre ensemble d'acteurs clients)

⁸⁰ A est une matrice bloc construite à partir de la matrice d'adjacence du graphe considéré.

Toutes les méthodes, qu'elles nécessitent ou non une modification du graphe, possèdent leurs avantages et inconvénients. Il est nécessaire de recouper pour apprécier les informations qu'elles apportent. Par ailleurs, notre objectif n'est pas d'évaluer la qualité de ces méthodes. Notre intention est de rechercher la présence de communautés dans notre réseau d'étude. Pour ce faire, nous proposons d'utiliser un panel large de méthodes et d'algorithmes⁸¹. Le Tableau 10 suivant résume le nom des 11 algorithmes, les méthodes et les matrices sur lesquels nous effectuons les calculs à savoir la matrice d'origine du réseau, la matrice unipartie étendue ou la matrice bipartie.

	Algorithme	Méthode	Matrice
1	Edge_betweenness	Divisive	Originelle
2	Edge_betweenness	Divisive	Uni partie étendue
3	Optimal	Agglomérative	Uni partie étendue
4	Label_prop	Agglomérative	Uni partie étendue
5	Leading_eigen	Agglomérative	Uni partie étendue
6	Multilevel (Louvain)	Agglomérative	Uni partie étendue
7	Fast_greedy	Agglomérative	Uni partie étendue
8	Spinglass	Verre de spin	Uni partie étendue
9	Infomap	Divisive	Uni partie étendue
10	Walktrap	Marche aléatoire	Uni partie étendue
11	Computemodules (QuaBiMo)	Agglomérative	Bipartie

Tableau 10: Algorithme de recherche de communautés

ii. La qualité de répartition des relations intercommunautaires (QR)

L'emploi de réseaux bipartis pour déterminer les communautés induit le chevauchement des communautés. De fait, sur la même idée que l'indicateur d'emboîtement, nous proposons un indicateur de la qualité de répartition des liens intercompartiments (QR) qui est adapté aux communautés chevauchantes. Ce dernier est un indicateur d'interactions entre individus de communautés différentes. Il est principalement utilisé dans l'étude des réseaux écologiques partitionnés (non chevauchant).

$A' = \begin{bmatrix} O_r & B \\ B^t & O_s \end{bmatrix}$; O_r =matrice carrée nulle d'ordre égale au nombre de lignes ; O_s =matrice carrée nulle d'ordre égale au nombre de colonnes. B = la matrice d'ajacence.

⁸¹ Un algorithme est un ensemble de règles opératoires dont l'application permet de résoudre un problème énoncé au moyen d'un nombre fini d'opérations. Ici les algorithmes sont employés sur le logiciel libre de « R » et sont rangés par groupe thématique appelé (packages).

Ce dernier repose sur l'idée qu'une répartition des liens inter compartiments dans des proportions égales, donnera une meilleure stabilité de l'ensemble du réseau. Un QR de valeur 2 indique une répartition parfaite des liens intercompartiments. Alors qu'un QR qui tend vers la valeur 0 montre une répartition plus déséquilibrée des liens intercompartiments.

Il existe des relations de deux natures dans le cas des communautés chevauchantes. La première est une relation de type fournisseur-client. Exemple : un flux orienté d'un nœud-fournisseur A appartenant à la communauté $C1$ vers un nœud-client B appartenant à la communauté $C2$. Ces communautés sont donc reliées par un lien intercompartiment de $C1$ vers $C2$. La seconde relation est due à la présence de nœuds communs à deux communautés. Les parties fournisseur et client d'un même nœud appartiennent à deux communautés distinctes $C1$ et $C2$. Nous considérons que la seconde nature de relation a plus d'importance qu'une relation fournisseur-client, car la disparition d'un nœud chevauchant impactera davantage qu'une relation fournisseur-client. Pour cette raison, nous avons pondéré les relations dues à la présence de nœuds communs par le double⁸² d'une relation fournisseur-client.

La formule de calcul de Q_R d'un réseau est la suivante :

$$Q_R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{R_i}^{entrant} + Q_{R_i}^{sortant}}{2} \right)$$

$$Q_{R_i}^{entrant} = \frac{\sum_{i=1}^n \left([N_{c_{ie}} \text{ able}_i] + \left[1 - \left(\left| \frac{(N_{LE_{ie}} + N_{N_C})}{N_L} - \frac{1}{N_C} \right| \right) \right] \right)}{N_C}$$

$$Q_{R_i}^{sortant} = \frac{\sum_{i=1}^n \left([N_{c_{is}} \text{ able}_i] + \left[1 - \left(\left| \frac{(N_{LE_{is}} + N_{N_C})}{N_L} - \frac{1}{N_C} \right| \right) \right] \right)}{N_C}$$

Q_R : Qualité de répartition des relations inter-compartiments au sein du réseau

$Q_{R_i}^{entrant}$: Qualité de répartition des relations inter-compartiments entrantes dans la communauté i

$Q_{R_i}^{sortant}$: Qualité de répartition des relations inter-compartiments sortantes de la communauté i

$N_{c_{ie}}$: Nombre de compartiments connectés au compartiment i au regard des liens entrants

$N_{c_{is}}$: Nombre de compartiments connectés au compartiment i au regard des liens sortants

able_i : Nombre maximum de compartiments connectable au compartiment i

$$= N_C - 1$$

⁸² Une relation fournisseur-client entre deux communautés aura une valeur de 1. Un nœud chevauchant entre deux communautés aura une valeur de 2. Le choix des valeurs est lié au fait qu'un nœud chevauchant implique la présence dans la même communauté des deux parties (fournisseur et client) de ce nœud.

N_C : Nombre de compartiments au sein du réseau

$N_{LE_{ie}}$: Nombre d'arcs inter-compartiments entrant dans le compartiment i

$N_{LE_{is}}$: Nombre d'arcs inter-compartiments sortant du compartiment i

N_{N_C} : Nombre de nœuds chevauchant le compartiment i

N_L : Nombre d'arcs inter-compartiments du réseau

L'encadré 7 ci-après expose deux exemples de calcul de (QR) ensuite le Tableau 11, résumé l'ensemble des indicateurs que nous avons utilisés.

Encadré : 7

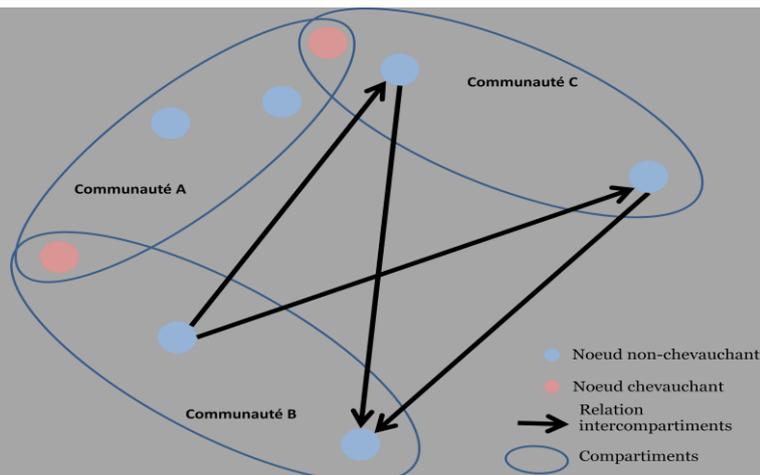


Figure 16 : Exemple 1 de calcul de QR

$$QR^{entrant} = \frac{\left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{0+4}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{2+2}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{2+2}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right)}{3}$$

$$QR^{sortant} = \frac{\left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{0+4}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{2+2}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{2+2}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right)}{3}$$

$$Q_R = \frac{QR^{entrant} + QR^{sortant}}{2} = 2$$

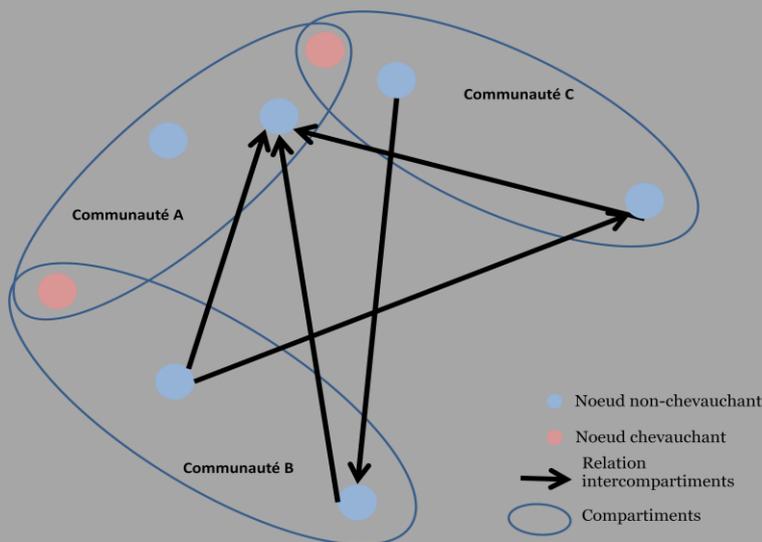


Figure 17 : Exemple 2 de calcul de QR

Calcul de du Q_R de la Figure 17 :

$$QR^{entrant} = \frac{\left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{3+4}{13} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{1+2}{13} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{1+2}{13} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right)}{3}$$

$$QR^{sortant} = \frac{\left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{0+4}{13} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{3+2}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right) + \left(\left[\frac{2}{2}\right] + \left[1 - \left(\left|\frac{2+2}{12} - \frac{1}{3}\right|\right)\right]\right)}{3}$$

$$Q_R = \frac{QR^{entrant} + QR^{sortant}}{2} = 1.91$$

Tableau 11 : récapitulatif des indicateurs d'analyse

Mécanisme du réseau	Caractéristiques structurales	Indicateurs observés	Méthode de calcul	Angle de lecture employé	Interprétation des résultats
<p>Robustesse : Capacité du réseau à maintenir ses fonctions en dépit de rupture de certains de ses chemins internes</p>	<p>Les acteurs du réseau possèdent de nombreuses relations en provenance de l'amont et vers l'aval</p>	<p>Composantes fortement connexes (forte ; récursive, unilatérale)</p>	<p>Algorithme de parcours en profondeur (ou DFS, pour Depth First Search) : consiste à parcourir le réseau pour trouver des nœuds non encore visités; si tous les voisins ont déjà été visités, il faut alors retourner en arrière par l'arête qui a permis d'atteindre ce nœud pour la première fois et recommencer l'opération. À chaque fois que l'on atteint un nouveau nœud, on le numérote par l'entier le plus petit non encore utilisé. L'ensemble des arêtes qui permettent d'atteindre un nouveau nœud forme alors un arbre et les arêtes en dehors sont appelées arêtes de retour » (CORI, 2014).</p>	<p>Orienté et Pondéré (OP)</p>	<p>Plus la taille de la composante est grande, plus le nombre potentiel de voies alternatives est important et donc, moins le réseau est susceptible de subir la rupture d'une de ces voies.</p>
		<p>Efficiences du réseau</p>	$E(G) = \frac{\sum_{i \neq j \in G} d_{ij}}{\eta_w}$ $I(g) = \frac{\Delta E}{E} = \frac{E(G) - E(G - g)}{E(G)}$ <p>Avec, E(G) : Mesure de l'efficiences du réseau I(g) : Importance du nœud « g » dans le réseau « G », fondé sur le fait d'enlever le nœud « g » du réseau. d_{ij} : Le poids du lien qui relie le nœud « i » au nœud « j ». η_w : Nombre de paires de nœuds connectés</p>	<p>Orienté et Pondéré (OP)</p>	<p>L'efficiences donne l'importance de chaque nœud au sein du réseau. Plus un nœud est important, plus son absence impactera la structure du réseau.</p>

<p>Flexibilité : Capacité du réseau à se restructurer rapidement</p>	<p>Les acteurs du réseau sont proches les uns des autres et disposent d'un fort potentiel de création de nouvelles relations.</p>	<p>La densité du réseau</p>	$d = \frac{N_p}{\frac{N_n(N_n-1)}{2}}$ <p>Avec, d, la densité du réseau N_p, le nombre de paires de nœuds connectés N_n, le nombre de nœuds du réseau</p>	<p>Non orienté et non pondéré (NONP)</p> <p>Non orienté et pondéré (NOP)</p>	<p>La densité exprime le taux d'interrelation entre les activités. Plus ce taux est important plus les possibilités d'entrer en contact sont élevées et donc plus les membres du réseau disposent de flexibilité.</p>
		<p>Centralité de proximité</p>	<p><u>Centralité de proximité</u> : $Cp(i) = \frac{1}{\sum d(j,i)}$</p> <p>Avec, $Cp(i)$=La valeur de proximité du nœud i $d(j, i)$=la distance entre les deux nœuds j et i.</p> <p><u>Centralité d'affinité</u> : $Cp_w(i) = \frac{1}{\sum d_w(j,i)}$</p> <p>Avec, $Cp_w(i)$ = La valeur d'affinité du nœud i $d_w(j, i)$ = la distance pondérée entre les deux nœuds j et i.</p>	<p>Non Orienté et non Pondéré (NONP)</p> <p>Non Orienté et pondéré (NOP)</p>	<p>La centralité de proximité classe chaque acteur en fonction de la distance qui le sépare des autres. Plus la distance est faible, plus l'acteur pourra entrer facilement en contact avec une majorité d'autre, ce qui lui procure une meilleure flexibilité.</p>
<p>Stabilité : Capacité à ne pas se déstructurer suite à des perturbations</p>	<p>Les acteurs du réseau sont cloisonnés dans des communautés relationnelles. Ces communautés sont reliées entre elles.</p>	<p>La modularité</p>	$M_D(P) = \frac{1}{L} \sum_{ij} \left[A_{ij} - \frac{k_1^{in} k_j^{out}}{L} \right] \delta_{mimj}$ <p>Avec, $M_D(P)$: La modularité d'une partition P d'un réseau orienté A : La matrice d'adjacence du réseau ; avec $A_{ij} = 1$ s'il existe un lien entre i et j ou $A_{ij} = 0$ m_i : Le compartiment du nœud i $k_1^{entrant}$ et $k_j^{sortant}$: Respectivement le nombre de liens entrants et sortants de i. L : Le nombre total de liens dans le réseau</p>	<p>Orienté et Pondéré (OP)</p> <p>Non orienté et pondéré (NOP)</p>	<p>La modularité montre le degré de partitionnement du réseau. Un réseau très peu compartimenté est sensible aux perturbations d'échelle globale.</p>

			δ : est le delta de Kronecker ($\delta_{a,b} = 1$ si $a = b$ sinon $\delta_{a,b} = 0$)		
--	--	--	---	--	--

		<p>Qualité de répartition des relations intercommunautaires</p>	$Q_R = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{R_i \text{entrant}} + Q_{R_i \text{sortant}}}{2} \right)$ $Q_{R_i \text{entrant}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left([N_{C_{ie}} \text{able}_i] + \left[1 - \left(\left \frac{(N_{LE_{ie}} + N_{N_C})}{N_L} - \frac{1}{N_C} \right \right) \right] \right)}{N_C}$ $Q_{R_i \text{sortant}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left([N_{C_{is}} \text{able}_i] + \left[1 - \left(\left \frac{(N_{LE_{is}} + N_{N_C})}{N_L} - \frac{1}{N_C} \right \right) \right] \right)}{N_C}$ <p>Avec,</p> <p>Q_R : Qualité de répartition des relations inter-compartiments au sein du réseau</p> <p>$Q_{R_i \text{entrant}}$: Qualité de répartition des relations inter-compartiments entrantes dans la communauté i</p> <p>$Q_{R_i \text{sortant}}$: Qualité de répartition des relations inter-compartiments sortantes de la communauté i</p> <p>$N_{C_{ie}}$: Nombre de compartiments connectés au compartiment i au regard des liens entrants</p> <p>$N_{C_{is}}$: Nombre de compartiments connectés au compartiment i au regard des liens sortants</p> <p>able_i : Nombre maximum de compartiments connectable au compartiment i.</p> <p style="text-align: center;">$= N_C - 1$</p> <p>N_C : Nombre de compartiments au sein du réseau</p> <p>$N_{LE_{ie}}$: Nombre d'arcs inter-compartiments entrant dans le compartiment i.</p> <p>$N_{LE_{is}}$: Nombre d'arcs inter-compartiments sortant du compartiment i.</p> <p>N_{N_C} : Nombre de nœuds chevauchant le compartiment i</p> <p>N_L : Nombre d'arcs inter-compartiments du réseau</p>	<p>Orienté et Pondéré (OP)</p> <p>Non orienté et pondéré (NOP)</p>	<p>La répartition des relations intercommunautaires montre le degré de relation entre les compartiments. L'indicateur de qualité de répartition exprime une répartition homogène de ces relations.</p>
--	--	---	---	--	--

D. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Encadré : 8

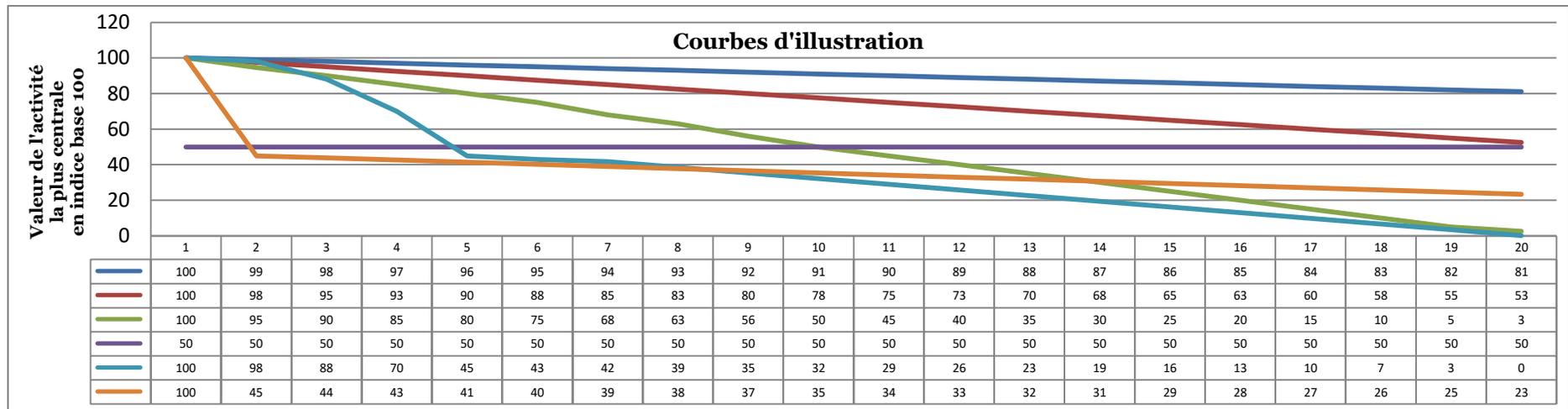
Principe de lecture des figures de résultats

Les résultats issus de l'analyse des réseaux sont majoritairement des valeurs relatives non comparables en l'état entre les réseaux (SCOTT, 2012). Toutefois, ces résultats compilés en des courbes normalisées informent sur les tendances et l'ordonnement des activités au sein de chaque réseau. Cette fiche explique la méthode de lecture des figures qui compare ces courbes.

Le calcul de centralité permet le classement de chaque nœud du réseau en fonction de son importance par rapport aux autres nœuds de ce même réseau. Nous utilisons divers calculs de centralité chacun fondé sur un critère différent. La centralité de degré classe les nœuds en fonction du nombre de relations qu'ils possèdent. La centralité d'intermédiarité classe les nœuds en fonction de leur proportion à être sur les plus courts chemins entre les autres nœuds. La centralité de proximité classe les nœuds en fonction des distances géodésiques qui les séparent des autres. Enfin, la centralité de degré pondéré applique le même principe que la centralité de degré, mais les liens entre nœuds sont pondérés par une valeur numérique. Dans notre cas, cette valeur correspond à la diversité de fourniture concernée par la relation. Les valeurs numériques de centralité sont calculées en fonction des caractéristiques structurelles du réseau (taille, densité). De fait, mis à part les valeurs de centralité de degré et de degré pondéré, les valeurs numériques de centralité de proximité et d'intermédiarité extraites telles quelles des analyses ne sont pas comparables entre les réseaux. Afin de pouvoir comparer les courbes de résultats issus de chaque réseau, nous avons procédé à une normalisation des valeurs. Nous avons utilisé la valeur maximale de chaque réseau comme valeur de référence, selon le principe de l'indice base 100. En sommes, chaque valeur d'une même courbe, donc d'un même réseau, est affichée au prorata de la valeur maximale observée dans son réseau.

Nous utilisons la figure 1 pour développer notre explication. La figure se compose d'un graphe et d'un tableau. Le graphe informe sur la structure de la courbe et le tableau informe sur l'ordonnement des nœuds sur la courbe.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Bleu	3811Z	1610A	FOYER	4120A	3832Z	0220Z	1712Z	1629Z	4332A	4391A	4673A	1622Z	3102Z	3109B	EXPORTE XTERIEU R	1721C	4752B	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	4711F
ROUGE	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	4673A	4752B	FOYER	3811Z	1610A	4711F	4120A	1629Z	3102Z	3109B	4332A	4391A	0220Z	1622Z	3832Z	1712Z	1721C	0210Z
VERT	3109B	4332A	4391A	0220Z	1622Z	3832Z	1712Z	1721C	0210Z	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	4673A	4752B	FOYER	3811Z	1610A	4711F	4120A	1629Z	3102Z
Bleu ciel	3811Z	1610A	FOYER	4120A	3832Z	0220Z	1712Z	1629Z	4332A	4391A	4673A	1622Z	3102Z	3109B	EXPORTE XTERIEU R	1721C	4752B	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	4711F
Orange	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	4673A	4752B	FOYER	3811Z	1610A	4711F	4120A	1629Z	3102Z	3109B	4332A	4391A	0220Z	1622Z	3832Z	1712Z	1721C	0210Z

Figure 18 : Figure explicative des courbes

Cette méthodologie présente 2 intérêts pour notre étude :

Premièrement, elle nous permet d'observer les tendances au sein de chaque réseau et de les comparer entre réseaux (cf. Graphique de la Figure 18). Notamment en observant les différentiels de valeurs entre les nœuds successifs. Pour aider cette lecture, nous avons ajouté une droite qui correspond à 50 % de la valeur maximale (ligne mauve). Ainsi, si tous les nœuds se trouvent au-dessus de 50 % alors globalement le réseau est homogène et ne présente pas une forte centralité de certains nœuds (courbe bleue). Si la courbe suit une droite de pente régulière dont la moitié des nœuds est au-dessus de 50 % et l'autre moitié au-dessous, alors le critère considéré montre une centralité selon un gradient dégressif sur l'ensemble des nœuds (courbe verte). Si, plus de la moitié du réseau est en dessous de la droite des 50 %, alors le réseau présente une centralité forte des nœuds qui sont au-dessus de la droite. Cette grille de lecture nous permet de comparer les réseaux entre eux et de savoir si pour un critère considéré le réseau dans son ensemble est pénalisé ou non. Néanmoins, et pour rappel, dans l'absolu il nous est impossible de préciser si la moyenne d'une courbe est au-dessus d'une autre.

Deuxièmement, cette méthode nous permet de comparer l'ordonnement des nœuds. Un nœud sera en première position, s'il est le plus central et donc le plus important pour le critère considéré (degré, degré pondéré, intermédiarité, proximité) ou en dernière position si sa position dans le réseau n'est pas centrale. Ainsi, nous pouvons observer les nœuds qui ont le plus d'importance pour le fonctionnement des réseaux (cf. tableau de la figure 1). Pour faciliter la lecture, nous avons surligné en vert les nœuds dont les valeurs sont au-dessus de 50 % de la valeur maximale. Nous avons spécifié en rouge les nœuds dont la valeur est nulle. Ainsi l'on constate que le nœud « EXPORTEXTÉRIEUR » est fortement central dans le cas de la courbe orange. Alors que ce même nœud est en 15^e position dans le cas de la courbe bleue. Les nœuds n'ont donc pas la même importance en fonction des réseaux.

Par ailleurs, nous n'avons pas discuté les positions des nœuds qui sont en position de fin de classement, car les réciproques d'interprétation ne sont pas conseillées (source). En effet, le nœud en fin de classement dans le cas notamment de la centralité de proximité ne sera pas nécessairement le nœud le plus éloigné. C'est pourquoi il existe également un calcul de la centralité d'excentricité.

Les cas particuliers des nœuds « Importexterieur », « Exportextérieur » et « Foyer »

Les nœuds « Importexterieur », « Exportextérieur » regroupe l'ensemble des activités en dehors du périmètre d'étude. La forte centralité de ces deux nœuds indique que la majorité des activités du territoire collaborent avec l'extérieur. Dans un cas, en important des fournitures, dans l'autre en exportant leurs fournitures. Nous associons le nœud « Foyer » à l'activité de consommation. Le Foyer consomme des fournitures et les transforme en déchet.

1. Résultats de l'analyse structurale

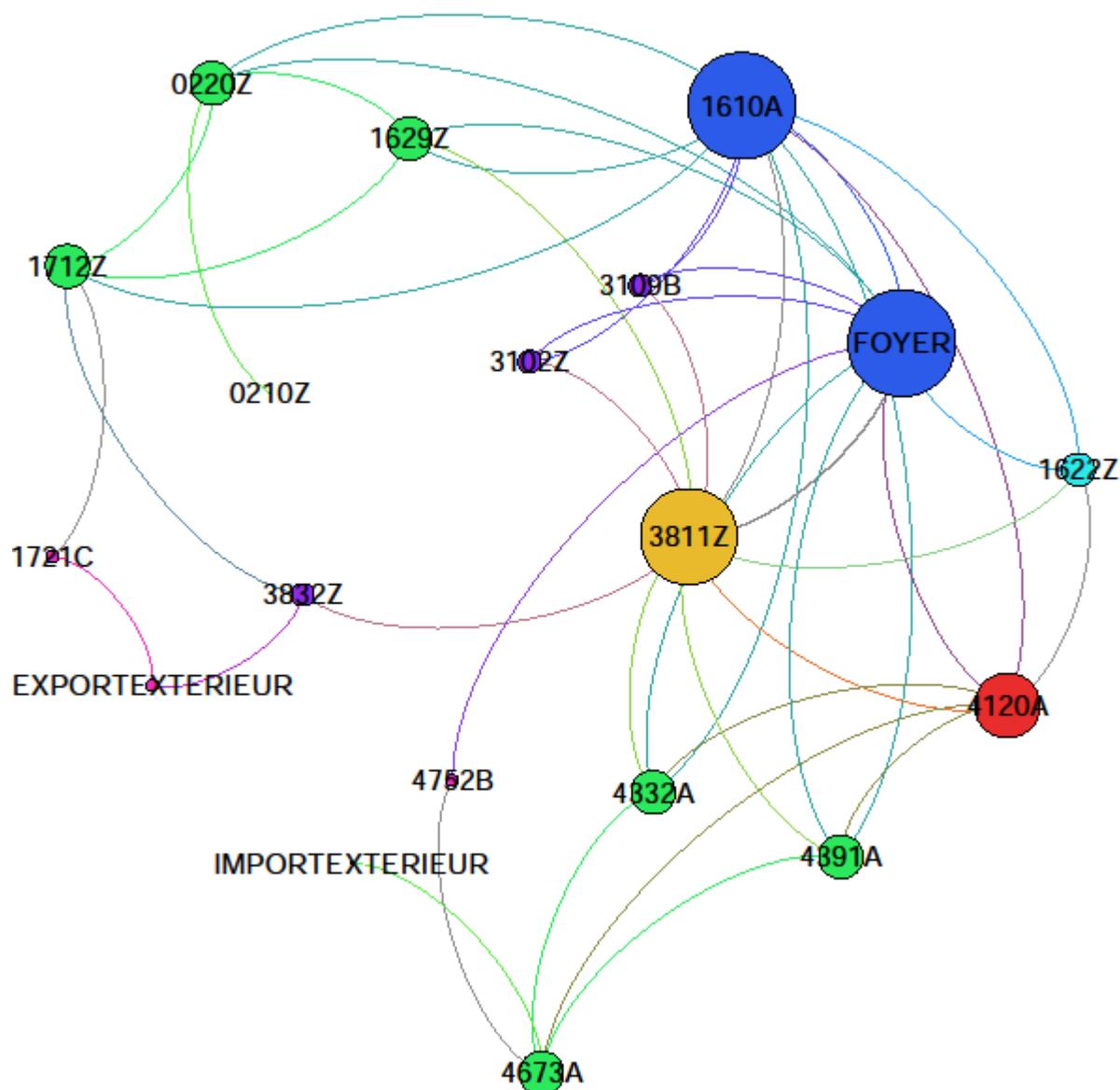


Figure 19 : Représentation⁸³ du réseau FERME

Sur les Figure 19 et Figure 20, les cercles représentent les activités (code NAF) et les arcs représentent les flux orientés de fournitures (produits, coproduits ou déchets). La taille des cercles est proportionnelle au nombre d'arcs entrants et sortants. L'épaisseur des arcs est fonction du nombre de types de fournitures circulant entre deux sommets

⁸³ Les figures 1 et 2 sont produites au moyen du logiciel Gephi. Les couleurs représentent des classes de degrés, la taille des nœuds est fonction des valeurs d'intermédiarité. L'algorithme de spatialisation est force-atlas.

