

CAHIERS DU LAB.RII
- DOCUMENTS DE TRAVAIL -

N°284

Juin 2014



**ÉCOLOGIE
INDUSTRIELLE ET
DEVELOPPEMENT
TERRITORIAL DURABLE
LE ROLE DES SERVICES**

Blandine LAPERCHE
Antje BURMEISTER
Céline MERLIN BROGNIART
Fédoua KASMI

**ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE ET DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL DURABLE
LE RÔLE DES SERVICES**

**INDUSTRIAL ECOLOGY AND SUSTAINABLE TERRITORIAL DEVELOPMENT:
THE ROLE OF SERVICES**

**Blandine LAPERCHE
Antje BURMEISTER
Céline MERLIN BROGNIART
Fédoua KASMI**

Résumé : Potentiellement créatrice d'effets d'agglomération favorisant la génération et l'attractivité d'activités nouvelles, l'écologie industrielle peut être considérée comme un vecteur de développement territorial durable. Mais il est nécessaire de pallier aux difficultés (techniques, économiques, informationnelles...) liées à la mise en œuvre des symbioses industrielles. Nous étudions le rôle que peuvent jouer les activités de services, publiques et privées, dans la réduction de ces difficultés. Par leurs fonctions relatives à l'organisation des relations marchandes, à l'acquisition ou au maintien des capacités par les agents ou encore à l'aide à la décision, les services peuvent réduire les coûts de transaction engendrés par la mise en œuvre de symbioses industrielles et accompagner les décisions stratégiques des entreprises.

Abstract: Industrial ecology may generate agglomeration effects favorable to business development and territorial attractiveness. As such, it may be considered as a tool for sustainable territorial development. But it is necessary to reduce the (technical, economic, informational...) difficulties ensuing from the implementation of industrial symbiosis. We study the role that service activities, whether public or private, play in the reduction of these difficulties. Through their functions linked to the organization of market relations, to the acquisition and the strengthening of agents' capabilities and to decision support, services can reduce transaction costs ensuing from the implementation of industrial symbiosis and be a support to strategic decisions of enterprises.

Mots clés : écologie industrielle, symbiose industrielle, activités de service

**ECOLOGIE INDUSTRIELLE ET DEVELOPPEMENT TERRITORIAL DURABLE
LE ROLE DES SERVICES**

**INDUSTRIAL ECOLOGY AND SUSTAINABLE TERRITORIAL DEVELOPMENT:
THE ROLE OF SERVICES**

**Blandine LAPERCHE
Antje BURMEISTER
Céline MERLIN BROGNIART
Fédoua KASMI**

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	4
1. ECOLOGIE INDUSTRIELLE, CIRCUITS COURTS INDUSTRIELS ET MILIEUX INNOVATEURS	5
1.1 Ecologie industrielle, métabolisme et symbioses industriels	5
1.2. Ecologie industrielle : une forme de circuits courts	8
1.3. Ecologie industrielle et milieux innovateurs	9
2. IDENTIFICATION DES LIMITES ET DIFFICULTES DANS LES EXPERIENCES D'ECOLOGIE INDUSTRIELLE	11
3. QUELLES REPONSES LES ACTIVITES DE SERVICES PEUVENT-ELLES APPORTER ?	14
3.1. Définition des activités de service	14
3.2. Les fonctions des activités de service dans l'écologie industrielle	16
CONCLUSION	22
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	23

INTRODUCTION

L'écologie industrielle cherche à créer une analogie entre les écosystèmes naturels et les systèmes industriels afin d'aboutir au développement durable (Frosch, Gallopoulos, 1989). Elle s'appuie sur quatre leviers d'actions : la valorisation systématique des déchets comme ressources, la minimisation des pertes par dissipation (énergie, émissions polluantes...), la dématérialisation de l'économie (qui se traduit par le remplacement des produits par des services) et l'objectif de décarboner l'énergie (Erkman, 2004). Si les expériences d'écologie industrielle se sont multipliées de par le monde depuis la fin du 20^e siècle, les expériences « réussies » sont beaucoup moins nombreuses. De nombreuses difficultés apparaissent en effet dans la mise en œuvre de l'écologie industrielle, qu'elles soient de nature technique, économique, informationnelle, organisationnelle, infrastructurelle ou réglementaire (Erkman, 2004, Gibbs et al., 2005, Sakr et al., 2011, etc.).

Dans cette recherche, nous faisons l'hypothèse que l'écologie industrielle, potentiellement créatrice d'effets d'agglomération favorisant la génération et l'attractivité d'activités nouvelles, peut être un vecteur d'un développement territorial durable (Laperche et al., 2014). Un territoire entrepreneurial durable peut être défini comme une zone géographique caractérisée par des relations synergiques entre les acteurs, dont le développement repose sur un cadre institutionnel propice à la création d'éco-entreprises et à la transformation des activités existantes dans une perspective de développement durable (voir Boutillier, Uzunidis, 2014). Nous nous situons donc dans les préoccupations de « l'écologie industrielle et territoriale » (Buclet, 2011), qui cependant n'explique pas précisément les mécanismes économiques par lesquels le développement économique local peut émerger des expériences d'écologie industrielle. Selon nous, la première étape pour favoriser le développement territorial durable à partir de l'écologie industrielle consiste dans la réduction des difficultés liées à la mise en œuvre des symbioses industrielles.

Nous étudions dans cette recherche le rôle que peuvent jouer les activités de services, publiques et privées, dans la réduction de ces difficultés. Au-delà des prestataires de service traditionnels liés à l'écologie industrielle (ex : services liés au traitement des déchets, services proches de l'industrie), certaines activités de services non encore totalement exploitées par les entreprises industrielles peuvent pourtant s'avérer être des atouts dans le cadre d'une stratégie d'écologie industrielle. Ainsi, par leurs fonctions relatives à l'organisation des relations marchandes (fluidification, coordination amont et aval), les activités de service peuvent en effet réduire les coûts de transaction engendrés par la mise en œuvre de symbioses industrielles. Par les fonctions relatives à l'acquisition ou au maintien des capacités par les agents (en particulier en matière de formation, d'éducation), les services peuvent aussi fournir les ressources humaines nécessaires au bon développement de ces stratégies. Les services cognitifs d'aide à la décision et de recherche, en ingénierie industrielle mais aussi en sciences sociales, pourraient également accompagner les décisions stratégiques de ces entreprises, et notamment réduire ou prévenir les problèmes organisationnels et humains liés à la mise en place de l'écologie industrielle.

Ce document se compose de trois parties : la première partie revient sur la définition de l'écologie industrielle et son rôle dans la construction de milieux innovateurs. La seconde partie traite des difficultés liées à la mise en œuvre des symbioses industrielles et la troisième partie étudie le rôle des activités de service dans la réduction de ces difficultés.

1. ECOLOGIE INDUSTRIELLE, CIRCUITS COURTS INDUSTRIELS ET MILIEUX INNOVATEURS

1.1. Ecologie industrielle, métabolisme et symbiose industriels

Si la réflexion sur les manières de réduire l'impact environnemental des activités industrielles est ancienne et s'est particulièrement développée dans le courant des années 1970 dans le cadre de l'UNEP (United Nations Environment Program), c'est dans les années 1990 que l'expression se popularise notamment avec la publication de l'article de Robert Frosch et Nicholas Gallopoulos (1989), tous les deux ingénieurs chez General Motors. Les auteurs définissent l'écologie industrielle comme « *l'ensemble des pratiques destinées à réduire la pollution industrielle, elle vise à réorganiser le système industriel de façon à ce qu'il soit compatible avec la biosphère et viable à long terme* ». La pollution, l'accumulation des déchets et l'épuisement des ressources naturelles sont des éléments qui ont conduit Frosch et Gallopoulos (1989) à remettre en cause le modèle de développement des économies industrielles et à formuler la notion d'écosystème industriel (Diemer, 2007) : « *Ainsi dans un système industriel traditionnel, chaque opération de transformation, indépendamment des autres, consomme des matières premières, fournit des produits que l'on vend et des déchets que l'on stocke. On doit remplacer cette méthode simpliste par un modèle plus intégré : un écosystème industriel* », (Frosch et Gallopoulos, 1989, p. 106). Ils développent l'idée selon laquelle il devient nécessaire de recycler et d'échanger les biens utilisés, afin de réduire l'épuisement des ressources naturelles et de rechercher des matières premières de remplacement.

Cet article a suscité un intérêt très important dans la communauté scientifique, notamment par sa publication dans un contexte de prise de conscience croissante de l'importance de l'impact des activités humaines sur l'environnement et de la nécessité de mettre en œuvre un mode de « développement durable », tel que défini en particulier de la rapport Brundtland en 1987 (voir Laperche et al., 2009).

Pour Suren Erkman (1998, 2001, 2004), l'écologie industrielle, qui peut être perçue a priori comme un oxymore, repose sur l'idée selon laquelle le système industriel peut être décrit, tout comme un écosystème naturel, par une circulation particulière de matières, d'énergie et d'informations. De plus, le système industriel dans son ensemble repose sur des ressources et services fournis par la biosphère. Pour l'auteur, l'écologie industrielle offre des solutions concrètes en faveur du développement durable et s'éloigne en particulier des solutions en bout de chaîne (end of pipe) habituellement proposées pour faire face aux problèmes environnementaux.

D'un point de vue pratique, l'écologie industrielle repose sur 4 piliers (parfois aussi déclinés en 7 propositions) rappelés de l'encadré 1.