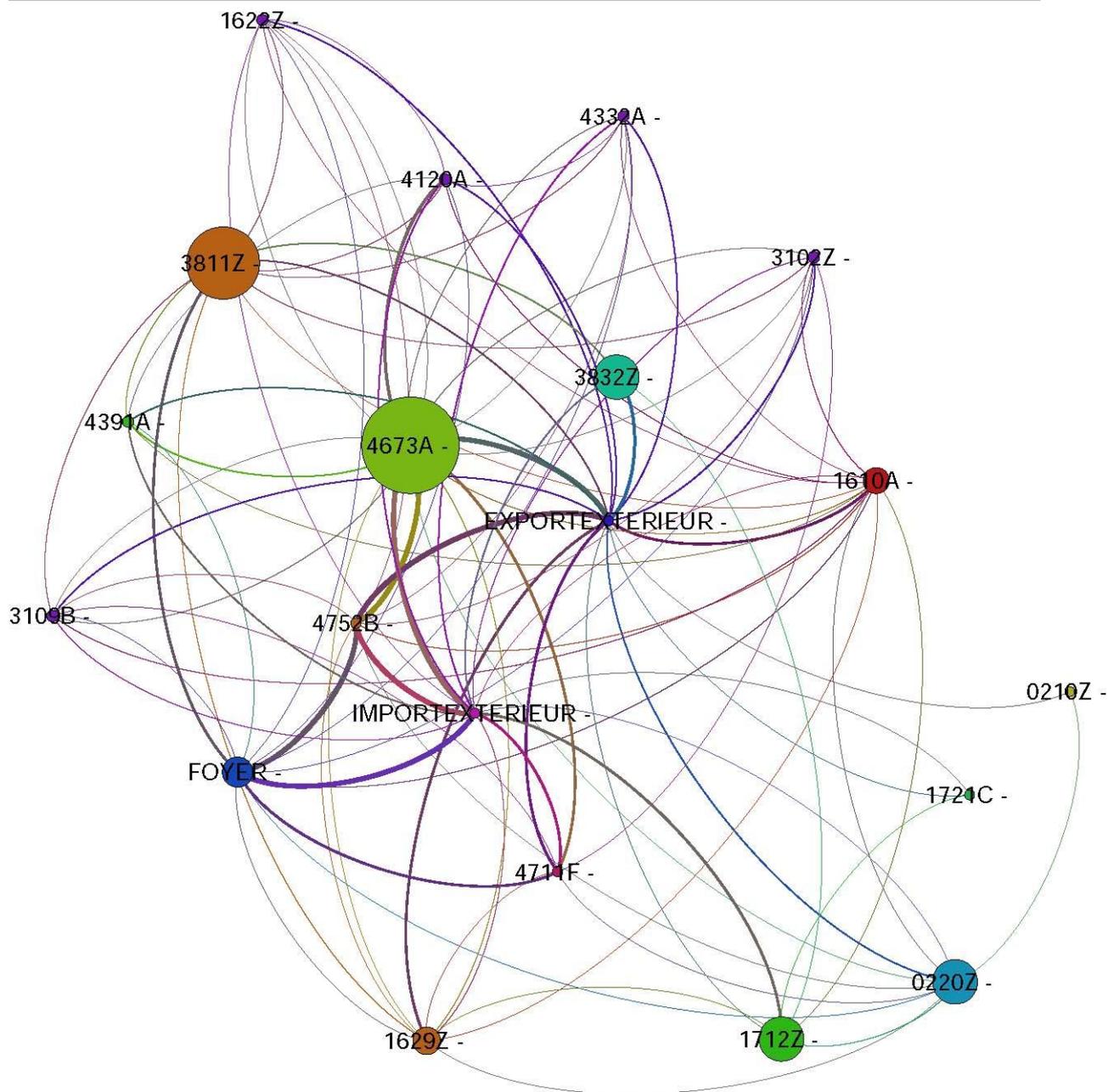


Figure 20 : Représentation du réseau OUVERT

Les indicateurs suivants ont été utilisés pour comparer ces deux réseaux :

a. Les différences structurales

	Les caractéristiques calculées et angles de lecture	FERME	OUVERT
1	Nombre de nœuds	19	20
2	Nombre d'arcs (lien orienté d'un fournisseur vers un client)		
	OP et ONP	45	99
	NOP et NONP	45	94
3	La longueur moyenne des chemins entre nœuds		
	ONP	2.23	1.74
	NONP	2.16	1.51
4	L'affinité moyenne entre les nœuds		
	OP	0.88	1.59
	NOP	0.86	2.21
5	La longueur du plus long chemin géodésique entre deux nœuds		
	OP et ONP	6	5
	NOP et NONP	5	5
5	La plus forte affinité	2.81	3.78
7	La densité ⁸⁴		
	OP et ONP	0.13	0.26
	NOP et NONP	0.26	0.49
8	La moyenne des degrés des nœuds	2.37	4.95
9	La moyenne des degrés pondérés (par le nombre de fournitures)		
	OP	3.37	11.80
	NOP	3.37	11.80
10	Nombre de chemin le plus court		
	OP et ONP	129	199
	NOP et NONP	342	380

Tableau 12 : Analyse topologique des deux réseaux

Le fait de donner la priorité aux approvisionnements les plus proches (cas du réseau FERME) rend superflue la présence d'importateurs qui mettent à disposition des biens d'ores et déjà présents sur le territoire. L'activité d'hypermarché (4711F) propose une gamme de fourniture (bois de chauffage, objets divers, mobilier de cuisine, meubles) également proposée par les producteurs du territoire. L'activité d'hypermarché n'est donc pas présente dans le graphe du scénario FERME. Par conséquent, nous observons sur le Tableau 12 que le graphe du réseau OUVERT est plus large que celui du réseau FERME (Tableau 12, ligne 1).

⁸⁴ La densité mesure à quel point le réseau est près d'être complet. Un réseau complet à tous les liens possibles et une densité égale à 1. Exemple pour le réseau OUVERT : $(99/(20*19))=0.26$.

Le nombre de relations est deux fois plus important au sein du réseau OUVERT (ligne 2). Les sommets de ce réseau ont en moyenne presque deux fois plus d'activité (ligne 8) et 11.8 produits par relations contre 3.37 dans l'autre réseau (ligne 9). Les acteurs de ce réseau sont globalement plus actifs et ont des collaborations plus diversifiées.

La distance géodésique moyenne est significativement plus courte au sein du réseau OUVERT (ligne 3). Les résultats suggèrent que les chaînes d'approvisionnement sont plus courtes dans le réseau qui ne privilégie pas les relations locales. En vérité, le nombre de processus nécessaire aux chaînes ne varie pas, c'est la portion de la chaîne traitée par des acteurs du territoire qui est plus courte. En effet, au sein du réseau OUVERT chaque activité a accès directement aux fournitures provenant de l'environnement. Or dans le cas du réseau FERME, tous les processus se succèdent en interne. Les chaînes sont donc en moyenne plus longue et le diamètre du réseau également.

En revanche, si le nombre de fournitures transmises par relation est interprété comme un indicateur de degré d'interaction entre activités⁸⁵ (OPSAHL, 2009, 2015), alors nous observons une différence significative en faveur du réseau OUVERT qui présente une meilleure valeur d'affinité globale (ligne 4).

Aucun des deux réseaux n'est connexe. Néanmoins, le réseau OUVERT comporte plus de chemins (ligne 10). Ce qui indique qu'au sein de ce réseau un plus grand nombre d'activités sont en contact indirect.

b. Études des centralités des activités

La centralité de degrés entrants classe les activités en fonction de leur nombre de fournisseurs et la centralité de degrés sortant en fonction du nombre de clients. L'association de ces deux centralités, la centralité de degré, montre le dynamisme de l'activité dans son réseau.

L'analyse des degrés par secteur met en évidence une distribution différente selon les scénarios (Figure 21 : Courbes des moyennes de centralité de degré par niveau). Dans le cas du réseau OUVERT (courbe rouge), l'environnement joue un rôle actif, du fait

⁸⁵ Par exemple, un détaillant aurait un degré d'échange plus important avec un grossiste qui lui fournirait 15 références différentes qu'avec celui qui lui fournirait qu'une seule référence.

que chaque activité peut importer ou exporter des fournitures. Les moins actifs en termes relationnels sont les activités de production (sylviculture et de travaux forestiers). Dans le cas du réseau FERME (courbe verte), le secteur le plus actif est celui de la consommation des foyers. L'environnement tient la place la moins centrale.

Au regard des courbes, le niveau moyen d'activité est plus important au sein du réseau OUVERT. Ce dernier montre un dynamisme fondé sur les filières de production extérieures au territoire. Le réseau FERME montre un dynamisme privilégiant une partie de la production locale et le traitement des déchets.

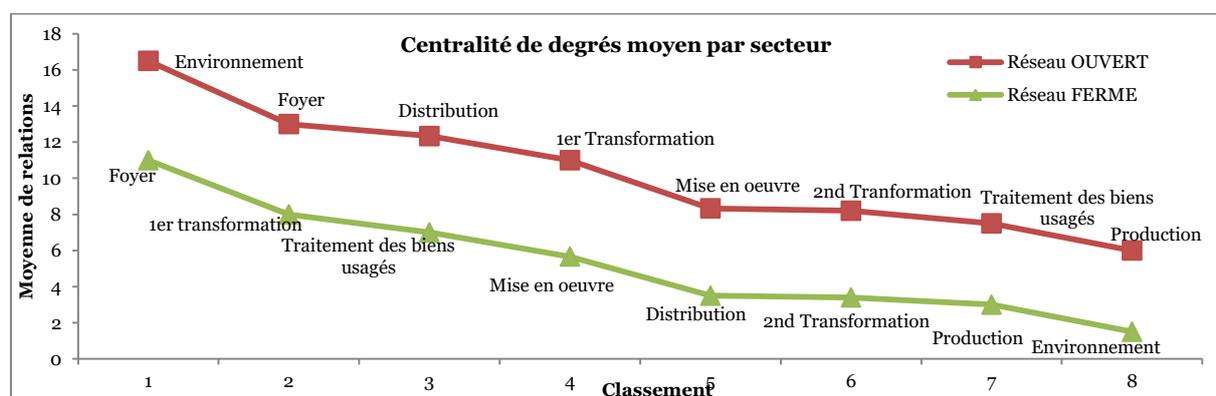


Figure 21 : Courbes des moyennes de centralité de degré par niveau

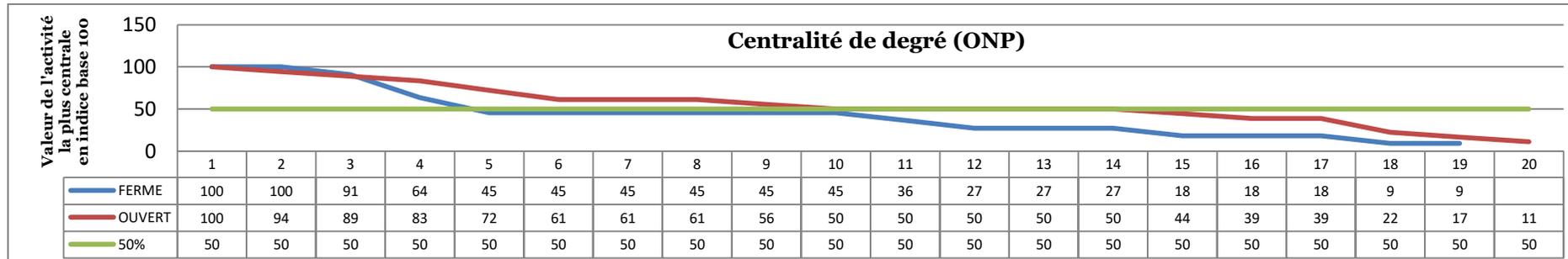
L'analyse de centralités des degrés par activité affine les résultats du paragraphe précédent. Au sein du réseau FERME, seules quatre activités sur 19 sont au-dessus de 50 % de la valeur maximale concernant la centralité de degré (Figure 22 : Comparaison des courbes de centralité de degré, p. 134). C'est aussi le cas pour 3 activités concernant la centralité de degrés entrants (Figure 23) et le cas d'une seule activité pour la centralité de degré sortant (Figure 24). Dans ce dernier tableau, nous observons un différentiel de 60 % de la valeur maximale en base 100, entre l'activité la plus centrale (sciage [1610A]) et la seconde (travaux forestiers [0220Z]). Bien que la moyenne des écarts entre les valeurs des autres activités soit de 10 %. Ces valeurs indiquent une forte centralité de l'activité de sciage. Concernant la courbe des degrés entrants, le FOYER le principal destinataire des fournitures (Figure 23). Les activités de transformations [1610A, 4120A], de traitement de déchets [3811Z] et de consommation du produit final [FOYER] sont les plus actives.

Concernant le réseau OUVERT, quatorze activités sur 20 sont au-dessus de 50 % de la valeur maximale concernant la centralité de degré. L'environnement (Export et

Import) est le plus actif, en appui sur les activités de distribution (Figure 22). Le FOYER bénéficie de ces activités, puisqu'il en est le principal destinataire après l'exportation vers l'environnement (Figure 23). L'importation est la principale source d'émission de flux du réseau (Figure 24). L'étude des différentiels de point de valeur dans les classements de degré sortant montre une valeur maximale de 29 %, avec une moyenne des écarts entre les autres activités de 4 % (Figure 24).

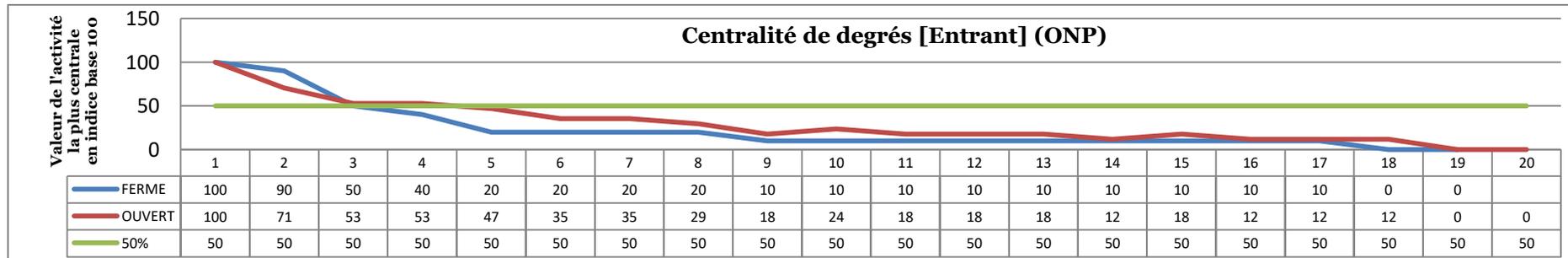
Concernant la centralité d'intermédiarité les deux réseaux montrent la même structure dans le cas orienté pondéré et non-pondéré. Deux activités sont très centrales et un taux important des autres activités présentes des valeurs de centralité d'intermédiarité nulles (Figure 25 et Figure 26). Dans le cas du réseau FERME, ce sont les activités de récolte et de traitement des déchets qui sont les plus à l'interface. Alors que dans le cas du réseau OUVERT, c'est d'abord l'activité de commerce de gros, puis l'activité de récolte de déchets qui sont le plus à l'interface des autres.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	1610A	FOYER	3811Z	4120A	0220Z	1712Z	1629Z	4332A	4391A	4673A	1622Z	3832Z	3102Z	3109B	EXPORT EXTERIE UR	1721C	4752B	0210Z	IMPOR TEXTERI EUR	
OUVERT	4673A	EXPORT EXTERIE UR	IMPOR TEXTERI EUR	1610A	FOYER	4752B	3811Z	1629Z	0220Z	4120A	3102Z	3109B	4332A	1622Z	4711F	4391A	1712Z	3832Z	1721C	0210Z

Figure 22 : Comparaison des courbes de centralité de degré



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	FOYER	3811Z	4120A	1712Z	EXPORTE XTERIEU R	1629Z	4332A	4391A	3832Z	3102Z	3109B	0220Z	1610A	1622Z	1721C	4673A	4752B	0210Z ⁸⁶	IMPORTE XTERIEU R	
OUVERT	EXPORTE XTERIEU R	FOYER	4752B	3811Z	4673A	4120A	4711F	1712Z	4391A	1629Z	3102Z	3109B	4332A	3832Z	1622Z	0220Z	1610A	1721C	0210Z	IMPORTE XTERIEU R

Figure 23 : Comparaison des courbes de centralité de degré (entrant)

⁸⁶ Sont en rouge, les activités dont les valeurs sont nulles.

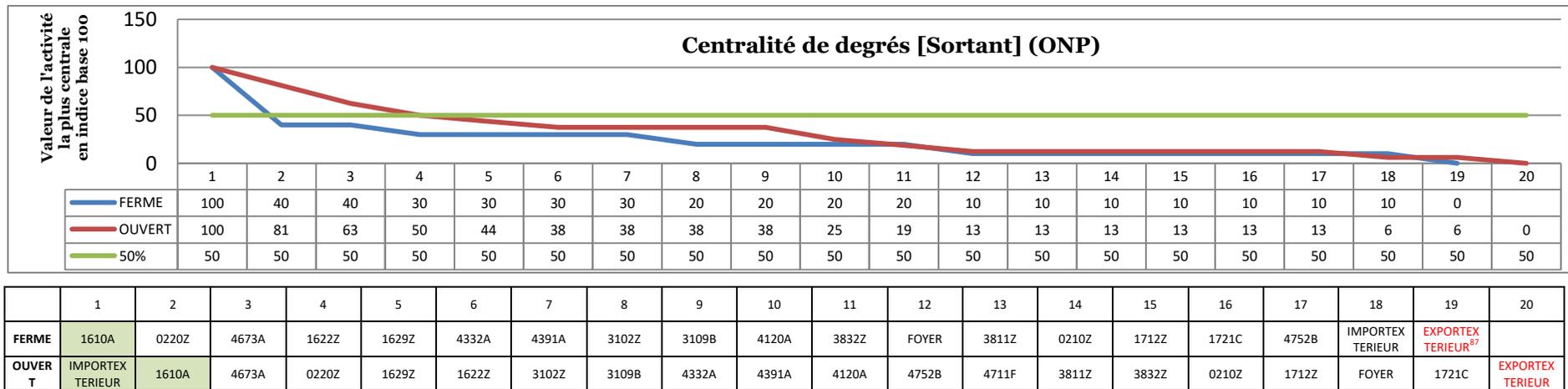
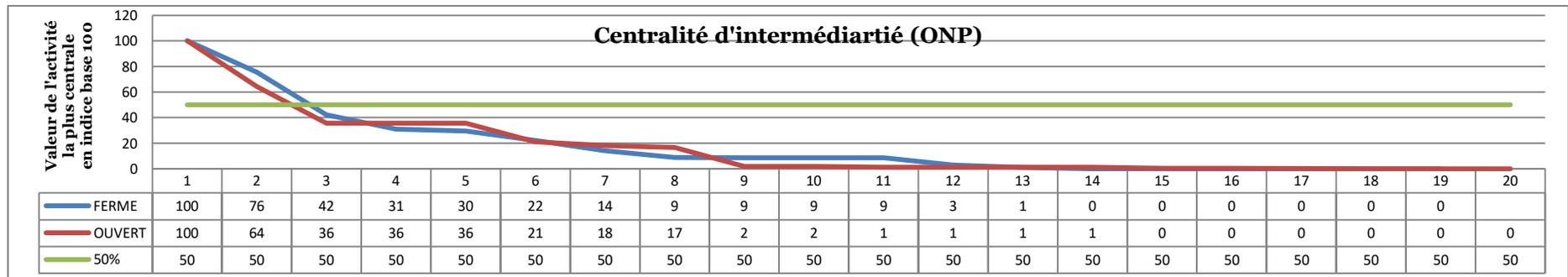


Figure 24 : Comparaison des courbes de centralité de degré (sortant)

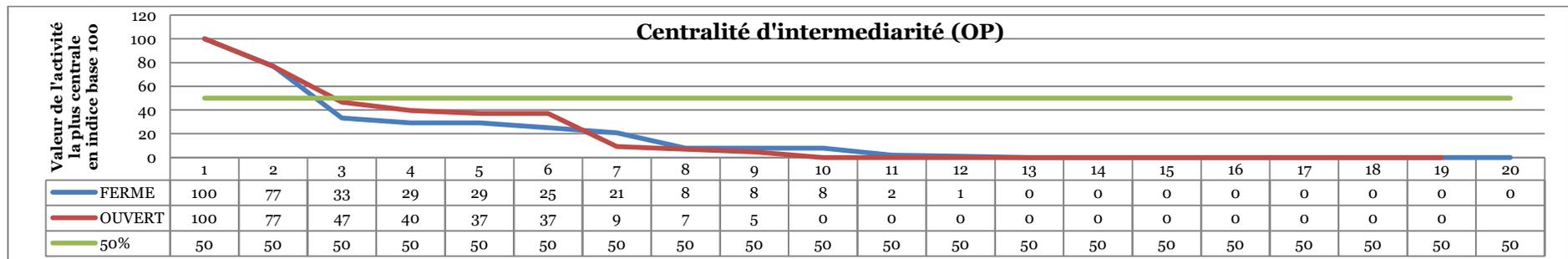
⁸⁷ Sont en rouge, les activités dont les valeurs sont nulles.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z	3832Z	1712Z	0220Z	1610A	4673A	FOYER	1721C	4120A	4332A	4391A	1629Z	4752B	0210Z ⁸⁸	1622Z	3102Z	3109B	EXPOR TEXTE RIEUR	IMPOR TEXTE RIEUR	
OUVERT	4673A	3811Z	0220Z	1712Z	3832Z	FOYER	1629Z	1610A	3102Z	3109B	1622Z	4120A	4332A	4391A	4711F	4752B	1721C	0210Z	IMPOR TEXTE RIEUR	EXPO RTEX TERIEU R

Figure 25 : Comparaison des courbes d'intermédiarité



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z	3832Z	1712Z	0220Z	FOYER	1610A	4673A	4332A	4391A	4120A	1721C	4752B	0210Z	1622Z	1629Z	3102Z	3109B	IMPORTE XTERIEU R	EXPORTE XTERIEU R	
OUVERT	4673A	3811Z	3832Z	FOYER	0220Z	1712Z	4752B	1610A	1629Z	0210Z	1622Z	1721C	3102Z	3109B	4332A	4391A	4120A	4711F	IMPORTE XTERIEU R	EXPORTE XTERIEU R

Figure 26 : Comparaison des courbes d'intermédiarité pondéré

⁸⁸ Sont en rouge, les activités dont les valeurs sont nulles.

c. Ce qu'il faut retenir des caractéristiques des réseaux

L'ouverture à l'environnement augmente l'activité globale des agents

La possibilité pour chaque agent du territoire de collaborer avec ceux de l'environnement au travers les importations et les exportations augmente le taux d'activité globale du réseau. Ainsi, le nombre et la densité de relation sont plus importants dans le cas du réseau OUVERT. De fait, le taux d'activité des acteurs du réseau OUVERT est plus important que celui du réseau FERME.

L'ouverture à l'environnement augmente la valeur globale des échanges économique

Chaque lien entre deux agents correspond à une relation économique. Du fait que l'activité globale au sein du réseau OUVERT est plus importante, la valeur économique globale est également plus importante. Le réseau OUVERT contient 171 relations économiques de plus que le réseau FERME (131 produits, 40 connexes et aucun déchet).

Le nombre de relations impliquant des produits et des connexes au sein du réseau OUVERT est proportionnellement plus important (Tableau 13). Le réseau FERME contient très peu d'activités capables de valoriser les connexes. Alors que dans le cas du réseau OUVERT, l'accès à l'environnement augmente considérablement le potentiel de valorisation de ces types de fourniture.

Le nombre de relations impliquant des déchets est identique pour les deux réseaux, en raison de la méthode de construction des modèles qui exclut la possibilité d'importer ou d'exporter des déchets. Nous avons fait l'hypothèse que la valeur des déchets ne compense pas le coût du transport nécessaire à l'importation et à l'exportation. De fait, la valeur relative au regard des autres types fournitures (produit, connexe) est moindre dans le réseau OUVERT.

	FERME	OUVERT
Relations impliquant des produits (%)	0,56	0,71
Relations impliquant des connexes (%)	0,10	0,20
Relations impliquant des déchets (%)	0,35	0,09

Tableau 13 : Ratio des relations au regard des types de fournitures

L'ouverture à l'environnement n'augmente pas le ratio de valeurs des produits

Nous analysons les relations au sein des réseaux OUVERT et FERME en leur affectant une valeur. Nous considérons que la valeur⁸⁹ des fournitures augmente le long de la chaîne des activités selon la courbe ci-dessous (Figure 27), tout en respectant une hiérarchie entre les produits, les connexes et les déchets. La valeur moyenne de l'ensemble des produits est supérieure à celle des connexes, elle-même supérieure à celle des déchets.

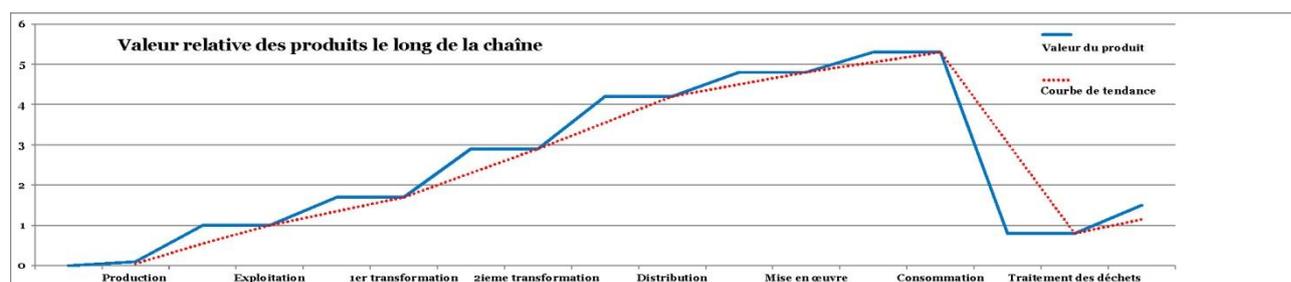


Figure 27 : Evolution des valeurs relatives des fournitures le long de la chaîne d'activité

La part de la valeur des connexes et des déchets diffère entre les deux réseaux (Tableau 14). La valeur globale des connexes est supérieure à la valeur des déchets dans le réseau OUVERT, ce qui n'est pas le cas pour le réseau FERME (lignes 1-2). Ce résultat suit logiquement la tendance observée dans le Tableau 13. Là encore, l'ouverture vers l'environnement crée plus d'opportunités (ligne 4). Cela induit une meilleure valorisation des connexes et un meilleur résultat économique (ligne 5).

	FERME	Caractéristiques calculées	OUVERT
1	4,50 (0,05)	Valeur totale des déchets (ratio)	4,60 (0,01)
2	2,10 (0,02)	Valeur totale des connexes (ratio)	25,75 (0,06)
3	86,35 (0,93)	Valeur totale des produits (ratio)	413,95 (0,93)
4	63,00	Nombre de relations	234,00
5	92,95	Somme des valeurs des fournitures ⁹⁰	444,30

Tableau 14 : Répartition des valeurs en fonction des types de fournitures

La valeur globale des réseaux repose pour un taux identique sur la valorisation des produits (ligne 3), bien que le réseau FERME contienne moins de relations impliquant

⁸⁹ Prix observé pour un panel de produits

⁹⁰ Il existe une différence significative entre ces valeurs. p-value = 0.01592 (test de student)

des produits. Ainsi, 93 % de la valeur globale des réseaux repose sur 56 % des relations dans le cas FERME et 71 % dans le cas OUVERT.

Les caractéristiques des activités influencent l'organisation du réseau.

Nous distinguons deux échelles d'observation correspondant à deux types d'éléments. La première échelle égocentrée est celle de l'élément « activité » caractérisable en degré et en poids. La seconde est sociocentrée et correspond à l'élément « réseau » caractérisable en chemins, en distances, et en centralités. Il existe une relation de cause à effet entre ces deux types d'éléments. D'un côté, la structure réticulaire est la combinaison de chacune des activités. De l'autre, le classement relatif de chaque activité (les centralités) dépend de ses combinaisons avec toutes les autres, autrement dit du réseau. Chacune des activités en raison de ses caractéristiques dessine elle-même son réseau et influence toutes les autres activités

Dans notre modélisation nous avons utilisé des hypothèses illustrant 2 scénarios contrastés. Ces hypothèses ont conditionné les caractéristiques de nos activités forestières (nombre de fournisseurs et de clients) aboutissant à des réseaux (FERME/OUVERT) dont l'organisation et la structure diffèrent significativement.

La possibilité de collaborer avec l'environnement induit une place relative moindre aux agents qui valorisent les fournitures locales.

L'ouverture à l'environnement augmente le nombre de collaborations de chacune des activités, ce qui améliore leur résultat économique. L'environnement apporte un bienfait économique, mais les relations qu'il engendre restructurent les chemins du réseau et modifient l'importance relative des activités.

Du fait de leur polyvalence et de leurs aptitudes à importer et exporter, les activités de distribution prennent une place prépondérante au sein du réseau OUVERT. Ces caractéristiques leur confèrent une position centrale dans ce réseau, avec la conséquence de court-circuiter les distances entre les consommateurs et les produits. Les activités locales y gagnent en termes production économiques, mais y perdent en position relative. Cette perte de position relative se traduit notamment par une diminution de la possibilité d'être sur les chemins d'approvisionnements (centralité d'intermédiation) ou encore par la diminution de leurs proximités globale et relative (centralité de proximité).

Ces deux réseaux peuvent ne pas avoir les mêmes propriétés systémiques.

Les réseaux sont caractérisés par des chemins, des distances géodésiques et les positionnements relatifs des éléments qui le constituent. Nous avons vu que ces caractères s'expriment par des différences de connectance, de capacité de transmissions d'informations et de proximité relationnelle. Ces différences observables sont également des indicateurs de propriétés réticulaires émergentes.

Puisque ces scénarios ont abouti à des réseaux dont les caractéristiques descriptives sont différentes, il est pertinent de se poser la question des différences de propriétés émergentes qu'ils peuvent posséder. Notamment celles mises en cause dans les mécanismes des durabilités

2. Résultats de l'analyse des durabilités

Après l'observation des caractéristiques structurales des réseaux, voyons maintenant les résultats relatifs aux indicateurs de durabilité.

a. Durabilité au regard de leur robustesse

i. Les composantes fortement connexes

Algorithme de calcul ⁹¹		FERME		OUVERT	
		Taille de la plus grande composante	Rapport à la taille du réseau	Taille de la plus grande composante	Rapport à la taille du réseau
N1 est connecté à N2 s'il existe un chemin orienté de N1 vers N2 et un chemin orienté N2 vers N1	Forte	1	0.053	6	0.3
N1 est connecté à N2 s'il existe une séquence de nœuds Na, ..., Nz tel que N1, Na, ..., Nz, N2 et N2, Nz, ..., Na, N1 sont des chemins orientés	Réursive	1	0.053	6	0.3
N1 est connecté à N2 s'il existe un chemin orienté de N1 vers N2 <u>ou</u> un chemin orienté de N2 vers N1	Unilatérale	15	0.79	18	0.9

Tableau 15 : Tailles des plus grandes composantes connexes des réseaux FERME et OUVERT

Les résultats obtenus au moyen de l'approche « réursive » ou de l'approche « forte » montrent la présence d'une composante connexe de 6 nœuds au sein du réseau

⁹¹ Algorithm « component.dist », Package (sna) ; West, D.B. (1996). *Introduction to Graph Theory*. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall.

OUVERT. Dans ces mêmes conditions, le réseau FERME ne présente pas de composante connexe.

La même recherche au moyen de l'approche « Unilaterale » met en évidence la présence de plusieurs composantes connexes au sein des deux réseaux. Le réseau OUVERT comprend deux composantes, dont la plus large est de 18 nœuds. Le réseau FERME comporte 4 composantes, dont la plus large est de 15 nœuds.

ii. L'efficacité du réseau

Le calcul de l'efficacité donne l'importance d'un nœud par l'observation de l'impact de sa désactivation sur le fonctionnement de l'ensemble. Plus précisément cet indicateur donne l'impact du prélèvement d'un nœud sur l'affinité globale du réseau orienté pondéré. Une valeur proche de 1 indique un impact très fort sur l'affinité globale. À l'inverse, une valeur proche de 0 indique une faible influence de la disparition du nœud.

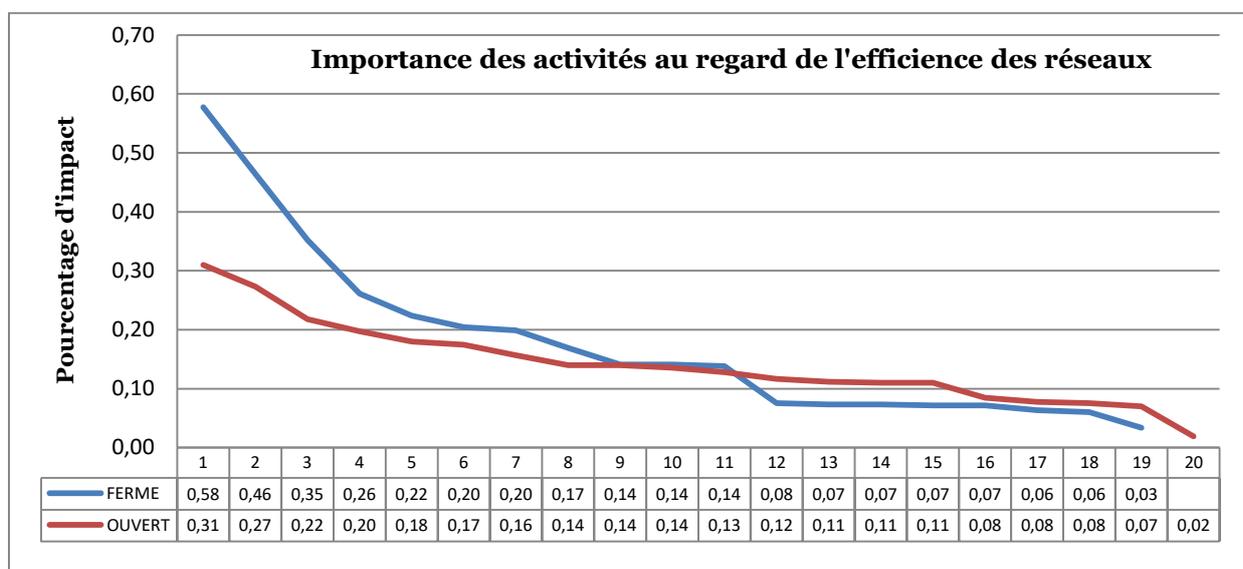


Figure 28 : Importance des activités au regard de l'efficacité des réseaux

Les courbes ont la même tendance (Figure 28). Il n'existe pas de différence significative entre les valeurs d'efficacité obtenues. Néanmoins, la variance est significativement plus importante dans le cas du réseau FERME ($0,14 > 0,06$). La valeur maximale est de 0,31 au sein du réseau OUVERT, alors que trois valeurs sont au-dessus de 0,35 dans le cas du réseau FERME. La désactivation d'au moins une de ces 3 activités impacterait près de 60 % de la valeur d'affinité du réseau.

La Figure 29 ci-dessous permet de comparer l'importance relative des activités au sein des réseaux.

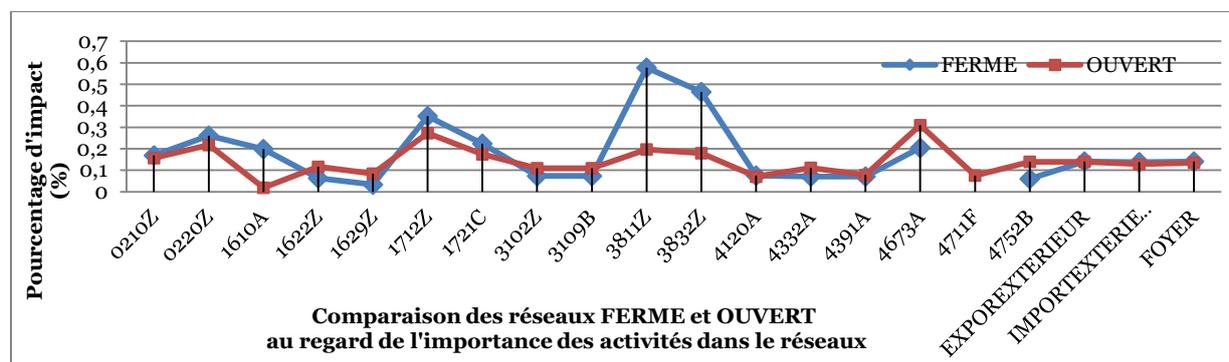


Figure 29 : Comparaison des réseaux au regard du critère d'efficience

Les activités de récolte [3811Z] et de valorisation des déchets [3832A] sont des maillons sensibles dans le cas du réseau FERME. La disparition d'une de ces activités modifie plus de 40 % de la valeur d'affinité de l'ensemble. En revanche, ces activités ne sont pas sensibles dans le cas du scénario OUVERT. L'activité de sciage [1610A] affiche une valeur d'efficience de 0,02 %. Ce qui veut dire que le réseau OUVERT ne serait pas impacté par la disparition de l'activité de sciage.

iii. Ce qu'il faut retenir de l'analyse de la robustesse

Ces réseaux sont segmentés de relations de type « fournisseurs-clients »

Les résultats du premier indicateur montrent que le réseau OUVERT dispose de la plus longue chaîne de relations. Mais la différence entre les deux réseaux n'est pas significative. En raison des flux physiques unidirectionnels de l'amont vers l'aval, les transferts entre activités sont non réciproques. Ces réseaux sont segmentés en une cascade de paires de relations « fournisseurs-clients », au sein de laquelle tout acteur est à la fois fournisseur et client (Figure 30).

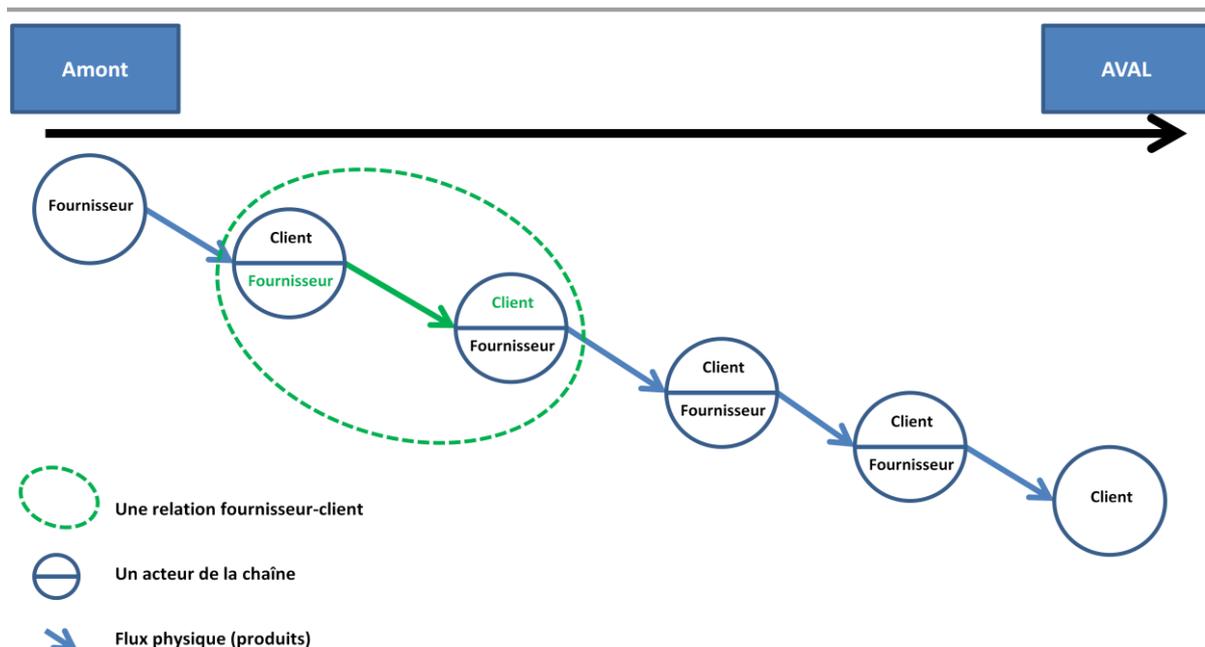


Figure 30 : Cascade de relations « fournisseur-client »

Néanmoins, au sein du réseau OUVERT chaque activité a la possibilité de s’approvisionner en interne et en externe, ce qui double le nombre de relations potentielles et donc diminue leur vulnérabilité face à la rupture. Une rupture en amont de la filière impacterait les processus qui sont en aval du fait de l’enchaînement en cascade. Le réseau FERME paraît ainsi plus sensible, car les voies d’approvisionnement sont moins diversifiées.

Les activités à fort niveau d’intermédiation sont importantes pour les réseaux.

Des travaux montrent que la vulnérabilité du système est liée aux activités les plus connectées (CHOPRA ET KHANNA, 2014; ZHU ET RUTH, 2013). Nos résultats ne contredisent pas ces travaux, d’ailleurs les activités au-dessus du seuil de sensibilité affichent des valeurs de degrés au-dessus de la moyenne. Néanmoins, nos résultats montrent que dans une vision fonctionnelle des relations de productions, les activités à fort niveau d’intermédiation induisent également une vulnérabilité des systèmes. Les extraire du réseau revient à les extraire simultanément d’une multitude de chaînes interdépendantes. Au sein de chaque chaîne, une telle disparition prive les autres activités d’un maillon indispensable à leur fonctionnement.

Le réseau OUVERT est plus sensible aux perturbations aléatoires, mais à un niveau de conséquence moindre.

Le niveau de perturbation moyen des activités est de 0.18 % pour le réseau FERME contre 0.14 % dans le réseau OUVERT. Pour chaque réseau, les activités au-dessus de ce seuil sont celles dont la disparition est la plus dommageable. Donc d'un point de vue holistique, ces activités sont les plus sensibles du réseau. Le réseau OUVERT présente 9 activités sur 20 à un niveau égal ou supérieur à ce seuil, contre 7 sur 19 pour le réseau FERME. Ce qui indique que ce dernier est légèrement moins sensible à des perturbations qui surviendraient de façon aléatoire.

Néanmoins, la moyenne des valeurs d'impact des activités au-dessus du seuil est de 0.15 pour le réseau FERME contre 0.06 pour le réseau OUVERT. Cela indique qu'une attaque ciblée sur ces activités impacterait la globalité du réseau dans des proportions plus importantes que pour le réseau OUVERT.

Le facteur intermédiarité explique en partie les valeurs d'impact de l'indicateur d'efficacité. Les 4 activités les plus sensibles du réseau FERME sont les 4 activités les plus centrales sur le critère d'intermédiarité. Or, dans le réseau OUVERT, l'activité la plus centrale est effectivement la plus sensible, mais il n'y a pas véritablement concordance pour les activités suivantes.

b. Durabilité au regard de la flexibilité

i. La densité du réseau

À la suite d'une perturbation, les activités du réseau seront plus à même de recréer des relations, si l'information circule entre elles. Les voies de diffusion de l'information s'appuient sur les relations existantes entre activités du réseau. La flexibilité se fonde sur la capacité des acteurs à se transmettre rapidement de l'information. C'est pourquoi nous nous sommes basés sur l'angle de lecture non-orienté pondéré (NOP) et non pondéré (NONP).

Le réseau OUVERT (0.49) est plus dense que le réseau FERME (0.26) (Tableau 12, page 130). L'information est susceptible de se diffuser plus aisément et de manière homogène au sein du premier réseau. Ce résultat est directement lié au degré moyen plus élevé des activités du réseau OUVERT, du fait que ces activités ont la possibilité

d'interagir entre elles, mais également avec des activités situées à l'extérieur de la CCM.

La répartition de la densité se fait le long du gradient de centralité de degrés. La courbe qui illustre ce gradient est plus homogène dans le cas du réseau OUVERT que dans celui du réseau FERME, mais les relations en jeux au sein de ce réseau impliquent fortement l'environnement.

ii. La centralité de proximité⁹²

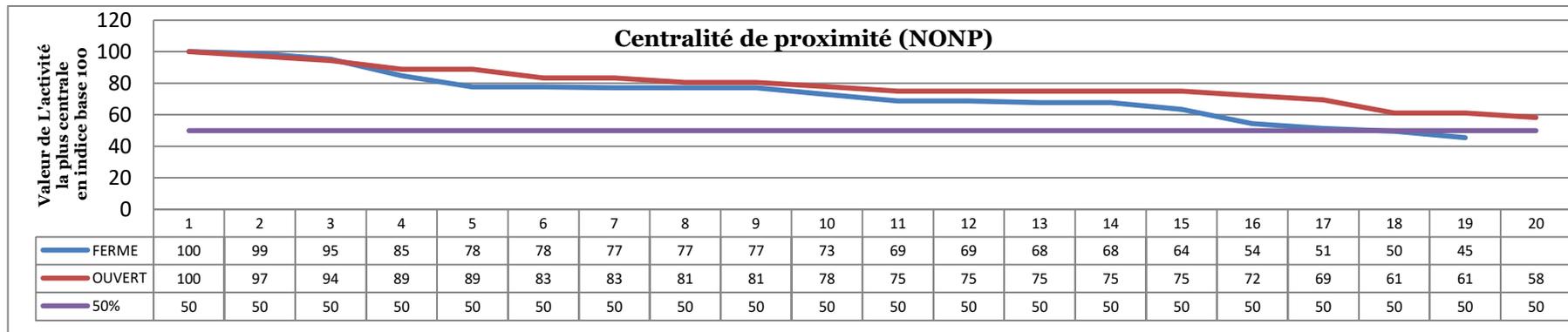
La centralité de proximité met en avant un positionnement structurel des nœuds. Le nœud le plus central est le plus proche de l'ensemble des autres nœuds et donc est celui qui a le plus de facilité à entrer en contact avec une majorité.

Le calcul de la centralité pour un nœud « X » intègre deux paramètres : le nombre de nœuds en relation direct et indirect avec « X » et la distance géodésique qui les sépare. Calculé à partir d'un graphe orienté, cet indicateur permet de mettre en évidence l'acteur qui reçoit et émet des fournitures au plus grand nombre. Calculé à partir d'un graphe non-orienté, ce même indicateur permet de mettre en évidence l'acteur le plus susceptible d'échanger des informations avec le plus grand nombre dans un délai le plus court.

Les résultats de la Figure 31 montrent que les deux réseaux sont globalement homogènes lorsque l'on ne considère pas la valeur des relations. Les pentes des courbes sont semblables et les activités sont au-dessus des 50 % de la valeur la plus centrale. Les courbes ne présentent pas de centralité importante.

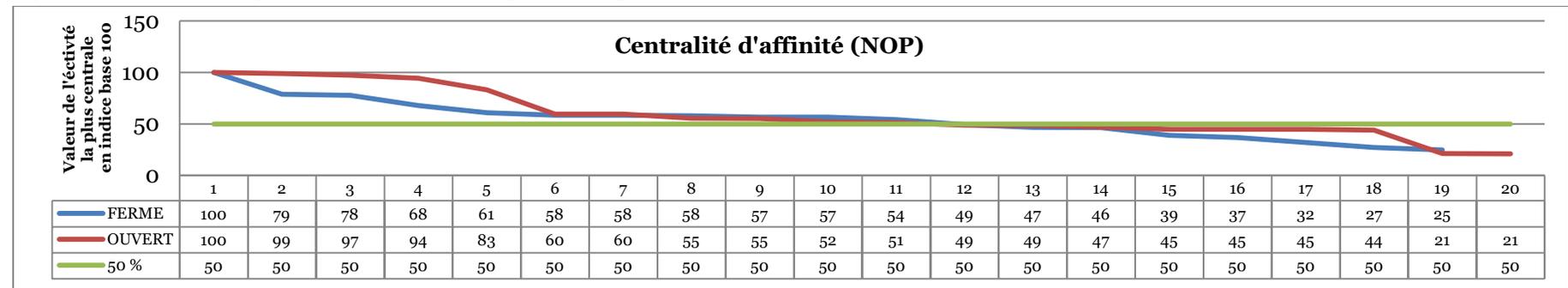
Au sein du réseau OUVERT, les activités de la CCM présentent une forte proximité avec les activités de l'environnement. L'activité de sciage [1610A] est la plus centrale avant même celle de commerce de gros [4673A].

⁹² Calculé au moyen du logiciel R, package Tnet (OPSAHL, 2015)



Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	1610A	FOYER	3811Z	4120A	4332A	4391A	0220Z	1629Z	1712Z	1622Z	4673A	3832Z	3102Z	3109B	4752B	1721C	EXPORTEXTERIEUR	0210Z	IMPORTEXTERIEUR	
OUVERT	EXPORTEXTERIEUR	IMPORTEXTERIEUR	1610A	4673A	FOYER	3811Z	4752B	0220Z	1629Z	4120A	1622Z	3102Z	3109B	4332A	4711F	4391A	1712Z	3832Z	1721C	0210Z

Figure 31 : Centralité de proximité (fondé sur l'angle orienté pondéré (NONP))



Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z	FOYER	3832Z	1610A	4120A	3102Z	3109B	1629Z	4332A	4391A	1622Z	EXPORTEXTERIEUR	1712Z	0220Z	4673A	4752B	1721C	0210Z	IMPORTEXTERIEUR	
OUVERT	EXPORTEXTERIEUR	4752B	4673A	IMPORTEXTERIEUR	FOYER	4711F	3832Z	3811Z	4120A	1610A	1629Z	1712Z	4391A	4332A	3109B	3102Z	0220Z	1622Z	1721C	0210Z

Figure 32 : Centralité de proximité (fondé sur l'angle non orienté pondéré (NOP))

La structure des courbes change lorsque l'on intègre le poids des relations (Figure 32). Les différentiels entre la valeur la plus centrale et la moins centrale augmentent. La moitié des activités passent en dessous des 50 % de la valeur la plus centrale.

Concernant le réseau OUVERT, les centralités des 5 premières activités s'accroissent. Les valeurs des deux activités les moins centrales sont également plus marquées.

Concernant la courbe du réseau FERME, il y a peu de changement, elle garde la même tendance que sur le graphe précédent.

Le calcul de la proximité ne montre pas de différences entre les réseaux FERME et OUVERT. Les deux courbes présentent une centralité modérée. En revanche lorsque l'on observe ces relations en intégrant le poids, les activités de distributions apparaissent plus centrales dans le cas du réseau OUVERT.

iii. Ce qu'il faut retenir de l'analyse de la flexibilité

L'hétérogénéité des activités crée spontanément des différences organisationnelles

Les différences de résultats entre les réseaux FERME et OUVERT sont induites par les différences de caractéristiques des activités. Le réseau OUVERT contient plus de relations que le réseau FERME du fait de l'accès à l'environnement. En conséquence, les différences de valeur de densité que nous avons calculée sont induites par le cahier des charges des scénarios. Mais la courbe de centralité de degré est elle fonction des capacités des activités à collaborer et de la diversité des activités. L'hétérogénéité des degrés est en partie fonction de la nature de l'activité. Les activités de distributions traitent une multitude de produits ce qui implique d'avoir de nombreux fournisseurs et clients. Leurs valeurs de degré sont donc plus élevées. Les activités nécessitant peu de facteurs de production et qui émettent peu de fournitures ont proportionnellement moins de collaborateurs. Les activités à degré élevé ont donc tendance à être plus proches des autres et sont donc susceptibles de transmettre et capter des informations plus aisément.

Le réseau OUVERT paraît plus flexible

Le réseau OUVERT montre une propension à être plus flexible du fait d'un plus grand nombre d'opportunités de collaboration et d'une plus grande proximité entre les activités.

Néanmoins, la densité du réseau est directement liée à la centralité des degrés. Cette dernière montre que les activités de distribution captent une part importante des relations du réseau. Considérant que les flux d'information circulent le long de ces relations, cela suggère que les informations circulent plus aisément entre les activités du territoire et l'extérieur et cela d'autant plus pour les activités de distribution. Mais concernant la circulation de l'information entre les activités du territoire les deux réseaux présentent les mêmes capacités.

c. Durabilité au regard de la stabilité

i. Les communautés

Les résultats de la recherche de communautés au moyen des angles orientés (pondéré et non pondéré) sont résumés ci-dessous :

	Algorithme	FERME				OUVERT			
		Valeur de modularité		Nombre de communautés		Valeur de modularité		Nombre de communautés	
		NP	P	NP	P	NP	P	NP	P
1	Edge_betweenness (sans modification de matrice)	0.17	0.12	6	8	0.00	0.00	4	3
2	Edge_betweenness	0.39	0.36	8	5	0.20	0.11	11	5
3	Optimal	0.43	0.44	5	5	0.28	0.28	5	4
4	Label_prop	0.35	0.27	4	6	0	0	1	1
5	Leading_eigen	0.37	0.38	7	6	0.18	0.05	5	2
6	Multilevel (Louvain)	0.41	0.44	6	5	0.27	0.26	3	3
7	Fast_greedy	0.41	0.43	4	6	0.22	0.27	5	5
8	Spinglass	0.43	0.22	5	6	0.28	0.11	5	4
9	Infomap	0.27	0.36	5	7	0.03	0.02	2	2
10	Walktrap	0.37	0.39	8	8	0.08	0.03	5	3
11	Computemodules (QuaBiMo)	0.50	0.51	7	7	0.31	0.30	4	6

Tableau 16 : Résultats de la recherche de communautés

Dans la littérature, les valeurs de modularités observées oscillent entre 0,3 et 0,7. Ainsi, 0,3 est considéré comme une bonne valeur indicatrice d'un réseau modulaire (CLAUSET, NEWMAN, ET MOORE, 2004; NEWMAN ET GIRVAN, 2004).

Dans le cas du réseau FERME, 10 des 11 algorithmes montrent une valeur de modularité supérieure à 0,3. La recherche de modularité sans modification préalable du réseau montre des résultats non significatifs (Ligne 1 du Tableau 16). Parmi les

recherches sur le réseau uniparti étendu (2-10), les algorithmes 4, 8 et 9 présentent des résultats également non significatifs et 3, 6 et 8 présentent les meilleures valeurs pour les deux modalités (pondérées et non pondéré). Enfin, la recherche sur le réseau biparti montre les valeurs les plus élevées (11).

Dans le cas du réseau OUVERT, seule la recherche sur le réseau biparti (11) atteint la valeur de 0,3 de modularité. Bien que les résultats qui font suite à une transformation des réseaux (2-11) soient en dessous de 0,3, ils montrent de meilleures valeurs de modularité en comparaison avec le réseau non modifié. Cela consolide l'intérêt de la mise en œuvre d'un prétraitement des matrices pour améliorer la valeur de modularité.

Dans le cas du réseau FERME, les 4 algorithmes qui affichent les meilleures valeurs de modularité déterminent un maximum de 5 ou 7 communautés. La constitution de ces communautés diffère, même parmi les groupes qui affichent des valeurs identiques de modularité (Tableau 17).

FERME									
Optimal (modularité : 0,44)					Multilevel (Louvain) (modularité : 0,44)				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0210ZF	1610AF	FOYERF	1712ZF	4752BF	0210ZF		FOYERF	1712ZF	4752BF
0220ZF	1610AC	1622ZF	3811ZF	4673AF	0220ZF		3811ZF	3811ZF	4673AF
1629ZF	1622ZC	3102ZF	1721CF	IMPOR	1629ZF	1610AF	1622ZF	1721CF	IMPOR
0210zC	3102ZC	3109BF	EXPOR	TEXTER	0210C	1622ZC	3102ZF	EXPOR	TEXTER
0220ZC	3109BC	4120AF	TEXTE	IEURF	0220ZC	3102ZC	3109BF	TEXTER	IEURF
1629ZC		4332AF	RIEURF	4332AC	1610AC	3109BC	4120AF	IEURF	4332AC
1712ZC		4391AF	3832ZF	4391AC	1629ZC		4332AF	3832ZF	4391AC
		4391AF	1721CC	4752BC	1712ZC		4391AF	1721CC	4752BC
		FOYERC	EXPOR	4673AC			FOYERC	EXPOR	4673AC
		3811ZC	TEXTE	IMPOR			3811ZC	TEXTER	IMPOR
		4120AC	RIEURC	TEXTER			4120AC	IEURC	TEXTER
			3832ZC	IEURC				3832ZC	IEURC

Tableau 17 : Comparaison des compositions de communautés pour deux algorithmes de même valeur de modularité. L'activité 1610AC ne fait pas partie de la même communauté en fonction de l'algorithme de calcul employé.