Encadré 1 : les 4 piliers de l'écologie industrielle (selon Erkman, 2001)

- **La valorisation systématique des déchets et des sous-produits**, qui doivent être vus comme des ressources potentielles et des gisements de matières premières à exploiter
- **Les pertes par dissipation doivent être minimisées**, (énergie, émissions polluantes ...), en effet, les dissipations peuvent être inhérentes aux produits mais aussi aux processus de production ou d'utilisation,
- **L'économie doit être dématérialisée** par la minimisation des flux totaux de matière tout en assurant des services au moins équivalents (économie de la fonctionnalité,...etc.),
- **L'énergie doit être décarbonée**. Depuis un siècle et demi, elle est principalement obtenue à partir d'hydrocarbures d'origine fossile (charbon, pétrole, gaz), responsables de nombreux problèmes tels que l'augmentation de l'effet de serre, les marées noires, etc.

Sa mise en œuvre repose sur la notion de **métabolisme industriel** qui correspond à l'ensemble des flux d'énergie et de matière qui circulent dans le système industriel. Il s'agit d'une approche descriptive qui recense et mesure les différents types de flux. Mais l'écologie industrielle va au-delà de l'analyse du métabolisme industriel et intègre la compréhension de la manière dont le système fonctionne, la manière selon laquelle il est régulé et ses interactions avec la biosphère. Pour Erkman, elle repose sur trois éléments clés : une vision systémique et intégrée de tous les composants du système industriel et de ses relations avec la biosphère ; l'accent mis sur le substrat biophysique des activités humaines ; le rôle central de la technologie comme un des éléments cruciaux de la transition du système industriel actuel non durable en un écosystème viable à plus long terme. Cette vision systémique et globale du système industriel confère selon l'auteur un rôle clé en matière de développement économique, en particulier au niveau régional.

Pour autant, tous les auteurs ne partagent pas cette confiance dans la technologie comme vecteur de transition du système industriel et il existe en réalité deux visions opposées dans l'analyse et la mise en œuvre de l'écologie industrielle (Buclet, 2011).

- Pour les uns, comme pour Erkman évoqué ci-dessus, la mise en œuvre de l'écologie industrielle dépend du progrès technique (Allenby, Richards, 1994 ; Erkman, 1998). En terme de développement durable, cette approche empreinte de déterminisme technologique relève d'une soutenabilité/ durabilité faible¹.

- Pour d'autres auteurs, la mise en œuvre de l'écologie industrielle nécessite un changement radical et une interface nouvelle entre les sociétés humaines et les écosystèmes naturels (Erhenfeld, 2004). Cette approche, critique de la société consumériste, s'inscrit alors d'avantage dans une approche relevant de la soutenabilité / durabilité forte².

¹ Dans le cadre de la **soutenabilité dite faible**, l'épuisement d'une ressource naturelle n'est pas une difficulté en soi car un autre capital, humain, matériel, technologique pourra s'y substituer.

² Dans le cadre de la **soutenabilité dite forte**, le capital naturel est reconnu comme apportant des fonctions extra-économiques et dans ce cas, la substituabilité n'est pas parfaite, et est donc en principe exclue, voir Vivien (2005).

Entre les deux, de nombreuses approches mettent en particulier l'accent sur l'importance du facteur humain (rôle de la confiance et des réseaux) dans la mise en œuvre de l'écologie industrielle, qui dans la réalité est inhérent à tout processus de diffusion des innovations (qu'elles soient techniques ou organisationnelles).

La notion de **symbiose industrielle** (Chertow, 2000) met l'accent l'échange de flux de résidus issus d'un processus de production pouvant être de la matière, de l'eau ou de l'énergie à destination d'un autre procédé de production, de façon à ce que les déchets ou sous-produits des uns deviennent des ressources pour d'autres. La mise en œuvre d'une symbiose industrielle repose sur la mise en place de synergies entre les acteurs. On distingue deux formes de synergies : les synergies de substitution et les synergies de mutualisation (encadré 2).

Encadré 2 : Synergies de substitution/ synergie de mutualisation

Synergie de substitution

« Une synergie de substitution consiste à substituer un flux entrant neuf par un flux sortant d'une autre entreprise qui est mal ou pas du tout valorisé. Par exemple :

- remplacer un flux de matières premières « neuves » consommés par un procédé par un flux de déchets ou de co-produits,
- un flux d'eau propre par un flux d'effluents liquides ou d'eau industrielle,
- un flux de combustible fossile par un flux de combustible alternatif (issu de déchets) ou par de l'énergie rejeté par une autre entreprise (vapeur excédentaire...)...

Ce type de synergies peut permettre de **faire diminuer les coûts d'approvisionnement ou les coûts de traitement pour un flux sortant.**

Sur le plan environnemental, il peut permettre d'économiser des ressources non renouvelables et d'éviter les émissions de polluants et de déchet liés à la production des matières premières neuves qui ont été substituées »

Synergies de mutualisation

« Lorsque plusieurs entreprises consomment ou rejettent le même type de flux il existe une possibilité de mutualiser la fourniture ou le traitement de ces flux en réalisant des économies financières et environnementales.

Lorsque plusieurs entreprises voisines utilisent le **même type de vecteur énergétique** (vapeur, air comprimé), il peut s'avérer intéressant d'en mutualiser la production. Une optimisation de cette production, une limitation des matériels à acheter et à maintenir permettrait de **rationaliser les coûts d'approvisionnement mais également, sur le plan environnemental, de diminuer la consommation énergétique des différentes entités »**

Source : UVED (Université Virtuelle environnement et développement durable, <http://www.uved.fr/>)

L'écologie industrielle a très vite été conçue comme un outil de développement local et régional (Gibbs et al., 2005). En effet, outre ses impacts positifs sur l'environnement, ses potentiels effets positifs sur l'économie et la société ont été mis en évidence. Dunn et Steinemann (1998) listent ainsi un ensemble d'effets positifs

-les déchets produits par une industrie produisent des inputs pour une autre, réduisant ainsi le coût de ces inputs

- la réduction des déchets signifie des coûts de l'élimination des déchets plus faibles

- les déchets ont dorénavant une valeur économique, accroissant les profits

- création d'une base économique plus variée

- potentiel de création d'emplois par la création d'entreprises spécialisées dans des niches

- la réduction d'émissions signifie un moindre besoin de séparer les terrains industriels des terrains résidentiels ce qui conduit à la réduction des mouvements entre les deux

En définitive, l'écologie industrielle serait une stratégie « win - win - win » pour le développement durable, apportant des avantages financiers aux entreprises, mais ayant aussi

des avantages sociaux plus globaux intégrant un impact environnemental moindre et une amélioration des conditions de travail.

L'écologie industrielle s'inscrit ainsi d'emblée dans une logique territoriale, et à ce titre on peut les rapprocher de la notion de circuit court, dont elle se présente comme l'une des formes.

1.2. Ecologie industrielle : une forme de circuit court

Les circuits courts sont définis de manière générique comme étant « les circuits directs d'échange ou de distribution de ressources contribuant à un développement territorial intégré » (Laudier et al., 2013, p.115). Cette notion a d'abord été développée dans le cadre de l'agriculture et de l'alimentation (« circuits courts alimentaires ») pour exprimer la proximité entre le producteur et le consommateur. Si cette pratique est ancienne (elle était en particulier largement développée en France après la seconde guerre mondiale), elle s'est toutefois fortement développée depuis le début des années 2000 sous la forme d'AMAP. La notion de circuits courts repose sur une double proximité, de nature relationnelle (limitation du nombre d'intermédiaires) et spatiale (distance à parcourir entre le producteur et le consommateur). Comme le soulignent Laudier et al. (2013, p.7), les circuits courts peuvent recouvrir des objets très variés, agriculture, recyclage, énergie, éco-industries, transports, innovation, circuits financiers... mais partagent le point commun d'un fonctionnement en boucle locale, dans le cadre d'une proximité territoriale.

A ce titre l'écologie industrielle peut être considérée comme une forme de circuit court, et partage ainsi un grand nombre de ses problématiques, que nous recensons en particulier à partir de Laudier et al., 2013.

- Elle repose en effet sur une approche d'interdépendance entre activités, destinée à valoriser les produits ou sous-produits d'une activité dans le processus de production d'un autre.
- Elle repose également sur une vision systémique et intégrée du développement territorial, dans lequel le territoire, loin d'apparaître comme un espace géographique ou légal, est davantage considéré comme un système économique, caractérisé par les relations de proximité (organisationnelle, cognitive et spatiale) entre acteurs et qui vise à favoriser le développement économique et humain, tout en respectant l'environnement, donc un développement orienté vers le développement durable.
- Si la logique de l'écologie industrielle est territoriale (ce qui est affirmé en France par la dénomination « Ecologie industrielle et territoriale » qui met précisément l'accent sur cette dimension territoriale dans la mise en œuvre des pratiques de l'écologie industrielle (Buclet, 2011)), tout comme dans la logique des circuits courts, elle nécessite une articulation des échelles territoriales (locale, régionale, nationale, voir même internationale). La cohérence et le rôle moteur ne peuvent émerger que s'il existe une massification des flux qui nécessite souvent de dépasser l'échelle locale.
- Enfin, tout comme dans la problématique des circuits courts, l'écologie industrielle renvoie aux enjeux de gouvernance des territoires et en particulier des coopérations qui doivent se nouer entre acteurs privés et entre acteurs privés et institutions publiques locales. Au-delà des innovations technologiques, la mise en œuvre de l'écologie industrielle et surtout son utilisation dans un but de développement intégré des territoires repose en effet sur des innovations organisationnelles et sociales destinées à coordonner les coopérations existantes ou à en engendrer des nouvelles.