L'algorithme (11) fournit à la fois la meilleure valeur de modularité et le plus grand nombre de communautés.

Dans le cas du réseau OUVERT, le nombre de communautés varie de 1 (aucune partition) à 11, mais ces valeurs sont associées à des modularités en dessous du seuil de 0,3. De fait, nous considérons ces découpages comme peu fiables.

L'observation des valeurs de modularité au regard du nombre de communautés montre à la fois une meilleure modularité et un nombre plus important de communautés concernant le réseau FERME (Tableau 18).

Valeur de modularité			0,44 ^P		
			0,44 ^P		
		0,31 ^{NP}	0,43 ^{NP}	0,41	
	0,27	0,28	0,28	0,30 ^P	0,51 ^P
	0,26	0,11	0,28	0,22	0,50 ^{NP}
Moyenne de la modularité	0,27	0,23	0,38	0,31	0,51
Nombre de communautés déterminées	3	4	5	6	7

FERME
 OUVERT

Tableau 18 : Observation des valeurs de modularité au regard du nombre de communautés

ii. Liaisons entre les communautés

Les résultats relatifs à la répartition des relations intercommunautaires sont résumés dans le tableau ci-dessous (Tableau 19) :

	Algorithme	FERME						OUVERT					
		Valeur de modularité		Nombre de communautés		QR		Valeur de modularité		Nombre de communautés		QR	
		ONP	OP	ONP	OP	ONP	OP	ONP	OP	ONP	OP	ONP	OP
1	Optimal	0.43	0.44	5	5	1.27	1.35	0.28	0.28	5	4	1.62	1.58
2	Louvain	0.41	0.44	6	5	1.22	1.38	0.27	0.26	3	3	1.92	1.75
3	Spinglass	0.43	0.22	5	6	1.45	1.28	0.28	0.11	5	4	1.61	1.57
4	Computemodules (QuaBiMo)	0.50	0.51	7	7	1.10	1.15	0.31	0.30	4	6	1.78	1.39

Tableau 19 : Répartition des liaisons intercommunautaires.

Au sein du réseau FERME, les algorithmes 3 et 2 présentent les meilleurs résultats. Ces deux valeurs correspondent également aux deux valeurs de modularité les plus élevées et au nombre de communautés le plus faible.

Pour le réseau OUVERT, les deux valeurs les plus élevées de QR correspondent également au nombre de communauté le plus faible, mais au contraire du réseau FERME à des valeurs de modularité relativement faible.

iii. Ce qu'il faut retenir de l'analyse de la stabilité

La densité à un effet négatif sur la modularité et positif sur la qualité de répartition des relations intercommunautaires.

Nos résultats montrent que la moyenne des valeurs de modularité du réseau OUVERT est inférieure à celle du réseau FERME et qu'inversement la valeur de qualité d'emboîtement est supérieure. Ces résultats corroborent ceux observés dans la littérature sur les systèmes écologiques. Des travaux ont montré que la connectance a un effet positif sur les relations entre communautés et un effet négatif sur la modularité (FORTUNA ET AL., 2010; THEBAULT ET FONTAINE, 2010).

Les relations intercommunautaires diminuent avec le nombre de communautés.

La moyenne des valeurs de QR issues du réseau OUVERT est significativement⁹³ supérieure à celle issue du réseau FERME (Tableau 20).

Valeur de QR			1,62			
			1,61			
			1,45			
		1,78	1,38	1,39		
		1,92	1,58	1,35	1,28	1,15
		1,75	1,57	1,27	1,22	1,11
Moyenne de QR	1,84	1,64	1,45	1,30	1,13	
Nombre de communautés déterminées	3	4	5	6	7	

FERME
 OUVERT

Tableau 20 : Observation des valeurs de QR au regard du nombre de communautés

Deux facteurs influencent ce résultat. Premièrement, le réseau OUVERT montre un faible taux de modularité résultant d'un moindre différentiel entre les relations intra et intercommunautaires. Les communautés étant moins marquées, le tissu de relations entre elles est donc plus important, ce qui a pour effet d'augmenter la valeur de QR . Deuxièmement, le réseau OUVERT est plus dense que le réseau FERME (cf. Tableau 12, page 130), le nombre de relations à partager entre les communautés est plus important⁹⁴. La probabilité que les communautés soient isolées est moindre.

⁹³ Wilcoxon rank sum test : p-value = 0.0003108

⁹⁴ La moyenne du nombre de relations intercommunautaires est de 30 dans le cas du réseau FERME contre 63 pour le réseau OUVERT

Le réseau FERME présente une structure modulaire.

Les propriétés des systèmes modulaires se fondent sur l'hypothèse que les phénomènes se développent en priorité au sein des modules qu'entre les modules. Ainsi, les perturbations ont tendance à se diffuser plus rapidement au sein d'un réseau non-modulaire. Le seuil au-delà duquel un réseau est considéré comme modulaire est à 0.3 dans la littérature. Le réseau OUVERT présent des valeurs majoritairement est en dessous de ce seuil. La meilleure d'entre elles est égale à 0.31. Au contraire, les valeurs du réseau FERME sont majoritairement au-dessus de ce seuil. Les activités sont organisées en communautés au sein desquelles se concentre la majorité des relations.

En outre, une forte modularité tend à isoler les groupes. L'isolement des modules peut avoir des effets négatifs sur le réseau. La présence d'un tissu de relations intercommunautaires homogènes est donc également nécessaire. Or la répartition des relations intercommunautaires est corrélée au nombre de communautés. Dans une perspective de management du réseau, l'attention qui est portée aux relations intercommunautaires doit augmenter avec le nombre de communauté.

E. CONCLUSION

Si l'on considère qu'un RCVFE correspond à la situation du réseau OUVERT que les activités en son sein peuvent interagir sans contrainte avec l'ensemble des collaborateurs disponible sur le territoire et hors du territoire. Que se passe-t-il lorsque l'on impose aux activités de ce réseau, l'obligation de collaborer en interne et d'interagir avec l'extérieur uniquement lorsque les besoins ne peuvent être satisfaits en interne. Cette prescription induit des modifications structurales : le nombre de collaborations par activité diminue, les chaînes d'approvisionnement se rallongent, le nombre global de relations du réseau diminue et le nombre de relations indirectes (les chemins) également.

De fait, ce changement de caractéristiques structurales induit une modification des capacités du réseau. La diminution du nombre de collaborations augmente l'interdépendance des activités et diminue le nombre de voies potentielles d'approvisionnement. Ces derniers engendrent une augmentation, à la fois du

nombre d'activités dont la disparition impacterait significativement le réseau et le niveau de conséquence de ces disparitions. Le réseau ainsi fermé perd en robustesse.

La diminution du nombre global de relations induit à la fois une diminution de la densité, de la proximité géodésique et de l'affinité globale. Ces paramètres dégradent la facilité des activités du réseau à entrer en contact de façon directe ou indirecte, ce qui de fait diminue la flexibilité du réseau. Enfin, la diminution du nombre de chemins donne une importance relative plus forte aux relations directes. Se dessinent alors des communautés d'interactions, qui fractionnent le réseau en module. En théorie, cette structure modulaire limite la vitesse de propagation des perturbations dans le réseau. Néanmoins, il peut également induire l'isolement des petites communautés et limiter la diffusion des solutions de lutte contre les perturbations.

En outre, la transition d'un réseau à l'autre induit également une modification de l'importance relative des activités. La nature des activités influence leurs capacités à collaborer avec l'extérieure dans des proportions et des intensités variables. De fait d'un point de vue fonctionnel, les activités de distributions et les activités extérieures au réseau tiennent une place centrale dans le cas du réseau OUVERT. Après restriction des frontières, ce sont les activités de production présentes sur le territoire qui deviennent centrales, bien que leurs dynamismes économiques soient plus restreints.

La dynamique de développement du territoire est tributaire des forces en présence et du poids relatif de ces forces. Contraindre les activités à des collaborations locales aurait tendance à renforcer les activités locales et restreindre la consommation des fournitures importées. Néanmoins, outre la perte importante de dynamisme économique, les politiques de développement des territoires locaux ne peuvent se construire dans une recherche systématique d'exclusion des apports extérieurs, sous peine d'accroître l'isolement des communautés les moins collaboratives et de diminuer la capacité du réseau à être durable au regard des indicateurs de robustesse, de flexibilité et de stabilité, que nous avons testé.

Le Tableau **21** ci-dessous résume les capacités des deux situations étudiées.

DURABILITE SYSTEMIQUE			
(Ensemble de processus de changements systémiques par lesquels un tissu d'éléments organisés se maintient dans le temps, s'adapte et évolue)			
Mécanismes			
	Robustesse: Capacité à maintenir ses fonctions suite à des perturbations	Flexibilité: Capacité à se réajuster rapidement sous l'effet de perturbations	Stabilité: Capacité à se modifier suite à des perturbations
Réseau FERME Les collaborations se font prioritairement au sein de la collectivité	L'opportunité de collaboration moindre augmente l'interdépendance des activités. Certaines activités du fait de leur nature ou de leur rareté sont alors incontournables au fonctionnement du réseau. Ces activités devinent le siège de la vulnérabilité du réseau et diminuent sa robustesse.	L'opportunité de collaboration moindre diminue la densité relationnelle globale du réseau. Sous l'hypothèse que l'information suit ces mêmes canaux, l'étendue et la vitesse de diffusion de l'information y sont globalement moindres que pour le réseau OUVERT. Ces caractéristiques diminuent la facilité des activités à capter l'information ce qui diminue la flexibilité du réseau.	La densité moindre et l'importance fonctionnelle de certaines activités marquent la présence de nombreuses communautés. Mais l'interconnexion de ces communautés est faible. Théoriquement, la présence de communautés ralentit la diffusion d'éventuelles perturbations. Néanmoins, l'isolement important des communautés tend à fractionner le réseau et limite la diffusion de l'information.
Réseau OUVERT Les collaborations se font sans distinction, au sein de la communauté et avec l'extérieur	L'accès aux activités extérieures augmente les opportunités de collaborations. Chaque activité dispose d'une diversité de fournisseurs et de clients. Le niveau d'interdépendance est moindre, la robustesse du réseau est plus élevée que le réseau FERME.	Le nombre de collaborations augmente la valeur de densité du réseau, donc l'étendue et la vitesse de diffusion de l'information y sont plus élevées. Néanmoins, le surplus de collaboration se fait principalement avec l'extérieur. Ce sont les activités à l'interface qui bénéficient de cette meilleure diffusion. De plus, des flux plus diversifiés de fournitures transitent par ces activités ce qui augmente l'affinité de ces derniers. La flexibilité du réseau est globalement plus élevée, mais au bénéfice de certaines activités.	La densité élevée induit un nombre restreint de communautés et leurs meilleures interconnexions. Des perturbations sont susceptibles d'impacter plus aisément le réseau dans son ensemble.

Tableau 21 : Synthèse des résultats relatifs à la durabilité systémique

CHAPITRE 4 : COMPARAISON D'UN CAS D'ÉTUDE AUX MODÈLES THÉORIQUES

A. INTRODUCTION

L'analyse des deux réseaux théoriques FERME et OUVERT a permis de caractériser l'influence de leur topologie sur les mécanismes de durabilité. Les résultats issus du premier chapitre fournissent un cadre d'interprétation utile à la lecture de réseau REEL. D'un côté, le réseau FERME, qui est centré sur lui-même permet la valorisation à la fois de la ressource locale et des acteurs locaux. Ce réseau présente des caractéristiques structurelles propices à ralentir la propagation de perturbations. De l'autre, le réseau OUVERT, qui est fortement en interrelation avec son environnement, donne une place centrale aux activités extérieures et à leurs fournitures. De fait, les acteurs de la distribution jouent un rôle structurant au sein de ce réseau. Les caractéristiques structurelles du réseau OUVERT confèrent robustesse et flexibilité, mais le rendent plus sensible que le réseau FERME au regard de la stabilité.

Dans ce second chapitre, nous utilisons ce cadre de lecture pour comparer, interpréter et discuter les données issues d'un cas d'étude, celui du réseau de création de valeurs forestier de la communauté de communes de Mimizan. L'intérêt de ce chapitre est multiple. D'abord, nous explorons la situation d'un cas concret. Les résultats issus de ce chapitre permettent d'évaluer les forces et faiblesses de ce réseau de création de valeurs territorialisé et ainsi proposer des pistes d'amélioration organisationnelle. Ensuite, ce chapitre est l'occasion de confronter nos résultats théoriques à la réalité du terrain. Cette analyse comparative nous permet une autocritique de notre construction théorique, ce qui ouvre des pistes d'améliorations.

B. MATÉRIEL ET MÉTHODE

1. Principe de construction

Nous reprenons les principes de modélisation présentés dans le chapitre précédent. D'abord, nous avons recensé l'ensemble des codes d'APE présent sur la CCM (Tableau 22). Sur la base de ces codes, nous avons listé l'ensemble des entreprises en activités. Nous avons effectué une campagne d'entretien auprès de ces entreprises.

Les résultats de ces entretiens ont été complétés par des informations issues de diverses autres sources. Les données au niveau entreprises ont été compilées selon leur code d'activité afin de pouvoir les comparer avec les modèles théoriques. Sur la base de ces données compilées, nous avons constitué le réseau de création de valeurs élargi de la CCM. Cette représentation partage quasiment⁹⁵ les mêmes activités que les modèles théoriques FERME et OUVERT, mais les interactions entre activités sont issues des enquêtes de terrain.

Production, fabrication, commerce, mise en œuvre, collecte et traitement des déchets
Sylviculture (02.10Z)
Exploitation forestière (02.20Z)
Sciage et rabotage du bois, hors imprégnation (16.10A)
Fabrication de parquets assemblés (16.22Z)
Fabrication d'objets divers en bois ; fabrication d'objets en liège, vannerie et sparterie (16.29Z)
Fabrication de papier et de carton (17.12Z)
Fabrication d'emballages en papier (17.21C)
Fabrication de meubles de cuisine (31.02Z)
Fabrication d'autres meubles et industries connexes de l'ameublement (31.09B)
Construction de maisons individuelles (41.20A)
Travaux de menuiserie bois et PVC (43.32A)
Travaux de charpente (43.91A)
Commerce de gros (commerce interentreprises) de bois et de matériaux de construction (46.73A)
Hypermarchés (47.11F)
Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en grandes surfaces (400 m ² et plus) (47.52B)
Collecte des déchets non dangereux (38.11Z)
Récupération de déchets triés (38.32Z)

Tableau 22 : Liste des 17 codes APE représentés sur le territoire d'études

2. Types de données récoltés

La CCM compte 65 entreprises identifiées via les 17 APE présentées dans le Tableau 22. La prise de contact avec ces entreprises a combiné l'utilisation de courriers postaux, d'emails, d'appels téléphoniques. Nous avons interviewé 20 entreprises.

Durant chaque entretien, l'objectif a été de construire l'organisation de l'activité de l'entreprise sur la base de la Figure 33. Nous avons retracé l'origine de tous les flux entrants et la destination de tous les flux de fourniture sortants.

⁹⁵ Les 3 réseaux ne contiennent pas exactement le même nombre d'activités. Le réseau OUVERT en contient 20, le réseau FERME contient 19 activités et le réseau REEL en contient 17.

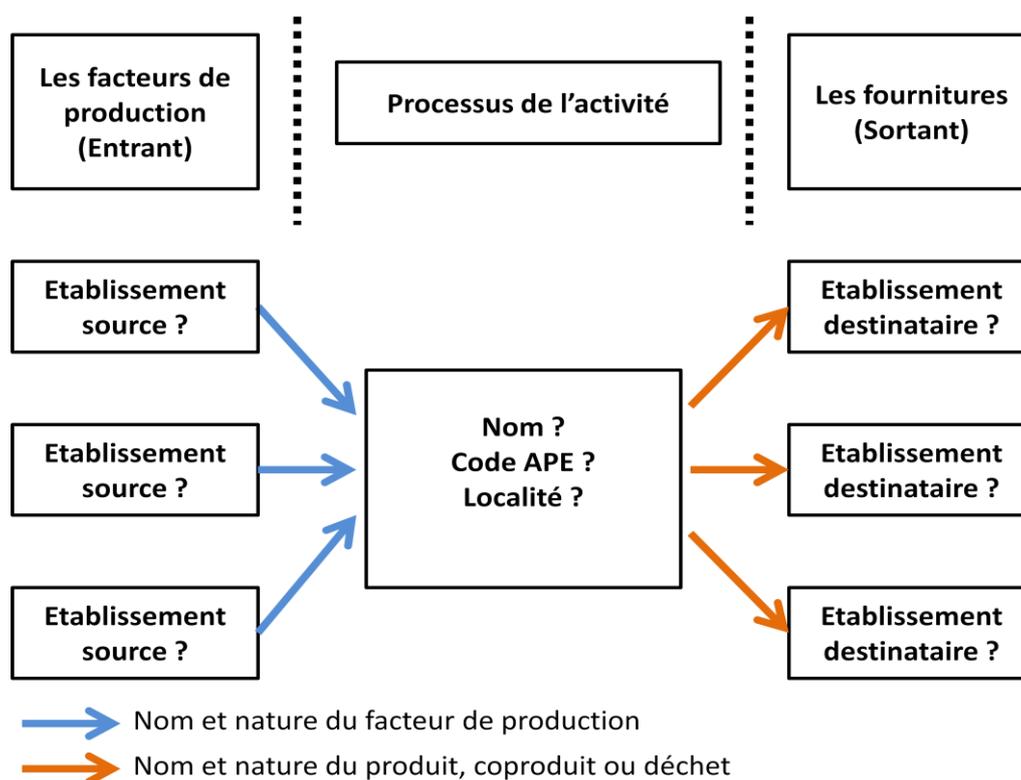


Figure 33 : Construction des métabolismes des entreprises

3. Sources des données

Suite aux entretiens, les informations n'étaient pas toutes homogènes, pour compléter les informations manquantes, nous avons eu recours à d'autres sources d'informations telles que les visites en magasins, les catalogues produits, les rapports d'activités et les sites internet des entreprises.

Nous avons recensé toutes les références de produits en rayons dans les deux établissements de vente au détail du territoire [4711F ; 4752B]. Pour chaque référence, nous recherchions la marque, l'entreprise productrice, le pays d'origine de l'entreprise, l'essence et le pays d'origine de l'essence. Toutes ces informations ne sont pas nécessairement disponibles sur les étiquettes commerciales. En effet, ni la réglementation française ni la réglementation européenne n'imposent le marquage de l'origine des produits⁹⁶ (à l'exception de quelques produits tels les produits agricoles et alimentaires). Dans la majorité des cas, uniquement la marque et le nom du

⁹⁶ <http://www.entreprises.gouv.fr/libre-circulation-marchandises/marquage-dorigine-des-produits-marquage-made-in>

modèle sont mentionnés. Dans ce cas, il a fallu retrouver l'établissement en recoupant des informations sur Internet.

Les distributeurs-détaillants commercialisent des références sous le nom de leur propre enseigne. Dans ce cas de figure, il est complexe de retrouver l'entreprise qui a sous-traité la fabrication du produit. Lorsque l'essence forestière est mentionnée sur le produit, il est possible, tout au plus, d'exclure certaines zones géographiques. Dans la majorité des cas, la famille est mentionnée, mais pas l'espèce. Par exemple, il est souvent notifié « essence : pin » sans préciser s'il s'agit de pin maritime (*Pinus pinaster*), de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) ou autres. Cela ne donne pas d'information ni sur le lieu d'origine de l'arbre ni sur le lieu de fabrication du produit. Dans ce cas, nous avons considéré uniquement le lieu de résidence de l'entreprise émettrice.

Nous avons également analysé les catalogues de produits des deux principaux établissements de commerce de gros [4673A]. Nous avons pu relever le type et la marque de la majorité des produits. Lorsque le fabricant n'était pas spécifié sur le catalogue, nous avons procédé par recoupage des informations présentes sur les sites Internet de grandes enseignes, sur la base des noms de modèles et des photos.

Nous avons eu accès aux rapports d'activité de 2 établissements (fabrication de papier et de carton [17.12Z] et collecte des déchets non dangereux [38.11Z]). Ces rapports contenaient des informations relatives à des collaborations et quelques échanges spécifiques.

Enfin, Internet a été une source d'information indispensable pour compléter les informations manquantes. Nous avons pu recouper les bribes d'informations dont nous disposions. Par exemple, nous avons retrouvé les marques et les fabricants de certains produits au moyen de recherches de photos sur les catalogues en ligne. Nous avons utilisé toutes les sources disponibles, et tout type de médias (les articles de presse, les vidéos en ligne, les blogues...). Nous avons ainsi construit le circuit de certains produits depuis la région de production de l'essence, jusqu'à la CCM.

Au final, cette combinaison de méthodes nous a permis d'obtenir des informations complètes pour une vingtaine d'entreprises, sur les 65 que contient la CCM, soit un

taux de 30 %. Ce pool de 20 entreprises nous a permis de construire un réseau constitué de 14 APE sur les 17 codes présentés dans le Tableau 22, page 157.

4. Rappel des indicateurs d'analyse

Nous avons employé le même ruban d'analyse que pour les réseaux OUVERT et FERME. Les indicateurs d'analyse structurale (Tableau 8, p. 109) nous permettent d'observer les principales caractéristiques globales du réseau. Les centralités (Tableau 9, p. 109) nous permettent d'observer l'importance d'un élément du réseau par rapport aux autres. Enfin, les indicateurs de durabilité (Tableau 11, p. 121) permettent d'évaluer les capacités du réseau au regard de la robustesse, de la flexibilité et de la stabilité.

Nous avons comparé les résultats issus de ces 3 volets, à ceux obtenus dans le chapitre précédent sur les deux réseaux théoriques.

C. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. Comparaison des caractéristiques structurales

a. Les différences structurales

		FERME	OUVERT	REEL
1	Nombre de nœuds	19	20	16
2	Nombre de relations OP et ONP (orienté)	45	99	38
	NOP et NONP (non-orienté)	45	94	38
3	La longueur moyenne des chemins entre nœuds ONP	2.23	1.74	1.79
	NONP	2.16	1.51	1.81
4	L'affinité moyenne entre les nœuds OP	0.88	1.59	2.01
	NOP	0.86	2.21	0.49
5	La longueur du plus long chemin géodésique entre deux nœuds OP et ONP	6	5	5
	NOP et NONP	5	5	4
6	La plus forte affinité du réseau	2.81	3.78	2.90
7	La densité ⁹⁷ OP et ONP	0.13	0.26	0.16
	NOP et NONP	0.26	0.49	0.32
8	La moyenne des degrés des nœuds	2.37	4.95	2.38
9	La moyenne des degrés pondérés (par le nombre de fournitures)	3.37	11.80	7.38
10	Nombre de chemin le plus court OP et ONP	129	199	76
	NOP et NONP	342	380	240

Tableau 23 : Caractéristiques structurelles des réseaux

Le réseau REEL ne représente qu'une portion des relations effectives de l'unité expérimentale, néanmoins il montre des caractéristiques partagées avec les deux réseaux théoriques. Le réseau REEL est plus petit que le réseau FERME, mais néanmoins plus dense (ligne 1, 2 et 7 du Tableau 23). Trois activités n'ont ni été interviewées ni mentionnées par les entreprises interviewées⁹⁸. La moyenne de degré des nœuds du réseau REEL est semblable à celle du réseau FERME (ligne 8), mais la valeur des degrés pondérés en est le double (ligne 9). La moyenne des distances géodésiques du réseau REEL (ligne 3) est semblable à celle du réseau OUVERT.

⁹⁷ La densité mesure à quel point le réseau est près d'être complet. Un réseau complet à tous les liens possibles et une densité égale à 1. Exemple pour le réseau OUVERT : $(99/(20*19))=0.26$.

⁹⁸ Ces trois activités sont : la fabrication d'objet divers en bois [1629Z], le travail de menuiserie [4332A] et la construction de maison individuelle [4120A]

Enfin, le réseau REEL contient peu de chemin et de relation indirecte (ligne 10) comparés aux deux autres.

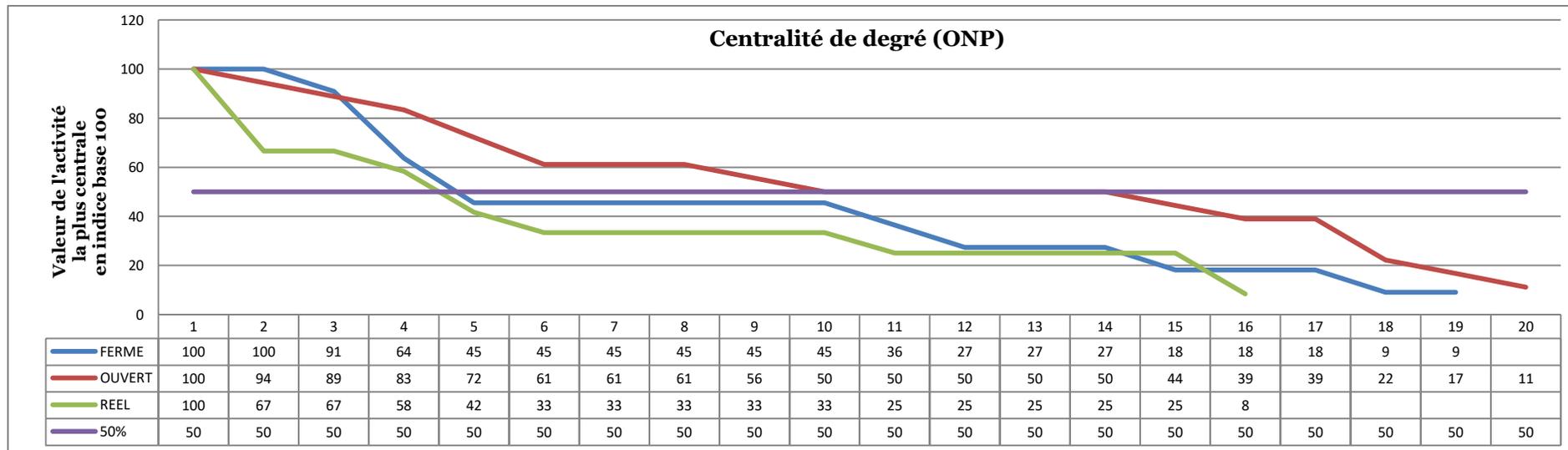
La moyenne des degrés pondérés du réseau REEL est supérieure à celle du réseau FERME, mais la valeur d'affinité moyenne inférieure. Cela s'explique par le fait que certaines activités du réseau REEL ont des degrés pondérés élevés, mais globalement les autres activités possèdent des degrés moindres que celles du réseau FERME.

b. Étude des centralités des activités

La courbe de centralité de degré de la figure 27 montre que le réseau REEL présente la même structure que le réseau FERME, mais l'ordonnancement de ses activités se rapproche de celle du réseau OUVERT. En effet, uniquement 4 nœuds sont au-dessus de 50 % de la valeur la plus centrale. Les deux premiers étant « exportexterieur » et « importexterieur », ce qui implique que le réseau collabore préférentiellement avec l'environnement. La logique est semblable lorsque l'on observe les degrés pondérés (Figure 35). Bien que la courbe soit intermédiaire aux deux autres, les activités les plus centrales du réseau réel sont celles mises en avant par le réseau OUVERT.