1.3. Ecologie industrielle et milieu innovateur

Le concept de milieu innovateur a été proposé par le groupe de recherche européen sur les milieux innovateurs (GREMI) en Suisse (Aydolot, 1986 ; Camagni, Maillat, 2006). L'hypothèse des chercheurs était que ce sont les milieux régionaux qui secrètent les différentes formes de l'innovation. Cette recherche a été à l'origine du développement de la science régionale³. C'est une remise en cause des conceptions top-down, dans laquelle les progrès étaient censés venir de l'extérieur (de l'Etat notamment). Ils sont aujourd'hui considérés comme le « bloc cognitif » (ou encore le « cerveau ») dont dépend le fonctionnement des systèmes de production localisés (SPL), qui désignent un ensemble d'activité interdépendantes, techniquement et économiquement organisées et territorialement agglomérées (Torre, Tanguy, 2014).

L'économie locale peut alors être définie, lorsqu'elle est un milieu innovateur, comme un espace géographique formé en tant qu'ensemble de rapports systémiques entre entreprises et entre entreprises, Etats et collectivités (Uzunidis, 2007). Ces rapports systémiques caractérisent l'espace localisé par un certain type d'activités et de productions finales. Il est composé de trois niveaux :

- L'économie territoriale au sens géographique, historique et administratif
- Les institutions : entreprises de toutes tailles, Etat, collectivités territoriales en étroite relations (les relations peuvent être commerciales, financières, productives, informationnelles)
- L'action individuelle et relation personnelles et interpersonnelle

Ces trois niveaux sont en interaction.

En définitive, le milieu innovateur constitue « une agrégation des capacités d'actions et des facultés cognitives des différents acteurs » (Torre, Tanguy, 2014, p.311).

L'économie locale acquiert les caractéristiques d'un milieu innovateur grâce aux relations de proximité qu'elle propulse entre agents économiques. La notion de proximité est aujourd'hui une notion clé entre économie industrielle et en économie de l'innovation. D'abord, l'accent a été mis sur la proximité géographique (ou spatio-temporelle). Mais ce type de proximité n'est pas suffisant pour faire émerger une dynamique locale de création d'entreprises ou d'activités nouvelles et donc d'émergence d'un milieu innovateur. La coopération ne se décrète pas. Dans cette perspective, on peut séparer analytiquement (bien que les différents aspects soient indissociables dans la réalité) la proximité spatiale d'un côté et la proximité organisée de l'autre (Torre, 2009). Dans sa dimension organisationnelle, la proximité décrit des acteurs qui font partie d'une même organisation. Cette appartenance à une organisation (formelle ou non, firme, réseau,...), par l'intermédiaire des interactions, crée un apprentissage qui se renforce progressivement. On est proche parce que l'on travaille ensemble. Dans sa dimension institutionnelle (qui peut être intégrée dans la dimension organisationnelle), la proximité fait référence aux dispositifs institutionnels rendant les interactions possibles : des représentations partagées, règles, normes, cadres cognitifs ainsi que des institutions formelles qui stabilisent le contexte des interactions. On est proche parce qu'on partage un cadre institutionnel. Dans sa perspective cognitive, la proximité fait référence aux référentiels et aux acquis communs qui permettent aux acteurs de partager des connaissances et des savoir-faire, etc. (Martin, Boschma, 2010, voir aussi partie 1).

³ Avec aussi l'analyse des districts industriels qui remonte à A. Marshall (1919), et qui a été redécouverte par les économistes italiens de la troisième Italie (Brusco, 1982 ; Garofoli, 1992)/

La localisation d'entreprises à proximité les unes des autres mais surtout le développement de formes de proximité plus complexes entre elles et également avec les institutions partenaires sont à l'origine d'effets d'agglomération. Cette notion déjà mis en évidence par A. Marshall et redécouvertes dans les analyses de la nouvelle économie géographique ; ces effets sont les suivants :

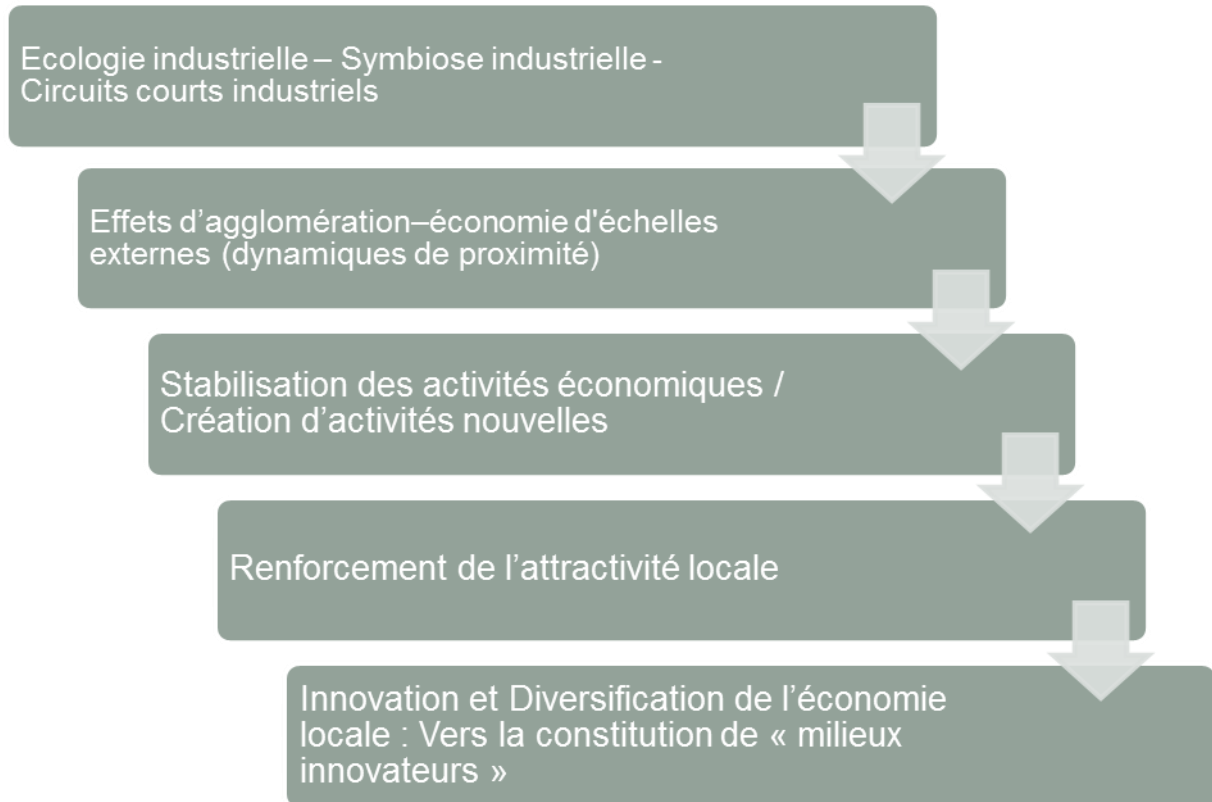
- la concentration géographique de l'activité permet de créer un marché du travail spécialisé et partagé
- un site géographique peut développer des inputs spécialisés (des actifs spécifiques) qui améliorent la productivité des entreprises (infrastructures communes : routes, communication ; accès à des matières premières spécifiques ou autres ressources spécifiques comme des compétences et des savoir-faire)
- la concentration géographique permet d'entraîner des retombées technologiques en termes de diffusion des connaissances. Alfred Marshall parlait à ce sujet d'« atmosphère industrielle ».

Nous considérons dans cette étude que l'écologie industrielle peut être un atout et un outil dans le renouvellement du tissu économique du territoire et la construction de milieux innovateurs. Les symbioses industrielles qui caractérisent l'organisation de l'écologie industrielle intègrent en effet les formes de proximité géographique, cognitives et organisationnelles fondatrices des milieux innovateurs. Notre approche va au-delà des analyses qui soulignent le rôle de l'écologie industrielle dans un projet de territoire (Beurain, 2008, Beurain, Brulot, 2011) et plus globalement des travaux de l'écologie industrielle et territoriale qui, rattachant l'écologie industrielle au territoire, semblent postuler un rôle actif de celle-ci dans son développement économique (Buclet, 2011).

Notre approche cherche au-delà à mettre en évidence les mécanismes par lesquels l'écologie industrielle peut être un outil dynamique de 1) stabilisation des activités économiques existantes, 2) d'attractivité de nouvelles entreprises et 3) de création d'une dynamique endogène de créativité et d'innovation. Elle vise aussi à en montrer les difficultés et à mettre en exergue les moyens de les résorber.

Cette approche dynamique s'appuie sur la mise en évidence des effets d'agglomération générés par les formes de proximité et qui peuvent avoir un effet positif sur la stabilisation des activités économiques, favoriser la création et la localisation d'autres entreprises. Les entreprises en place peuvent en effet bénéficier d'économies d'échelle externes, issues de la taille et des caractéristiques du milieu dans lequel elles sont insérées – économie de terme de coût du travail, infrastructures disponibles, matières premières, connaissances – qui justifient leur maintien ou leur installation sur place. En définitive c'est l'ensemble de l'attractivité structurelle du territoire qui peut être renforcée par la mise en œuvre de stratégies d'écologie industrielle (schéma ci-dessous). Une meilleure attractivité permettra la diversification économique par le biais de la création de nouvelles filières (comme des filières de traitement de déchets et de transformation de ceux-ci en matières première utilisables par d'autres).

Schéma 1 : L'écologie industrielle et la construction de milieux innovateurs



Pourtant, ce schéma vertueux se heurte à de nombreuses difficultés dans sa mise en œuvre. Comme souligné plus haut, la coopération ne se décrète pas. La mise en œuvre de l'écologie industrielle nécessite des formes de coopérations multiples (et de formes de proximité multiples). Les stratégies d'écologie industrielle se heurtent ainsi à des difficultés / limites que nous recensons dans le point suivant et qu'il faudra résorber pour que l'écologie industrielle puisse jouer ce rôle dynamique dans le développement économique des territoires.

2. IDENTIFICATION DES LIMITES ET DIFFICULTES DANS LES EXPERIENCES D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE.

Dans la mise en œuvre de l'écologie industrielle et la création des synergies éco-industrielles, l'existence des synergies entre des entreprises ne veut pas dire pour autant qu'elles seront facilement réalisables. Des premières études portant sur le cas de Kalunborg (Danemark) aux multiples expériences de parcs éco-industriels qui ont fleuri de par le monde depuis quelques années (Gibbs et al., 2005, 2007), les principales limites et difficultés suivantes peuvent être mises en évidence (tableau 1) (Erkman, 2004, Gibbs et al., 2005, Geldron, 2012, Adoue, 2007, Duret, 2007, Sakr et al., 2011, Laperche et al., 2014, etc.).

Tableau 1: Limites et difficultés dans la mise en œuvre des symbioses industrielles

Types de limites et difficultés	Explications
Techniques	Complexité des flux de déchets, dégradation de la matière, tri
Economiques	Rapport coût/bénéfice, échelle temporelle, limites quantitatives à la rentabilité
Informationnelles	Coordination/diffusion/confidentialité
Organisationnelles	Micro : l'organisation de l'entreprise n'est pas adaptée Mésos : technologie indisponible, manque d'expérience
Réglementaires	Insuffisance des incitations / réglementation trop lourde
Infrastructurelles	Absence de services de transport, de stockage, de traitements adéquats
Humaines	Confiance insuffisante entre les acteurs

Source : auteurs

Les limites techniques de la synergie : l'entreprise doit faire face à la complexité des flux de produits à recycler, à la dégradation de la matière (Geldron, 2012), et à l'impureté des sous-produits utilisés dans le processus de recyclage.

Les caractéristiques physiques des flux valorisables peuvent rendre impossible l'établissement d'une synergie (Adoue, 2007), l'état physique et les dimensions des composantes de ces derniers sont parfois incompatibles avec le processus de fabrication du produit.

Le recyclage industriel dégrade les matières, les extraits de gisements perdent leur pureté dès les premiers stades de la fabrication, ils sont en effet mélangés et traités de divers additifs afin qu'ils aient les propriétés recherchées. Après le recyclage la matière se dégrade, (par exemple les caractéristiques mécaniques des fibres de cellulose diminuent à chaque cycle de recyclage), il ne suffit pas de récupérer les déchets mais il faut aussi conserver leurs propriétés durant le recyclage.

Le tri et la séparation des déchets sont également des défis techniques du recyclage (Erkman, 2004). Le tri des plastiques, des ferrailles mélangées, et de tous les types de déchets reste très coûteux, puisqu'il engendre des frais supplémentaires liés à la collecte et au transport. Cependant, il existe des matières qui n'ont pas été conçues pour être recyclées et qui sont pratiquement impossibles à valoriser, puisque la séparation de leurs composants pose plusieurs difficultés et représente des coûts importants pour l'entreprise

Limites économiques : la réalisation d'une synergie pour les entreprises dépend essentiellement de son intérêt économique puisque la décision de la mise en œuvre de celle-ci est basée sur le calcul des coûts, des prix et également la prise en compte des risques, la quantité des déchets est aussi considérée comme une limite économique, puisqu'elle engendre des coûts supplémentaires dans le cas où cette quantité est réduite.

La transformation des déchets en matière première nécessite des investissements importants puisqu'elle implique souvent l'achat de nouveaux équipements, l'exploitation et la maintenance de ces équipements. De ce fait, le besoin en ressources humaines qualifiées augmente et la formation de ces derniers est nécessaire afin de pouvoir maîtriser la mise en place d'une démarche d'écologie industrielle (Adoue, 2007). Les dirigeants des entreprises hésitent à investir dans l'écologie industrielle, étant donné le fait que la rentabilité de celle-ci se réalise sur le long terme, et ne répond donc pas forcément aux logiques et stratégies de

rentabilité de court terme, s'ajoutant à cela le manque de fiabilité des démarches, ainsi que le manque d'expériences quant au cadre financier et juridique en matière d'écologie industrielle.

La rentabilité économique des pratiques d'écologie industrielle peut aussi se heurter à des limites quantitatives. Considérant le traitement des déchets comme une chaîne de production à part entière, la corrélation inversée des quantités traitées et des coûts reste la même que pour toute autre chaîne de production, dont la maîtrise en termes de coûts dépend essentiellement de la réalisation d'économies d'échelle. Autrement, les quantités de matières premières à traiter ne sont pas localisées chez un même « fournisseur », puisqu'il s'agit de déchets dont les quantités ne sont pas forcément importantes et qu'il faudra collecter jusqu'à atteindre un certain seuil de rentabilité qui permettra d'entamer le traitement.

Alors qu'il s'agit de plusieurs parties prenantes possédant des quantités différentes d'une même matière à traiter, il faudra sensibiliser ces acteurs-là quant à la nécessité de leur collaboration afin de parvenir à une gestion de cette chaîne de manière optimale à travers la massification des flux de matières.

Les limites informationnelles : les informations nécessaires à la mise en œuvre de l'écologie industrielle (notamment les éléments descriptifs du métabolisme industriel) ne sont pas toujours disponibles et nécessitent un travail de mise en commun, de traduction (mise en place d'un vocabulaire commun) de coordination et de diffusion. Elles sont aussi parfois rendues difficilement accessibles, et la culture du secret industriel peut freiner la circulation de l'information entre les entreprises. D'une part, la diffusion des informations sur les procédés (caractéristiques des matières utilisées, composants, quantité...) est parfois difficile pour les entreprises, d'autre part, les industriels n'arrivent pas à s'entendre et n'ont pas de confiance réciproque (Adoue, 2007) et préfèrent garder confidentielles les données des bilans des flux entrants/sortants qui sont nécessaires à l'établissement des relations éco-industrielles, ce qui rend l'établissement des synergies plus difficile entre ces dernières. L'indisponibilité des informations sur l'ampleur des impacts environnementaux de l'industrie peut être également un frein à l'écologie industrielle.

Les limites organisationnelles : l'indisponibilité des dispositifs productifs et des technologies adaptées aux traitements des déchets au sein des entreprises, ainsi que l'absence de culture du partenariat et du changement et la confidentialité des données affectent directement l'intérêt de mise en place des synergies.

Les limites réglementaires : la réglementation est un facteur essentiel pour le développement des synergies éco-industrielles. Elle a un impact sur l'intérêt des échanges de flux entre les industriels ainsi que sur la motivation de ces derniers. La réglementation et les outils fiscaux peuvent faciliter les opérations de valorisation, mais inversement l'insuffisance des incitations des autorités publiques, peut également négativement influencer sur la décision d'établir des synergies entre les entreprises.

Les limites infrastructurelles : les infrastructures nécessaires ne sont pas toujours disponibles notamment, les prestataires de service de transport et logistique, les services de traitements des déchets, les services des eaux, et les services de transformation des énergies et des flux de gaz.

La dimension humaine : le facteur humain joue un rôle primordial dans la réussite ou l'échec de cette stratégie environnementale, même si la réalisation des synergies s'avère

économiquement possible, la résistance des dirigeants à la coopération avec d'autres entreprises, le manque d'implication dans une telle démarche, et même la réticence au partage des données sont des éléments qui font partie de la culture de la concurrence et du secret industriel et qui non seulement freinent la mise en place de l'écologie industrielle, mais qui aussi les empêche de créer des synergies pouvant être rentables à moyen terme, et faire en sorte que les coûts résultant de cette première soient couverts.

Ces difficultés dans la mise en œuvre pratique de l'écologie industrielle font que très souvent les parcs industriels ne correspondent pas à une définition stricte de l'écologie industrielle comme un ensemble de flux de déchet devenant la matière première d'un ensemble de processus de production mais intègre une « palette éco-industrielle » plus large s'intégrant dans une stratégie de développement durable (Gibbs et al., 2005).

Pour que l'écologie industrielle puisse être utilisée comme un outil de construction d'une économie territoriale fonctionnant sur la forme d'un milieu innovateur, il est alors nécessaire de réduire les difficultés/ limites auxquelles se heurte sa mise en œuvre opérationnelle. Nous considérons que ce sont les activités de services (publiques et privées) qui peuvent avoir cette fonction, comme expliqué dans le point suivant.

3. QUELLES REPONSES LES ACTIVITES DE SERVICES PEUVENT-ELLES APPORTER ?

3.1. Définition des activités de service

Si les activités de services ont une place et un rôle croissant dans l'économie, l'analyse du rôle des services aux entreprises dans le développement local et leur prise en compte dans les politiques d'aménagement du territoire font rarement l'objet d'une attention spécifique. La prise en compte de leur rôle est souvent indirecte (Gallouj, Kaabachi, 2011 ; Gallouj et al., 2006).

Au sens traditionnel de l'INSEE, « *une activité de service se caractérise essentiellement par la mise à disposition d'une capacité technique ou intellectuelle. A la différence d'une activité industrielle, elle ne peut être décrite par les seules caractéristiques d'un bien tangible acquis par le client.* »⁴.