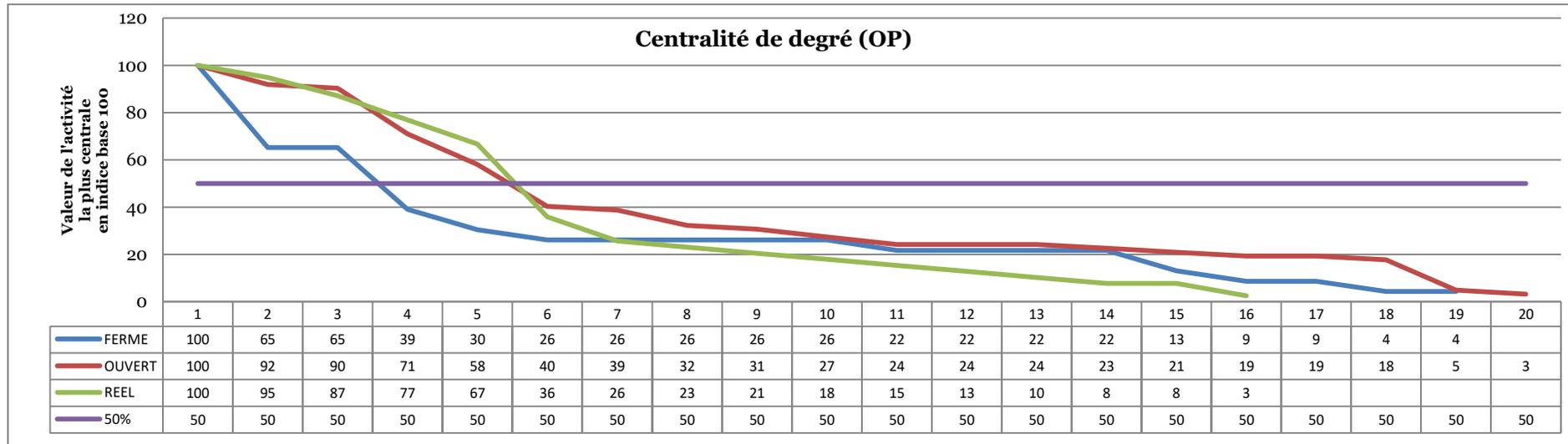
Le réseau REEL contient moins d'activités forestières comparées aux réseaux théoriques. Ces activités présentent moins de collaborations que ceux des deux autres réseaux, mais plus de fournitures par collaboration que le réseau FERME.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



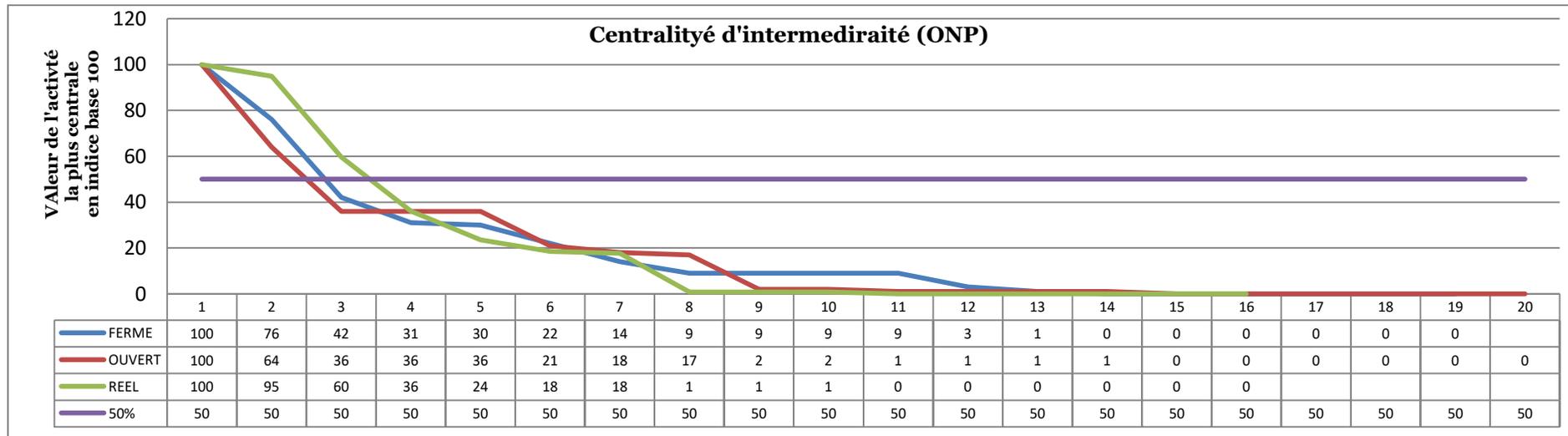
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	1610A	FOYER	3811Z	4120A	0220Z	1712Z	1629Z	4332A	4391A	4673A	1622Z	3832Z	3102Z	3109B	EXPORTE XTERIEU R	1721C	4752B	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	4711F
OUVERT	4673A	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	1610A	FOYER	4752B	3811Z	1629Z	0220Z	4120A	3102Z	3109B	4332A	1622Z	4711F	4391A	1712Z	3832Z	1721C	0210Z
REEL	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	1610A	FOYER	4673A	4752B	3811Z	3832Z	4391A	0210Z	4711F	0220Z	1622Z	1712Z	3109B	1721C				

Figure 34 : Comparaison de la centralité de degré du réseau REEL



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z	1610A	FOYER	4120A	3832Z	0220Z	1712Z	1629Z	4332A	4391A	4673A	1622Z	3102Z	3109B	EXPORTE XTERIEU R	1721C	4752B	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	
OUVERT	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	4673A	4752B	FOYER	3811Z	1610A	4711F	4120A	1629Z	3102Z	3109B	4332A	4391A	0220Z	1622Z	3832Z	1712Z	1721C	0210Z
REEL	IMPORT EXTERIE UR	EXPORTE XTERIEU R	FOYER	4673A	4752B	1610A	3811Z	4711F	3832Z	4391A	0220Z	0210Z	1622Z	1712Z	3109B	1721C				

Figure 35 : Comparaison de la centralité de degré pondéré du réseau REEL

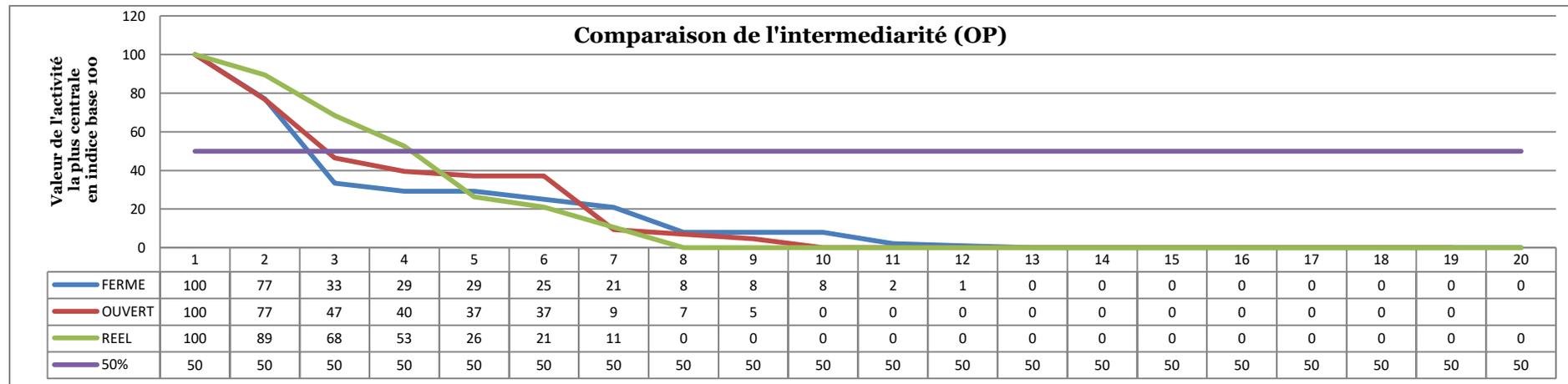


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z ⁹⁹	3832Z	1712Z	0220Z	1610A	4673A	FOYER	1721C	4120A	4332A	4391A	1629Z	4752B	0210Z ¹⁰⁰	1622Z	3102Z	3109B	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	
OUVERT	4673A	3811Z	0220Z	1712Z	3832Z	FOYER	1629Z	1610A	3102Z	3109B	1622Z	4120A	4332A	4391A	4711F	4752B	1721C	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	EXPORTE XTERIEU R
REEL	FOYER	X1610A	X3811Z	X4673A	X1712Z	X4752B	X3109B	X3832Z	X4391A	X4711F	X0210Z	X0220Z	EXPORTE XTERIEU R	X1622Z	X1721C	IMPORT EXTERIE UR				

Figure 36 : Comparaison de la centralité d'intermédieraité du réseau REEL (ONP)

⁹⁹ Sont en vert, les activités dont les valeurs sont aux dessus des 50 % de la valeur maximale en base 100.

¹⁰⁰ Sont en rouge, les activités dont les valeurs sont nulles.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z ¹⁰¹	3832Z	1712Z	0220Z	FOYER	1610A	4673A	4332A	4391A	4120A	1721C	4752B	0210Z ¹⁰²	1622Z	1629Z	3102Z	3109B	IMPORT EXTERIE UR	EXPORTE XTERIEU R	
OUVERT	4673A	3811Z	3832Z	FOYER	0220Z	1712Z	4752B	1610A	1629Z	0210Z	1622Z	1721C	3102Z	3109B	4332A	4391A	4120A	4711F	IMPORT EXTERIE UR	EXPORTE XTERIEU R
REEL	1610A	FOYER	4673A	3811Z	0220Z	1712Z	3832Z	0210Z	1622Z	1721C	3109B	4752B	4711F	4391A	IMPORT EXTERIE UR	EXPORTE XTERIEU R				

Figure 37 : Comparaison de la centralité d'intermédiation du réseau REEL (OP)

¹⁰¹ Sont en vert, les activités dont les valeurs sont au-dessus des 50 % de la valeur maximale en base 100.

¹⁰² Sont en rouge, les activités dont les valeurs sont nulles.

2. Comparaison des durabilités

a. Comparaison des résultats relatifs à la robustesse

i. Les composantes fortement connexes

Algorithme de calcul ¹⁰³	FERME		OUVERT		REEL	
	Taille de la plus grande composante	Rapport à la taille du réseau	Taille de la plus grande composante	Rapport à la taille du réseau	Taille de la plus grande composante	Rapport à la taille du réseau
Strong	1	0.053	6	0.3	1	0.059
Réursive	1	0.053	6	0.3	1	0.059
Unilatéral	15	0.79	18	0.9	12	0.75

Tableau 24 : Tailles des plus grandes composantes connexes du réseau REEL

Le réseau REEL présente sensiblement les mêmes résultats que le réseau FERME, c'est-à-dire aucune composante fortement connexe pour les algorithmes « strong » et « réursive ». L'algorithme « Unilatéral » présente une composante connexe de 12 nœuds. Autrement dit, il existe au sein du réseau REEL une chaîne de relations associant 12 activités sur 16, soit 75 %.

Cette chaîne n'implique pas une réciprocité d'échange de matière entre les activités. Chaque nœud est client de celui qui est en amont et fournisseur de celui qui est en aval. La matière suit la même direction de l'amont vers l'aval et ne se déplace pas de l'aval vers l'amont.

ii. L'efficacité du réseau

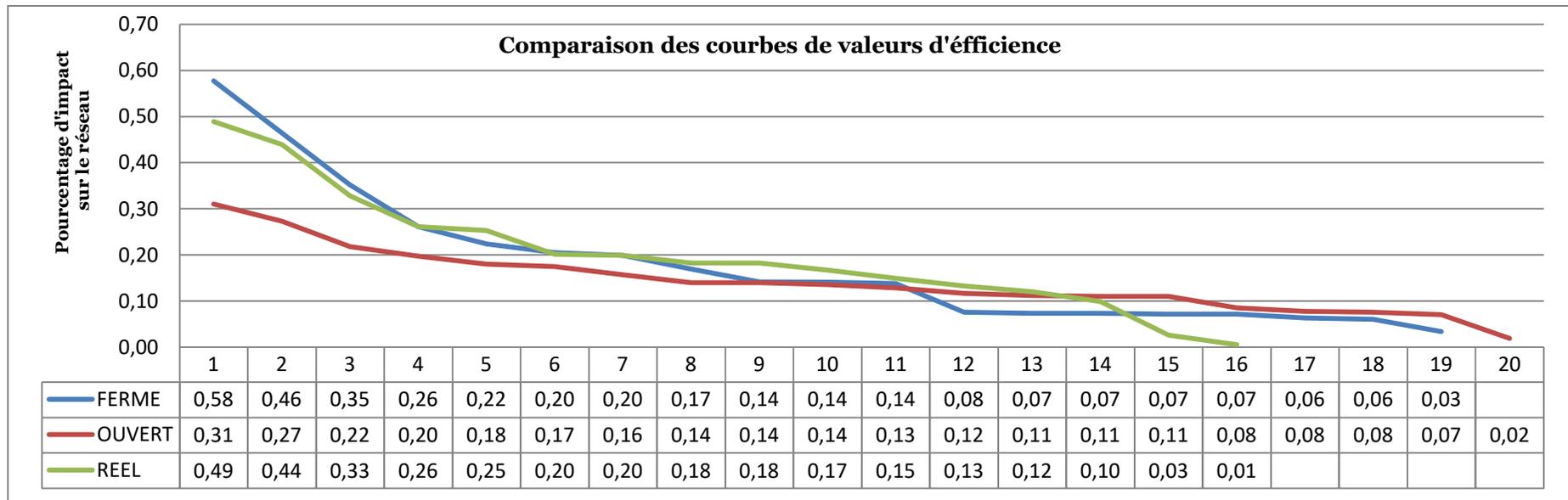
L'efficacité donne l'importance d'un nœud par l'observation de l'impact de sa désactivation sur le fonctionnement de l'ensemble. Plus précisément cet indicateur donne l'impact du prélèvement d'un nœud sur l'affinité globale du réseau. Une valeur proche de 1 indique un impact très fort sur l'affinité globale. À l'inverse, une valeur proche de 0 indique une faible influence de la disparition du nœud.

La courbe de valeurs d'efficacité du réseau REEL est intermédiaire à celles des deux autres réseaux (Figure 38). Les valeurs de la courbe sont significativement plus

¹⁰³ Algorithme « component.dist », Package (sna) ; West, D.B. (1996). *Introduction to Graph Theory*. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall.

proches de celles du réseau FERME¹⁰⁴. Elle est plus homogène que la courbe du réseau FERME du fait que l'amplitude entre la valeur la plus forte et la plus faible est moins importante. Le nœud FOYER joue un rôle plus important que dans les deux autres réseaux, sa disparition impacterait 50 % de l'affinité globale, contre 14 % dans les autres réseaux.

¹⁰⁴ Il existe une différence significative entre l'écart à la moyenne des valeurs du réseau REEL avec ceux du réseau OUVERT, dans les cas des calculs apparié et non apparié.



Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z	3832Z	1712Z	0220Z	1721C	4673A	1610A	0210Z	FOYER	EXPORTE XTERIEU R	IMPORT EXTERIE UR	4120A	3102Z	3109B	4332A	4391A	1622Z	4752B	1629Z	4711F
OUVERT	4673A	1712Z	0220Z	3811Z	3832Z	1721C	0210Z	EXPORTE XTERIEU R	4752B	FOYER	IMPORT EXTERIE UR	1622Z	4332A	3102Z	3109	1629Z	4391A	4711F	4120A	1610A
REEL	FOYER	1610A	3811Z	IMPORT EXTERIE UR	4673A	1712Z	0210Z	4752B	4711F	3832Z	0220Z	1721C	1622Z	EXPORTE XTERIEU R	3109Z	4391A				

Figure 38 : Comparaison des courbes de valeurs d'efficience du réseau REEL

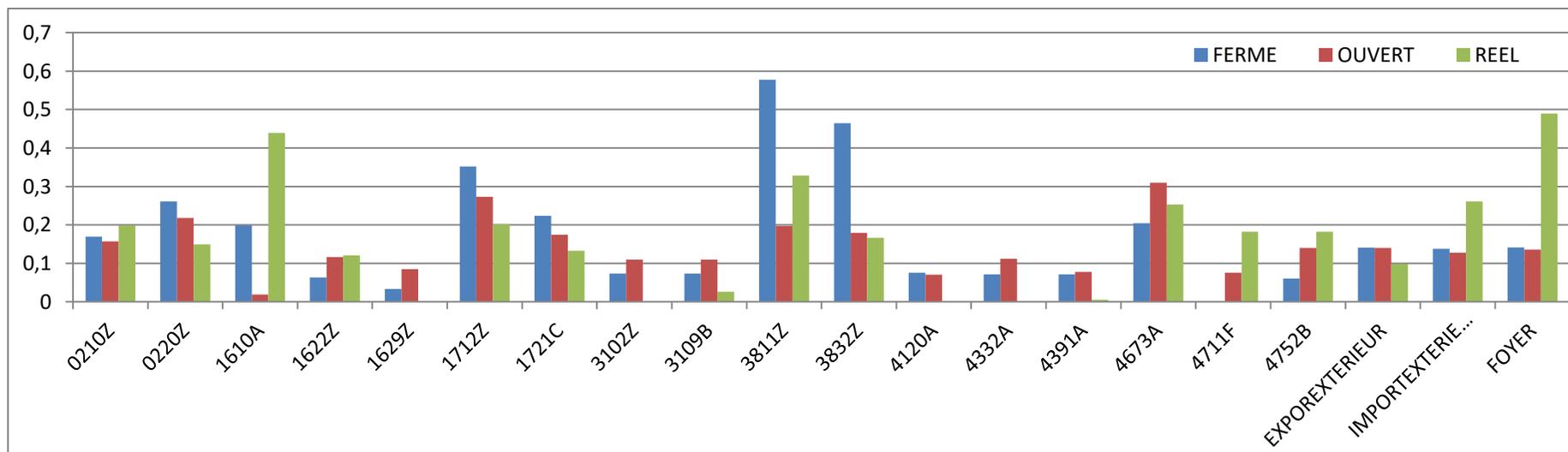


Figure 39 : Comparaison des valeurs d'efficacité par activité

Rappel des codes APE :

Sylviculture (02.10Z)

Exploitation forestière (02.20z)

Sciage et rabotage du bois, hors imprégnation (16.10A)

Fabrication de parquets assemblés (16.22Z)

Fabrication d'objets divers en bois ; fabrication d'objets en liège, vannerie et sparterie (16.29Z)

Fabrication de papier et de carton (17.12Z)

Fabrication d'emballages en papier (17.21C)

Fabrication de meubles de cuisine (31.02Z)

Fabrication d'autres meubles et industries connexes de l'ameublement (31.09B)

Construction de maisons individuelles (41.20A)

Travaux de menuiserie bois et PVC (43.32A)

Travaux de charpente (43.91A)

Commerce de gros (commerce interentreprises) de bois et de matériaux de construction (46.73A)

Hypermarchés (47.11F)

Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en grandes surfaces (400 m² et plus) (47.52B)

Collecte des déchets non dangereux (38.11Z)

Récupération de déchets triés (38.32Z)

b. Comparaison des résultats relatifs à la flexibilité

i. La densité du réseau

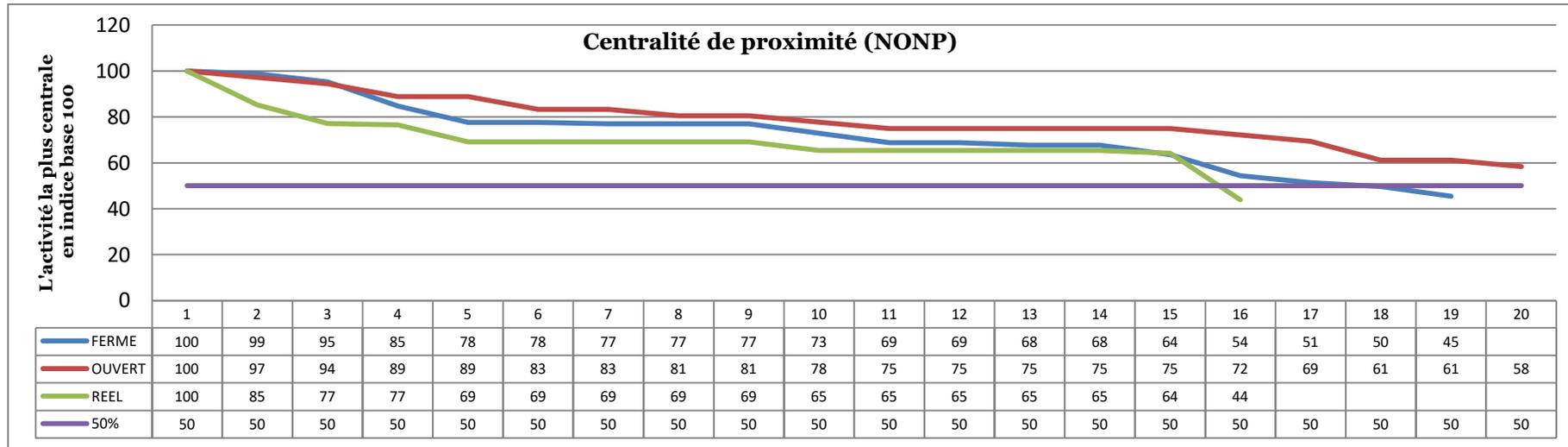
À la suite d'une perturbation, les éléments d'un réseau seront plus à même de recréer des relations, si l'information circule facilement entre eux. Les voies de diffusion de l'information s'appuient sur les relations entre activités du réseau. La densité est un indicateur du nombre de relations effectives. Celle du réseau REEL (0.32) est inférieure à celle du réseau OUVERT (0.49), mais supérieure à celle du réseau FERME (0.26). Ce qui suggère que le réseau REEL dispose d'un potentiel de voies de communication intermédiaire à celui des deux réseaux théoriques.

Le réseau REEL affiche une structure de centralité de degré semblable à celle du réseau FERME, mais les activités impliquées se rapprochent de celles du réseau OUVERT (Figure 34, page 163). La densité de relations du réseau REEL implique fortement l'environnement (import/export).

ii. La centralité de proximité

La Figure 40 montre que sous l'angle NONP les tendances des trois courbes sont relativement similaires. Les pentes des courbes sont proches et la grande majorité des valeurs sont au-dessus des 50 % des valeurs maximales. Pour le réseau REEL, la différence entre la valeur la plus centrale et les autres est plus importante. Une majorité des activités du réseau on recourt à l'exportation, ce qui place ce nœud dans une fortement centrale.

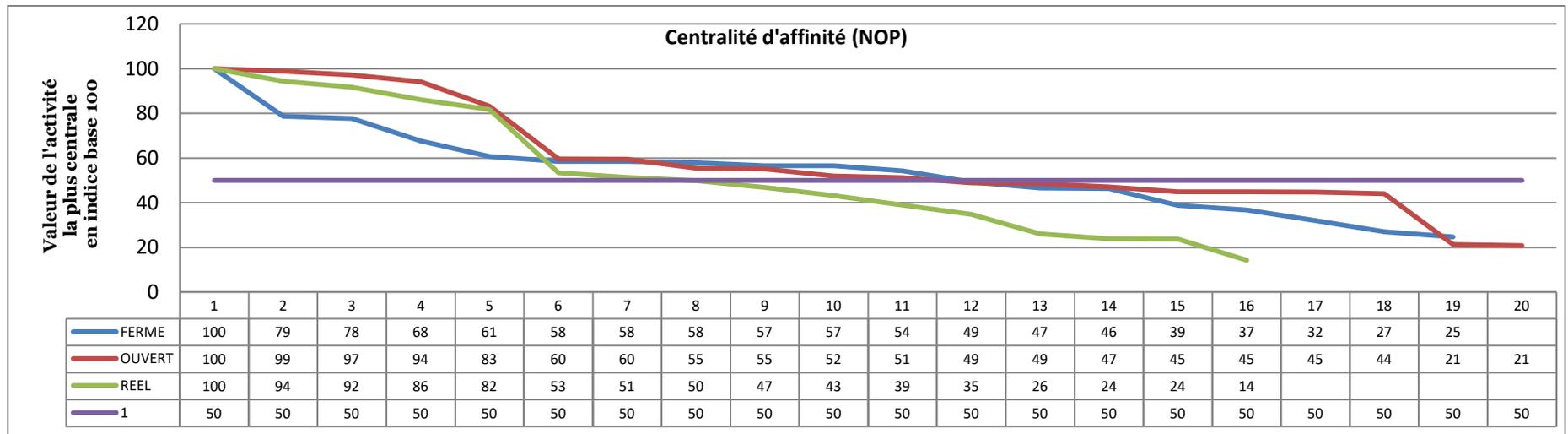
Sur la Figure 41, nous observons que si l'on considère l'angle NOP, 5 activités montrent une centralité forte et la moitié des activités est en dessous de 50 % de la valeur de la première. La courbe du réseau REEL est analogue à celle du réseau OUVERT. Comme pour le réseau OUVERT, les activités de la distribution, l'importance et l'exportation sont des activités qui montrent les fortes affinités avec les autres activités du réseau.



Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	1610A	FOYER	3811Z	4120A	4332A	4391A	0220Z	1629Z	1712Z	1622Z	4673A	3832Z	3102Z	3109B	4752B	1721C	EXPORT EXTERIE UR	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	
OUVERT	EXPORT EXTERIE UR	IMPORT EXTERIE UR	1610A	4673A	FOYER	3811Z	4752B	0220Z	1629Z	4120A	1622Z	3102Z	3109B	4332A	4711F	4391A	1712Z	3832Z	1721C	0210Z
REEL	EXPORT EXTERIE UR	1610A	FOYER	IMPORT EXTERIE UR	0210Z	4673A	3832Z	4391A	3811Z	3109B	1622Z	1712Z	4752B	4711F	0220Z	1721C				

Figure 40 : Comparaison de la centralité de proximité du réseau REEL (non pondéré non orienté (NONP))

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



Classement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FERME	3811Z	FOYER	3832Z	1610A	4120A	3102Z	3109B	1629Z	4332A	4391A	1622Z	EXPORTE XTERIEU R	1712Z	0220Z	4673A	4752B	1721C	0210Z	IMPORT EXTERIE UR	
OUVERT	EXPORTE XTERIEU R	4752B	4673A	IMPORT EXTERIE UR	FOYER	4711F	3832Z	3811Z	4120A	1610A	1629Z	1712Z	4391A	4332A	3109B	3102Z	0220Z	1622Z	1721C	0210Z
REEL	FOYER	EXPORTE XTERIEU R	4673A	4752B	IMPORT EXTERIE UR	1610A	4711F	3811Z	3832Z	4391A	0220Z	1622Z	0210Z	3109B	1712Z	1721C				

Figure 41 : Comparaison de la centralité de proximité du réseau REEL (non orienté pondéré (NOP))

c. Comparaison des résultats relatifs à la stabilité

i. Compartiment

Nous avons recherché la présence de communautés au moyen des 11 algorithmes utilisés dans le chapitre précédent (cf. Tableau 16, page 148). Concernant le réseau REEL, 9 de ces algorithmes présentent des valeurs de modularité supérieure 0.3, contre respectivement 10 et 1 seul pour les réseaux FERME et OUVERT. Ce résultat nous permet de considérer le réseau REEL comme modulaire.

Le tableau 18 reprend pour chaque réseau les 5 meilleures¹⁰⁵ valeurs de modularité du tableau 10. Alors que les résultats des réseaux OUVERT et FERME affichent respectivement 4 et 5 nombres différents de communautés dans des proportions équivalentes, le réseau REEL présente dans la grande majorité des résultats 5 communautés.

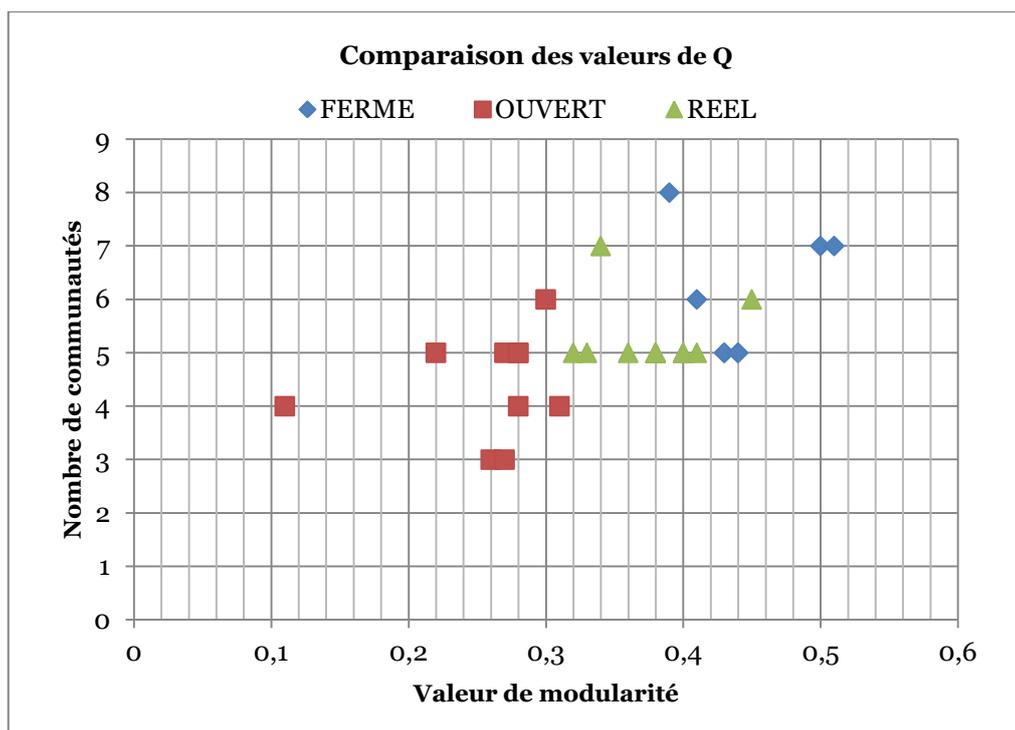


Tableau 25 : Comparaison du nombre de communautés en fonction des valeurs de modularité

¹⁰⁵ Nous avons gardé uniquement les 5 meilleures valeurs pour deux raisons. D'abord parce que la qualité du nombre de communautés est fonction de la valeur de la modularité. La meilleure valeur de modularité propose les meilleurs découpages. Ensuite, dans un intérêt comparatif nous avons voulu garder les résultats du réseau OUVERT bien qu'ils sont en dessous du seuil de 0.3. Nous avons néanmoins exclu les valeurs les plus basses.

ii. Relations entre les communautés

Nous avons calculé les indicateurs de répartition des relations intercommunautaires également pour les algorithmes présentant les 5 meilleures valeurs de modularité. Ces résultats montrent qu'à nombre de communautés équivalent, les valeurs de QR du réseau REEL sont supérieures à celle du réseau FERME, mais sont inférieures à celles du réseau OUVERT¹⁰⁶. Les communautés du réseau REEL sont moins isolées les unes des autres comparativement au réseau FERME.