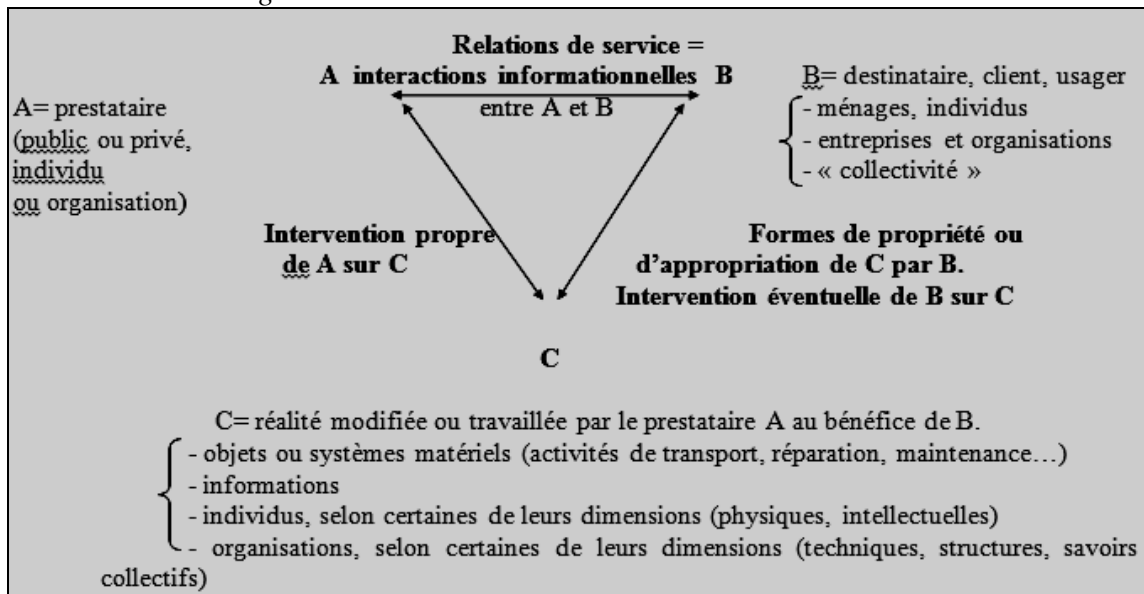
Cette définition de l'institution statistique peut être complétée par des définitions plus analytiques, permettant d'isoler plus facilement certaines activités de service en fonction soit du destinataire du service, soit de la nature du prestataire de service et de son statut. Ainsi J. Gadrey (1996, p. 17) définit une activité de service comme « *une opération, visant une transformation d'état d'une réalité C, possédée ou utilisée par un consommateur (ou client, ou usager) B, réalisée par un prestataire A à la demande de B, et souvent en relation avec lui, mais n'aboutissant pas à la production d'un bien susceptible de circuler économiquement indépendamment du support C (on reviendrait alors à des situations de production agricole,*

⁴ Insee <http://insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/services.htm>

Comme nous le verrons, nous ne pouvons arrêter à cette définition statistique pour identifier les activités de service propices à l'écologie industrielle car le découpage d'entreprises réalisés par l'Insee exclus de la catégorie service aux entreprises certains types d'activités pour les remettre dans des rubriques plus homogènes non pas par activités de service mais par domaine d'activité.

industrielle ou artisanale.) ». Cette définition a été représentée sous forme schématique par son auteur de la façon suivante (cf. figure 1).

Schéma 2 - Le triangle des services



Source : J. Gadrey (1996), p. 19.

Parmi les activités de service ainsi identifiées, certaines d'entre elles ont un rôle d'intermédiaire ou de facilitateur de l'organisation des relations marchandes. Elles sont indispensables au bon fonctionnement de la société et de l'économie. Elles appartiennent soit au tertiaire marchand (en particulier, les services aux entreprises, les transports, les activités immobilières et financières), soit au tertiaire non-marchand (notamment les services d'éducation, les administrations...). Ces activités de service peuvent avoir un rôle direct dans la mise en place ou le fonctionnement de la stratégie d'écologie industrielle choisie, ou servent de « support » à un grand nombre d'entreprises (industrielles ou de services).

A partir du schéma précédent, il est possible de définir les activités de service qui nous seront utiles pour analyser les apports de ces services à l'écologie industrielle. Il s'agit d'activités de service dont le prestataire peut être soit une entreprise, soit une organisation (rarement un particulier) et dont le destinataire est généralement aussi une entreprise ou une organisation. Dans le cadre de l'écologie industrielle, on peut imaginer des prestations de service rendues pour le compte d'une entreprise mais dont la collectivité est aussi bénéficiaire (volontairement de la part de l'entreprise ou par externalités positives).

Ces activités de service proposent un certain nombre de fonctions (ou ont un certain nombre de rôles) qui participent activement au bon fonctionnement des processus d'écologie industrielle. Or, ces fonctions lorsqu'elles sont délivrées par des activités de service, sont souvent négligées par la littérature économique consacrée à l'écologie industrielle. Les auteurs ont tendance à se focaliser sur les techniques, les procédures de production et les innovations d'ingénierie industrielle. Ces auteurs mentionnent généralement ces activités de services plutôt comme des activités annexes, de soutien ou de support aux processus d'écologie industrielle mais n'y consacrent pas d'études indépendamment de l'ingénierie industrielle.

Cette mise à l'écart des activités de service est d'autant plus préjudiciable à la compréhension de l'écologie industrielle qu'une partie des limites de mise en œuvre de l'écologie industrielle ne relève pas de contraintes techniques mais plutôt de problèmes organisationnels ou de problèmes d'acquisition de capacités et de management des relations humaines, problèmes qui peuvent être résolus en faisant appel à des prestataires de service. Le tableau suivant répertorie de manière synthétique les fonctions de service permettant de répondre aux limites de l'écologie industrielle. Ces fonctions peuvent intervenir en amont (en prévention) lors de la réflexion sur la stratégie d'écologie industrielle, ou en aval (en réparation) lorsque ces problèmes sont apparus

Tableau 2 : La contribution des services à la résolution des difficultés/limites de la mise en œuvre de l'écologie industrielle

LIMITES Ecologie industrielle	Activités de service répondant à ces limites
<ul style="list-style-type: none"> - Technique (Echange technique irréalisable : cf. stabilité des déchets, continuité des flux, nécessité de retraitement) - Economique (économiquement non rentable ou risqué pour l'entreprise) - Informationnelle (l'information nécessaire n'est pas disponible) - Organisationnelle (micro: l'organisation de l'entreprise n'est pas adaptée; méso: implication des PME) - Infrastructure (les infrastructures nécessaires ne sont pas disponibles) - Régulation (pas d'incitation) - Humaine (Problème de confiance entre entreprises, problème d'organisation ou de confiance au sein de l'entreprise) 	<ul style="list-style-type: none"> - Services larges de formation éducation DD. <i>Ex: Commerciaux avec formation écologie industrielle (vente particulière des déchets)</i> - Réflexion sur un nouveau business model et pas seulement une stratégie (activités de conseil, recherche en sciences sociales) - Activités de coordination des acteurs locaux (publics-privés-associatifs) afin de faciliter les échanges d'informations et de connaissances ou d'expériences entre entreprises, développer les Mutualisations, Projections. - Services d'aide à la décision (conseil, juriste, ingénieurs, mais aussi conseil en sciences sociales (management etc.)) - Prestataires de service avec solutions existantes Transport, logistique, circuit court Service de traitement des déchets, Services des eaux, Services proches de l'industrie

Source : auteurs

3.2. Les fonctions des activités de service dans l'écologie industrielle

Il est possible de regrouper ces prestations de service en plusieurs grandes fonctions de service (ou rôle de ces activités) susceptibles d'intervenir dans les processus d'écologie industrielle :

1) Le premier rôle est relatif à l'organisation des relations marchandes :

Certaines activités de service contribuent à **améliorer ou fluidifier l'information** entre les activités (industrielles, de services). Il s'agit des services de collecte et de mise à disposition d'information, ou de services d'ingénierie...

D'autres activités de service ont une **fonction de coordination « en amont »**. Elles permettent par exemple d'améliorer la prise de décision dans les négociations : Une fonction d'aide à la décision (de conseil), ou d'améliorer la phase recherche nécessaire à la mise en place de l'écologie industrielle (Prospection, Management, Organisation...).

D'autres encore ont une fonction de **coordination « en aval »**, autrement dit, ce sont des services périphériques que l'entreprise pourrait réaliser par elle-même en interne ou faire faire par un prestataire. Ces services constituent une fonction support pour l'entreprise (comptabilité, nettoyage, logistique, transport ...)

Dans le cadre de l'écologie industrielle, la proximité de ces partenaires ou prestataires de service est un élément important, comme nous l'avons étudié plus haut. Les services impliqués peuvent être des services marchands (sociétés privés d'ingénierie et de conseil) ou non marchands (administration territoriale, associations à but non lucratifs). Ces différents types de services jouent un rôle clé dans la coordination des acteurs et la fluidification des informations et donc dans la construction des liens systémiques entre eux, caractéristiques des milieux innovateurs.

Ces fonctions de coordination ou de fluidification élaborées par les activités de service sont génératrices d'innovations. Les innovations les plus visibles sont les innovations techniques. En suivant cette idée, nous pouvons remarquer que l'écologie industrielle, telle qu'elle est étudiée, l'est essentiellement dans une logique industrielle d'ingénieurs qui mettent en place des solutions techniques, ou des opérations de rationalisation de la production (Cf. par exemple Dannequin, Diemer, 2009 ; Diemer, 2012). Or, les travaux consacrés à l'économie de l'innovation montrent que les innovations organisationnelles (Modification substantielle de l'organisation du travail, de la gestion des connaissances et des relations avec les partenaires extérieurs, coopération entre services par exemple), sont essentielles à la bonne réalisation de ces solutions techniques. Même si elles ne sont pas l'apanage des activités de service, un grand nombre de ces activités de service (activités de conseil, etc.) facilitent le repérage ou la mise en place de ces innovations organisationnelles. Ces innovations peuvent être développées et intégrées grâce à l'apprentissage (ex : formation aux nouvelles pratiques de management environnemental, Innovation organisationnelle, développement de nouvelles formes institutionnelles).