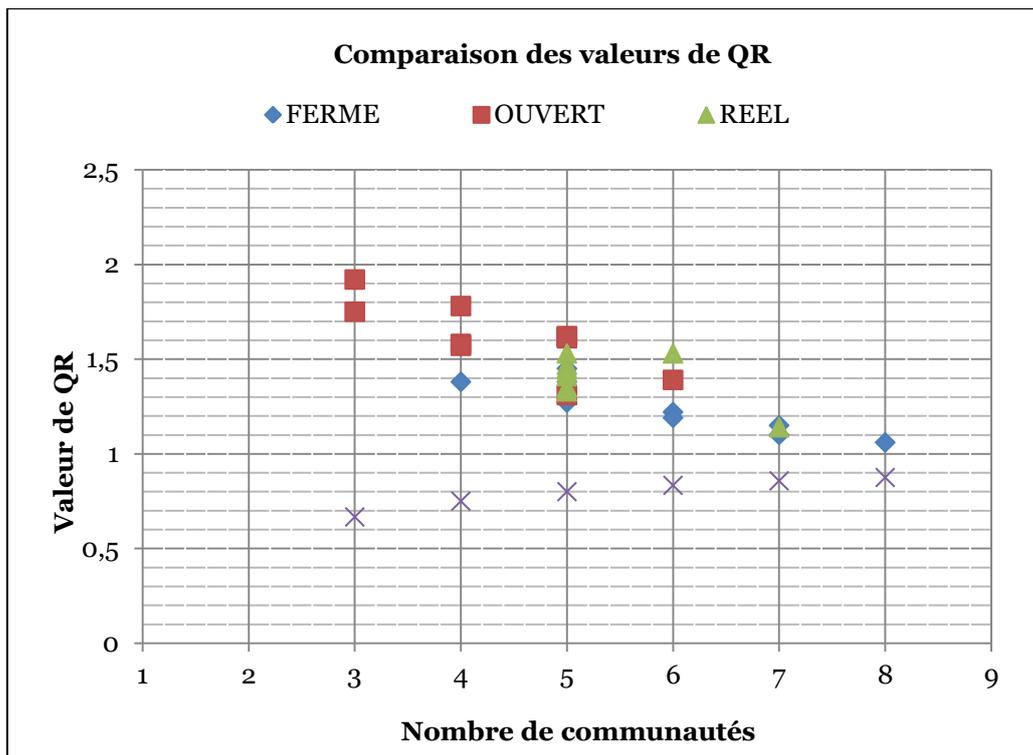


Figure 42 : Comparaison des valeurs de QR en fonction du nombre de communautés
Les croix représentent la valeur minimale. Elles correspondent à $(1 - (1/\text{nombre de communautés}))$.

¹⁰⁶ Il existe une différence significative entre ces pools de valeurs. (Test de wilcoxon)

D. DISCUSSION ET CONCLUSION

Synthèse de la comparaison du réseau REEL

Le réseau REEL ne représente qu'une partie des relations effectives du réseau de création de valeurs de la communauté de communes de Mimizan. De fait, l'analyse de ce dernier ne nous permet pas de capter l'ensemble des phénomènes qui s'y produit. Néanmoins, cette analyse donne une idée de son positionnement au regard des réseaux théoriques FERME et OUVERT.

Le réseau REEL comporte moins d'activités que les deux autres, car parmi l'ensemble des APE présentes sur le territoire trois¹⁰⁷ n'ont présenté aucune collaboration avec les autres. Parmi celles qui collaborent, il y a proportionnellement plus de relations directes et indirectes, ce qui montre une meilleure connexité que le réseau FERME. Les activités du réseau REEL collaborent majoritairement avec l'extérieur. L'activité de scierie est la plus dynamique du réseau, car elle collabore avec une majorité d'activités. Mais ce sont les activités de distributions qui centralisent les collaborations comportant une plus grande variété de fournitures. Le réseau REEL donne une place importante aux activités situées à l'extérieur, de fait les activités de distributions jouent un rôle central. Ces caractéristiques structurelles sont semblables à celles du réseau OUVERT.

Bien que le réseau REEL et le réseau OUVERT donnent une place prépondérante aux mêmes activités au regard des critères de durabilité, les résultats sont partagés. La courbe d'importance des activités (efficience du réseau) du réseau REEL, comme celle du réseau FERME, montre une vulnérabilité face aux perturbations aléatoires et notamment concernant les activités à forte intermédiation. L'analyse des courbes de centralité montre, comme pour le réseau OUVERT, que les activités de distribution sont susceptibles d'avoir le plus d'affinité avec les autres activités du réseau. Ce qui leur procure un potentiel de flexibilité plus intéressant. Enfin, comme le réseau FERME, le niveau de modularité du réseau REEL est significatif. Les valeurs de modularité sont globalement moindres que celle du réseau FERME, mais les relations entre communautés sont globalement plus homogènes.

¹⁰⁷ Ces trois activités sont : la fabrication d'objet divers en bois [1629Z], le travail de menuiserie [4332A] et la construction de maison individuelle [4120A]

Le Tableau 26 ci-dessous synthétise le positionnement des 3 réseaux aux regards des indicateurs de durabilité systémique. Le réseau OUVERT est celui qui combine le plus de résultats favorables et le moins de défavorables.

	Robustesse		Flexibilité		Stabilité	
	Plus longue chaîne connexe	Efficacités du réseau	Densité	Centralité de proximité	Nombre de communautés	Relations intercommunales
FERME	••	•	•	••	•••	•
OUVERT	•••	•••	•••	•••	•	•••
REEL	•	••	••	•	•••	••

Meilleur : ••• ; Intermédiaire : •• ; Mauvais : • ; Néant : ∅

Tableau 26 : Synthèse des résultats.

Préconisation pour améliorer la durabilité systémique du territoire d'étude

Sur la base de ce tableau, nous faisons les propositions suivantes visant à améliorer les capacités du réseau REEL.

- **Améliorer la récursivité des relations.** Du fait de la trajectoire Amont-Aval de la matière, les chaînes de processus sont segmentées en relations unidirectionnelles de type Fournisseur-Client. L'incitation à la mise en place de relations récursives (double sens) aurait l'avantage d'augmenter la longueur des chaînes connexes au sein du réseau. Dans les faits, ces relations existent entre certaines activités de la filière forestière via la valorisation des connexes. La systématisation de la valorisation des connexes s'ils se font entre activités contribuerait à l'augmentation de la récursivité au sein du réseau.
- **Éviter les monopoles locaux.** Assurer la présence de plusieurs acteurs ayant la même activité permet de minimiser la centralité d'intermédiation. Ce dernier contribue à la vulnérabilité du réseau au regard de la robustesse.
- **Augmenter le nombre de collaborateurs.** Disposer d'un pool important de fournisseurs et de clients présents l'avantage de diminuer la vulnérabilité face à la rupture des chaînes d'approvisionnement. Cela améliore également la densité relationnelle et donc les proximités directes et indirectes du réseau.
- **Intégrer les activités en marge.** Bien que présentes sur le territoire, certaines activités ne présentent aucune collaboration avec les autres du RCVFE. Leurs

intégrations augmenteraient à la fois la diversité des activités et les potentialités de collaboration.

- **Diversifier les sources d'approvisionnement.** Un réseau modulaire présente l'avantage de ralentir la propagation de perturbations potentielles. Néanmoins, le partitionnement peut présenter des inconvénients ; notamment lorsque le nombre de communautés est important, ces dernières ont tendance à être isolées. La diversification à la fois des sources d'approvisionnement et des fournitures permettrait d'éviter l'exclusion de certaines communautés relationnelles.

Importance relative des communes dans la communauté de communes

L'observation des relations entre activités donne des perspectives intéressantes pour la compréhension de l'architecture de ce territoire. En guide d'exemple, nous avons étudié la répartition des activités sur les communes de la communauté. Les résultats informes de l'importance et de la complémentarité fonctionnelle des communes.

La répartition des activités entre communes est hétérogène (Tableau 27). Les communes « D » et « E » disposent à elle seule respectivement 82 % et 65 % de la diversité d'activités du RCVFE. Elles possèdent à elles deux 100 % des activités permettant au RCVFE d'être fonctionnel. De plus, les communes « D » et « E » disposent de façon exclusive de 9 des 17 activités. De fait, les communes « A, B, C et F » sont tributaires des communes « D » et « E ».

L'importance d'une commune dans sa communauté est fonction des services qu'elle propose. La commune « D » contribue à hauteur de 66 % des activités exclusives contre 33 % pour la commune « E ». Parmi ces activités nous pouvons noter celles du traitement des déchets [3832Z ; 3811Z] et de la distribution [4711F ; 4752B].

Dans une logique qui vise à donner la priorité aux relations locales, la complémentarité intercommunale joue un rôle important. Les communes qui disposent des services rares¹⁰⁸ prennent une valeur relative plus importante. Le fait de ne pas avoir accès aux activités qui sont en dehors de la communauté de communes oblige à considérer davantage celles qui sont en son sein. Nous avons

¹⁰⁸L'activité est rare si elle présente que sur une seule commune. C'est le cas de l'activité 1712z dans le Tableau 27

montré que les activités de traitement des déchets sont centrales dans le fonctionnement du RCVFE du fait de sa forte centralité d'intermédiarité. La commune qui porte cette activité concentre l'ensemble de flux de déchets de la communauté. Sans cette commune, les autres communes devraient s'équiper ou avoir recours aux structures extérieures. D'un point de vue fonctionnel, la commune « E » tient un rôle central au sein de la CC.

	Code NAF	Communes						Nombre de communes qui détient l'activité
		A	B	C	D	E	F	
Production	0210Z	1	1	1	1	1	1	6
	0220Z	1	1	1	1	1	1	6
1 ^{er} transformation	1610A	0	1	0	1	1	0	3
	1712Z	0	0	0	1	0	0	1
2 nd transformation	1622Z	0	0	0	1	0	0	1
	1629Z	0	0	0	0	1	0	1
	1721C	0	0	0	1	0	0	1
	3102Z	0	0	0	1	0	0	1
	3109B	1	0	0	1	1	0	3
Distribution	4673A	1	0	1	1	1	0	4
	4711F	0	0	0	1	0	0	1
	4752B	0	0	0	1	0	0	1
Mise en œuvre	4120A	0	0	1	1	1	1	4
	4332A	0	0	0	1	1	1	3
	4391A	1	1	1	1	1	1	6
Traitement des biens usagés	3811Z	0	0	0	0	1	0	1
	3832Z	0	0	0	0	1	0	1
Nombre d'activités détenues par la commune		5	4	5	14	11	5	

Tableau 27: Tableau de présence/absence des activités par commune

Lorsque les relations locales ne sont pas prioritaires, les activités centrales du réseau sont principalement celles de la distribution. Les communes qui disposent des activités de distribution sont donc centrales dans la communauté. C'est le cas de la commune « D » qui propose une grande majorité des activités du RCVFE et notamment les entreprises de commerce de gros et de détail. Au sein de la communauté, la commune « D » tient un rôle central dans le dynamisme économique du RCVFE. Les activités qui sont à l'extérieur du périmètre de la CC tiennent également un rôle important dans cette structuration intercommunale. Les possibilités d'importation et d'exportation dont disposent les activités n'encouragent pas à la complémentarité des communes. Les relations à l'environnement influencent la structuration du réseau interne de la CC.

Les communes périphériques contribuent également à la communauté. Elles permettent une meilleure répartition spatiale des activités non rares. La

consommation des foyers des communes périphériques permet le maintien de l'activité d'hypermarché [4711F] présente sur la commune « D ».

La construction d'une cartographie territoriale intégrant les réseaux de création de valeurs élargie contribuerait à l'optimisation et à la répartition des zones de valorisation des biens usagés. Les régions sont chargées de la conception des plans de prévention et de gestion des déchets. Ce périmètre est à privilégier.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Rappel de l'objectif et des contributions

L'EIT est un mode de production alternatif fondé sur une réadéquation des activités de production avec les dynamiques naturelles, en prenant exemple sur le fonctionnement des écosystèmes naturels. Sa mise en œuvre passe par le déploiement simultané de 4 axes d'actions : valoriser les déchets, boucler les cycles en minimisant les rejets, dématérialiser l'économie et décarboner l'énergie. Nous nous sommes focalisés sur les deux premiers axes à travers l'observation des bouclages de flux de matière entre activités d'un réseau forestier. La mise en œuvre de ces boucles induit nécessairement une restructuration de la topologie du système productif, qui à son tour influence les propriétés systémiques telles que la robustesse, la flexibilité et la stabilité. L'objet de cette thèse a été d'explorer les conséquences possibles et à long terme de la mise en œuvre de l'EIT, car ce dernier améliore la durabilité au regard des critères du développement durable, mais quand est-il de son influence sur la durabilité systémique ?

Les nouvelles attentes sociétales en termes de production durable et l'incertitude liée aux risques environnementaux font converger sur le territoire aquitain et son secteur forestier, une somme d'enjeux propice à la proposition d'idées novatrices (BONOTAUX, 2011). Ce massif forestier relativement récent structure aujourd'hui le secteur économique et est devenu l'une des principales caractéristiques du territoire. L'un des enjeux est de combiner amélioration de la productivité et diminution des conséquences environnementales. Cet enjeu passe nécessairement par la considération des acteurs forestiers dans un système plus large qu'est le système productif (CARROUE, 2014) et dans lequel ils évoluent déjà. À travers le réseau de création de valeurs forestier élargi l'ambition est justement d'étudier le système de production forestier à une échelle plus intégrative.

Notre protocole expérimental prévoyait une récolte exhaustive d'informations sur le périmètre de la communauté de communes de Mimizan situé au cœur des Landes de Gascogne. Contraints par des difficultés de prises de contact et d'homogénéité des données, nous nous sommes réorientés vers une modélisation qualitative faisant appel à deux réseaux fictifs et un troisième réseau élaboré à partir des données dont nous disposions.

La mise en œuvre de cette thèse a permis des contributions méthodologiques et conceptuelles originales qui par leurs biais et leurs limites façonnent nos résultats scientifiques. Après avoir rappelé nos principales contributions, nous proposons quelques pistes quant au renforcement de la durabilité systémique du territoire étudié, avant de proposer des perspectives d'évolution de nos travaux de recherches.

Les contributions méthodologiques :

Ce travail présente une contribution conceptuelle et méthodologique que sont le RCVE et la communauté de communes comme échelle pertinente pour l'observation des actions relatives à l'écologie industrielle et territoriale. Le réseau de création de valeurs élargi s'inscrit dans le giron du système productif localisé (SPL). Au sein d'une aire spatiale délimitée, le RCVE combine un écosystème d'acteurs d'un même secteur d'activité et les acteurs chargés du traitement des biens issus de ce secteur d'activité. La dimension territoriale inhérente au SPL est d'autant plus marquée au sein du RCVE que les acteurs chargés du traitement des biens usagés émanent du territoire d'étude. L'observation du flux de fourniture le long du cycle de vie de la matière met en évidence le système productif, via la prise en compte des acteurs en dehors du secteur forestier, mais qui contribuent au bon fonctionnement de ce dernier.

Dans une logique d'observation des acteurs chargés de la gestion des déchets, l'échelle intercommunale est appropriée, mais il est envisageable de tester d'autres échelles. Faire évoluer ce paramètre permettrait d'étudier son influence sur les structures. Notre hypothèse est que plus l'échelle augmente plus elle est intégrative et plus l'importance relative de l'import/export devrait diminuer. Si le massif aquitain est véritablement intégré l'importance relative de l'extérieur devrait alors être relativement faible.

Les contributions empiriques

Cette thèse a permis d'explorer certaines relations entre les caractéristiques des activités d'un secteur économique et les propriétés du système que constituent ces activités. Nous avons analysé deux scénarios contrastés relatifs au secteur forestier landais : l'un permet de représenter un réseau où toutes les relations sont internes au territoire, l'autre au contraire permet de représenter un réseau où les relations sont à la fois intra et extraterritoriales. La comparaison des réseaux conforte l'importance, d'ores et déjà observée, de la densité en faveur des mécanismes de résistance aux perturbations (ZHU ET RUTH, 2013). Par ailleurs, nos résultats montrent le rôle

important des activités à forte centralité d'intermédiarité sur la vulnérabilité suite à la rupture des chaînes des processus. Enfin, les relations entre un tissu d'acteurs sur un espace donné et son environnement influencent le rôle et l'importance relative des activités du tissu. Cette influence peut paraître inhérente à la logique de construction, mais il est néanmoins primordial pour les architectes territoriaux, que sont les collectivités, d'intégrer les phénomènes de sentiers qui se posent sur leurs décisions.

Enfin, à la lumière de nos résultats et de leurs limites, un système densément relié à son environnement socioéconomique est plus durable. L'autarcisme induit une diminution du potentiel d'interaction, ce qui diminue la densité relationnelle et engendre une agilité moindre des acteurs. Par ailleurs, l'autarcisme induit une importance fonctionnelle de certaines activités. Ces dernières deviennent le siège de la vulnérabilité du réseau. Enfin, le réseau dense est moins cloisonné et ses communautés sont davantage liées. Ils suggèrent qu'au sein du réseau OUVERT, la perturbation issue d'une chaîne d'activité aurait tendance à se diffuser plus rapidement à l'ensemble du réseau. Cette perturbation aurait tendance à être ralentie par la présence de communauté au sein du réseau FERME.

Propositions faisant suite à nos résultats :

Ces résultats sont des aides à la décision pour le développement du secteur forestier sur l'espace de la communauté de communes de Mimizan et dans une certaine mesure, sont applicables à l'échelle du périmètre du massif forestier landais.

L'intégration des chaînes d'activités sur le territoire contribuerait à la densification des collaborations locales. La densification des relations entre toutes les activités locales renforcera la robustesse. Ces relations doivent autant que faire se peut être réciproques de façon à augmenter la récursivité des chaînes d'activités.

Les relations avec les activités en dehors du territoire doivent se faire dans une logique d'équilibre avec les relations locales. L'ouverture sans réserve à l'extérieur laisse une place prépondérante aux activités d'import/export. Certes, ces dernières valorisent à l'extérieur les produits issus du territoire, mais localement ces activités accentuent la concurrence. Cette concurrence est bénéfique pour le consommateur, car elle fait diminuer les prix ce qui encourage d'autant plus les activités de la distribution. Cette situation est défavorable à la production locale dont le coût de la

main-d'œuvre est plus élevé. Par ailleurs, les producteurs locaux sont parfois contraints par des closes d'exclusivités contractées avec des distributeurs. Cette problématique nuit au développement de circuits de distribution de proximité¹⁰⁹.

Pistes d'améliorations :

Amélioration de la méthode et du modèle

La construction du RCVE se fonde sur les codes APE, mais toute entreprise peut avoir une activité principale et plusieurs activités secondaires. Notre modélisation sous-estime la densité relationnelle effective du système forestier. Intégrer toutes les activités des entreprises augmenterait la complexité du réseau, mais en contrepartie le modèle serait plus fidèle à la réalité ce qui apporterait plus d'acuité aux résultats.

Notre approche est à la jonction de l'analyse de réseau et de l'analyse de chaîne logistique. L'application d'une approche systémique à la chaîne logistique forestière, qui par nature est linéaire, nous a induits à faire des compromis méthodologiques. Notre modèle ne capte pas les relations de dépendance inhérente aux chaînes logistiques. Par exemple, dans le cas du réseau FERME, notre modèle sous-estime l'importance de l'activité Sylviculture [O21OZ], car il la considère comme homologue aux autres. Or, la sylviculture est la seule à générer la ressource naturelle. La disparition de cette activité impacterait en cascade toutes les autres (à l'exception de celles qui collaborent avec l'extérieur). Intégrer à notre modèle un ordonnancement hiérarchique des activités permettrait une analyse plus fidèle des mécanismes réels.

Comme d'autres projets de recherche similaires, notre approche a été confrontée à la difficulté d'obtenir des données homogènes et exhaustives (CHOPRA ET KHANNA, 2014). De fait, les résultats et interprétations issus de la comparaison du modèle REEL aux deux modèles théoriques sont limités par ces lacunes. Pour pallier cette difficulté, une communauté de chercheurs utilise les mêmes jeux de données fictives afin de tester leurs méthodes et leurs indicateurs (C. DUBOIS ET SMYTH, 2008). Notre approche est proche de cette idée, néanmoins la construction de nos modèles fictifs a

¹⁰⁹ Situation issue des enquêtes : des entreprises locales souhaitant se développer font appel aux services de distributeurs qui imposent des contrats d'exclusivités. Ces contrats interdisent les producteurs de distribuer eux-mêmes leurs produits. Les consommateurs, qu'ils soient particulier ou artisan, n'ont pas accès dans leur périmètre de vie aux produits issus de ce même périmètre. Certains producteurs diversifient à la marge leur gamme de références, à fin de pouvoir s'extraire des closes d'exclusivités et répondre « discrètement » à la demande locale.

été influencée par la structure du réseau REEL. Confronter nos résultats à ceux qui seraient issus de ces jeux de données en interrogeant les mêmes critères et indicateurs consoliderait notre méthodologie.

Notre méthode expérimentale se fonde sur l'hypothèse qu'il soit possible de comprendre tout ou partie d'un système en se basant sur les résultats extraits d'un des réseaux constituant le système. Se rapprocher de la connaissance véritable de ce système passe *ipso facto* par le recoupage des résultats des autres réseaux qui le constituent.

Nous nous sommes basés sur une vision du territoire constitué de 3 sous-systèmes : un espace géographique, un sous-système contenant les acteurs et un sous-système de représentations que se font ces acteurs de l'espace géographique. Ces représentations jouent le rôle de filtre (individuel, idéologique et sociétal) qui influence les acteurs (images) dans leurs prises de décision (actions) (MOINE, 2006). Cette thèse n'aborde pas le sous-système des représentations or, l'incorporation de cette dimension permettrait la compréhension des mécanismes socioéconomique qui influence l'évolution du territoire. Cette étude contribuerait à cibler des leviers d'action sociaux et s'inscrirait davantage dans une recherche en adéquation avec une durabilité forte (EHRENFELD, 2004; METEREAU ET FIGUIERE, 2014). Concrètement, il serait intéressant d'intégrer au chapitre 1 la perception de l'environnement par les parties prenantes de chacun des 3 systèmes économiques. La lecture des résultats en collaboration avec des ethnoécologues éclairerait nos connaissances sur les mécanismes de prises de décisions et faciliterait les travaux de recherches sur l'acceptabilité sociale dans le périmètre des Landes de Gascogne.

Outil d'aide au développement et à la gouvernance territoriale

Cette thèse a permis d'explorer au sein du secteur économique forestier local certaines propriétés qui émergent des relations entre activités et qui sont bénéfiques au secteur. Nous avons vu, par ailleurs, que les réseaux d'entreprises interagissent avec le système territorial sur lequel il s'appuie. Ces deux aspects suggèrent que l'approche par l'analyse des réseaux d'activité économique constitue un support à la compréhension et à la gouvernance territoriale. Les cartes de collaboration entre unités de production apportent des informations complémentaires aux cartes des traitements statiques basés uniquement sur l'effectif pour un espace donné.

À l'échelle nationale, la filière Forêt-bois souffre de difficultés majeures relatées par les nombreux rapports économiques (ATTALI, 2013; DE L'ESTOILE, 2012; GOT ET ABAD, 2015) : morcellement des propriétés, sous exploitation de la ressource, fuite des bois vers l'étranger, importation de bois destiné à l'industrie, disparition de la seconde transformation, importation des produits finis... Ce constat se résume par un déficit de 6 milliards d'euros soit 10 % de la balance totale des transactions courantes (GOT ET ABAD, 2015). L'une des causes sous-jacentes à ces difficultés réside dans la déconnexion et la désorganisation des maillons de ce réseau. L'approche par l'analyse fonctionnelle et holistique des acteurs qui concourent à la valorisation de la filière forêt-bois est un outil d'aide à la réorganisation de ce système productif. Le secteur forestier aquitain est ensemble « organisé » privilégié pour déployer de tels outils d'aide à la politique d'innovation et d'aménagement du territoire (LEVY ET BELISBERGOUIGNAN, 2011).

Outil d'analyse des stratégies collaboratives des entreprises

L'application des outils d'analyse de réseau aux systèmes productifs forestier permet d'explorer les propriétés émergentes et d'observer les relations entre collectivités au sein d'une communauté. Ces outils permettent également d'évaluer le degré d'implication et les stratégies collaboratives des acteurs forestiers, dans le cadre de montage de projet de recherches et de développements.

Durant cette thèse, nous avons eu l'occasion d'explorer la base de données des projets labélisés par le pôle XYLOFUTUR sur la période 2010-2014. Les stratégies des acteurs sont variées : certains financent quelques gros projets sur des thématiques spécifiques, d'autres financent de nombreux petits sur des thématiques variées, d'autres encore sont le plus souvent partenaires et rarement financeurs. Au-delà, des caractéristiques administratives et économiques de ces acteurs, recouper ce réseau de collaboration avec celui des flux de fournitures qu'ils peuvent s'échanger par ailleurs, contribuera à la compréhension du système forêt-bois dont ils font partie.

Notre participation au projet de recherche TREFFOR¹¹⁰ dans le cadre du programme PSDR (pour et sur le développement régional 2015-2020) contribuera à améliorer notre méthodologie. Un des axes de recherche de ce projet sera consacré à l'étude des

¹¹⁰ Porteur : IRSTEA ; Partenaires : Bordeaux Sciences Agro, Université de Bordeaux

acteurs impliqués dans les activités de R et D en lien avec les nouveaux usages du bois en tant que biocarburant ou molécules plateformes. Il porte sur les activités industrielles de la filière forêt-bois pouvant être impactées par le développement de technologies innovantes. L'enjeu est d'identifier les éléments relatifs aux pratiques industrielles qui constituent des atouts ou des contraintes au développement de la filière bioraffinerie. Le recoupage des collaborations issues des bases de brevet et celles issues d'échange de flux physique contribuera à des analyses statistiques et des représentations cartographiques des pôles de compétences scientifiques et technologiques/industriels dans le domaine des bioraffineries Lignocellulosique. Ces travaux permettront l'analyse des variables structurelles identifiées comme levier d'action mobilisé par les acteurs dans le cadre de patrimoines productifs.