Les transports sont incontestablement un exemple d'activité de services ayant un rôle important dans l'écologie industrielle. Ils permettent une coordination externe de la production dans sa dimension spatiale et temporelle et par conséquent ont un impact important sur la proximité et la dimension territoriale.

Focus sur la place des transports dans l'écologie industrielle

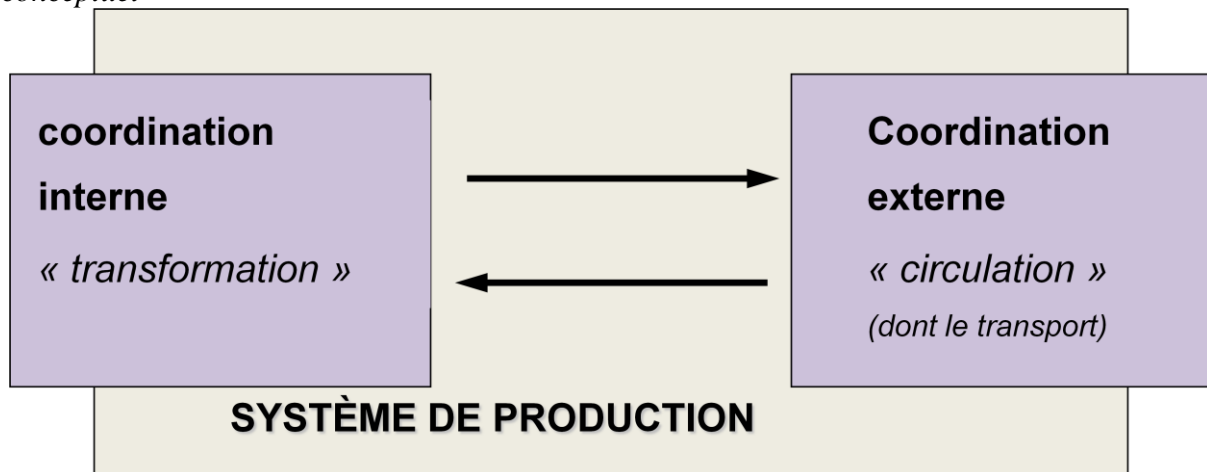
L'importance de la problématique du transport dans la ville entrepreneuriale durable apparaît d'emblée dans les chiffres sur ses impacts environnementaux. En effet, le transport dans son ensemble compte pour près d'un tiers de la consommation finale d'énergie et pour 27% des émissions de gaz à effet de serre (Ministère du Développement Durable, 2013). Le transport de marchandises, en particulier, contribue pour environ 10% aux émissions de CO₂ au niveau mondial. Comme le montre la revue de la littérature (cf Encadré), les transports sont ainsi généralement perçus comme défavorables au développement durable en raison des externalités négatives importantes, et, comme un facteur limitant le potentiel de développement de l'écologie industrielle.

Depuis une vingtaine d'années, les travaux sur les impacts du transport du point de vue du développement durable et sur les leviers d'action publique se sont multipliés. Une majorité de ces travaux portent sur le transport de personnes, en particulier sur le report modal (du recours de l'automobile vers le transport collectif et les modes plus doux) et plus récemment sur l'économie de la fonctionnalité (autopartage, covoiturage, systèmes de vélo en libre-service...). En revanche, dans ce focus sur le transport dans la ville entrepreneuriale durable, nous nous intéresserons plutôt au transport de marchandises et à son insertion dans le fonctionnement de l'écologie industrielle.

L'insertion du transport de marchandises dans le fonctionnement d'une écologie industrielle territoriale

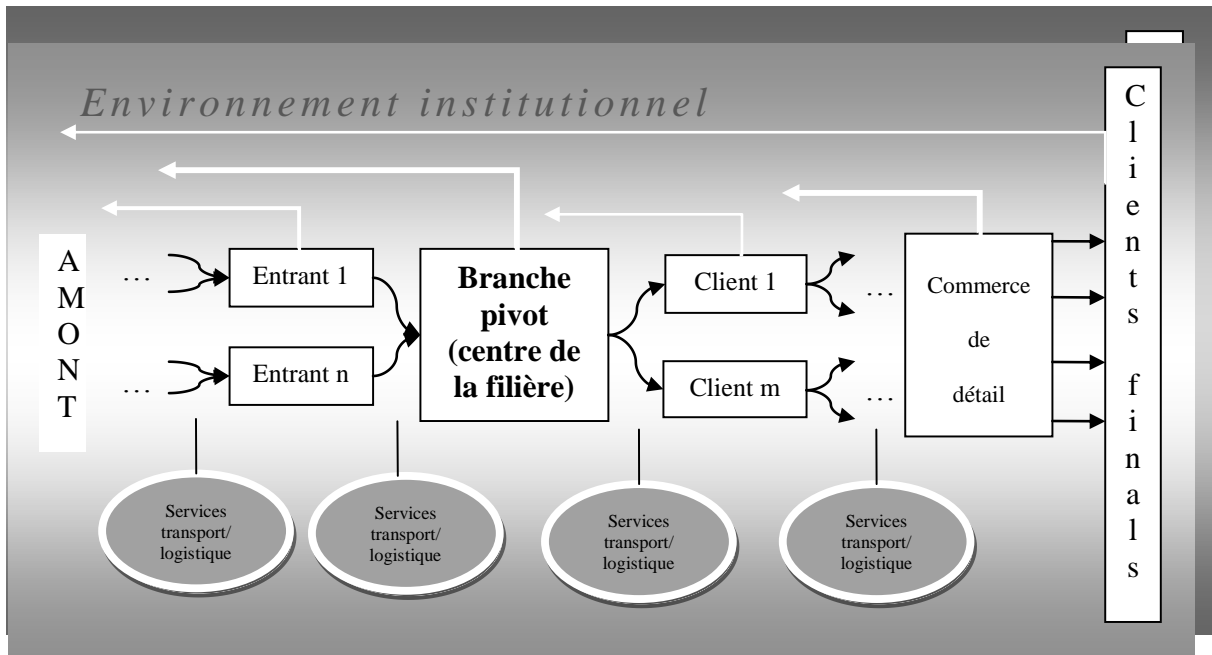
Il ne s'agira pas principalement d'analyser le transport de marchandises comme un secteur producteur de services ni du point de vue du développement durable en général (externalités négatives environnementales et sociales), mais de le prendre en compte dans son lien avec le système productif afin de mieux comprendre son insertion possible dans le fonctionnement d'un système territorialisé d'écologie industrielle. En effet, les services de transport de fret et de logistique contribuent à la circulation des biens et des informations au sein du système productif. Le schéma ci-dessous, inspiré des travaux de l'école suédoise des réseaux (Hakansson, 1987), représente la coordination du système productif en distinguant entre coordination *interne* (la transformation d'inputs en outputs) et coordination *externe* (avec l'environnement de ressources et de demande – fournisseurs, sous-traitants et clients). Les services de transport et de logistique sont un vecteur essentiel de la coordination externe de la production dans sa dimension spatiale (déplacement des inputs et des produits dans l'espace) et temporelle (stockage, mise à disposition des inputs et des produits à un moment donné, juste-à-temps). Le transport et la logistique font donc partie intégrante du système productif en ce sens qu'ils participent à sa coordination externe.

Schéma 3 : Le transport et la logistique dans la coordination des systèmes productifs – cadre conceptuel



Le schéma suivant part de la représentation classique de la filière de production pour y introduire le transport des flux de biens de l'amont vers l'aval. Les services de transport et de logistique interviennent entre toutes les étapes de la filière (autrement dit, à chaque flèche dans le schéma). Si l'on passe du schéma linéaire de la filière (de l'amont vers l'aval) à une représentation du système d'écologie industrielle en forme de boucle, il s'agit alors d'inclure les flux retours (représentés en vert sur le schéma 2), réinjectés dans le système à différents stades de la production. Or, à chaque flux dans le système correspondent des services de transport et de logistique.

Schéma 4 : La place des services de transport de marchandises et de logistique – de la filière à la boucle de l'économie circulaire



Ce schéma suggère donc une omniprésence des services de transport et de logistique (externalisés ou non) dans un système d'écologie industrielle territorialisée. Cependant, cette omniprésence ne signifie pas que ces services ont nécessairement un caractère essentiel ou stratégique dans le fonctionnement de l'écologie industrielle. En effet, une partie des services de transport concerne des opérations de logistique matérielle simple, techniquement peu complexes et réalisées par des prestataires non spécialisés. En revanche, d'autres services peuvent être techniquement plus complexes (nécessitant des équipements ou des compétences spécifiques, comme le transport de matières dangereuses), ou inclure des flux d'informations associés (logistique en juste-à-temps avec tracing/tracking et EDI, par exemple), ou encore nécessiter une coordination complexe et des connaissances et méthodologies spécialisées (systèmes logistiques complexes).

Encadré 3 : Le transport dans l'écologie industrielle, une revue de la littérature

Une première revue de la littérature nous montre que les questions de transport et de logistique ne sont que très rarement abordées dans la littérature sur l'écologie industrielle. En effet, dans ce domaine, le transport apparaît, tout au plus, comme un facteur limitant le potentiel de développement de l'écologie industrielle. Il est clair que si les coûts de transport pour les flux de matières, sous-produits et déchets réutilisés dans d'autres processus de production sont trop importants, pour des raisons techniques (nécessité de matériel spécifique, dangerosité des matières transportées), économiques (faible valeur des matières) ou organisationnelles (flux trop petits, trop fractionnés ou trop rares), le potentiel de l'écologie industrielle se trouve limité. De la même manière, si les externalités générées par le transport des flux retour (en termes de pollution, d'émissions de GES et de consommation de ressources) sont trop importantes en comparaison aux bénéfices attendus de la réutilisation des matières, le fonctionnement en symbiose industrielle n'a pas de sens.