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, FCBA** (2008) *Référentiels combustibles bois énergie: définition et exigences* (p. 124)
- ADOUE C** (2007) *Mettre en œuvre l'écologie Industrielle*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes
- AGRESTE AQUITAINE** (2015) *Analyses et résultats* (Enquêtes de branche exploitation forestière et scierie, rabotage, ponçage et imprégnation du bois No. 93) (p. 4). Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt d'Aquitaine
- ALDHUY J, PUYO J-Y** (2007) Savoirs géographiques et construction des hauts lieux paysagers français: l'exemple des Landes de Gascogne (XIXe-XXe siècles). *ERLA* (73-74) : 237 à 251
- ALLENBY B** (2006) The ontologies of industrial ecology? *Progress in Industrial Ecology, an International Journal* 3(1) : 28 à 40
- ALLESINA S, PASCUAL M** (2009) Food web models: a plea for groups. *Ecology Letters* 12(7) : 652-662
- ANGEON V, CARON A** (2009) Dossier « Économie de la proximité » – Quel rôle joue la proximité dans l'émergence et la pérennité de modes de gestion durable des ressources naturelles ? *Natures Sciences Sociétés* 17(4) : 361 à 372
- ARBEZ M** (1986) Réalisations et perspectives de l'amélioration génétique des arbres forestiers en France. *Revue Forestière Française, 1986, fascicule thématique« Amélioration génétique des arbres forestiers »*
- ASHTON W** (2008) Understanding the Organization of Industrial Ecosystems: A Social Network Approach. *Journal of Industrial Ecology* 12(1) : 34-51
- ASHTON WS** (2009) The Structure, Function, and Evolution of a Regional Industrial Ecosystem. *Journal of Industrial Ecology* 13(2) : 228 à 246
- ASHTON WS, BAIN AC** (2012) Assessing the « Short Mental Distance » in Eco-Industrial Networks. *Journal of Industrial Ecology* 16(1) : 70 à 82
- ATTALI C** (2013) *Vers une filière intégrée de la forêt et du bois* (p. 155)
- AUFAN R, THIERRY F** (1990) *Histoire des produits résineux landais*. Sté historique et archéologique d'Arcachon et du Pays de Buch
- AYRES RU, SIMONIS UE** (1994) Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development.
- BAGAOUI R** (2006) La systémique, penser et agir dans la complexité, de Gérard Donnadiou et Michel Karsky (2002), Éditions Liaisons, Paris. *Nouvelles perspectives en sciences sociales* 1(2) : 219
- BARREAU J, MOULINE A** (1995) « Méso-système » et dynamique d'une activité: le cas des télécommunications françaises. *TIS* 7(3) : 275 à 300
- BARZI R** (2007) Le concept de l'agilité à l'épreuve de la PME : Cas de l'industrie de l'habillement. In *XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique* (p. 34). Montréal
- BAS A, FRESARD M, GUYADER O, LESUR-IRICHABEAU G, FOURNIER N, LE GALLIC B** (2013) Apports et limites de l'économie industrielle à l'analyse des performances d'une filière halieutique. *Publications électroniques Amure Série Rapports* 31(2013) : 1 à 51
- BASCOMPTE J, JORDANO P** (2014) *Mutualistic networks*. Princeton: Princeton University Press
- BASCOMPTE J, JORDANO P, MELIÁN CJ, OLESEN JM** (2003) The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(16) : 9383–9387
- BASSENE J-B, QUIEDEVILLE S, CHABROL D, LANÇON F, MOUSTIER P** (2014) Organisation en réseau et durabilité systémique de deux filières alimentaires (riz biologique et petit épeautre en France). (p. 24). Présenté à 8ièmes journées de recherches en sciences sociales, Grenoble
- BASTOLLA U, FORTUNA MA, PASCUAL-GARCÍA A, FERRERA A, LUQUE B, BASCOMPTE J** (2009) The architecture of mutualistic networks minimizes competition and increases biodiversity. *Nature* 458(7241) : 1018-1020
- BAZIRE P, GADANT J** (1991) La Forêt en France. *La Documentation française* (4928) :
- BEAUGUITTE L** (2010) Graphes, réseaux, réseaux sociaux: vocabulaire et notation.

- BEAURAIN C, BRULLOT S** (2011) L'écologie industrielle comme processus de développement territorial : une lecture par la proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* avril(2) : 313
- BENISTON M, STEPHENSON DB, CHRISTENSEN OB, FERRO CAT, FREI C, GOYETTE S, ... WOTH K** (2007) Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81(S1) : 71 à 95
- BENYUS JM** (2008) *Biomimicry: innovation inspired by nature* (repr). New York, N.Y: Harper Perennial
- BERTRAND N, MOQUAY P** (2004) La gouvernance locale, un retour à la proximité. *Économie rurale* 280(1) : 77 à 95
- BEYGELZIMER A, GRINSTEIN G, LINSKER R, RISH I** (2005) Improving network robustness by edge modification. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 357(3) : 593–612
- BILLAUEDEL JEAN-BB** (1826) *Les Landes en 1826 ou Esquisse d'un plan Général d'amélioration des Landes de Bordeaux*
- BOIDIN B, ZUINDEAU B** (2006) Socio-économie de l'environnement et du développement durable : état des lieux et perspectives. *Mondes en développement* no 135(3) : 7-37
- BONOTAUX J** (2011) *La Forêt: une somme d'enjeux*. BORDEAUX: Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt d'Aquitaine
- BOUBA-OLGA O, GROSSETTI M** (2008) Socio-économie de proximité. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* (3) : 311 à 328
- BOURDIEU P** (1996) *Raisons pratiques: sur la théorie de l'action*. Paris: Éditions du Seuil
- BRAND FS, JAX K** (2007) Focusing the meaning (s) of resilience: resilience as a descriptive concept and a boundary object. *Ecology and society* 12(1) : 23
- BRANDES U** (2001) A faster algorithm for betweenness centrality. *Journal of mathematical sociology* 25(2) : 163 à 177
- BREMONTIER NT** (1833) Mémoires sur les Dunes (1797-1798-1800). In *Annales des ponts et chaussées* (p. 145 à 208). Carilian-Goeury
- BRULLOT S** (2009) *Mise en oeuvre de projets territoriaux d'écologie industrielle en France : vers un outil méthodologique d'aide à la décision*. Université de technologie de TROYES
- BULLMORE E, SPORNS O** (2009) Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience* 10(3) : 186-198
- BURCEA RG** (2011) *Les métaphores du consommateur dans le discours du marketing: de la cible au caméléon* (Vol. 1 à 2). Annals of the University of Craiova.
- BUSSY J-C** (1971) La gemme et les produits résineux en France. 377 à 384
- BUSSY J-C** (1983) De certaines confusions engendrées par la notion de filière.
- CARMEE** (2009) *L'approche filière: un outil d'analyse des dynamiques du système productif* (Note de veille No. 1 à 11) (p. 6). Centre d'études régionales des mutations de l'économie et de l'emploi
- CARPENTER SR, WESTLEY F, TURNER MG** (2005) Surrogates for Resilience of Social–Ecological Systems. *Ecosystems* 8(8) : 941-944
- CARROUE L** (2014) La France les mutations des systèmes productifs. A. Colin
- CARVALHO H, BARROSO AP, MACHADO VH, AZEVEDO S, CRUZ-MACHADO V** (2012) Supply chain redesign for resilience using simulation. *Computers & Industrial Engineering* 62(1) : 329-341
- CERCEAU J, JUNQUA G, GONZALEZ C, LAFOREST V, LOPEZ-FERBER M** (2014) Quel territoire pour quelle écologie industrielle ? Contribution à la définition du territoire en écologie industrielle. *Développement durable et territoires* (vol. 5, n°1) :
- CHAMBRE D'AGRICULTURE DES LANDES** (2012) *Le massif des Landes de Gascogne en 2012* (Agricultures et territoires) (p. 8). Chambre d'agriculture Landes
- CHAMBRELENT J** (1887) *Les Landes de Gascogne: leur assainissement, leur mise en culture, exploitation et débouchés de leurs produits*. Paris, France: Baudry et Cie

- CHERTOW M, EHRENFELD J** (2012) Organizing Self-Organizing Systems: Toward a Theory of Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology* 16(1) : 13-27
- CHERTOW MR** (2007) « Uncovering » industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology* 11(1) : 11 à 30
- CHEVALIER A** (1925) Le Pin maritime des Landes.: Sa culture, son exploitation, ses produits. D'après un livre récent. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale* 5(48) : 604-614
- CHOPRA SS, KHANNA V** (2014) Understanding resilience in industrial symbiosis networks: Insights from network analysis. *Journal of Environmental Management* 141 : 86 à 94
- CHRISTENSEN C, ALBERT R** (2007) Using graph concepts to understand the organization of complex systems. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 17(7) : 2201–2214
- CLAUSET A, NEWMAN ME, MOORE C** (2004) Finding community structure in very large networks. *Physical review E* 70(6) : 66111
- CLOUD P** (1977) Entropy, materials, and posterity. *Geologische Rundschau* 66(1) : 678-696
- CORI R** (2014) L'algorithme de test de planarité de R. E. Tarjan. *1024, Bulletin de la société informatique de France, numéro 4*, p. 55 à 65
- COURAU C** (2000) Le gemmage dans la forêt des Landes de Gascogne. [Littoral33]
- COURLET C** (2002) Les systèmes productifs localisés. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement* (33) : 27-40
- CRAMPES M, PLANTIE M** (2013) Partition et recouvrement de communautés dans les graphes bipartis, unipartis et orientés. In *24èmes Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances*
- CRPF** (2008) Le pin maritime: Pilier de l'économie forestière d'Aquitaine. Centre régional de la propriété forestière d'Aquitaine
- CRPF** (2009) *Expertise sur l'avenir du massif des Landes de Gascogne - Groupe de travail itinéraires sylvicoles* (p. 45). Centre Régional de la Propriété Forestière d'Aquitaine
- CRPF** (2010) Les scolytes, une nouvelle catastrophe pour le massif landais. Centre régional de la propriété forestière d'Aquitaine
- CRUCITI P, LATORA V, MARCHIORI M, RAPISARDA A** (2003) Efficiency of scale-free networks: error and attack tolerance. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 320 : 622–642
- CURTIS RL, ZURCHER LA** (1973) Stable Resources of Protest Movements: The Multi-Organizational Field. *Social Forces* 52(1) : 53-61
- CUZACQ P** (1889) *Le pin maritime des landes de Gascogne*. Bayonne, France: Lasserre
- DALY HE** (1990) Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological economics* 2(1) : 1–6
- DANON L, DÍAZ-GUILERA A, DUCH J, ARENAS A** (2005) Comparing community structure identification. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* 2005(9) : P09008-P09008
- DE L'ESTOILE M** (2012) *La valorisation de la forêt française* (Les avis du conseil économique, social et environnemental No. 18) (p. 66). Conseil économique social et environnemental
- DE MONTGOLFIER F, SOTO M, VIENNOT L** (2012) Modularité asymptotique de quelques classes de graphes. (p. 5). Présenté à 4emes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications (AlgoTel), La grande motte, France
- DEGOS G** (1976) La récolte. *Revue Forestière Française* (fascicule thématique: Ressources et besoins en bois de la France) :
- DESREUMAUX A, LECOCQ X, WARNIER V** (2009) *Stratégie*. Paris: Pearson Education
- DIEMER A** (2012) Qu'avons nous appris des symbioses industrielles ? Présenté à Colloque interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale, Troyes

- DIEMER A, LABRUNE S** (2007) L'écologie industrielle: quand l'écosystème industriel devient un vecteur du développement durable. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*
- DOMPTAIL S, EASDALE MH, YUERLITA** (2013) Managing Socio-Ecological Systems to Achieve Sustainability: A Study of Resilience and Robustness: Resilience and Robustness in Social-Ecological Systems. *Environmental Policy and Governance* 23(1) : 30-45
- DONNADIEU G, KARSKY M** (2002) *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Rueil-Malmaison, France: Éditions Liaisons
- DORE C, VAROQUAUX F (ÉD.)** (2006) *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*. Paris, France: Institut national de la recherche agronomique
- DRAAF, DREAL** (2013) *Valeurs et objectifs pour le massif forestier des Landes de Gascogne* (Atelier « Massif forestier des Landes de Gascogne ») (p. 28). Préfecture de la Région Aquitaine
- DREAL** (2013) *Projet d'installation classée pour l'extension d'un site de fabrication de produits chimiques présenté par la Société DRT sur le territoire de la Commune de Vielle-Saint-Girons (40)* (Avis de l'autorité administrative de l'Etat compétente en matière d'environnement) (p. 18). Bordeaux: Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement d'Aquitaine
- DROUINEAU S** (2011, mars) Désarroi des forestiers aquitains. *Forêt-entreprise* (197) : 43
- DUAN LJ, LI SY, LIU Y, MOREAU J, CHRISTENSEN V** (2009) Modeling changes in the coastal ecosystem of the Pearl River Estuary from 1981 to 1998. *Ecological Modelling* 220(20) : 2802 à 2818
- DUBOIS C, SMYTH P** UCI Network Data Repository., Pub. L. No. Irvine, CA: University of California § School of Information and Computer Sciences (2008)
- DUBOIS J-L, MAHIEU F-R** (2002) La dimension sociale du développement durable: réduction de la pauvreté ou durabilité sociale? In *Développement durable?: doctrines, pratiques, évaluations*. IRD Editions
- DUNNE JA, WILLIAMS RJ, MARTINEZ ND** (2002) Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology letters* 5(4) : 558–567
- ECOFOR** (2010) *Expertise collective scientifique et technique à visée prospective sur l'avenir du massif forestier landais* (Rapport pour les ministères du Développement Durable et de l'Agriculture). Paris: ECOFOR
- EHRENFELD J** (2004) Industrial ecology: a new field or only a metaphor? *Journal of Cleaner Production* 12(8-10) : 825 à 831
- EHRENFELD J, GERTLER N** (1997) Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. *Journal of industrial Ecology* 1(1) : 67 à 79
- ELLEUCH M, LEHOUX N, LEBEL L, LEMIEUX S** (2012) Collaboration entre les acteurs pour accroître la profitabilité: étude de cas dans l'industrie forestière. *Proceedings of MOSIM'12*
- ERKMAN S** (1998) *Vers une écologie industrielle* (Charles Léopold Mayer)
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY** (2013) *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2011 and inventory report 2013* (submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Secretariat No. 8). Luxembourg: Publications Office
- EUSEBIO P, LEVY D, FLOCH JM** (2015) Partitionnement et analyse de graphes. In *Les douzièmes Journées de Méthodologie Statistique de l'Insee*. Paris
- EVANS DM, POCOCK MJO, MEMMOTT J** (2013) The robustness of a network of ecological networks to habitat loss. *Ecology Letters* 16(7) : 844-852
- FAO** (2010) *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010* (Résultats principaux) (p. 12). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FAO** (2012) *Situation Mondiale des pêches et de l'aquaculture*. (Première partie) (p. 120). FAO
- FATH BD, SCHARLER UM, ULANOWICZ RE, HANNON B** (2007) Ecological network analysis: network construction. *Ecological Modelling* 208(1) : 49 à 55

- FAVREAU J-L** (2014) *Durabilité des exploitations en agriculture biologique : une analyse de la diversité des situations et des trajectoires d'évolution en Midi-Pyrénées*. Université de Toulouse
- FCBA** (2015) *Memento 2015* (mémento) (p. 48). Institut technologique FCBA
- FIBA** (2010) Plan d'urgence phytosanitaire Massif Landais 2010-2011. Fédération des Industries du bois Aquitain
- FIGUIERE C, CHEBBI A** (2016) Écologie industrielle (EI) et Économie Circulaire (EC). Concurrentes ou complémentaires ? Présenté à XXXII èmes Journées du développement ATM 2016 COLLOQUE Catastrophes, vulnérabilités et résiliences dans les pays en développement Université de Lille 1, Lille
- FISCHER-KOWALSKI M** (2002) Exploring the history of industrial metabolism. In R. U. Ayres & U. E. Simonis (Éd.), *A handbook of industrial ecology*
- FOLKE C, CARPENTER SR, WALKER B, SCHEFFER M, CHAPIN T, ROCKSTROM J** (2010) Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society* 15(4) :
- FONTAN C** (2006) « L'outil » filière agricole pour le développement rural. *Centre d'économie du développement-Université Montesquieu-Bordeaux IV. Document de travail 124* : 23
- FORÊT PRIVÉE FRANÇAISE** (2015) *Les chiffres clés de la forêt privée* (Edition 2015). Forêt Privée Française
- FORTUNA MA, STOFFER DB, OLESEN JM, JORDANO P, MOUILLOT D, KRASNOV BR, ... BASCOMPTE J** (2010) Nestedness versus modularity in ecological networks: two sides of the same coin? *Journal of Animal Ecology*
- FORTUNATO S, BARTHELEMY M** (2007) Resolution limit in community detection. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(1) : 36–41
- FRANCEAGRI-MER** (2015) *L'observation nationale des ressources en biomasse Evaluation des ressources disponibles en France* (Les études de FranceAgriMer) (p. 114). FranceAgriMer
- FREEMAN L** (1979) Centrality in social networks Conceptual clarification. *Social Networks* 1(3) : 215 à 239
- FROSC RA, GALLOPOULOS NE** (1989) Strategies for Manufacturing. *Scientific American* 261(3) : 144
- GADDE L-E, MATSSON L-G** (1987) Stability and change in network relationships. *International journal of research in marketing* (4) : 29-41
- GALLICA** (1881) *Journal officiel de la République française. Lois et décrets*. Journaux officiels (Paris)
- GELDRON A** (2014) *Economie Circulaire: Notions* (Fiche technique). Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- GEORGESCU-ROEGEN N** (1979) La décroissance. *Entropie-Ecologie-Economie. Edition électronique*
- GLEYZE J-F** (2001) Réseaux, Territoire, et Accessibilité. Institut Géographique National
- GOT P, ABAD D** (2015) *Pour une meilleure valorisation économique de la filière bois-forêt en France* (Rapport d'information No. 3131) (p. 85). Paris: Assemblée Nationale
- GRILLI J, ROGERS T, ALLESINA S** (2016) Modularity and stability in ecological communities. *Nature Communications* 7 : 12031
- GUERANGER D** (2008) L'intercommunalité, créature de l'état: Analyse socio-historique de la coopération intercommunale. Le cas du bassin chambérien. *Revue française de science politique* 58(4) : 595
- GUEUDET A** (2015) *Etat de l'art sur la production de molécules chimiques issues du bois en France* (Synthèse) (p. 16). Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- GUIMERA R, SALES-PARDO M, AMARAL LAN** (2007) Module identification in bipartite and directed networks. *Physical Review E* 76(3) : 36102
- GUIMERA R, STOFFER DB, SALES-PARDO M, LEICHT EA, NEWMAN MEJ, AMARAL LAN** (2010) Origin of compartmentalization in food webs. *Ecology* 91(10) : 2941–2951

- GUINAUDEAU** (1961) Où en est l'industrie résinière française. 494 à 502
- GUINAUDEAU, CASTAING G** (1963) Le reboisement des dunes maritimes de lit région landaise.
- GUYON J-P, ORAZIO C, JAUSORO SANTA N, DAVILA A, CRUZ A** (2003) Représentations sociales de la forêt dans le pays basque et en Aquitaine : de la forêt mythique à la Forêt Idéale. Présenté à La Forêt : Enjeux Comparés des Formes d'Appropriation, de Gestion et d'Exploitation dans les Politiques Environnementales et le Contexte d'Urbanisation Généralisée, Poitiers, Maison des Sciences de l'Homme et de la Société de Poitiers
- HARDY C, GRAEDEL TE** (2002) Industrial Ecosystems as Food Webs. *Journal of Industrial Ecology* 6(1) : 29-38
- HARTWICK JM** (1977) Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources. *The American Economic Review* 67(5) : 972-974
- HOLLING CS** (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4 : 1-23
- IFN** (2003) *les tempêtes de décembre 1999. Bilan national et enseignements* (l'IF No. 2) (p. 2). Inventaire forestier national
- IFN** (2009) *Tempête Klaus du 24 janvier 2009* (l'IF No. 21) (p. 12). Institut national de l'information géographique et forestière
- IVES AR, CARDINALE BJ** (2004) Food-web interactions govern the resistance of communities after non-random extinctions. *Nature* (429) : 174 a 177
- IVES AR, CARPENTER SR** (2007) Stability and diversity of ecosystems. *science* 317(5834) : 58-62
- JACOBSEN NB** (2006) Industrial symbiosis in Kalundborg, Denmark - A quantitative assessment of economic and environmental aspects. *Journal of Industrial Ecology* 10(1 à 2) : 239 à 255
- JHA S, WING J, LINGER R, LONGSTAFF T** (2000) Survivability analysis of network specifications. In *Proceedings, International Conference on Dependable Systems and Networks* (p. 613-622). New York
- JOLIVET C, AUGUSTO L, TRICHET P, ARROUAYS D** (2007) Les sols du massif forestier des Landes de Gascogne: formation, histoire, propriétés et variabilité spatiale.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE FRANÇAISE** (1920, octobre 23) journal officiel de la république française. *République française*, p. 82. Paris
- KAPLINSKY R, MORRIS M** (2001) *A handbook for value chain research* (Vol. 113)
- KIM H, ANDERSON R** (2013) An experimental evaluation of robustness of networks. *IEEE Systems Journal* 7(2) : 179-188
- KORHONEN J** (2001) Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production* 9(3) : 253 à 259
- KORHONEN J, SNÄKIN J-P** (2005) Analysing the evolution of industrial ecosystems: concepts and application. *Ecological Economics* 52(2) : 169-186
- KRAUSE AE, FRANK KA, MASON DM, ULANOWICZ RE, TAYLOR WW** (2003) Compartments revealed in food-web structure. *Nature* 426(6964) : 282-285
- KRÖGER W, ZIO E** (2011) *Vulnerable Systems*. London: Springer London
- LARROQUETTE A** (1924) *Les landes de Gascogne et la forêt landaise*
- LARROQUETTE A** (1936) *Histoire des landes*
- LAURIER J-P** (2010, janvier) Mécanisation du bûcheronnage en France: l'état des lieux en 2009. *Forêt-entreprise* (190) : 17
- LE CLUB D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE DE L'AUBE** (2016) Economie circulaire et écologie industrielle et territoriale: quelle relation?
- LE LIDEC P** (2007) Le jeu du compromis : l'Etat et les collectivités territoriales dans la décentralisation en France. *Revue française d'administration publique* 121-122(1) : 111

- LE MOIGNE J-L** (1990) *La modélisation des systèmes complexes* (1991^e, 1995^e, 1999^e, 2002^e éd.). Paris: Dnod
- LE SAOUT R** (2013) L'intercommunalité en France comme objet de recherche: entre évaluation des dispositifs et analyses des processus d'institutionnalisation. *Revista Vasca de Administración Pública. Herri-Ardulararitzako Euskal Aldizkaria* (96) : 315 à 340
- LE TACON F, BONNEAU M, GELPE J, BOISSEAU T, BARADAT P** (1994) Le dépérissement du pin maritime dans les landes de gascogne à la suite des introductions de graines d'origine ibérique et des grands froids des années 1962-1963 et 1985. *Revue Forestière Française* (5) : 474
- LE TREUT H** (2013) *Les impacts du changement climatique en Aquitaine* (p. 365). Bordeaux: Presses Universitaire de Bordeaux
- LEACH M, SCOONES I, STIRLING A** (2010a) *Dynamic sustainabilities: technology, environment, social justice*. London ; Washington, DC: Earthscan
- LEACH M, SCOONES I, STIRLING A** (2010b) Governing epidemics in an age of complexity: Narratives, politics and pathways to sustainability. *Global Environmental Change* 20(3) : 369-377
- LEHOUX N, MARIER P, D'AMOURS S, OUELLET D, BEAULIEU J** (2012) *Le réseau de création de valeur de la fibre de bois canadienne*. CIRRELT
- LEICHT EA, NEWMAN ME** (2008) Community structure in directed networks. *Physical review letters* 100(11) : 118703
- LEMERCIER C** (2005) Analyse de réseaux et histoire. *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 52(2) : 88-112
- LENORT R, WICHER P** (2012) Agile Versus Resilient Supply Chains: Commonalities and Differences. In *Carpathian Logistics Congress* (p. 558-564)
- LERAT S (ÉD.)** (1983) *Landes et Chalosses* (Vol. 1-2). Pau, France: Société nouvelle d'éditions régionales et de diffusion
- LEVIN SA, BARRETT S, ANIYAR S, BAUMOL W, BLISS C, BOLIN B, ... OTHERS** (1998) Resilience in natural and socioeconomic systems. *Environment and Development Economics* 3(2) : 221-262
- LEVY R, BELIS-BERGOIGNAN M** (2011) Quel développement pour une filière fondée sur le partage d'une ressource localisée ? *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* octobre(3) : 469
- LINGER RC, LIPSON HF, MCHUGH J, MEAD NR, SLEDGE CA** (2002) Life-cycle models for survivable systems.
- MAAF** (2013) *Plan national d'action pour l'avenir des industries de transformation du bois* (Rapport interministériel) (p. 19). Ministère de l'égalité des territoires et du logement, Ministère du redressement productif, Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt
- MAGEE C** (2006) *Network Analysis and deeper understanding of complex systems: Positives*. Massachusetts Institute of Technology
- MARGERIE P** (1976) Les entreprises utilisatrices de bois. *Revue forestière française* (Spécial « Ressources et besoins en bois de la France ») :
- MAY RM** (1972) Will a Large Complex System be Stable? *Nature* 238(5364) : 413-414
- MEMMOTT J, WASER NM, PRICE MV** (2004) Tolerance of pollination networks to species extinctions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 271(1557) : 2605-2611
- MERMET L, TREYER S** (2001) Quelle unité territoriale pour la gestion durable de la ressource en eau? *Responsabilité et Environnement* 22 : 67-79
- METEREAU R, FIGUIERE C** (2014) Système coopératif localisé, stratégies collectives paysannes et agroécologie au Nicaragua: prétexte pour une Économie politique de l'Écologie industrielle. In *Conférence interdisciplinaire sur l'écologie industrielle et territoriale (COLEIT)* (p. 9-p)
- MITCHELL M** (2006) Complex systems: Network thinking. *Artificial Intelligence* 170(18) : 1194-1212
- MOHAMMAD AJ, HUTCHINSON D, STERBENZ JPG** (2006) *Towards quantifying metrics for resilient and survivable networks*

- MOINE A** (2006) Le territoire comme un système complexe: un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. *L'Espace géographique* (2) : 115 à 132
- MONFORT J-A** (1983) A la recherche des filières de production. *Economie et statistique* 151(1) : 3 à 12
- MORA O, BANOS V** (2014) La forêt des Landes de Gascogne: vecteur de liens? *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* (Volume 14 Numéro 1) :
- MORIN E** (1990) *Introduction à la pensée complexe*. Paris: Du seuil
- MORVAN Y** (1991) *Fondements d'Economie Industrielle* (Economica)
- NEFFKE F, SVENSSON HENNING M** (2008) Revealed relatedness: Mapping industry space. *Papers in Evolutionary Economic Geography* 8 : 19
- NEWMAN MEJ, GIRVAN M** (2004) Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E* 69(66133) :
- NICOLAS J-P** (2009) *Rapport d'information sur les conséquences de la tempête du 24 janvier 2009 dans le Sud-Ouest* (Rapport de la commission des affaires économiques No. 1836) (p. 105). Assemblée Nationale
- NICOSIA V, MANGIONI G, CARCHIOLO V, MALGERI M** (2009) Extending the definition of modularity to directed graphs with overlapping communities. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* 2009(3) : P03024
- NIEDDU M, GARNIER E, BLIARD C** (2010) L'émergence d'une chimie doublement verte. *Revue d'économie industrielle* (132) : 53–84
- OCDE** (2012) *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050: Les conséquences de l'inaction* (Synthèses). Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development
- OPSAHL T** (2009) *Structure and Evolution of Weighted Networks*. School of Business and management, Queen Mary College, University of London, Londres
- OPSAHL T** (2015) Software for Analysis of Weighted, Two-Mode, and Longitudinal Networks (Version 3.0.2014) [R package « Tnet »]. CRAN
- PAPY L** (1946) *sauvera-t-on la forêt landaise ?* Bordeaux: Delmas
- PAPY L** (1979) *Les landes de gascogne et la cote d'argent*
- PAQUIN RL, HOWARD-GRENVILLE J** (2013) Blind Dates and Arranged Marriages: Longitudinal Processes of Network Orchestration. *Organization Studies* 34(11) : 1623-1653
- PARDE J** (1957) *Il y a cent ans: Les landes de Gascogne*.
- PARDE J** (1989) Le pin maritime des landes, hier, avant-hier, aujourd'hui et demain. *Revue forestière française*
- PECQUEUR B, ZIMMERMANN J-B (ÉD.)** (2004a) *Économie de proximités*. Paris: Hermès science publications : Lavoisier
- PECQUEUR B, ZIMMERMANN J-B** (2004b) *Economie de Proximités* (Hermès science publications). Paris: Hermès science publications
- PENA-VEGA A (ÉD.)** (2011) *Edgar Morin, aux risques d'une pensée libre*. Paris: CNRS Éd
- PETERSON G, ALLEN CR, HOLLING CS** (1998) Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems* 1(1) : 6 à 18
- PIMM SL** (1979) The Structure of Food Webs. *Theoretical population biology* (16) : 144 à 158
- PINAUD A-M** (1973) La forêt landaise : une forêt en mutation. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 44(2) : 207-224
- PINTO JG, ULBRICH U, LECKEBUSCH GC, SPANGHEHL T, REYERS M, ZACHARIAS S** (2007) Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate Dynamics* 29(2-3) : 195 à 210
- PONS P, LATAPY M** (2004) *Algorithmique des grands réseaux d'interactions : détection de structures de communautés* (Rapport de DEA) (p. 32). Paris: LIAFA-ENS Paris 7