Si le transport, et notamment les problèmes de coûts de transport, ne sont que rarement abordés explicitement dans la littérature économique sur l'écologie industrielle, il est souvent cité comme facteur limitant par les entreprises, comme le montrera notre enquête auprès des

entreprises dunkerquoises. Les coûts de transports expliquent aussi en partie la dimension spatiale limitée des systèmes d'écologie territoriale. Cependant, le dernier rapport de la Fondation Ellen McArthur (vol.3, 2014) avance la possibilité de « boucles globales » (*global loops*) : sous certaines conditions de coût de transport, il est envisageable d'étendre les supply chains de l'écologie industrielle du niveau local ou régional à un niveau global. Le rapport cite en particulier les opportunités offertes par le déséquilibre des flux maritimes de conteneurs : du fait que les flux de conteneurs Est-Ouest (notamment depuis la Chine vers l'Europe ou vers l'Amérique du Nord) est plus important que dans le sens Ouest-Est, les prix de transport dans le sens Ouest-Est sont suffisamment bas pour pouvoir envisager d'envoyer des flux de déchets depuis l'Europe vers l'Asie pour traitement et réutilisation.

Constatant que la littérature économique sur l'écologie industrielle ne fait que peu de cas de la problématique des transports et de la logistique de ces flux, nous avons cherché à explorer deux autres domaines de la littérature : celle de l'économie des transports, d'un côté, et celle du Supply Chain Management en sciences de gestion, de l'autre.

Du côté de l'économie des transport, la problématique du transport de marchandises face aux enjeux de développement durable peut se résumer comme une limitation des effets externes négatifs, autrement dit comment « verdir le transport ». Les solutions proposées sont soit d'ordre technique (développement de véhicules, carburants, infrastructures etc. plus « propres »), soit de nature organisationnelle : comment encourager le report modal, la massification, la mutualisation des ressources et des équipements, l'optimisation des taux de charge et la limitation des retours à vide (Ernst&Young/PIPAME, 2013).

Du côté des sciences de gestion, la littérature sur le *supply chain management* (SCM) a connu un développement important autour des problématiques de développement durable depuis une quinzaine d'années. Nous avons identifié quatre approches en lien avec notre problématique : La *reverse logistics* (Fleischman et al., 1997) s'intéresse aux supply chains dans le sens inverse des chaînes habituelles, mais il s'agit généralement d'une problématique de gestion optimale des flux retours de biens de consommation et non de gestion des flux de déchets.

La littérature sur les supply chains vertes (*green supply chains*) et le *sustainable supply chain management* (SSCM) a connu un développement très important. Le survey de Belin-Munier (2010) montre que les contraintes de développement durable modifient non seulement les objectifs du SCM, mais aussi sa mise en œuvre, en renforçant la dimension interorganisationnelle et l'intégration.

Les travaux en termes de *Logistics Social Responsibility* (LSR) (Carter/Jennings, 2002) appliquent la RSE (responsabilité sociale de l'entreprise) aux chaînes logistiques. Belin-Munier (2010) montre notamment que la RSE s'étend avec la diffusion des pressions de développement durable le long de la chaîne logistique et devient donc une problématique non plus de la firme, mais du réseau de firmes impliqué dans la chaîne logistique globale.

Le courant de *l'Integrated Chain Management* (Seuring, Müller, 2007) s'est développé surtout en Allemagne. L'ICM se fonde sur le cycle de vie du produit et avance la notion de « closed-loop supply chain management » qui englobe la logistique inverse et le recyclage. La gestion des produits en fin de vie, le recyclage des composants ou des produits, le traitement et la réutilisation des déchets suscite la création de nouvelles activités économiques qui peuvent restructurer les filières existantes ou créer des filières nouvelles. Cependant, la question du transport n'est pas abordée explicitement.

C'est donc surtout l'approche de l'Integrated Chain Management que nous retiendrons, en raison de sa proximité évidente du courant de l'écologie industrielle d'un côté, et d'une prise en compte explicite des institutions et de la dimension méso-économique.

2) Le second rôle est relatif à l'acquisition ou au maintien de capacités par les agents

Une seconde grande série de fonctions de service (ou un second rôle des activités de service) susceptibles d'intervenir dans les processus d'écologie industrielle consiste en **l'acquisition ou au maintien de capacités par les agents**. Nous avons précisé précédemment que les innovations relatives à l'écologie industrielle peuvent être développées et intégrées grâce à l'apprentissage.

Certaines activités de service proposent ainsi une fonction de formation, d'éducation (des étudiants ou salariés) ou encore une fonction d'aide à la décision plus ciblées sur les questions d'aide à la décision plus ciblées sur les questions de formation. Il pourrait s'agir également de fonction d'aide à la personne, de soins, etc. Dans le domaine de l'écologie industrielle, Boiral O. et Kabongo J. (2004), Boiral (2005) mettent en avant les savoir-faire organisationnels comme source de différenciation et d'avantages compétitifs (savoirs tangibles et intangibles), ainsi que la mobilisation de compétences spécifiques relatives aux procédés, aux matières résiduelles et aux différentes façons de les valoriser. Ces savoir-faire organisationnels, souvent étudiés essentiellement à la lumière de l'ingénierie, sont aussi en grande partie obtenus par des activités de service (conseil formation).

3) Le troisième rôle est relatif à l'émergence de nouvelles pratiques

Un troisième axe, concernant les prestations de service impliquées dans l'écologie industrielle n'est pas uniquement dédié aux activités de service. Il peut être développé au sein des activités industrielles. Il s'agit du développement de **nouvelles pratiques**, voire d'un **nouveau business model**, proposé par l'économie de la fonctionnalité (cf. D. Bourg, 2005, D. Bourg, D. Buclet, 2005 ; W Stahel, 2006 ; Gaglio G., Lauriol J., Du Tertre C, 2011).

L'économie de fonctionnalité consiste en la substitution de la vente d'une fonction d'usage (un service) à celle d'un produit, et étudie la production d'une solution intégrée de biens et de services (la vente d'une performance d'usage) permettant la prise en charge des externalités environnementales et sociales. Dans une telle optique, la valeur économique du produit ne repose plus sur sa valeur d'échange, mais sur sa valeur d'usage. L'objectif est d'optimiser l'utilisation – ou la fonction – des biens et services, en employant des richesses existantes (produits, connaissances, capital naturel).

Dans cette optimisation ou mutation économique, la place accordée aux services est importante, et la solution proposée s'inscrit dans une sphère **fonctionnelle** (mobilité, santé, habitat, etc.). Elle regroupe des acteurs issus de différents secteurs d'activité.

Un certain nombre d'entreprises industrielles proposent à côté de la production de biens, des prestations de services (Les exemples les plus connus concernent l'entreprise Michelin, Xerox, Dow Chemicals) participant à un développement durable. Il s'agit donc d'une forme de *servicisation* des entreprises industrielles dans la mesure où ces entreprises fournissent des systèmes produits-services de plus en plus sophistiqués. Ces solutions sont généralement entreprises dans le cadre de la mise en œuvre de stratégies environnementales (Laperche, Picard, 2013, Boutillier et al, 2014) et peuvent être entreprises dans une stratégie d'écologie industrielle.

Pour se développer, l'économie de fonctionnalité a besoin de faire évoluer les dispositifs institutionnels d'innovation, d'évaluation et de professionnalisation. Ces nouvelles solutions s'appuient sur (et développent) le patrimoine immatériel territorial. Par ailleurs, elle nécessite

de profonds changements dans les relations entre producteurs et consommateurs. Cette recherche de nouvelles approches commerciales, de changements dans les modes de vie, de changements dans les pratiques et les comportements mobilisent bien entendu les activités de service (recherche, conseil, éducation, formation).

Ainsi, certaines solutions techniques sont davantage orientées vers les dimensions sociales du développement durable. Certaines innovations technologiques répondant aux problèmes de l'écologie industrielle peuvent constituer une trajectoire d'innovations environnementales et sociales qui profitent à l'ensemble de la collectivité.

Les services développent aussi des solutions plus spécifiques (perspective de différenciation, Djellal, Gallouj, 2009). Les services de conseil ou plus généralement les services de traitement de la connaissance, investissent de nouveau champ d'expertise (droit de l'environnement, conseil en développement durable, conseil méthodologique), qui auront un impact dans le domaine de l'écologie industrielle.

Par conséquent, dans la recherche de nouveau business model ou de nouvelles solutions innovantes, à côté de la création d'innovations technologiques (comme les technologies propres), il existe des relations plus complexes entre innovations technologiques (développés par exemple par les entreprises industrielles dans le cadre d'une stratégie d'écologie industrielle) et activités de service (Gadrey, 1996). On peut identifier des relations de substitution (on peut substituer totalement ou partiellement un outil technique innovant à un service, tel que les bornes d'information et de conseil) ; des relations d'identité (le service rendu constitue la valeur d'usage de la technologie. Ainsi, les biens matériels peuvent eux aussi être définis par le service qu'ils rendent. C'est ce qui fonde l'économie de la fonctionnalité) ; des relations de détermination (l'innovation technologique détermine l'apparition de nouvelles fonctions de service. Ex : conseil en environnement suite à l'apparition de technologies propres) ; des relations de diffusion (certains services participent à la diffusion des innovations technologiques et organisationnelles, *ex*: activités de conseil en haute technologie) et enfin des relations de production (les entreprises de service produisent elles-mêmes des innovations technologiques).