- PORTER ME** (1999) *L'avantage concurrentiel* (P. de Lavergne, Trans.). Paris, France: Dunod
- RIBEREAU-GAYON M-D** (2001) *Chasseurs de traditions : l'imaginaire contemporain des Landes de Gascogne*. Paris: Ed. du Comité des Travaux Historique et Scientifiques
- RICHARD A** (1934) Les papeteries landaises. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 5(1) : 103 à 110
- ROBERTS B-H** (2004) The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: an Australian case study. *Journal of Cleaner Production* 12(8-10) : 997 à 1010
- ROZENBLAT C** (1997) L'efficacité des réseaux de villes pour le développement et la diffusion des entreprises multinationales en Europe (1990 - 1996). *Flux* 13(27) : 41 à 58
- SAGLIETTO L** (2006) Quelques points de repères dans l'étude des réseaux par la théorie des graphes. *Networks and Communication Studies* 20(1-2) :
- SARGOS J** (1949) *Contribution à l'histoire du boisement des landes de Gascogne* (Delmas)
- SARGOS J** (1997) *Histoire de la forêt landaise: du désert à l'âge d'or*. Bordeaux, France: l'Horizon chimérique
- SCHILLER F, PENN AS, BASSON L** (2014) Analyzing networks in industrial ecology – a review of Social-Material Network Analyses. *Journal of Cleaner Production* 76 : 1-11
- SCHLARB M** (2001) Eco-industrial development: a strategi for building sustainable communities. *Reviews of economic development literature and practice* (8) : 49
- SCOTT J** (2012) *Social Network Analysis*. SAGE
- SHARIFI H, ZHANG Z** (1999) A methodology for achieving agility in manufacturing organisations: An introduction. *International journal of production economics* 62(1) : 7–22
- SHEFFI Y** (2004) Demand Variability and Supply Chain Flexibility. In *Entwicklungspfade und Meilensteine moderner Logistik* (p. 85-117). Gabler Verlag
- SORNETTE D** (2006) Endogenous versus Exogenous Origins of Crises. In S. Albeverio, V. Jentsch, & H. Kantz (Éd.), *Extreme Events in Nature and Society* (p. 95-119). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg
- STERBENZ JPG, HUTCHISON D, ÇETINKAYA EK, JABBAR A, ROHRER JP, SCHÖLLER M, SMITH P** (2010) Resilience and survivability in communication networks: Strategies, principles, and survey of disciplines. *Computer Networks* 54(8) : 1245-1265
- STERR T, OTT T** (2004) The industrial region as a promising unit for eco-industrial development—reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology. *Journal of Cleaner Production* 12(8-10) : 947-965
- TARJAN R** (1972) Depth-First search and linear graph algorithms. *SIAM journal of computing* 1(2) :
- TELESFORD QK, SIMPSON SL, BURDETTE JH, HAYASAKA S, LAURIENTI PJ** (2011) The Brain as a Complex System: Using Network Science as a Tool for Understanding the Brain. *Brain Connectivity* 1(4) : 295-308
- TEMPLET PH** (2004) Diversity and other emergent properties of industrial economies. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal* 1(1/2/3) : 24
- TERREAUX J-P, JEANDUPEUX L** (1996) Filière-bois: l'internationalisation confirmée.
- THADAKAMAILA HP, RAGHAVAN UN, KUMARA S, ALBERT R** (2004) Survivability of multiagent-based supply networks: a topological perspect. *Intelligent Systems, IEEE* 19(5) : 24–31
- THEBAULT E, FONTAINE C** (2010) Stability of Ecological Communities and the Architecture of Mutualistic and Trophic Networks. *Science* 329(5993) : 853-856
- THIVOLLE-CAZAT A, COLIN A, MEREDIEU C, DROUINEAU S, CAVAIGNAC S, BAILLY A, ... LAMBERT P** (2013) *Analyse prospective de la ressource forestière et des disponibilités en bois de la région Aquitaine à l'horizon 2025. Disponibilité en bois en Aquitaine de 2012 à 2025* (Rapport final) (p. 55). IGN, INRA, CRPF, FCBA

-
- TORRE A, ZIMMERMANN J-B** (2015) Des clusters aux écosystèmes industriels locaux. *Revue d'économie industrielle* (4) : 13-38
- TRAIMOND B** (1980) Le feu est dans la lande ou l'incendie comme fait social. *Revue Forestière Française, 1980, S, fascicule thématique« Société et Forêts »*
- TREMBLAY D-G, FONTAN J-M, KLEIN J-L, ROUSSEAU S** (2003) Proximité territoriale et innovation : une enquête sur la région de Montréal. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* (5) : 835
- WALKER B, HOLLING CS, CARPENTER SR, KINZIG A** (2004) Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and society* 9(2) : 5
- WALLISER B** (2006) LES PHENOMENES EMERGENTS.
- WASSERMAN S, FAUST K** (1994) *Social network analysis: methods and applications*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press
- WRIGHT RA, CÔTÉ RP, DUFFY J, BRAZNER J** (2009) Diversity and Connectance in an Industrial Context: The Case of Burnside Industrial Park. *Journal of Industrial Ecology* 13(4) : 551-564
- ZHU J, RUTH M** (2013) Exploring the resilience of industrial ecosystems. *Journal of Environmental Management* 122 : 65 à 75

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE	15
A. LA NÉCESSAIRE ÉVOLUTION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION	16
1. <i>Du linéaire au circulaire, un moyen de durer</i>	16
2. <i>L'Écologie industrielle et territoriale, un nouveau modèle de production</i>	18
B. DURABILITÉ SYSTÉMIQUE, ANALYSE DE RÉSEAUX ET SYSTÈMES ÉCONOMIQUES	22
1. <i>La durabilité et le développement durable</i>	22
2. <i>L'étude des propriétés émergentes des systèmes de production au travers de l'analyse de réseaux</i>	25
3. <i>Les mécanismes de la durabilité systémique</i>	27
C. LES COLLABORATIONS LOCALES, LEVIER DE DURABILITÉ DU SYSTÈME FORET-BOIS LANDAIS ?	36
1. <i>L'écologie industrielle par et pour la proximité</i>	36
2. <i>Le cas du système productif forêt-bois landais</i>	37
D. OBJECTIF DE LA THÈSE ET PLAN DE TRAVAIL	40
DÉCOUVERTE DU SYSTÈME FORESTIER LANDAIS ET CARACTÉRISATION DU TERRITOIRE D'ÉTUDE	45
CHAPITRE 1 : LES SYSTÈMES ÉCONOMIQUES DOMINANT SUR L'ESPACE DU TRIANGLE LANDAIS	47
A. INTRODUCTION	47
B. LES SYSTÈMES FORESTIERS DU MASSIF DES LANDES DE GASCOGNE	50
1. <i>Avant 1857 : le système agro-sylvo-pastoral</i>	50
2. <i>1857-1920 : Prédominance du système résinier</i>	54
3. <i>À partir de 1920 : Mise en valeur de la production ligneuse</i>	57
4. <i>Depuis 1980 : Émergence de la chimie verte ?</i>	60
5. <i>Représentation schématique des successions économiques</i>	61
C. ANALYSE DES FACTEURS DE TRANSITIONS	64
1. <i>Les décisions politiques sont des initiateurs du changement</i>	64
2. <i>Le marché économique est un moteur du changement</i>	65
3. <i>Le système législatif est le levier du changement</i>	65
4. <i>Les mouvements sociaux ont retardé le basculement d'un système au suivant</i>	66
5. <i>Les aléas climatiques sont des intensificateurs de la gestion technique du système en cours</i>	67
D. CONCLUSION	68
CHAPITRE 2 : LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES COMME UN SYSTÈME PILOTE POUR L'ÉTUDE D'UN RÉSEAU DE CRÉATION DE VALEURS FORESTIER ÉLARGI	71
A. INTRODUCTION	71
B. LE CAHIER DES CHARGES DU « SYSTÈME PILOTE »	72
1. <i>Le système pilote doit disposer de capacité de gestion et d'analyse</i>	72
2. <i>Le système pilote doit contenir le réseau de création de valeurs forestier « élargi »</i>	74
3. <i>Le système pilote doit être en adéquation avec les principes structurant de l'écologie industrielle et territoriale</i>	79
C. LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES, UN TERRITOIRE IDOÏNE	80
1. <i>La communauté de communes est un territoire de compromis</i>	82
2. <i>La communauté de communes est un établissement public compétent</i>	83
3. <i>La communauté de communes est un territoire de proximité</i>	85
D. CONCLUSION	86

MODÉLISATION DU RÉSEAU DE CRÉATION DE VALEURS ÉLARGI À L'ÉCHELLE D'UNE COMMUNAUTÉ DE COMMUNES	91
CHAPITRE 3 : DURABILITÉ D'UN SYSTÈME « FERME » VERSUS DURABILITÉ D'UN SYSTÈME « OUVERT »	93
A. INTRODUCTION	93
1. <i>Deux scénarios contrastés : « FERME » et « OUVERT »</i>	94
2. <i>Rappel des mécanismes de durabilité systémique</i>	95
B. LE RCVFE ÉTUDIÉ	97
1. <i>Le périmètre du RCVFE</i>	97
2. <i>Les éléments du RCVFE</i>	98
3. <i>Les relations entre les éléments du RCVFE</i>	101
C. MODÉLISATION ET MÉTHODE D'ANALYSE DES RÉSEAUX	102
1. <i>Principes de modélisation</i>	102
a. Méthode de construction Input/output	102
b. Implication des deux scénarios sur la construction des modèles	104
c. Analyse de réseau et angles de lecture des réseaux	105
2. <i>Analyses structurales</i>	109
a. Indicateurs structuraux	109
b. Indicateurs de centralité	109
3. <i>Analyse de la durabilité systémique</i>	110
a. Indicateurs de robustesse	110
i. Les composantes fortement connexes	110
ii. L'efficacité du réseau (E(G))	111
b. Indicateurs de flexibilité	112
i. La densité du réseau (D)	112
ii. La centralité de proximité et d'affinité	112
c. Indicateurs de stabilité	114
i. La présence de communautés (Q)	114
ii. La qualité de répartition des relations intercommunautaires (QR)	116
D. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	125
1. <i>Résultats de l'analyse structurale</i>	128
a. Les différences structurales	130
b. Études des centralités des activités	131
c. Ce qu'il faut retenir des caractéristiques des réseaux	137
2. <i>Résultats de l'analyse des durabilités</i>	140
a. Durabilité au regard de leur robustesse	140
i. Les composantes fortement connexes	140
ii. L'efficacité du réseau	141
iii. Ce qu'il faut retenir de l'analyse de la robustesse	142
b. Durabilité au regard de la flexibilité	144
i. La densité du réseau	144
ii. La centralité de proximité	145
iii. Ce qu'il faut retenir de l'analyse de la flexibilité	147
c. Durabilité au regard de la stabilité	148
i. Les communautés	148
ii. Liaisons entre les communautés	150
iii. Ce qu'il faut retenir de l'analyse de la stabilité	151
E. CONCLUSION	152
CHAPITRE 4 : COMPARAISON D'UN CAS D'ÉTUDE AUX MODÈLES THÉORIQUES	156
A. INTRODUCTION	156
B. MATÉRIEL ET MÉTHODE	156
1. <i>Principe de construction</i>	156

TABLE DES MATIÈRES

2.	<i>Types de données récoltés</i>	157
3.	<i>Sources des données</i>	158
4.	<i>Rappel des indicateurs d'analyse</i>	160
C.	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	161
1.	<i>Comparaison des caractéristiques structurales</i>	161
a.	Les différences structurales	161
b.	Étude des centralités des activités	162
2.	<i>Comparaison des durabilités</i>	167
a.	Comparaison des résultats relatifs à la robustesse	167
i.	Les composantes fortement connexes	167
ii.	L'efficacité du réseau	167
b.	Comparaison des résultats relatifs à la flexibilité	171
i.	La densité du réseau	171
ii.	La centralité de proximité	171
c.	Comparaison des résultats relatifs à la stabilité	174
i.	Compartment	174
ii.	Relations entre les communautés	175
D.	DISCUSSION ET CONCLUSION	176
	CONCLUSION GÉNÉRALE	182
	BIBLIOGRAPHIE	190
	TABLE DES MATIÈRES	202
	ANNEXES	206

ANNEXES

Activités trop généralistes	Les activités qui ne manipulent pas directement les flux de matière	Les activités qui ne modifient pas l'état de la matière	Les activités de commerce de papeterie	Les activités de la chimie du bois
32.20Z	46.61Z	02.40Z	18.11Z	20.52Z
32.40Z	71.11Z	49.20A	28.30Z	20.53Z
43.33Z	71.12B	49.41A	47.61Z	
46.16Z	72.11Z	49.41B	47.62Z	
46.90Z	72.19Z	49.20Z		
47.11D	72.20Z	50.20Z		
47.11B	85.42Z	50.40Z		
47.19A	85.59A	51.21Z		
47.19B				
47.53Z				
47.64Z				
47.65Z				
47.79Z				
47.91A				
47.91B				
47.99A				
47.99B				
95.29Z				

Annexe 1 : Tableau 28: Les 40 codes exclus de l'analyse

Annexe 2 : Tableau 29: Liste des 41 codes compris dans l'analyse

- 0210Z. Sylviculture et autres activités forestières
- 0220Z. Exploitation forestière
- 1610A. Sciage et rabotage du bois, hors imprégnation
- 1610B. Imprégnation du bois
- 1621Z. Fabrication de placage et de panneaux de bois
- 1622Z. Fabrication de parquets assemblés
- 1623Z. Fabrication de charpentes et d'autres menuiseries
- 1624Z. Fabrication d'emballages en bois
- 1629Z. Fabrication d'objets divers en bois ; fabrication d'objets en liège, vannerie et sparterie
- 1711Z. Fabrication de pâte à papier
- 1712Z. Fabrication de papier et de carton
- 1721A. Fabrication de carton ondulé
- 1721B. Fabrication de cartonnages
- 1721C. Fabrication d'emballages en papier
- 1722Z. Fabrication d'articles en papier à usage sanitaire ou domestique
- 1723Z. Fabrication d'articles de papeterie
- 1729Z. Fabrication d'autres articles en papier ou en carton
- 3101Z. Fabrication de meubles de bureau et de magasin
- 3102Z. Fabrication de meubles de cuisine
- 3109A. Fabrication de sièges d'ameublement d'intérieur
- 3109B. Fabrication d'autres meubles et industries connexes de l'ameublement
- 3811Z. Collecte des déchets non dangereux
- 3821Z. Traitement et élimination des déchets non dangereux
- 3832Z. Récupération de déchets triés

- 4120A. Construction de maisons individuelles
- 4120B. Construction d'autres bâtiments
- 4332A. Travaux de menuiserie bois et PVC
- 4391A. Travaux de charpente
- 4391B. Travaux de couverture par éléments
- 4399D. Autres travaux spécialisés de construction

- 4613Z. Intermédiaires du commerce en bois et matériaux de construction

- 4615Z. Intermédiaires du commerce en meubles, articles de ménage et quincaillerie

- 4647Z. Commerce de gros (commerce interentreprises) de meubles, de tapis et d'appareils d'éclairage

- 4673A. Commerce de gros (commerce interentreprises) de bois et de matériaux de construction

- 47.11F Hypermarchés

- 4752A. Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en petites surfaces (moins de 400 m²)

- 4752B. Commerce de détail de quincaillerie, peintures et verres en grandes surfaces (400 m² et plus)

- 4759A. Commerce de détail de meubles
- 4759B. Commerce de détail d'autres équipements du foyer
- 4778B. Commerces de détail de charbons et combustibles
- 9524Z. Réparation de meubles et d'équipements du foyer

Annexe : 3: Descriptif des secteurs et des 17 codes APE retenus pour l'étude

Secteur 1 : Production sur pied-exploitation forestière

Cette catégorie correspond à l'extrémité amont du système. Ce sont les activités directement reliées à la dynamique de la ressource forestière. Elle regroupe les activités de sylviculture [0210Z] et d'exploitation forestière [0220Z].

[0210Z] Les activités de sylviculture comprennent la production de bois sur pied (boisement, reboisement, transplantation, éclaircie et conservation des forêts et des zones boisées), la culture de taillis, de bois de trituration et de bois de chauffage.

[0220Z] Les activités d'exploitation forestière comprennent la production de bois brut pour les industries forestières de transformation, la production de bois utilisé sous une forme brute (bois de mine, les pieux de clôtures, les poteaux électriques), la

production de bois à des fins énergétiques, la production de résidus de l'exploitation forestière à des fins énergétiques.

Secteur 2 : Première transformation

Cette catégorie comprend les activités qui transforment la matière brute (bois rond). Elle comprend des activités de scierie [1610A] et de papeterie [1712Z].

[1610A] Les activités de scierie correspondent aux activités de sciage, de rabotage, de façonnage du bois. Elle concerne les bois tranchés, déroulés ou dédossés, la fabrication de traverses en bois pour voies ferrées, la fabrication de lames pour parquets non assemblées, la fabrication de laine (paille) de bois, de farine de bois, de bois en plaquettes ou en particules.

[1712Z] Les activités de papeterie correspondent à la fabrication de papiers et de cartons destinés à faire l'objet d'une transformation ultérieure par l'industrie.

Secteur 3 : transformation

Cette catégorie comprend les activités qui acceptent des produits semi-travaillés et en font des produits finis. Sur le territoire, elle compte la fabrication de parquets assemblés [1622Z], fabrication de meubles [3102Z, 3109B], fabrication d'emballage en papier [1721C] et fabrication d'objet divers en bois [1629Z].

[1622Z] La fabrication de parquets assemblés correspond à la fabrication de blocs, lames pour parquets, assemblés en panneaux.

[3102Z, 3109 B] La fabrication de meubles comprend la fabrication de sièges de cuisine ou de meubles de cuisine [3102Z], la fabrication de sièges de camping ou de jardin, la fabrication de mobilier de jardin et de meubles des types utilisés dans les chambres à coucher, les salles à manger et de séjour [3109B].

[1721C] La fabrication d'emballage en papier correspond à la fabrication de sacs, de sachets en papier et la fabrication de sacs de grande contenance en papier.

[1629Z] La fabrication d'objet divers en bois comprend les manches et montures pour outils, brosses, balais. La fabrication de statuettes et objets d'ornement, bois marquetés et bois incrustés, de coffrets, écrins et étuis pour bijouterie ou orfèvrerie et ouvrages similaires. Le travail du liège naturel, la fabrication de liège aggloméré, la

fabrication de bûches et de pellets pour la production d'énergie, fabriqués à partir de bois pressés. La fabrication de miroirs en bois et d'encadrements pour photos, la fabrication d'encadrements pour des toiles d'artistes.

Secteur 4 : Distribution

Cette catégorie comprend l'ensemble des activités de distribution et de commercialisation des produits. Sur le territoire, elle compte des activités de commerce de gros [4673A], de grande distribution [4711F] et de commerce au détail [4752B].

[4673A] L'activité de commerce de gros comprend le commerce de gros de bois brut, le commerce de gros de produits de la transformation primaire et secondaire du bois, le commerce de gros de matériaux de construction (sable, gravier, ciment, plâtre, briques...). Le commerce de gros de bâtiments préfabriqués.

[4711F] L'activité de grande distribution comprend le commerce de détail non spécialisé à prédominance alimentaire en magasin d'une surface de vente égale ou supérieure à 2500 m².

[4752B] L'activité de commerce au détail comprend le commerce de détail d'articles de quincaillerie, le commerce de détail de peintures, de vernis et d'émaux, le commerce de détail de verre plat, le commerce de détail d'autres matériaux de construction tels que briques, bois, appareils sanitaires, le commerce de détail de matériaux et de matériels de bricolage.

Secteur 5 : Mise en œuvre et prestation de service

Cette catégorie comprend les activités de mise en œuvre d'un produit fini et de prestation de services. Elle compte les travaux de charpente [4391A], la construction [4120A] et les travaux de menuiserie [4332A].

[4391A] Les travaux de charpente comprennent le montage de charpentes en bois.

[4120A] L'activité de construction comprend, les entreprises générales de construction ou « tous corps d'état » prenant la responsabilité globale de la construction d'une maison, notamment la construction de maisons individuelles dans

le cadre d'un contrat de construction de maison individuelle, l'assemblage et la construction de maisons préfabriquées.

[4332A] Les travaux de menuiserie comprennent le montage de menuiseries extérieures en bois ou en matières plastiques. Le montage de menuiseries intérieures en bois ou en matières plastiques, la réalisation de placards, etc. Le montage de fermetures de bâtiment en bois ou en matières plastiques (volets, portes de garage...). Le montage de portails en bois ou en matières plastiques. La mise en place de cuisines intégrées ou par éléments, de placards, d'escaliers d'intérieur en bois ou en matières plastiques.

Secteur 6 : Consommateur (foyer fiscal)

Cette catégorie comprend les consommateurs finaux. Ici, nous avons considéré les ménages présents sur le territoire d'étude.

Secteur 7 : Traitement des biens usagés

Cette catégorie comprend les activités de traitement des biens usagés. Sur le territoire, elle compte les services de traitement des déchets [3811Z] et de récupération de déchets triés [3832Z].

[3811Z] Les services de traitement des déchets comprennent la collecte des déchets solides non dangereux (par exemple les ordures) au niveau local, telle que l'enlèvement de déchets des ménages et des entreprises au moyen de poubelles, de bacs à roulettes, de conteneurs. La collecte des matériaux mixtes récupérables, la collecte de matériaux recyclables, l'enlèvement des détritrus collectés dans les boîtes à ordures dans les lieux publics.

[3832Z] L'activité de récupération de déchets triés correspond au tri de matériaux récupérables par séparation et tri dans les flux de déchets non dangereux, comme les ordures ou dans les matériaux de récupération non triés, tels que papier, plastique, boîtes à boisson et métaux usagés, en vue de la récupération des déchets.

L'environnement du RCVFE

Le RCVFE est également en interrelation avec son environnement. Pour matérialiser les entrées et sorties de flux de matière dans le territoire, nous avons considéré deux

entités. La première nommée « ImportExtérieur », matérialise l'origine de tous les produits forestiers qui entre sur le territoire des 6 communes. De façon réciproque, la seconde matérialise la destination de tous les produits qui sortent du territoire des 6 communes. Nous l'avons nommé l'« ExportExtérieur ». À elles deux, ces entités représentent l'environnement du RCVFE de la communauté de communes de Mimizan. Ils contiennent l'ensemble des entités interconnectées aux acteurs de la CCM, mais qui sont situées hors du périmètre géographique des 6 communes.

ANNEXES

Références et codes de la nomenclature des produits français	Catégorie simplifiée des produits	
Arbres forestiers (02.10.30)	Arbre sur pied	Produits
Grumes de conifères, Grumes de feuillus (02.20.11), à l'exclusion des bois tropicaux (02.20.12), Grumes de bois tropicaux (02.20.13)	Bois rond (ou Grume)	
Bois de chauffage (02.20.14)	Bois de chauffage	
Bois, sciés ou dédosés longitudinalement, tranchés ou déroulés, d'une épaisseur supérieure à 6 mm ; traverses de chemins de fer en bois, non traitées (16.10.10)	Bois scié	
Bois profilés sur au moins une face (y compris lambris et lames à parquet, non assemblés, et moulures et baguettes) (16.10.21)	Bois profilé	
Bois contreplaqués, bois plaqués et bois stratifiés similaires, en bambou (16.21.11) Autres bois contreplaqués, bois plaqués et bois stratifiés similaires (16.21.12) Panneaux de particules et panneaux similaires en bois ou en autres matières ligneuses (16.21.13) Panneaux de fibres de bois ou d'autres matières ligneuses (16.21.14) Feuilles de placage, feuilles pour contreplaqués et pour autres bois sciés longitudinalement, tranchés ou déroulés, d'une épaisseur inférieure ou égale à 6 mm (16.21.21) Bois densifiés, en blocs, planches, lames ou profilés (16.21.22) Finition de contreplaqués et panneaux à base de bois (16.21.91)	Panneau	
Parquets assemblés en panneaux (16.22.10)	Parquet assemblé	
Fenêtres, portes-fenêtres, portes et huisseries, en bois (16.23.11) Coffrages pour le bétonnage, bardeaux, en bois (16.23.12) Éléments de menuiserie et de charpente, en bois, n.c.a. (16.23.19) Bâtiments préfabriqués en bois (16.23.20)	Menuiserie	
Outils, manches, montures d'outils, de balais et de brosses, en bois ; blocs pour la fabrication de pipes ; embauchoirs et tendeurs à chaussures, en bois (16.29.11) Articles en bois pour la table et la cuisine (16.29.12) Bois marqueté et incrusté, coffrets, écrins et étuis pour bijouterie ou orfèvrerie et articles similaires en bois, statuettes et autres objets d'ornement en bois (16.29.13) Cadres en bois pour tableaux, photographies, miroirs ou objets similaires et autres articles en bois (16.29.14) Liège naturel, écroûté ou simplement équarri, ou en cubes, plaques, feuilles ou bandes ; liège concassé, granulé ou pulvérisé ; déchets de liège (16.29.21) Articles en liège naturel (16.29.22) Blocs, plaques, feuilles, bandes, dalles, cylindres, en liège aggloméré (16.29.23) Liège aggloméré ; articles en liège aggloméré n.c.a. (16.29.24) Articles de vannerie et sparterie (16.29.25)	Objet divers en bois	
Papiers kraftliner, non blanchis, ni couchés, ni enduits (17.12.31) Papiers kraftliner blanchis et couchés ou enduits (17.12.32) Papiers testliner (fibres récupérées) (17.12.35) Papiers kraft, non couchés ni enduits ; papiers kraft pour sacs, crêpés ou plissés (17.12.41)	Papier	
Carton ondulé, en rouleaux ou en feuilles (17.21.11) Sacs et sachets en papier (17.21.12) Boîtes et caisses en carton ondulé (17.21.13) Boîtes et caisses pliantes en carton compact (17.21.14) Classeurs à courrier, boîtes de rangement et de classement et autres articles de bureau en carton (17.21.15)	Sac à base de papier	
Pâtes chimiques de bois, à dissoudre (17.11.11) Pâtes chimiques de bois, à la soude ou au sulfate, autres qu'à dissoudre (17.11.12) Pâtes chimiques de bois, au bisulfite, autres qu'à dissoudre (17.11.13)	Pâte à papier	
Meubles de cuisine (31.02.10)	Meuble de cuisine	
Meubles de cuisine (31.02.10) Meubles en bois pour chambres à coucher, salles à manger ou salles de séjour (31.09.12) Meubles en bois n.c.a. (31.09.13) Finition de meubles neufs (à l'exclusion du garnissage des sièges) (31.09.91)	Meuble	
Bâtiments résidentiels (41.00.10) Bâtiments non résidentiels (41.00.20) Travaux de construction relatifs aux bâtiments résidentiels (construction, extension, modification et rénovation) (41.00.30) Travaux de construction relatifs aux bâtiments non résidentiels (construction, extension, modification et rénovation) (41.00.40)	Maison en bois	

ANNEXES

Travaux de charpente (43.91.11)	Charpente	
Houppier, racine, branche inférieure à 7 cm de diamètre, Laine de bois ; Plaquettes et particules de bois (16.10.23)	Connexe de chantier forestier	Connexes/ coproduits
Les chutes de bois, les petites pièces de bois à l'état vert	Connexe de Bois scié à l'état vert	
Les chutes de bois, les petites pièces de bois sec non traité, farine de bois (16.10.22) ;	Connexe d'activité de bois sec non traité	
Les chutes de bois, les petites pièces de bois sec traité	Connexe d'activité de bois sec traité	
Déchets bois non-triés qui a subi des traitements	Déchets de bois traités non triés	Déchets
Déchets bois non-triés qui n'a pas subi de traitements	Déchets de bois non traités non triés	
Autres déchets non recyclables non dangereux (38.11.39) Collecte des déchets municipaux recyclables non dangereux (38.11.11) Collecte des autres déchets recyclables non dangereux (38.11.19) Collecte des déchets municipaux non recyclables non dangereux (38.11.21) Collecte des autres déchets non recyclables non dangereux (38.11.29) Déchets municipaux non recyclables non dangereux (38.11.31) Autres déchets recyclables non dangereux n.c.a. (38.11.59)	Déchets divers bois et sous-produits du bois non trié	
Papier et carton en mélange (en vrac)	Déchets de papiers et cartons	
Papier et carton trié	Déchets de papiers et cartons triés	
Déchets triés constitués de bois traité	Déchets de bois traités triés	
Déchets triés constitués de bois non traité	Déchets de bois non traités triés	
Matériau traité reconditionné sous forme de matière première secondaire	Déchets de bois traités sous forme de matière première	
Matériau non traité reconditionné sous forme de matière première secondaire	Déchets de bois non traités sous forme de matière première	
Papier et carton reconditionné sous forme de matière première secondaire	Déchets de papier et carton sous forme de matière première	

Annexe 3 : Tableau 30: Tableau détaillé des codes produits

« *Ne crains pas d'avancer lentement, crains seulement de t'arrêter.* » (PC)