CONCLUSION

Nous faisons l'hypothèse que l'écologie industrielle peut être un outil dynamique de 1) stabilisation des activités économiques existantes, 2) d'attractivité de nouvelles entreprises et 3) de création d'une dynamique endogène de créativité et d'innovation. La mise en œuvre de ce type de circuit court industriel peut ainsi participer à la construction d'une économie territoriale fonctionnant sur la forme d'un milieu innovateur et orientée vers le développement durable ; en d'autres termes à la construction d'un territoire entrepreneurial durable. Mais pour cela, il est nécessaire de résoudre les limites fréquemment rencontrées dans la mise en œuvre de l'économie industrielle. Selon nous, les activités de service peuvent répondre aux limites/difficultés de la mise en œuvre de l'écologie industrielle. Elles sont un ainsi un gisement de création et d'attraction d'activités nouvelles.

Notre cadre d'analyse est actuellement appliqué au cas l'agglomération de Dunkerque (Nord, France). Nous cherchons dans ce travail empirique à
-identifier les atouts et les limites dans la mise en œuvre des symbioses industrielles à Dunkerque

- identifier les activités de services (publics, privés, parapublics) potentiellement liées à l'écologie industrielle sur le territoire Dunkerquois et étudier leur implication réelle dans les pratiques d'écologie industrielle à Dunkerque
 - identifier les activités de services (publics, privés, parapublics) utiles au bon fonctionnement du métabolisme industriel mais non présent sur le territoire
 - définir des recommandations pour favoriser l'amélioration des pratiques d'écologie industrielle à Dunkerque.
- Les résultats feront l'objet de publications ultérieures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adoue C. (2007), *Mettre en œuvre l'écologie industrielle*, Presse Polytechniques Universitaires Romandes.
- Allenby B.R., Richards D.J. (1994), *The greening of industrial ecosystems*, National Academy Press, Washington, DC.
- Aydolot ph, (1986), *Les milieux innovateurs en Europe*, Paris, GREMI
- Beaurain C. (2008), La construction d'un territoire à partir des ressources environnementales: l'exemple de l'agglomération dunkerquoise, *Géographie, Economie, société*, 10, 365-384.
- Beaurain, C., Brulot S. (2011), L'écologie industrielle comme processus de développement territorial: une lecture par la proximité, *Revue d'économie régionale et urbaine*, 313-340.
- Belin-Munier, C. (2010). Logistique, Supply Chain Management et stratégie orientée développement durable : une revue de la littérature. *Logistique & Management*, 18(2009), 29–44.
- Boiral, O. (2005), Concilier environnement et compétitivité ou la quête de l'éco-efficience, *Revue française de gestion*, (158), 163-186.
- Boiral, O., Kabongo, J.(2004), Le management des savoirs au service de l'écologie industrielle, *Revue française de gestion*, (149), 173-191.
- Bourg D, Buclet D (2005), L'économie de la fonctionnalité, *Futuribles*, 313, 27-37.
- Bourg D., (2005), La préservation des services écologiques rendus par la nature, in MC Smouts, *Le développement durable, les termes du débat*, Paris, A.Colin, 19-25.
- Boutillier S., Uzunidis D., (2014), Le territoire entrepreneurial durable. Fondements théoriques et analyse économique, Cahier du lab.RII, n°283, http://riifr.univ-littoral.fr/?page_id=38
- Boutillier S., Laperche B., Picard F. (2014), Le développement des systèmes produits-services dans les entreprises : une étape vers l'économie de la fonctionnalité ?, *Economies et Sociétés*, série services, à paraître.
- Brusco S. (1982), The Emilian Model: productive decentralisation and social integration, *Cambridge Journal of Economics*, 6, pp.167-184.
- Buclet N. (2011), *Ecologie industrielle et territoriale, Stratégies locales pour un développement durable*, Presses Universitaires du septentrion, Lille
- Camagni R., Maillat D. (eds, 2006), *Milieux innovateurs – théorie et politiques*, Economica-Anthropos, Paris.
- Carter, C. R., & Jennings, M. M. (2002). Logistics Social Responsibility: an integrative framework. *Journal of Business Logistics*, 23(1), 145–180.
- Chertow M. (2000), Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy, *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 25: 313-337
- Dannequin F., Diemer A (2009), Le capitalisme dématérialisé comme développement durable? In Laperche B, Crétieneau AM, Uzunidis D (eds), *Développement durable : vers une nouvelle économie*, Bruxelles, Peter Lang, 91-120.

- Diemer A. (2012), La technologie au cœur du développement durable: mythe ou réalité? *Innovations*, n°37, 73-94.
- Djellal F., Gallouj F. (2009) « Innovation dans les services et entrepreneuriat : au-delà des conceptions industrialistes et technologistes du développement durable », *Innovations*, 2009/1 n° 29, p. 59-86.
- Dunn B.C, Steinemann A., (1998), Industrial ecology for sustainable communities, *Journal of environmental planning and management* 41, pp.661-972.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2014). *Towards the circular economy. Vol. 3: Accelerating the scale-up accross global supply chains*. 76p. Cowes, UK.
- Erhenfeld J. (2004), Industrial ecology: a new field or only a metaphor?, *Journal of cleaner production* 12, pp. 825-831.
- Erkman S. (2001), L'écologie industrielle, une stratégie de développement, *Le débat*, n°113, p.106-121.
- Erkman S. (2004), *Vers une écologie industrielle : comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle (2nd édition)*, Editions Charles Léopold Mayer, Paris.
- Ernst & Young (2013). *Les chaînes logistiques multimodales dans l'économie verte : quelles actions publiques pour quels résultats ?* PIPAME, 68p. Paris.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J. a. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1–17.
- Frosch R.A., Gallopoulos (1989) and Galloupolos N.G,. Strategies for Manufacturing. *Scientific American*. 261:3, pp. 144-152.
- Gadrey J., 1996, *L'économie des services*, coll. Repères, éd. La découverte.
- Gaglio G., Lauriol J., Du Tertre C (2011) *L'économie de la fonctionnalité : une voie nouvelle vers un développement durable ?* , Octares.
- Gallouj C., Leloup F., Merenne-Schoumaker B., Moyart L. (eds, 2006), *Services aux entreprises et développement régional*, Bilan et perspectives, De Boeck, Bruxelles.
- Gallouj C., Kaabachi S. (2011), La place des services aux entreprises dans les politiques d'aménagement et de développement régional : typologies, interrogations et contradictions, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* n°2, pp.389-409
- Garofoli G. (1992), Les systèmes de petites entreprises : un cas paradigmatique du développement endogène, in Benko G., Lipietz A. (eds), *Les régions qui gagnent. Districts et réseaux. Les nouveaux paradigmes de la géographie économique*, PUF, Paris.
- Geldron A. (2012), Peut-on recycler à l'infini ? *Pour la Science*, n°421.
- Gibbs D., Deutz P., Proctor A. (2005), Industrial ecology and eco-industrial development: A Potential paradigm for local and regional development?, *Regional studies*, vol.39.2, pp.171-183.
- Gibbs D., Deutz P. (2007), Reflections on implementing industrial ecology through eco-industrial park development, *Journal of Cleaner Production*, vol.15, n°17, 1683–1695
- Hakansson, H. (1987). Product development in networks. In H. Hakansson (Ed.), *Technological development: A network approach* (pp. 84– 128).New York: Croom Helm.
- Laperche B., Cretienuau A.M., Uzunidis D. (2009), *Développement durable : pour une nouvelle économie*, PIE Peter Lang, Bruxelles.
- Laperche B., Picard F. (2013), Environmental constraints, Product-Service Systems development and impacts on innovation management: learning from manufacturing firms in the French context, *Journal of Cleaner Production*, Volume 53, 15 August 2013, Pages 118–128

- Laperche. B, Lorek M, Uzunidis D, (2011), Crise et reconversion des milieux industrialoportuaires : dépendance de sentier ou renouveau économique ? Les exemples de Dunkerque (France) et de Gdansk (Pologne), *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, pp. 341 – 368.
- Laperche B., Merlin-Brogniart C., Burmeister A., Kasmi F. (2014), *Écologie industrielle et transition durable, Séminaire « La ville entrepreneuriale »*, RRI, Institut CDC pour la Recherche, Dunkerque, 6/3/2014
- Laudier I., Serizier P. (dir, 2013), Politique de développement local intégré : les circuits courts, Rapport final Institut CDC pour la recherche/Programme Leed de l'OCDE, Paris, 2013.
- Martin R., Boschma R.(eds), *The Handbook of Evolutionary Economic Geography*, Edward Elgar, 2010
- Opoku H.N., Keitsch M.M. (2006), Une approche de la durabilité? Théorie des implications scientifiques et politiques de l'écologie industrielle, *Écologie et politique*, n°32, 141-152.
- PIPAME. (2011). *Pratiques de logistique collaborative : quelles opportunités pour les PME / ETI ?* (pp. 1–96). Paris.
- Sakr D., Baas L., El-haggag S., Huisinigh D. (2011), Critical success and limiting factors for eco-industrial parks: global trends and Egyptian Context, *Journal of Cleaner Production* 19, 1158-1169.
- Seuring, S, & Muller, M. (2007). Integrated chain management in Germany – identifying schools of thought based on a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 15(7), pp 699–710.
- Stahel,W.(2006) *The Performance Economy*, Palgrave Macmillan.
- Torre, A., (2009) Retour sur la notion de proximité géographique. *Géographie, Économie, Société*, 11, p. 63-75.
- Torre A., Tanguy C. (2014), Les systèmes territoriaux d'innovation : fondements et prolongements actuels, in Réseau de Recherche sur l'Innovation, *Principes d'économie de l'innovation*, Business & Innovation, Peter Lang, Bruxelles, pp. 307-320.
- Uzunidis D. (2007) Entreprises, Entrepreneurs et milieux innovateurs : quelles politiques territoriales de compétitivité ?, *Humanisme et Entreprises*, N°28, Oct.
- Vivien F.D. (2005), *Le développement soutenable*, Repères, La découverte, Paris.